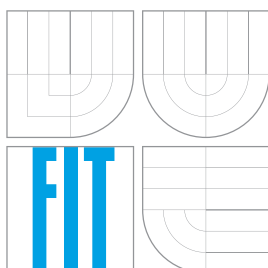


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

MODELOVÁNÍ SEKVENČNÍCH STRATEGICKÝCH HER S NEDOKONALOU INFORMACÍ

MODELLING OF DYNAMIC GAMES WITH IMPERFECT INFORMATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

RICHARD STRAKA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MARTIN HRUBÝ, Ph.D.

BRNO 2010

Abstrakt

Práce se zabývá studiem sekvenčních strategických her a to převážně her s nedokonalou informací, návrhem strategické situace vykazující prvky nedokonalé informace, implementací modelu a experimentováním s modelem. Pro práci byla zvolena hra DarkElf. Jedná se o tahovou strategickou ekonomicko-vojenskou hru, v níž se výsledné akce hráčů aplikují současně v předem známý okamžik.

Abstract

This work concentrates on the study of dynamic games; in particular games with imperfect information, implementation of a model and experimentation with the model. The game DarkElf was chosen for this project. It is a strategic, turn based game with economic and military features, where the decisions made by players are simultaneously implemented at a predetermined time.

Klíčová slova

Teorie her, nedokonalá informace, sekvenční hry, strategická hra, hra v normální formě, hra v rozšířené formě, Nashova rovnováha, DarkElf.

Keywords

Game theory, imperfect information, dynamic games, strategy game, normal form game, extensive form game, Nash equilibrium, DarkElf.

Citace

Richard Straka: Modelování sekvenčních strategických her s nedokonalou informací, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2010

Modelování sekvenčních strategických her s nedokonalou informací

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Martina Hrubého. Další informace mi poskytli tvůrci hry DarkElf a její hráči. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Richard Straka

17. května 2010

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce za vstřícnost při návrhu zadání práce, poskytnutí hodnotné pomoci a odborného vedení.

© Richard Straka, 2010.

Tato práce vznikla jako školní dílo na Vysokém učení technickém v Brně, Fakultě informačních technologií. Práce je chráněna autorským zákonem a její užití bez udělení oprávnění autorem je nezákonné, s výjimkou zákonem definovaných případů.

Obsah

1 Úvod	3
2 Rozbor práce a použité modely	5
2.1 Rozhodování hráčů ve hře	5
2.2 Strategie hráče	7
2.3 Hry v normální formě	8
2.4 Hry v rozšířené formě	9
2.5 Bayesovské hry a preference hráče	12
3 Teoretický návrh modelu hry	14
3.1 Prostředí modelované hry	14
3.2 Rozbor stavu hry	15
3.3 Akce hráče	16
3.4 Atributy hráčů	17
3.5 Funkce užitků hráčů	18
3.6 Řešení a cíle hry	20
4 Implementace modelu hry	23
4.1 Datové struktury	24
4.2 Klíčové algoritmy	25
5 Experimenty s modelem	27
5.1 Popis simulačního prostředí	27
5.2 Vliv počasí na herní rasy	28
5.3 Vliv pozice na mapě	29
6 Analýza strategie hráčů	30
6.1 Výherní strategie hráčů	30
6.2 Ztrátová strategie hráčů	30
7 Závěr	32
A Obsah CD	35
B Instalace a použití programu	36
C Herní plán	37
D Výstup dat herního experimentu 2	38

Kapitola 1

Úvod

Teorie her je matematická disciplína řešící situace, kdy dochází ke střetu zájmů více subjektů. Nabízí mnoho nástrojů na modelování těchto problémů. Z reálného systému tak vytvoříme abstraktní model, který zahrnuje podstatné vlastnosti nutné k jeho správné činnosti. Tomuto říkáme homomorfnní zobrazení mezi systémem a modelem. To znamená, že více prvků reálného systému můžeme nahradit jedním prvkem v modelu, nebo nahradíme reálný prvek prvkem jednodušším. Implementací abstraktního modelu získáme simulační model, se kterým můžeme následně experimentovat. Zde už se jedná o zobrazení izomorfnní, tj. všechny prvky abstraktního modelu musí být správně implementovány v modelu simulačním.

Experimentováním s těmito modely můžeme zjišťovat, jak se modelovaný systém bude chovat při určitých podmínkách, jak se subjekty, které nazýváme hráči, rozhodnou a co je k tomuto rozhodnutí vedlo. Takto si můžeme také ověřit porovnáním výsledku reálného systému a modelu, zda je model správně navržený (validace modelu) a implementovaný (verifikace modelu). Pokud se liší a nestačí nám jeho přesnost, musíme model doplnit o nové poznatky, nebo celý znova navrhnout.

