

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

VYUŽITIE VŠEOBECNÉHO POČÍTAČOVÉHO
HRÁČA V SPOLOČENSKÝCH HRÁCH
BAKALÁRSKA PRÁCA

2021

VLADIMÍR BAČINSKÝ

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

VYUŽITIE VŠEOBECNÉHO POČÍTAČOVÉHO
HRÁČA V SPOLOČENSKÝCH HRÁCH

BAKALÁRSKA PRÁCA

Študijný program: Informatika
Študijný odbor: Informatika
Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky
Školiteľ: RNDr. Jozef Šiška PhD.

Bratislava, 2021

Vladimír Bačinský



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta:

Študijný program: informatika (Jednoodborové štúdium, magisterský II. st.,
denná forma)

Študijný odbor: informatika

Typ záverečnej práce: diplomová

Jazyk záverečnej práce: anglický

Sekundárny jazyk: slovenský

Názov:

Anotácia:

Vedúci:

Katedra: FMFI.KI - Katedra informatiky

Vedúci katedry: prof. RNDr. Martin Škoviera, PhD.

Dátum zadania: 11.12.2017

Dátum schválenia: 12.12.2017

prof. RNDr. Rastislav Kráľovič, PhD.
garant študijného programu

študent

vedúci práce

Pod'akovanie: Tu môžete poďakovať školiteľovi, prípadne ďalším osobám, ktoré vám s prácou nejako pomohli, poradili, poskytli dáta a podobne.

Abstrakt

Klíčové slova:

Abstract

Keywords:

Obsah

Úvod	1
1 Úvod do problematiky	3
1.1 Základné pojmy	3
1.2 Všeobecný Počítačový Hráč	3
1.3 Jazyk Popisu Hry	7
2 Hra Slovania obchodníkmi	13
2.1 Úvod k hre	13
2.2 Pravidlá	14
2.3 Doplnujúce informácie ku hre	15
3 Implementácia hry v GDL	17
3.1 Aritmetické operácie	17
3.1.1 Číslo	17
3.1.2 Sčítavanie	18
3.1.3 Odčítavanie	18
3.1.4 Väčší než	18
3.2 Implementácia hry	19
3.2.1 Fakty	19
3.2.2 Počiatočný stav a generovanie hry	20
3.2.3 Legálne ťahy hráčov	21
3.2.4 Následujúci stav	21
3.2.5 Terminálny stav a odmeny	21
3.2.6 Pomocné predikáty	21
4 Testovanie počítačových hráčov	23
Záver	25
Príloha A	29

Zoznam obrázkov

1.1	Reprezentácia hry stromom	7
1.2	Minimax	8
1.3	Monte Carlo	9

Zoznam tabuliek

Úvod

Napísať na konci.

Úvod je prvou komplexnou informáciou o práci, jej celi, obsahu a štruktúre. Úvod sa vzťahuje na spracovanú tému konkrétne, obsahuje stručný a výstižný opis problematiky, charakterizuje stav poznania alebo praxe v oblasti, ktorá je predmetom školského diela a oboznamuje s významom, cieľmi a zámermi školského diela. Autor v úvode zdôrazňuje, prečo je práca dôležitá a prečo sa rozhodol spracovať danú tému. Úvod ako názov kapitoly sa nečísluje a jeho rozsah je spravidla 1 až 2 strany.

Kapitola 1

Úvod do problematiky

V tejto kapitole si zdefinujeme základné pojmy, ktoré budeme používať v tejto baka-lárskej práci. Predstavíme si, čo je to Všeobecný Počítačový Hráč a oboznámime sa s najdôležitejším nástrojom práce a to Jazykom Popisu Hry.

1.1 Základné pojmy

Neohodnotený graf je dvojica $G = (V, E)$, pričom V je množina elementov, ktoré nazývame vrcholy a E je množina dvojíc vrcholov, ktoré nazývame hrany. [1]

Strom je súvislý acyklický graf, teda neobsahuje kružnicu a medzi každou dvojicou vrcholov existuje cesta.

1.2 Všeobecný Počítačový Hráč

Pre mnoho spoločenských hier existujú programy a algortimy, ktoré nám umožňujú ich hranie. Napríklad ľahko nájdeme program hrajúci šach či dámu. Ak by sme chceli program, ktorý umožňuje hranie aj dámy aj šachu, tak tento program by potreboval vedieť pravidlá oboch hier dopredu. Práve najväčšou výhodou Všeobecného Počítačo-vého Hráča (označujeme GGP, z anglického General Game Playing) je, že dokáže hrať hry napísané v Jazyku Popisu Hry (označujeme GDL z anglického Game Description Language) bez toho, aby poznal ich pravidlá vopred. GGP je teda schopný hrať viacero druhov hier, vrátane dvoch vyššie spomenutých. Musia však mať spoločnú štruktúru a to konkrétne hra musí mať konečný počet hráčov, konečný počet stavov a konečný počet akcií v ktoromkoľvek stave. Navyše jeden zo stavov musí byť počiatočný [3]. Aby hra bola hrateľná, tak musí existovať aspoň jeden taký stav, ktorý je koncový a zároveň existuje taká postupnosť legálnych ťahov, že pomocou nich sa vieme dostať z počiatoč-ného stavu do koncového. Formálne môžeme reprezentovať model hry nasledovne:

Nech n je počet hráčov a S je množina stavov, pričom

- A_1, \dots, A_n - A_i je konečná množina akcií (legálnych ťahov) i -teho hráča, i patrí $\{1, \dots, n\}$
- I_1, \dots, I_n - I_i je podmnožina $A_i \times S$ - teda dvojice akcia i -teho hráča a stav, i patrí $\{1, \dots, n\}$
- $f : S \times A_1 \times \dots \times A_n \longrightarrow S$ - funkcia na aktualizovanie, teda slúži na prechod z jedného stavu do druhého, pomocou legálnych ťahov hráčov
- s_1 patrí S - s_1 je počiatočný stav
- $T \subseteq S$ - množina terminálnych, teda koncových stavov

Takýto formálnejší model hry využijeme neskôr pri demonštrácii konkrétnych algoritmov, ktoré GGP hráči využívajú. Všeobecní počítačovní hráči sa líšia stratégiou, pomocou ktorej vyberajú akcie, teda legálne ťahy v aktuálnom stave. K najtriviálnejším patria Legálny Hráč (značíme LegalPlayer) a Náhodný Hráč (značíme RandomPlayer). LegalPlayer funguje jednoducho a to tak, že z pomedzi zoznamu legálnych ťahov vyberie prvý v poradí. RandomPlayer hrá taktiež elementárne a zo zoznamu akcií vyberá náhodne. Existujú však aj omnoho komplikovanejší hráči, ktorí pri vyberaní ťahu využívajú efektívne algoritmy, ktoré im pomáhajú vybrať najoptimálnejšiu akciu a práve s niektorými z nich sa oboznámime. V našej práci sa budeme zaoberať hrou, ktorá je určená pre dvoch hráčov a je konkurenčná, teda víťazom sa stáva len jeden hráč. Narozdiel od hier určených pre jedného hráča, v tých viacnásobných výber najlepšieho ťahu je závislý od potenciálneho budúceho ťahu protihráča. Navyše žiaden hráč nevie priamo odhadnúť ťah, ktorý súper zahrá, preto musíme počítať so všetkými možnými akciami protihráča. Celú hru potom môžeme reprezentovať ako strom, pričom koreňom je počiatočný stav, vnútorné vrcholy sú stavy, ku ktorým sa vieme pomocou funkcie f dostať z počiatočného stavu a listy sú terminálne stavy a orientované hrany reprezentujú prechod medzi stavmi pomocou funkcie f . Jednoduchá reprezentácia by mohla vyzeráť ako na obrázku 1.1. Počet koncových stavov sa rovná počtu všetkých možných konfigurácií danej hry a ich hodnota sa rovná počtu dosiahnutých bodov v tomto stave. Na výber optimálneho ťahu v aktuálnom stave existuje napríklad algoritmus nazývaný Minimax.

Minimax

Jeho funkcionality budeme demonštrovať na príklade, kde hráč zahrá jeden ťah a po ňom nasleduje hneď súper, teda ak je hráč na ťahu v hĺbke h , tak v hĺbke $h+1$ bude na ťahu súper. Na pochopenie jeho funkčnosti nám pomôže obrázok 1.2. Aby Minimax fungoval, potrebuje mať ohodnotenú listy v strome, teda v našom

prípade to sú ohodnotené terminálne stavy. Následne sa hráč na ťahu v aktuálnom stave snaží pomocou Minimaxu maximalizovať svoj optimálny legálny ťah, za predpokladu, že súper si vždy vyberie pre seba taktiež najlepší ťah. Algoritmus minimax začína počítať v o jedna menšej hĺbke celého stromu. Všetky stavy v tejto hĺbke reprezentujú ťah súpera. Pre protihráča je teda najefektívnejšie vybrať minimum z hodnôt svojich synov (vrcholy, do ktorých vedie hrana z daného vrcholu) v o jedna väčšej hĺbke a naopak pre nás je najlepšie vybrať maximum zo synov. Analogicky postupným znižovaním hĺbky a striedaním maxima a minima v každej hĺbke sa dostaneme až k aktuálnemu stavu, kde sme dostali najväčšie číslo z vrcholov v o jedna väčšej hĺbke, teda najoptimálnejší ťah je práve do vrchola s najväčšou hodnotou, ktorú minimax vypočítal.

Nevýhodou tohto algoritmu je, že zakaždým musí prehľadať celý strom, preto existuje vylepšený Minimax.

Optimalizovaný Minimax

V prípadoch takých stromov, kde poznáme absolútnu maximálnu respektíve minimálnu možnú hodnotu v terminálnych stavoch, tak nebudeme musieť vždy prehľadávať celý strom. Napríklad ak vieme, že absolútna minimálna hodnota je 0 a zároveň algoritmus Minimax v stave, kedy počíta minimum svojich synov (označujeme takýto stav minnode) má v jednom z nich 0, tak logicky už nemusí hľadať v ďalších synoch, pretože menšiu hodnotu už nenájde, teda vráti 0. Analogicky ak vieme, že napríklad absolútna maximálna hodnota v koncových stavoch je 100, tak ak Minimax v stave, kde počíta maximum (označujeme maxnode) nájde v jednom zo svojich synov hodnotu 100, rovnako už nemusí hľadať ďalej, pretože väčšiu hodnotu už nenájde a preto vráti 100. Tento optimalizovaný Minimax nám vie pomôcť v niektorých prípadoch, avšak ukážeme si ešte silnejšiu verziu tohto optimalizovaného minimaxu a to Alfa-Beta vyhľadávanie.

Alfa-Beta vyhľadávanie

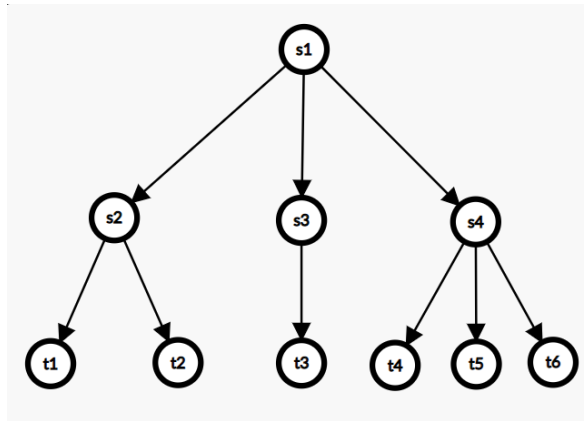
Tento algoritmus si počas behu udržiava doposiaľ najmenšiu nájdenú hodnotu nazývanú alfa (označujeme α) a najväčšiu nájdenú hodnotu nazývanú beta (označujeme β). Algoritmus môžeme rozdeliť na dva prípady, jeden ak vylúčime vetvu stromu v minnode a druhý v maxnode. Rozoberme si teda prvú možnosť a to ak v minnode nájde Minimax v synovi menšiu hodnotu ako alfa (označme túto hodnotu x), tak potom už nebude musieť prehľadávať ďalších synov a jednoducho vráti hodnotu α . Ak by aj v ďalších synoch bola väčšia hodnota ako x , tak tá je pre nás irelevantná, pretože minnode aj tak vyberie minimum, teda α . Čo v prípade, ak v ďalších synoch je menšia hodnota ako x ? Tá sa taktiež javí ako zbytočná, pretože vieme, že neskôr v o jedna menšej hĺbke bude následne maxnode vyberať maximálnu hodnotu zo synov a tam vždy vyberie α pred tou