Při modelování těchto systémů se opíráme o funkce užitku. Každé rozhodnutí s sebou nese určitý zisk, či ztrátu a tyto můžeme následně ohodnotit, jaký užitek hráči přinesou. Když máme takto ohodnoceny všechny důsledky rozhodnutí hráče, můžeme si mezi nimi racionálně vybrat rozhodnutí s největším užitekem pro hráče. Jelikož se jedná o hru více hráčů, můžeme ohodnotit dopad rozhodnutí na ostatní hráče a zjistit jejich reakci na něj.

Tato práce se specializuje na sekvenční strategické hry s nedokonalou informací. Jedná se o hry, kdy se hráči střídají ve svých tazích. Hráči vědí přesně, kdo je kdy na tahu, ale nemají dokonalou informaci o stavu hry, ve kterém se nacházejí. To znamená, že nejsou schopni rozhodnout, který tah provedli jejich protihráči. K tomuto může dojít buď v případě, že některé akce hráčů jsou tajné, nebo jsou akce vyhodnocovány současně. Hráči jsou tedy schopni do jisté míry odhadnout možnosti svých protihráčů, ale již nezjistí, jak se rozhodnou.

Toto vede ke dvěma odlišným způsobům řešení daného problému.

1. Řešení jako hra v normální formě. Jednotlivá rozhodnutí vložíme do matice a ohodnotíme důsledky všech kombinací akcí hráčů. Dominované strategie eliminujeme a

zůstanou nám pak tzv. equilibria (rovnovážné stavy), kde žádný hráč nemůže provést jednostrannou změnu strategie, aniž by si pohoršil.

2. Řešení jako hra v rozšířené formě. Zde musíme hru doplnit o pravděpodobnostní rozšíření, tj. akce hráče doplníme o preference. To znamená přiřazení procentuální pravděpodobnosti k jednotlivým akcím hráče. Tím se můžeme pokusit odhadnout pravděpodobnou akci protihráče a podle ní se rozhodnout, jakou akci zvolit. Simuluje to v podstatě situaci, jakoby se tahy (akce) provedly za sebou, nikoli současně.

Jako modelovaný systém jsem vybral hru *DarkElf* [6]. Je to online strategická hra kombinující ekonomické prvky, armádu, kooperaci hráčů, trh se surovinami a v neposlední řadě i vliv pověsti, protože po dosažení koncového stavu hry dochází k jejímu opakování. Hra je postavena na výrazné roli mapy (rovinný graf) a polohy hráčů na ní. Hráči mají k dispozici řadu herních akcí, které se v předem známý okamžik vyhodnotí jako jediná atomická akce. Pro ostatní hráče jsou prvky, ze kterých se akce skládá, nerozlišitelné, ostatní hráči vidí pouze některé jejich důsledky. Ve hře je navíc jeden speciální hráč „náhoda“, který určuje pořadí, ve kterém se provedou akce hráčů, a sám provádí některé náhodné akce ovlivňující hru.

Z důvodu rozsahu práce byly prvky hry přesahující strategické rozhodování jednoho hráče zanedbány a jsou dále zmíněny v *námětech na rozšíření*.

Kapitola 2

Rozbor práce a použité modely

V této kapitole se zabývám teoretickým studiem problematiky teorie her. Kapitola obsahuje převážně citace termínů, modelů a postupů používaných v teorii her. Uvedl jsem i termíny, které jsem v práci nepoužil, ale jsou důležité pro lepší úvod do problematiky. Tyto jsem doplnil o vztah k problematice méj práce a o příklady jejich použití. Následující informace byly zdrojem inspirace pro návrh mého řešení a jeho budoucí rozšíření.

2.1 Rozhodování hráčů ve hře

Pojmy použité v kapitole:

- $X \neq \emptyset$ množina všech potenciálně možných výsledků dosažitelných strategickým chováním.
- $\succsim$ úplné uspořádání na X , to znamená, že prvky množiny X jsou uspořádané za sebou a jsou vzájemně porovnatelné.
- $D \neq \emptyset$ množina možných alternativ rozhodnutí hráčů.
- $\rho : D \rightarrow X$ výsledková funkce: každému rozhodnutí d přiřazuje nějakou matematickou strukturu $\rho(d)$ na množině X (rozhodnutí d „vede“ k nějakému výsledku nebo kombinaci výsledků).
- **Rozhodování** = akt výběru prvku $d \in D$.
- **Rozhodující** = subjekt vykonávající výběr.

Podle schopnosti rozlišovat mezi důsledky rozhodování dělíme rozhodující do tří skupin:

- Racionální (inteligentní) - jeho rozhodování je uvědomělé, zaměřené k určitému cíli, využívá všech objektivně dostupných informací o důsledku voleb jednotlivých alternativ.
- Iracionální (neinteligentní, indiferentní) - lhostejný k důsledkům rozhodování („svět“, „příroda“). Alternativy volby rozhodujícího se obvykle nazývají stavy.
- p -inteligentní - s pravděpodobností p se chová jako inteligentní rozhodující, s pravděpodobností $1 - p$ jako neinteligentní.