našou menšou hodnotou v synovi. Tým sme ukázali, že obidva prípady synov, už nebudeme potrebovať a preto túto vetvu nebudeme musieť ďalej prehľadávať. Analogicky v druhej možnosti, ak v maxnode nájde v synovi hodnotu väčšiu ako beta (označme túto hodnotu y). V prípade, že v ďalších synoch je menšie číslo ako y , tak je táto vetva zbytočná, pretože maxnode vyberie maximum. Ak je v neprehľadaných synoch väčšia hodnota ako y , tak tá je taktiež nepodstatná, pretože v ďalšom kroku bude Minimax v o jedna menšej hĺbke, teda bude v minode vyberať minimum a tam opäť zvíťazí stav s hodnotou y . Neskôr v tejto bakalárskej práci budeme testovať spoločenskú hru práve na GGP hráčov a jedným z nich je hráč, ktorý využíva Monte Carlo Vyhľadávanie.

Monte Carlo Vyhľadávanie

Tento algoritmus označovaný tiež ako MCS (z anglického Monte Carlo Search) sa snaží nájsť rovnako ako vyššie spomínané algoritmy optimálny legálny ťah pre hráča na ťahu v aktuálnom stave. Pre lepšie pochopenie nám pomôže obrázok 1.3. Ak Všeobecný Počítačový Hráč hrá hru napísanú v GDL, tak má vždy stanovený nejaký časový limit, kým sa musí rozhodnúť pre výber svojho ťahu. MCS spustí simuláciu postupne pre každú možnú akciu v danom stave, teda v každom synovi. V simulácii algoritmus vyberá ťahy náhodne až kým sa nedostane k terminálnemu stavu s hodnotou totožnou s počtom dosiahnutých bodov na konci hry. Túto hodnotu si uloží ako ohodnotenie daného syna a pokračuje z aktuálneho stavu analogicky ďalšími synmi. Ak prejde všetkých synov, tak simuláciu znovu opakuje chronologicky od najľavejšieho syna a postup opakuje s takým rozšírením, že hodnotu ktorú našiel v koncovom stave pripočíta k danej hodnote syna a zároveň si zapamätá počet simulácii z daného stavu. Ak sme dosiahli časový limit, tak postupne MCS v každom synovi predelí jeho hodnotu počtom opakovaní a následne vyberie z týchto hodnôt maximum. Hrana, ktorá smeruje k tomuto maximu je náš optimálny ťah, ktorý MCS vyberie.

Ukázali sme si základné algoritmy, ktoré všeobecní počítačovní hráči môžu využívať pri vyberaní najoptimálnejšieho ťahu v aktuálnom stave. Avšak programátori sa vždy snažia stratégie týchto všeobecných hráčov zlepšovať a dostávame sa k zaujímavosti v oblasti GGP, kde títo programátori a všeobecní počítačovní hráči môžu navzájom súťažiť. Už od roku 2005 sa na konferencii AAAI (z anglického Association for the Advancement of Artificial Intelligence) konajú každoročné GGP súťaže. V prvej časti súťaže sa zúčastnení hodnotia na základe ich schopnosti vykonávať legálne ťahy, získať prevahu a čo najefektívnejšie dokončiť hry. V druhom kole sa účastníci stretávajú proti sebe v čoraz zložitejších hrách. Program, ktorý v tejto fáze vyhráva najviac hier, tak víťazí v súťaži a do roku 2013 jej tvorca získaval dokonca cenu 10 000 dolárov [2].



Obr. 1.1: Reprezentácia hry stromom, pričom vrchol v hĺbke 0 je počiatočný stav, vrcholy v hĺbke 1 sú stavy, ktoré vznikli prechodom z počiatočného stavu pomocou funkcie f a vrcholy v hĺbke 2 sú koncové stavy. Šípky v tomto strome znázorňujú jednotlivé prechody medzi stavmi a to na základe funkcie f , teda legálnych ťahov každého hráča v danom stave.

Neskôr v tejto práci vyskúšame rôzne implementácie práve GGP hráčov na vybranej spoločenskej hre.

1.3 Jazyk Popisu Hry

Jazyk popisu hry bol vyvinutý, aby vykonávanie logických úloh pre všeobecné hranie hier bolo efektívne. GDL popisuje stavy hry ako množinu faktov a množinu logických pravidiel [4]. Napríklad ak máme fakty

$$\begin{aligned} &rodic(jozef, fero) \\ &rodic(fero, julka) \end{aligned}$$

tak je faktom, že Jozef je rodičom Fera a Fero je rodičom Julky. Ak zároveň máme pravidlo

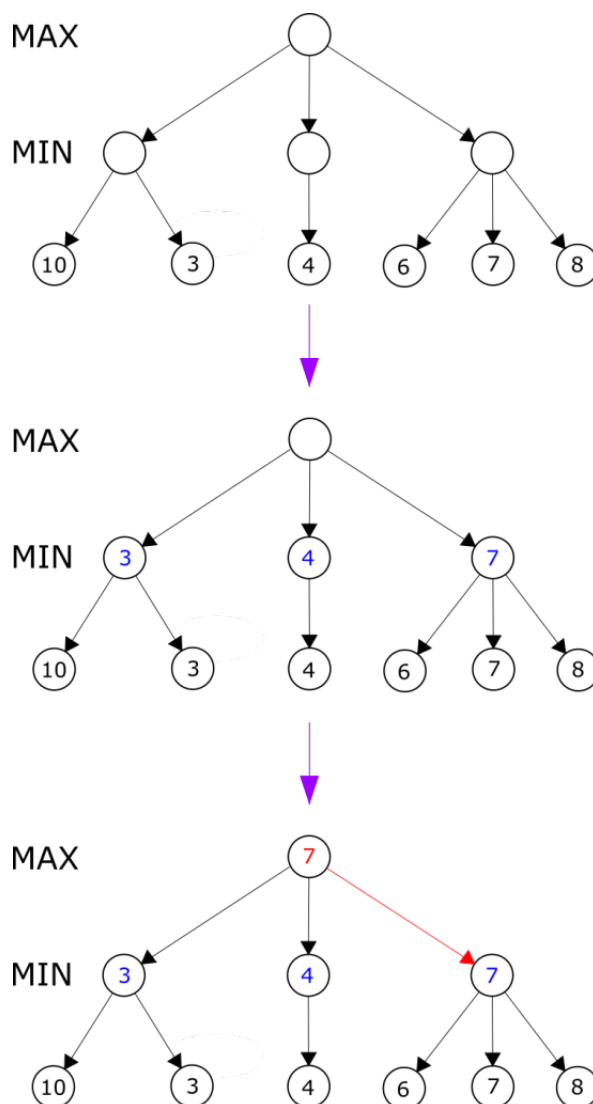
$$staryrodic(X, Z) : - \quad rodic(X, Y), rodic(Y, Z)$$