Rozhodování hráčů za jistoty

Rozhodování probíhá za jistoty, jestliže pro každé $d \in D$ platí:

$$\rho(d) = x \in X,$$

to znamená, že každá z alternativ $d \in D$ vede ke známému, jednoznačně danému důsledku $x \in X$ [4].

Možnost použití je například při rozhodování mezi dvěma alternativami akce, kde každá má jiné vedlejší účinky a budoucí následky. Zde jsou známé důsledky rozhodnutí a toto rozhodnutí je podpořeno ohodnocující funkcí užitku.

Například rozhodnutí o tom, jestli poslat silný útok, který je i v budoucnu použitelný, ale je nákladnější, anebo poslat dva slabší, které jsou v budoucnosti nepoužitelné.

Rozhodování hráčů za rizika - loterie

Rozhodování probíhá za rizika, jestliže výsledková funkce ρ přiřazuje každému rozhodnutí $d \in D$ nějaké rozložení pravděpodobnosti $P(d)$ na množině výsledků X , tedy platí

$$\rho(d) = P_d.$$

Jinými slovy, každé rozhodnutí vede k nějakému prvku z jisté množiny výsledků, přičemž jsou známy pravděpodobnosti, s nimiž jednotlivé důsledky nastanou.

Risk by neměl být hodnocen podle střední hodnoty zisku, ale spíše podle střední hodnoty užitku, který tento zisk přinese.

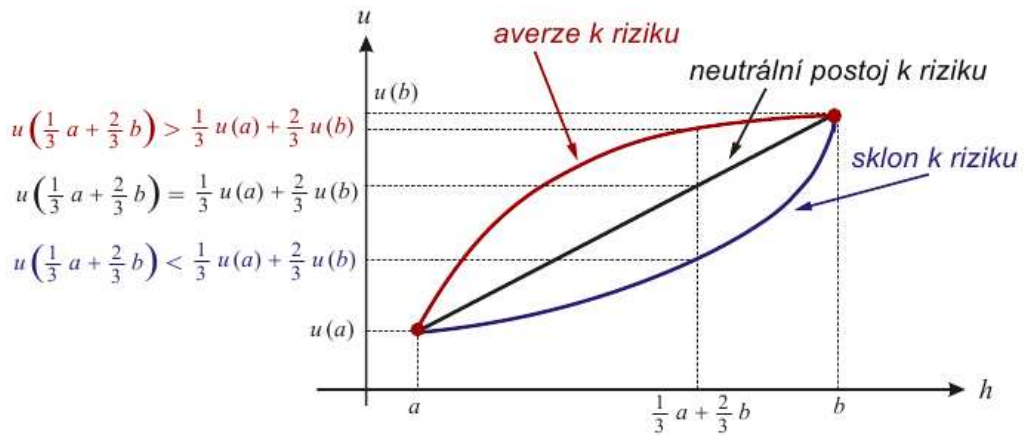
Funkce užitku $u(x)$ - počet jednotek užitku z vlastnictví částky x . Při zvětšení počáteční částky x na $x + dx$ je přírůstek užitku $du(x)$ přímo úměrný přírůstku dx a nepřímo úměrný částce x :

$$\begin{aligned} du(x) &= \frac{b dx}{x} & b > 0 (\text{konstanta úměrnosti}) \\ u(x) &= b \ln x + c & c \in \mathbb{R} \\ &= b \ln x - b \ln \alpha & \alpha \in (0, \infty) \\ u(x) &= b \ln \frac{x}{\alpha} & \alpha - \text{hodnota počátečního majetku} \end{aligned}$$

- h - hodnota zisku.
- u - užitek ze zisku.

Vyjádření postoje k riziku pomocí funkce užitku [4].

Na obrázku 2.1 je znázorněno, jak postoj k riziku ovlivňuje funkci užitku. Při rozhodování mezi možnostmi volí hráč možnost s největším průměrným užitekem. Neutrální postoj má rozhodovací charakteristiku lineární. Při averzi k riziku je funkce užitku nelineární a prohnutá směrem nahoru, tzn. užitek ze zisku bez rizika je mnohem vyšší než při riziku. Při náchylnosti k riziku je to naopak.



Obrázek 2.1: Postoj hráče k riziku [4]

Rozhodování hráčů za neurčitosti

Rozhodování probíhá za neurčitosti, jestliže výsledková funkce ρ přiřazuje každému rozhodnutí $d \in D$ nějakou množinu výsledků $X_d \subseteq X, t.j.$

$$\rho(d) = P_d \subseteq X.$$

Jinými slovy, každé rozhodnutí vede k nějakému prvku z jisté množiny důsledků, přičemž pravděpodobnosti, s nimiž jednotlivé důsledky nastanou, nejsou známy (či ani nemají smysl) [4]. **Například** je to vliv „přírody“, neboli náhoda, nebo jev bez hráči známé příčiny.

2.2 Strategie hráče

Strategie optimální odpovědi Best response

$s^* = (s_{-i}^*, s_i^*) \in S$ je profil strategií. Strategii s_i^* nazýváme optimální odpovědí na s_{-i}^* , pokud

$$u_i(s_{-i}^*, s_i^*) = \max_{s_i \in S_i} u_i(s_{-i}^*, s_i). \quad (2.1)$$

Množinu všech optimálních odpovědí na s_{-i}^* značíme $B(s_{-i}^*)$, tj.

$$B(s_{-i}^*) = \{s_i' \in S_i : u_i(s_{-i}^*, s_i') = \max_{s_i \in S_i} u_i(s_{-i}^*, s_i)\}. \quad (2.2)$$

Pojmu optimální odpovědi použijeme k definici Nashovy rovnováhy. V rovnováze, jak již název naznačuje, žádný z hráčů nemá důvod (motivaci) svoji strategii jednostranně měnit. To nastává v případě, že každý z hráčů volí optimální odpověď na strategie ostatních hráčů [1].

Nashova rovnováha v ryzích strategiích

Profil strategií $s^* \in S$ nazýváme Nashova rovnováha v ryzích strategiích (Nash Equilibrium in pure strategies), pokud [1]

$$s_i \in B(s_{-i}^*), \forall i \in N. \quad (2.3)$$

Nashova rovnováha (**NR**) je stav, kdy jakákoliv jednostranná změna strategie vede ke zhoršení zisku.

Nashova rovnováha ve smíšených strategiích

Existují hry, které nemají Nashovu rovnováhu v ryzích strategiích. V ryzích strategiích se hráči rozhodují deterministicky podle výše zisku.

Ve smíšených strategiích je toto rozhodování rozšířeno o vliv pravděpodobnosti (*pravděpodobnostní rozšíření*). Pravděpodobnostní rozšíření hry v normální formě $\{N, \{S_i\}_{i \in N}, \{u_i\}_{i \in N}\}$ je hra $\{N, \{\Delta S_i\}_{i \in N}, \{U_i\}_{i \in N}\}$, kde ΔS_i je množina pravděpodobnostních rozdělení nad množinou S_i a $U_i : \Delta S_i \times \cdots \times \Delta S_N \rightarrow \mathbb{R}$ přiřazuje každému prvku množiny $\sigma \in \Delta S_i \times \cdots \times \Delta S_N$ očekávanou střední hodnotu hry

$$U_i(s) = \sum_{s \in S} \left(\prod_{j \in N} \sigma_j(s_j) \right) u_i(s) \quad (2.4)$$

pro konečné množiny S [1].

2.3 Hry v normální formě

Hrou v normální formě nazýváme trojici

$$(N, \{S_i\}_{i \in N}, \{u_i : S_1 \times \cdots \times S_N \rightarrow \mathbb{R}\}_{i \in N}), \quad (2.5)$$

kde N je konečná množina hráčů, S_i je množina strategií i -tého hráče a u_i je výherní (payoff) funkce i -tého hráče. Prvky množiny $S = \times_{i \in N} S_i$ nazýváme profily strategií.

Hru lze rovněž definovat pomocí preferenčního uspořádání množiny výsledků (tj. kompletní, reflexivní a tranzitivní binární relace)

$$(N, \{S_i\}_{i \in N}, \{\succeq_i\}_{i \in N}), \quad (2.6)$$

kde N je konečná množina hráčů, S_i je množina strategií i -tého hráče, a $\succeq_i$ je preferenční uspořádání na množině S pro i -tého hráče [1].

Řešení her v normální formě

Tabulka 2.1 ukazuje maticový zápis hry v normální formě. Osa x popisuje akce hráče B a osa y akce hráče A . Obsahem matice jsou užítky hráčů plynoucí z jejich akcí. Řešení hry probíhá jako eliminace dominovaných strategií. Hráč A nezahraje akci **top**, jelikož ať zahraje hráč B cokoliv, bude mít hráč A menší užitek, než kdyby zahrál akci **bottom**. Obdobně hráč B nezahraje akci **left**, protože nezávisle na akci hráče A z ní bude mít menší užitek než z akce **right**. Z toho vyplývá, že hra má jednu rovnováhu (equilibrium), a tou je (**bottom;right**).

A/B	left	right
top	1;2	3;4
bottom	5;6	7;8

Tabulka 2.1: Hra v normální formě[3]

2.4 Hry v rozšířené formě

Hry v rozšířené formě neboli poziční hry popisují aktuální stav hry, kdo je na tahu, co může zahrát a jaké informace zná.