ktoré hovorí, že ak X je rodičom Y a zároveň Y je rodičom Z , tak potom X je starým rodičom Z , tak z našich faktov a pravidla môžeme odvodiť

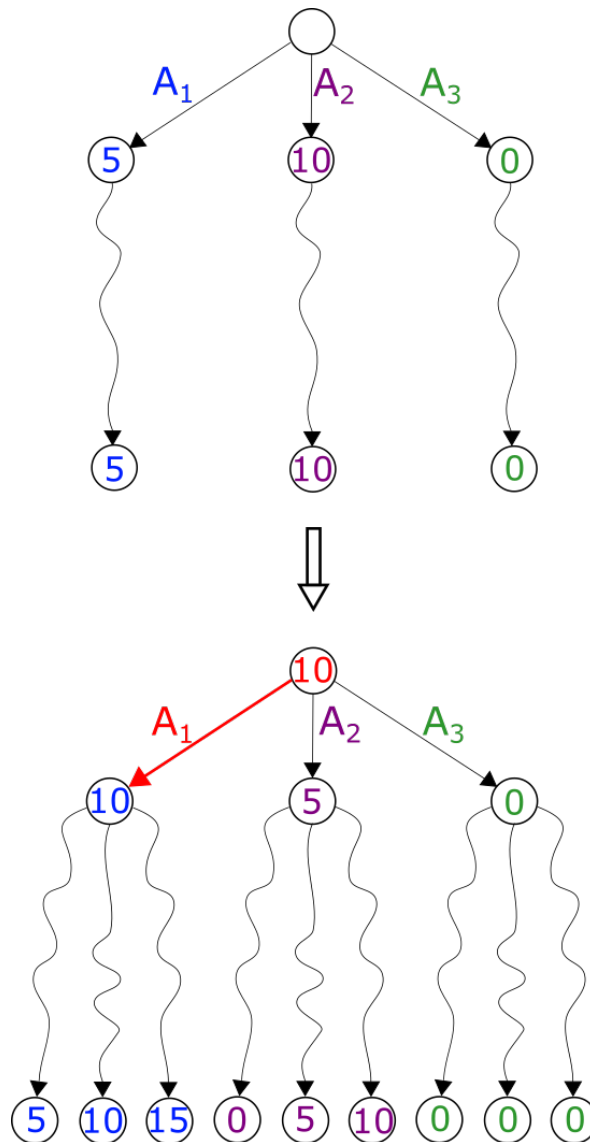
$$staryrodic(jozef, julka)$$

teda Jozef je starý rodič Julky.

Zadefinujme si teraz formálnejšie základné pojmy používané v GDL, term a pravidlo v GDL, ktoré sú podobné ako v [4]. Medzi slovnú zásobu v GDL patria objektové konštanty (označujeme písmenami zo začiatku abecedy: a, b, c), funkčné konštanty (označujeme malými písmenkami abecedy: f, g, h), relačné konštanty (označujeme malými písmenkami abecedy: p, q, r) a premenné (označujeme veľkými písmenami, prevažne z konca abecedy: X, Y, Z).



Obr. 1.2: Pomocou Minimaxu chceme zistiť aký je pre nás najlepší ťah v aktuálnom stave, teda na obrázku v koreni. Listy v tomto strome sú terminálne stavy ohodnotené konkrétnym počtom bodov, ktoré vieme získať. Stavy v hĺbke 1, teda vnútorné stavy reprezentujú stavy, kedy je na ťahu súper. Minimax začína svoj výpočet v hĺbke o jedna menšej ako sú listy, v našom prípade teda v hĺbke 1. V každom vrchole tejto hĺbky vypočíta minimálnu hodnotu svojich synov a vloží ju ako hodnotu vrchola. Minimum, pretože súper sa snaží minimalizovať počet bodov, ktoré môžeme získať. Následne sa algoritmus minimax posunie o hĺbku nižšie a vypočíta v každom vrchole tejto hĺbky, teda v našom prípade len v koreni maximum svojich synov, pretože my chceme maximalizovať náš bodový úspech. Tento postup minimax analogicky opakuje až kým sa nedostane ku koreňu stromu, čo sme v našom prípade už dosiahli. Najoptimálnejší ťah pre nás je teda legálny ťah reprezentovaný červenou (doprava) šípkou.



Obr. 1.3: V hornej časti obrázka môžeme vidieť orientovaný graf, pričom koreňom je aktuálny stav, šípky z koreňa do vnútorných vrcholov znázorňujú prechod z aktuálneho stavu zahraním jedného z legálnych ťahov A_1, A_2 a A_3 . Vnútorne vrcholy reprezentujú následný ťah súpera a šípky do listov, teda terminálnych stavov, znázorňujú nejakú možnú konfiguráciu. V tomto prípade je to postupnosť náhodných ťahov. Tento obrázok konkrétne demonštruje fázu, kedy MCS simuloval náhodne ťahy cez všetkých troch synov jedenkrát. Hodnotu, ktorú našiel v koncovných stavov si uložil do synov. Následne na druhom obrázku je ukážka pridaných ďalších dvoch simulácií pre každého syna, ale hodnota synov je iná a vypočítala sa nasledovne. Súčet troch listov do ktorých sme sa dopracovali z daného syna nejakou konfiguráciou predelíme počtom simulácií. MCS potom už len vyberie maximum z týchto synov a práve hrana, ktorá smeruje do maxima je náš optimálny ťah.