Hry s dokonalou informací

Hrou v rozšířené formě s dokonalou informací (*extensive game with perfect information*) je taková hra, kdy každý hráč zná předchozí tahy všech hráčů.

$$(N, H, Z, P, \{u_i : Z \rightarrow \mathbb{R}\}_{i \in N}), \quad (2.7)$$

kde:

- N je konečná množina hráčů,
- H je množina posloupností splňujících:
 - prázdná posloupnost je jejím prvkem: $\emptyset \in H$,
 - pokud daná posloupnost náleží do $H : (s^k)_{k=1, \dots, K} \in H, K \in \mathbb{N} \cup \{\infty\}$, pak i každá kratší posloupnost leží v H , tj. pro všechna $L < K, (s^k)_{k=1, \dots, L} \in H$,
- prvky množiny H nazýváme historie, prvky historií nazýváme akce,
- $Z \subset H$ je množina těch terminálních historií $(s^k)_{k=1, \dots, K} \in H$, tedy těch posloupností z H , které jsou buď nekonečné, anebo neexistují $(s^k)_{k=1, \dots, K+1} \in H$,
- funkce $P : H \setminus Z \rightarrow N$ přiřazuje každé neterminální historii hráče, který po dané historii hraje (volí akci),
- u_i je užitková funkce přiřazující každé terminální historii výhru daného hráče.

Pokud je množina H konečná, mluvíme o konečné hře. Pokud jsou všechny historie z H konečné, mluvíme o hře s konečným horizontem.

Pro každou neterminální historii h označujeme (h, a) historii, ve které h je následována akcí a a je tedy o jednotku delší. Pro každou historii h hráč $P(h)$ volí akci z množiny:

$$A(h) = \{a : (h, a) \in H\}. \quad (2.8)$$

Strategie i -tého hráče v poziční hře s dokonalou informací je funkce, která každé neterminální historii $h \in H \setminus Z$, po které hraje hráč i , tj. $P(h) = i$, přiřazuje akci z množiny $A(h)$. Strategie obvykle značíme s_i , jejich množinu S_i .

Výsledkem hry je terminální historie, ke které vede hra podle onoho strategického profilu. Pomocí strategií můžeme snadno definovat strategickou formu poziční hry.

Nashovou rovnováhou poziční hry s dokonalou informací je strategický profil hry $(s_i^*)_{i \in N}$ takový, že [1]

$$u_i(s_{-i}^*, s_i^*) \geq u_i(s_{-i}^*, s_i), \forall s_i \in S_i, \forall i \in N. \quad (2.9)$$

Řešení hry pomocí zpětné indukce

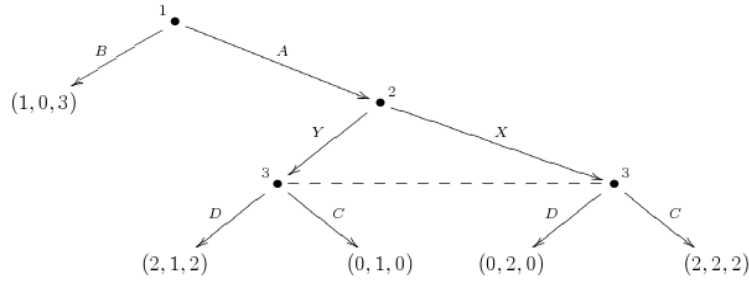
Při zpětné indukci se hra řeší od konce - postupuje se od nejnižších úrovní a každý neterminální uzel se nahrazuje terminálním s takovou hodnotou, jaká odpovídá řešení této úrovně. Řešení pomocí zpětné indukce vyžaduje, aby akce, kterou hráč volí, byla optimální pro dané strategie protihráčů po každé historii. Profil těchto strategií, které tyto požadavky splňují, je nazýván *dokonalá rovnováha vzhledem k podhrám* (subgame perfect equilibrium).

Podhra poziční hry

Podhra poziční hry $\Gamma(h)$ je to taková hra, která vychází z rozhodovacího uzlu, jehož všichni následníci patří pod tento bod a nerozděluje žádnou informační množinu.

$$(N, H|_h, Z|_h, P|_h : H|_h \setminus Z|_h \rightarrow N, \{u_i|_h : Z|_h \rightarrow \mathbb{R}\}_{i \in N}), \quad (2.10)$$

kde $H|_h$ je množina historií h' takových, že $(h, h') \in H$, funkce $P|_h$ je definovaná předpisem $P|_h(h') = P(h, h')$ pro všechna $h' \in H|_h$. Množina terminálních historií $Z|_h$ je definována jako v definici poziční hry a $u_i|_h$ jsou definována pomocí u_i takto: $u_i|_h(h') = u_i(h, h')$ [1].



Obrázek 2.2: Podhra hry v rozšířené formě

Na obrázku 2.2 je zobrazená hra obsahující dvě podhry, hru samotnou a podhru začínající tahem druhého hráče. Pokud v **každé** podhře je nalezena Nashova rovnováha, jedná se pak o dokonalou rovnováhu vzhledem k podhrám (**DRVP**).

DRVP nazýváme takový profil strategií s^* hry $\Gamma = \{N, H, Z, P : H \setminus \rightarrow M, \{u_i : Z \rightarrow \mathbb{R}\}_{i \in N}\}$, kdy pro každého hráče $i \in N$ a každou neterminální historii $h \in H \setminus Z$ takovou, že $P(h) = i$, platí

$$u_i|_h(s_{-i}^*|_h, s_i^*|_h) \geq u_i|_h(s_{-i}^*|_h, s_i) \quad (2.11)$$

pro všechny strategie s_i podhry $\Gamma(h)$. Z Definice vyplývá že **DRVP** je také Nashovou rovnováhou [1].

Hry s nedokonalou informací

Hry s nedokonalou informací, též nazývané Bayesovské hry, jsou hry, jež nevyžadují úplnou znalost pravidel a stavu hry. Lze je zapsat následující 7-micí

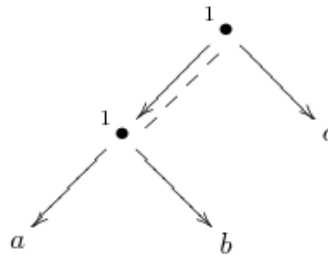
$$(N, H, Z, f_{\mathcal{F}}, P, \mathbb{I}_{i \in N}, \{u_i : Z \rightarrow \mathbb{R}\}_{i \in N}), \quad (2.12)$$

kde:

- N je konečná množina hráčů, $\mathcal{F}$ je hráč „náhoda“,
- H je množina posloupností splňujících tyto podmínky:
 - prázdná posloupnost je jejím prvkem: $\emptyset \in H$,
 - pokud daná posloupnost náleží do $H : (s^k)_{k=1,\dots,K} \in H, K \in \mathbb{N} \cup \{\infty\}$, pak i každá kratší posloupnost leží v H , tj. pro všechna $L < K, (s^k)_{k=1,\dots,L} \in H$,
- prvky množiny H nazýváme historie, prvky historií nazýváme akce,
- $Z \subset H$ je množina těch terminálních historií $(s^k)_{k=1,\dots,K} \in H$, tedy těch posloupností z H , které jsou buď nekonečné, anebo neexistují $(s^k)_{k=1,\dots,K+1} \in H$,
- funkce $f_{\mathcal{F}}$ přiřazuje každé historii h takové, že $P(h) = \mathcal{F}$ pravděpodobnostní rozdělení $f_{\mathcal{F}}(\cdot|h)$ na množině $A(h)$,
- funkce $P : H \setminus Z \rightarrow N \cup \{\mathcal{F}\}$ přiřazuje každé neterminální historii hráče, který po dané historii hraje (volí akci),
- pro každého hráče $i \in N$ označuje $\mathbb{I}_i = \{I_j\}_{j=1,\dots}$ rozdělení množiny $\{h \in H : P(h) = i\}$ takové, že $A(h) = A(h')$ pokud h a h' náleží do téže množiny rozdělení, značíme $A(I_i)$ množinu $A(h)$ a $P(I_i)$ množinu $P(h)$ pro libovolnou historii $h \in I_i$, rozdělení $\mathbb{I}_i$ nazýváme informační rozdělení, jeho prvky informačními množinami i -tého hráče,
- u_i je užitková funkce přiřazující každé terminální historii výhru daného hráče.

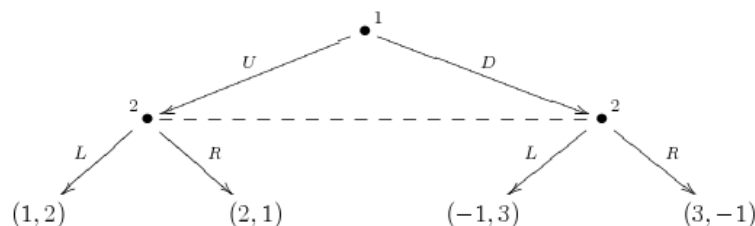
Tato definice zavádí pojmy: informační rozdělení, informační množinu a nového hráče $\emptyset$ - náhodu [1].

V hrách s nedokonalou informací se řešení pomocí zpětné indukce nedá přímo použít, protože více uzlů (akcí hráče) patří do stejné informační množiny. To znamená, že nelze s jistotou říct, v jakém stavu se hra nachází. K tomu může dojít buď z důvodu, že některé tahy hráčů jsou tajné, anebo k tahům dochází ve stejný okamžik. Další možnost je, že hráč zapomene část své vlastní historie. Na obrázku 2.3 hráč 1 nedokáže rozeznat, v kterém uzlu se nachází, protože „zapomněl“ svůj minulý tah. Na obrázku 2.4 je znázorněn graf hry, kdy hráč 2 nedokáže s jistotou říct, jakou akci zahrál hráč 1.



Obrázek 2.3: Nedokonalá paměť

Možná řešení her s nedokonalou informací jsou:



Obrázek 2.4: Nedokonalá informace

- pomocí zpětné indukce za použití **DRVP**,
- převedení hry do normální formy,
- přidání preferencí hráčů.