Termom v GDL sú objektové konštanty, premenné alebo funkčné konštanty pozostávajúce z konečného počtu konštánt a premenných (označujeme $f(a, X, b)$). *Atóm* je relácia pozostávajúca z konštánt a termov - označujeme $p(a, f(a, b))$. Negácia je výraz, ktorý sa skladá zo znakov negácie a atómu - označujeme $\neg p(a, f(a, b))$. Literál je atóm alebo negácia atómu - označujeme $p(a, f(a, b))$ alebo $\neg p(a, f(a, b))$. Inštancia v hlave je pravdivá vtedy, ak všetky pozitívne literály sú pravdivé (true) a všetky negatívne literály sú nepravdivé (false).

Pravidlo v GDL sa skladá z hlavy a zoznamu literálov, ktoré sú oddelené čiarkou, označujeme

$$h : - l_1, \dots, l_n$$

Pravidlo vyhodnocujeme ako konjunkciu ¹ literálov. Zoznam literálov nazývame telo. Ešte pred tým ako si prejdeme postupne všetky základné relácie Jazyka Popisu Hry, tak si ukážeme konkrétnu syntax v GDL nazývanú formát výmeny vedomostí (označujeme KIF z anglického Knowledge Interchange Format). V KIF pred premenné píšeme otáznik, teda premenná X je písaná ako $?x$. Funkčnú konštantu $f(a, X)$ píšeme ako $(f \ a \ ?x)$ alebo $true(control(X))$ píšeme ako $(true \ (control \ x))$. Negáciu $\neg(true(control(X)))$ píšeme ako $(not \ (true \ (control \ x)))$ a pravidlo $p(X) \Leftarrow q(X) \wedge \neg r(X)$ píšeme ako $(\Leftarrow \ (p \ ?x) \ (q \ ?x) \ (not \ (r \ ?x)))$ [4].

Medzi základné relácie v GDL patria: *role*, *true*, *init*, *next*, *legal*, *does*, *goal* a *terminal*. Poďme si ich postupne všetky vysvetliť. Príklady budeme demonštrovať na jednoduchej hre piškvorky 3x3 (Tic-Tac-Toe). Napriek tomu, že takmer všetci túto hru poznáme, tak pre istotu si pripomeňme jej pravidlá. Hru hrajú dvaja hráči (označme hráč x a hráč o) na hracej ploche štvorca, v ktorom je 9 menších štvorcov, teda 3x3. Ťahy hráčov spočívajú v položení, respektíve nakreslení svojho znaku na konkrétny štvorec, pričom po nakreslení nasleduje ťah druhého hráča. Na každom políčku hracej plochy môže byť maximálne jeden znak. Cieľom hry je získať trojicu svojich znakov, buď v niektorom z riadkov, stĺpcov alebo na diagonálach. V prípade, že niektorý z hráčov získa spomínanú trojicu, tak vyhráva a hra končí.

Predikát *role* definuje hráčov hry, teda $(role \ x)$ znamená, že jedným z hráčov tejto hry je x .

Predikát *true* ($true(fact)$) popisuje skutočnosti, ktoré sú pravdivé v aktuálnom stave. Potom $(true(cell \ 1 \ 1 \ b))$ znamená, že na hracej ploche na pozícii 1 1 v bunke je blank ².

Predikát *init* je analogický s *true*, ale je určený len pre začiatok hry, teda pre počiatočný stav. Príkladom v piškvorkách tohto predikátu je $(init(cell \ x \ y \ b)) \ \forall x, y \in \{1, 2, 3\}$, pretože na začiatku Tic-Tac-Toe sú všetky bunky hracej plochy prázdne.

¹konjunkcia (označujeme \wedge) je operátor logickej spojky. Množina operandov *and* je pravdivá, ak všetky operandy sú pravdivé

²prázdnota, prázdne miesto

Relácia *next* je analogická s *true*, ale predstavuje fakty, ktoré budú platiť v nasledujúcom stave. Nech `(control x)` znamená, že na ťahu je hráč *x*, potom `(<= (next (control o)) (true (control x)))` znamená, že v nasledujúcom stave bude platiť, že hráč *o* bude na ťahu, ak je pravda, že hráč *x* je na ťahu v aktuálnom stave.

Existuje špeciálna akcia *noop*, ktorá indikuje, že hráč neurobil žiadnu akciu.

Relácia *legal*: `(legal(hrac, krok))` predstavuje legálne kroky hráčov v aktuálnom stave.

Napríklad `(<= (legal x noop) (true (control o)))`, čiže legálnym krokom pre hráča *x* je akcia *noop*, ak je práve na ťahu druhý hráč *o*.

Relácia *does* indikuje kroky vykonané hráčmi na ťahu. Nech `(mark x y)` je faktom, ktorý znamená krok zaznačenia (v reálnej papierovej verzii nakreslil svoj znak) na pozícii *x y*, potom pravidlo `(<= (next (cell 1 1 x)) (does x (mark 1 1)))` hovorí o tom, že v ďalšom stave hry bude na pozícii 1 1 v bunke symbol *x*, ak platí *mark*, teda že hráč *x* zaznačil na pozícii 1 1.

Predikát *goal* určuje odmenu pre hráčov, napríklad za dokončenie úlohy alebo ako v Tic-Tac-Toe za výhru. Nech `(line ?player)` je *true* práve vtedy ak je nejaký riadok, stĺpec alebo diagonály zaplnený rovnakými znakmi alebo po diagonálach, potom `(<= (goal ?player 100) (line ?player))` znamená, že pre hráča, pre ktorého platí *line*, tak dostáva 100 bodov.

Relácia *Terminal* definuje koniec hry. Nech *open* hovorí o tom či je ešte nejaký blank na hracej ploche, potom `(<= terminal (not open))` hovorí, že koniec hry nastane napríklad vtedy, ak už na hracej ploche nie je bunka s blankom.

Kapitola 2

Spoločenská hra "Slovania obchodníkmi"

V tejto kapitole podrobne rozoberieme spoločenskú hru s názvom Slovania obchodníkmi, ktorú som sám vytvoril. Popíšeme si akého typu táto hra je, z akých pravidiel sa skladá, čo je jej cieľom, aké má špecifické prvky a podobne.