2.5 Bayesovské hry a preference hráče

Preference hráče zavádějí v hrách s nedokonalou informací subjektivní pravděpodobnostní rozdělení preferencí ostatních hráčů. Toto vede k rozsáhlým modelům, protože osobní preference, které mají velkou váhu v rozhodování hráče, nejsou ostatním hráčům známy. Tyto preference silně ovlivňují i odhad preferencí ostatních hráčů („my si myslíme, že soupeř si myslí, co si myslíme...“).

Bayesův teorém

Bayes zjistil, že pokud máme dva neslučitelné jevy, jejichž průnikem je jev jistý (tzv. úplný systém jevů), pak se pravděpodobnost po provedení pokusu, při kterém nastaly oba jevy, dá snadno vypočítat:

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) P(A)}{P(B)}. \quad (2.13)$$

- $P(A)$ je prvotní pravděpodobnost či okrajová pravděpodobnost jevu A . Prvotní znamená, že nebere v úvahu jev B .
- $P(A|B)$ je podmíněná pravděpodobnost jevu A , daná jevem B . Je též nazývaná jako následná pravděpodobnost, protože závisí na jevu B .
- $P(B|A)$ je podmíněná pravděpodobnost jevu B daná jevem A . Též je nazývaná likelihood, věrohodnost.
- $P(B)$ je prvotní pravděpodobnost či okrajová pravděpodobnost jevu B a chová se jako normalizační konstanta.

Typy hráčů

Každý hráč má své specifické vlastnosti, náchyllost k riziku, preference a zkušenosti. Určením typů hráčů a jejich pravděpodobnosti výskytu můžeme vypočítat specifické užitky jejich akcí.

Bayesovské hry [5]

Hra s neúplnou informací je hra, ve které každý hráč zná svoji vlastní výplatní funkci, ale není si jist výplatní funkcí ostatních hráčů. Označme možné výplatní funkce i -tého hráče jako $u_i(a_1, a_2, \dots, a_n, t_i)$, kde t_i označuje typ i -tého hráče a je prvkem množiny možných typů i -tého hráče, kterou značíme T_i .

i -tý hráč sice nezná typ ostatních hráčů, ale má o nich svůj názor, vyjádřený pravděpodobnostním rozdělením $p_i(t_{-i}|t_i)$, kde $t_{-i} = (t_1, \dots, t_{i-1}, t_{i+1}, \dots, t_n)$ označuje typy ostatních hráčů.

Ve statické Bayesovské hře se zadávají tyto vlastnosti resp. atributy:

- prostor možných akcí jednotlivých hráčů $A_1, \dots, A_n$,
- prostor možných typů hráčů, $T_1, \dots, T_n$,
- pravděpodobnosti $p_1, \dots, p_n$, které jednotliví hráči přiřazují typům ostatních.

Typ i -tého hráče $t_i \in T_i$ je znám jemu samotnému a určuje jeho výplatní funkci $u_i(a_1, \dots, a_n; t_i)$.

Pro takovou hru použijeme označení $H = (A_1, \dots, A_n, T_1, \dots, T_n, p_1, \dots, p_n, u_1, \dots, u_n)$.

Časování hry je následující:

1. Je určen vektor typů hráčů $(t_1, \dots, t_n)$.
2. Každému hráči je oznámen jeho typ, ale ne typy ostatních.
3. Hráči současně vyberou akce z prostorů $A_1, \dots, A_n$.
4. Hráči obdrží výplaty $u_i(a_1, \dots, a_n; t_i)$.

Strategie i -tého hráče ve statické Bayesovské hře je funkce $s_i(t_i)$, která pro každý z možných typů t_i určuje akci z množiny A_i , kterou by typ t_i zvolil, kdyby byl v prvním kroku vybrán. Mohlo by se zdát zbytečné, aby i -tý hráč určoval svoje akce i pro typy, kterými není, když on sám svůj typ zná. Při svém rozhodování ale musí brát v úvahu akce ostatních hráčů, a ty závisí na tom, co si ostatní hráči myslí o jeho vlastní akci, která závisí na t_i . Ve hře s neúplnou informací se hráči snaží maximalizovat očekávanou výplatu vzhledem k pravděpodobnostem přiřazeným jednotlivým typům soupeřů. Následující definice zobecňuje pojem Nashovy rovnováhy na hry s neúplnou informací.

Strategie $(s_1^*, \dots, s_n^*)$ ve statické Bayesovské hře $H = (A_1, \dots, A_n, T_1, \dots, T_n, p_1, \dots, p_n, u_1)$ tvoří Bayesovskou Nashovu rovnováhu, pokud platí:

$$s^*(t_i) = \max_{a_i \in A_i} \sum_{t_{-i} \in T_{-i}} u_i(s_1^*(t_1), \dots, s_{i-1}^*, a_i, s_{i+1}^*(t_{i+1}), \dots, s_n^*(t_n); t) p_i(t_{-i}|t_i). \quad (2.14)$$

Důležité v této definici je, že podmínka musí platit pro všechny možné typy každého hráče. V Bayesovské Nashově rovnováze tedy žádný hráč nemá důvod měnit svoji strategii, i kdyby se tato změna týkala jen jednoho jeho možného typu, ať realizovaného nebo nerealizovaného [5].