2.1 Úvod k hre

Slovania obchodníkmi je typická strategická stolová hra. Hrá sa na konkrétnom hracom pláne, po ktorom sa hýbu figúrky hráčov podľa nejakých pravidiel. Hrací plán je špecifický pre tento konkrétny druh hry a vždy je rovnaký. Je podobný hre "Človeče nehnevaj sa", ale s tým rozdielom, že figúrky hráčov sa môžu hýbať oboma smermi. V princípe hracím plánom je jednoduchý neohodnotený graf. Ak hráč hodil na kocke číslo 6, tak si následne môže vybrať každý vrchol vo vzdialenosti práve 6 alebo na hrad/mesto vo vzdialenosti menej ako 6. Hráč nemá úplnú kontrolu nad pohybom svojej figúrky, pretože hádže kockou a tým tu vstupuje činiteľ náhody, teda táto hra patrí k nedeterministickým. Úlohou každého hráča je plniť misie. Misia sa skladá zo začiatočného mesta alebo hradu, kde konkrétny tovar musí hráč vyzdvihnúť a končiacieho mesta alebo hradu, kde zásielku doručí. Každá misia je obodovaná podľa dĺžky najkratšej cesty (teda počtu políček najkratšej ceste). Napríklad môžeme mať misiu, ktorej úlohou je doručiť kožu z Šarišského hradu do hradu Šašov, pričom počet políček najkratšej cesty je 20 a odmenou je 5 korún. Plnenie misií však v tejto hre nie je také jednoduché, pretože hráči si môžu kúpiť negatívne (škodiace) žetóny, ktoré neskôr môžu vkladať na políčka ciest.

Cieľom každého hráča je získať 20 bodov pomocou plnenia misií.

2.2 Pravidlá

Hra je určená pre 2 hráčov. Na ťahu je vždy práve jeden hráč. Jeho ťah sa začína hodením kocky (označme hodnotu čísla hodeného na kocke x), následne si hráč musí vybrať políčko kam presunie svoju figúrku, avšak môže ju posunúť len na políčka cesty, ktoré sú vo vzdialenosti presne x od aktualnej pozície figúrky a políčka hradov, ktoré sú vo vzdialenosti maximálne x . Potom hráč môže nakupovať negatívne žetóny, ktoré nemusí nutne v tom istom ťahu klásť na hraciu plochu alebo pozitívne žetóny. Slovania obchodníkmi sa skladajú z týchto prvkov:

Hracia plocha

Je neohodnotený graf, v ktorom vrcholy sú všetky hrady, mestá a políčka ciest a hrany sú medzi tými vrcholmi, ktoré sú susedné. Ak napríklad hrad A má vstupnú aj výstupnú jedinú cestu, tak hrana je medzi vrcholom (hradom) A a susedným políčkom cesty.

Misie

Každá misia sa skladá zo začiatočného (A) a konečného (B) hradu/mesta, počtu políчок najkratšej cesty z A do B, odmeny a názvu predmetu.

Negatívne žetóny

Negatívne žetóny sa nemôžu vkladať na políčka hradov alebo miest. Sú určené len na políčka ciest. Na každom políčku cesty môže byť maximálne jeden negatívny žetón. Žetóny sú 4 farieb, pretože chceme aby boli medzi hráčmi odlišiteľné. Ak hráč stúpi na políčko, na ktorom je cudzí negatívny žetón, tak sa negatívny žetón zoberie z tohto políčka preč. Negatívne žetóny sú 3 typov:

- Z-Zbojníci: Ak hráč vstúpi na políčko, na ktorom je cudzí žetón Z, tak ho zbojníci olúpia o náklad. To znamená, že ak hráč už vyzdvihol svoj materiál, tak na dokončenie misie sa poň bude musieť vrátiť.
- RC-Rozbitá cesta: Ak hráč stúpi na políčko s týmto negatívnym žetónom a taktiež je iného hráča, tak putuje do väzenia.
- B-Bažina: Ak hráč vstúpil na políčko, na ktorom je cudzí žetón B, tak sa vracia na políčko odkiaľ prišiel.

Pozitívne žetóny

Hráč si pozitívne žetóny môže kúpiť na svojom ťahu. Ich funkcionalitou je brániť sa voči negatívnym žetónom. Ku každému negatívnemu existuje pozitívny, ktorý slúži na ubránenie voči negatívnemu. Konkrétne:

- Ochranka: ochrana pred zbojníkmi

- Nové koleso: imunita voči rozbitej ceste
- Sprievodca: imunita voči bažine

V prípade, že hráč má nakúpený správny (napríklad stúpil na políčko s bažinou a má sprievodcu) pozitívny žetón a zároveň stúpi na políčko, na ktorom je cudzí negatívny, tak sa automaticky vyhne efektu negatívneho žetónu a svoj pozitívny žetón stráca. Následne sa negatívny žetón odstráni z políčka.

Peniaze

Platidlom v tejto hre je mena koruna. Každý negatívny žetón stojí 1 korunu a každý pozitívny žetón stojí 2 koruny. Hráč začína s desiatimi korunami a za každú ďalšiu splnenú misiu dostane toľko korún, koľko je odmena danej misie.

Väzenie

Ak hráč stúpil na políčko, na ktorom je bažina cudzieho hráča a zároveň nemá pozitívny žetón sprievodcu, tak putuje do väzenia. Automaticky končí svoj ťah, teda nemôže nakupovať žetóny ani vkladať negatívne na hraciu plochu a svoj ťah začína protihráč, ktorý po skončení ťahu nasleduje ešte raz. Následne ak ukončí ťah druhýkrát po sebe tak nasleduje hráč, ktorý bol vo väzení. V prípade, že hráč A na svojom ťahu stúpil na bažinu a nemá sprievodcu a následne hráč B na svojom ťahu putuje do väzenia, tak zjavne nepôjde dvakrát po sebe, ale hneď ukončí svoj ťah a nasleduje normálne hráč A a obaja sú z väzenia von.

2.3 Doplnujúce informácie ku hre

Každému hráčovi je na začiatku hry náhodne pridaná misia a figúrka sa postaví na hrad/mesto, v ktorom misia začína. Na splnenie prvej misie teda stačí len materiál doniesť do cieľového hradu/mesta. Ak hráč vyzdvihol tovar a jeho figúrka sa nachádza v cieľovej destinácii misie, tak automaticky získava toľko bodov a toľko peňazí aká je odmena misie a daný hráč dostane náhodne ďalšiu misiu na splnenie. Hráč môže použiť svoj kúpený negatívny žetón v ktoromkoľvek svojom ťahu, teda nie je povinný ho použiť vtedy, kedy ho aj kúpil. Na konkrétnom políčku hracej plochy môžu byť v jednom momente figúrky všetkých hráčov.

Koniec hry: Ak niektorý z hráčov získa 20 a viac bodov, tak hra sa automaticky ukončí a víťazom sa stáva hráč, ktorý tento limit dosiahol.

Kapitola 3

Implementácia hry v GDL

V tejto kapitole popíšeme už konkrétnu implementáciu spoločenskej hry Slovania obchodníkmi v GDL jazyku.

3.1 Aritmetické operácie

Narozdiel od iných programovacích jazykov, kde čísla a základné aritmetické operácie sú samozrejmosťou, GDL je jedinečný v tom, že ich nepozná a je nutné si ich dodefinovať. Práve preto ešte pred písaním konkrétnych pravidiel týkajúcich sa hry si musíme doprogramovať tieto predikáty.

3.1.1 Číslo

V našej hre budeme pracovať len s prirodzenými číslami s 0. Ich základnou vlastnosťou je následnosť. Definujme teda predikát nasledovník (succ z anglického succeed) nasledovne:

```
(succ 0 1)
```

```
(succ 1 2)
```

Čiže 1 je nasledovníkom 0, 2 je nasledovníkom 1 atď. Predikát Succ budeme v našej práci veľmi často používať. Je dobrým !prostriedkom! na rýchle zmenšenie alebo zväčšenie čísla o 1. Taktiež tento predikát bude výborným nástrojom pri definovaní ďalších operácií ako sčítavanie alebo väčší než. Definovať číslo x potom môžeme ako alebo je nasledovníkom y alebo y je nasledovníkom x.

```
(<= (number ?x) (Succ ?y ?x))
```

```
(<= (number ?x) (Succ ?x ?y))
```

3.1.2 Sčítavanie

Sčítavanie patrí k najzákladnejším operáciám v programovacích jazykoch a nevyhneme sa mu aj v našej práci. Pri definovaní predikátu plus si vystačíme s operáciou nasledovníka a rekurziou. Prvá časť definuje triviálny prípad, pričom $x + 0 = x$. Druhá časť reprezentuje $x + y = result$. Nakoľko vieme, že operácia sčítania je komutatívna, tak môžeme napríklad x zväčšiť o 1 a y zmenšiť o 1 a následne sa rekurzívne zavolať. Tým dosiahneme, že sa y postupne rekurziou dostane až na 0 a následne postupným vynorením z rekurzie dostaneme správny výsledok.

```
(<= (pluss ?res 0 ?res)
(succ ?res ?x))
```

```
(<= (pluss ?x ?y ?res)
(succ ?x ?xP1)
(succ ?yM1 ?y)
(pluss ?xP1 ?yM1 ?res))
```

3.1.3 Odčítavanie

V našej hre si vystačíme s operáciou odčítavania, teda $x - y = result$, za podmienky, že $x \geq y$. Potom definícia je takmer identická s operáciou sčítavania.

```
(<= (minuss ?res 0 ?res) (succ ?res ?x))
(<= (minuss ?x ?y ?res)
(succ ?xM1 ?x)
(succ ?yM1 ?y)
(minuss ?xM1 ?yM1 ?res))
```

3.1.4 Väčší než

Ak už máme funkčný predikát plus, následne pomocou neho môžeme jednoducho zapísať operáciu väčší než, teda x je väčšie ako y ak existuje z rôzne od nuly a zároveň platí $y + z = x$.

```
(<= (greaterThen ?x ?y)
(pluss ?y ?z ?x)
(not (succ ?z 1)))
```

3.2 Implementácia hry

Ak už máme všetky potrebné operácie pripravené, môžeme začať s písaním pravidiel samotnej hry. V tomto odstavci si postupne prejdeme základne relácie GDL až po pomocné pravidlá, ktoré sú nevyhnutné pre úspešnú funkcionálnu danej hry. Hra je určená pre dvoch hráčov. Prvého hráča budeme nazývať blue a druhého red. Prvky náhody, ktoré hra obsahuje budeme reprezentovať tretím hráčom, nazývaným random. Pomocou jeho legálnych ťahov budeme pridávať do hry náhodne prvky. Konkrétna implementácia bude vyzeráť triviálne takto:

```
(role blue)
(role red).
(role random).
```

3.2.1 Fakty

Zdefinujme si najprv základné fakty, ktoré budeme v implementácii mnohokrát využívať. Tieto fakty sú počas priebehu hry nemenné a vždy pravdivé. Ako sme spomínali v kapitole Spoločenská hra "Slovenia obchodníkmi" (asi odkaz na nu), tak hracia plocha sa skladá z políček ciest a hradov, ktoré pre jednoduchosť budeme identifikovať číslom, teda každé políčko bude mať svoje špecifické ID. Nakoľko už samotná hra je oproti ostatným hrám napísaným v GDL obširná, rozhodol som sa hraciu plochu od tej skutočnej zjednodušiť a zmenšiť, aby sme zmenšili dĺžku trvania hry, teda počtu všetkých stavov danej konfigurácie hry z počiatočného stavu do koncového stavu. Hracia plocha teda bude neohodnotený graf, pričom vrcholy budú hrady a cesty, ktoré potrebujeme od seba odlišiť, teda konkrétne:

```
;; hrady
(castle 1) (castle 3) (castle 7) (castle 9)
;; cesty
(path 2) (path 4) (path 5) (path 6) (path 8)
```

Síce v hre ak vedie hrana z políčka A do políčka B, tak automaticky vedie hrana z B do A, tak by sme mohli hraciu plochu reprezentovať neorientovaným grafom, tak napriek tomu fakt `edge idFrom idTo`) bude reprezentovať len hranu z `idFrom` do `idTo`,

a V neohodnotenom grafe potrebujeme teraz pridať hrany medzi vrcholmi a to zabezpečíme pomocou faktu (edge idFrom idTo), ktorý zastupuje hranu z vrcholu

```
(edge 1 2) (edge 2 1) (edge 2 5) (edge 5 2) (edge 5 6) (edge 6 5)
(edge 6 7) (edge 7 6) (edge 5 8) (edge 8 5) (edge 8 9) (edge 9 8)
(edge 4 5) (edge 5 4) (edge 3 4) (edge 4 3)
```

Pre lepšiu predstavu nám pomôže jednoduchý obrázok hracej plochy x (vytvoriť obr).

3.2.2 Počiatočný stav a generovanie hry

Aby Všeobecný Počítačový Hráč bol schopný hrať hocijakú hru, tak je nutnou podmienkou aby aspoň jeden zo stavov hry bol počiatočný. Ako aj iné spoločenské hry, tak aj Slovania obchodníkmi majú svoj začiatkový stav. Explicitne musíme zadať všetky dôležité hodnoty hráčom. Počiatočný stav sa skladá z predikátu (init (generateGame true)), ktorý evokuje, že máme vygenerovať novú hru. Následne implementujeme pozitívne a negatívne žetóny, ktorých obaja hráči majú po 0. Teda

```
(init (positiveChips blue 0 0 0)) ; meno sprievodca ochranka noveKoleso
(init (positiveChips red 0 0 0))
(init (negativeChips blue 0 0 0)) ; meno bažina zbojníci rozbitá cesta
(init (negativeChips red 0 0 0))
```

Spoločenská hra Slovania obchodníkmi umožňuje zahrávať akcie len hráčovi, ktorý je na ťahu. Teda ak je na ťahu napríklad hráč red, tak potom blue a random nerobia nič (označujeme noop z anglického no operation). Na vygenerovanie hry budeme potrebovať náhodne pridať misie hráčom a to zabezpečíme pomocou hráča random- Legálne ťah pri generovaní vyzerajú potom nasledovne:

```
;hraci okrem random nerobia nic pri generovani hry
(<= (legal ?anyPlayer noop)
(true (generateGame true))
(role ?anyPlayer) (distinct ?anyPlayer random))

;vsetky mozne kombinacie misii, z ktorych random nasledne vyberie nahodne
(<= (legal random (generateMissions ?idBlueM ?idRedM))
(true (generateGame true))
(mission ?idBlueM ?from ?to)
(mission ?idRedM ?from2 ?to2))
```

```
(distinct ?idBlueM ?idRedM))
```

Prvé pravidlo nám hovorí, že ak v sme stave kde generujeme hru, tak hráči blue a random nerobia nič a druhé pravidlo slúži práve na vygenerovanie misií pre hráčov, teda random bude môcť vybrať zo všetkých kombinácii misií avšak nemôžu mať obaja hráči rovnakú misiu.

3.2.3 Legálne ťahy hráčov

```
;hraci mimo ťahu nerobia nic  
(<= (legal ?anyPlayer noop) (true (control ?player ?other))  
(role ?anyPlayer)  
(distinct ?player ?anyPlayer))
```

3.2.4 Následujúci stav

3.2.5 Terminálny stav a odmeny

3.2.6 Pomocné predikáty

Kapitola 4

Testovanie počítačových hráčov

Táto kapitola sa zaoberá skúšaním Všeobecných Počítačových Hráčov na už napísanej hre v GDL jazyku.

Záver

Na záver už len odporúčania k samotnej kapitole Záver v bakalárskej práci podľa smernice [?]: „V závere je potrebné v stručnosti zhrnúť dosiahnuté výsledky vo vzťahu k stanoveným cieľom. Rozsah záveru je minimálne dve strany. Záver ako kapitola sa nečísluje.“

Všimnite si správne písanie slovenských úvodzoviek okolo predchádzajúceho citátu, ktoré sme dosiahli príkazmi `\glqq` a `\grqq`.

V informatických prácach niekedy býva záver kratší ako dve strany, ale stále by to mal byť rozumne dlhý text, v rozsahu aspoň jednej strany. Okrem dosiahnutých cieľov sa zvyknú rozoberať aj otvorené problémy a námety na ďalšiu prácu v oblasti.

Abstrakt, úvod a záver práce obsahujú podobné informácie. Abstrakt je kratší text, ktorý má pomôcť čitateľovi sa rozhodnúť, či vôbec prácu chce čítať. Úvod má umožniť zorientovať sa v práci skôr než ju začne čítať a záver sumarizuje najdôležitejšie veci po tom, ako prácu prečítal, môže sa teda viac zamerať na detaily a využívať pojmy zavedené v práci.

Literatúra

- [1] [https://en.wikipedia.org/wiki/Graph_\(discrete_mathematics\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Graph_(discrete_mathematics)). [Citované 2021-02-03].
- [2] https://en.wikipedia.org/wiki/General_game_playing. [Citované 2021-02-10].
- [3] Michael Thielscher Michael Genesereth. *General Game Playing (Synthesis Lectures on Artificial Intelligence and Machine Le)*. Morgan & Claypool Publishers, 2014.
- [4] Michael Genesereth Nathaniel Love, Timothy Hinrichs. General Game Playing: Game description language specification. Technical report, Stanford University, 2006.

Príloha A: obsah elektronickej prílohy

V elektronickej prílohe priloženej k práci sa nachádza zdrojový kód programu a súbory s výsledkami experimentov. Zdrojový kód je zverejnený aj na stránke <http://mojadresa.com/>.

Ak uznáte za vhodné, môžete tu aj podrobnejšie rozpísať obsah tejto prílohy, prípadne poskytnúť návod na inštaláciu programu. Alternatívou je tieto informácie zahrnúť do samotnej prílohy, alebo ich uviesť na oboch miestach.

Príloha B: Používateľská príručka

V tejto prílohe uvádzame používateľskú príručku k nášmu softvéru. Tu by ďalej pokračoval text príručky. V práci nie je potrebné uvádzať používateľskú príručku, pokiaľ je používanie softvéru intuitívne alebo ak výsledkom práce nie je ucelený softvér určený pre používateľov.

V prílohách môžete uviesť aj ďalšie materiály, ktoré by mohli pôsobiť rušivo v hlavnom texte, ako napríklad rozsiahle tabuľky a podobne. Materiály, ktoré sú príliš dlhé na ich tlač, odovzdajte len v electronickej prílohe.