Kapitola 3

Teoretický návrh modelu hry

Jako modelovaný systém byla zvolena hra *DarkElf* [6], protože splňuje všechny podmínky hry s nedokonalou informací a je tedy vhodným podkladem pro model hry. Jedná se o tahovou strategickou ekonomicko-vojenskou hru, v níž se výsledné akce hráčů aplikují současně v předem známý okamžik. Hráči nevidí aktuální stav svých protihráčů. Vidí pouze jejich stav z okamžiku *přepočtu*, tj. doby, kdy dochází současně k provedení akcí všech hráčů, viz kapitola 3.3. Proti původní hře byl model z důvodu názornosti a složitosti zjednodušen.

Model hry se skládá ze dvou hlavních částí, samotného modelu systému a nástavby implementující rozhodování hráčů.

3.1 Prostředí modelované hry

Modelovaná hra obsahuje následující herní prvky:

- *Přepočet* - okamžik, kdy dochází k vyhodnocení akcí hráčů a jejich vzájemné interakci.
- *Zlato* - herní měna, platidlo.
- *Mana* - energie, je oboustranně směnitelná za zlato, využívá se ke stavbě některých staveb a sesílání *kouzel*, tj. operací ovlivňující hráče samotného, ostatní hráče, nebo stav hry.
- *Herní plán* M je plocha, na které probíhá hra. Skládá se ze zemí z , které jsou rozmístěné na tomto herním plánu. Herní plocha obsahuje 51 zemí (originální plán v modelované hře obsahuje 450 zemí) a připomíná mapu. M je graf tvořený uspořádanou dvojicí množiny vrcholů (zemí) Z a množiny hran E :

$$M = (Z, E), \quad (3.1)$$

kde:

- Země $z \in Z$ je následující n-tice:

$$z = (B_z, S, D, l, a). \quad (3.2)$$

- * Množina bonusů B země z obsahuje procentuální koeficienty $b_o \in B$ ovlivňující obranu, $b_z \in B$ zisky zlata a $b_m \in B$ many.

- * S je množina staveb $s \in S$ ovlivňující zisky, vojenskou a magickou sílu země z . V modelované hře je řada staveb; s ohledem na složitost byly do modelu implementovány pouze základní stavby jako *sýpka* (zvyšuje přírůstek lidí za odehrané herní kolo o dva) a *cech války* (umožňuje verbovat útočný typ vojenských jednotek).
- * $D \in \mathbb{N}$ je počet domů, které jsou domovem pro lidi l produkující zisk, nebo vojenské jednotky a , kde $l \in \mathbb{N}^0, a \in \mathbb{N}^0, l + a \leq D$.
- Hrana $e \in E = (z_1 \in Z, z_2 \in Z, v = 1)$ je vztah mezi zeměmi z_1, z_2 definující vzájemnou sousednost a vzdálenost těchto zemí v .

Přehled herního plánu je v dodatku C na straně 37.

- *Počasí* je stochastický prvek hry ovlivňující některé herní charakteristiky. Během každého přepočtu může dojít ke změně počasí; pravděpodobnost změny počasí není hráčům známa. *Lidé, magické jednotky* a *ekonomické stavby* tvoří určitý zisk zlata a *many*. Tento zisk můžeme brát jako základ, který dále ovlivňuje počasí a magie. Počasí je koeficient nabývající hodnot z množiny $\{50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 120, 130, 140, 150\}$. Vliv počasí na zisk hráče je popsán následujícím vztahem $\text{zisk} = \text{základní zisk} * \frac{\text{koeficient}}{100}$. Celá funkce zisku je popsána v kapitole 3.5. Dále stejným způsobem počasí ovlivňuje cenu domů.
- *Pod-akce* - herní operace, kterou může vykonat hráč, viz kapitola 3.3.
- *Magie, kouzla* - druh pod-akce ovlivňující stav hry, dělí se na pozitivní a negativní. Dále se dělí na ekonomická kouzla, která obdobně jak počasí ovlivňují zisky hráče, a na kouzla s vojenským využitím, která například ničí obranné stavby a snižují vojenskou obranu. V modelu jsou implementovaná, ale kvůli složitosti se s nimi nepracuje.
- *Vojenský útok* - druh pod-akce, při které je poslána armáda do sousední země, a pokud je síla útoku větší jak obrana cílové země, je připojena k zemím hráče.
- *Herní rasa* - příslušnost hráče k některému hernímu národu, kterou si hráč volí sám na začátku hry. Ovlivňuje počáteční podmínky hráče a další hráčovy parametry. Hra obsahuje 11 herních ras $r \in \mathcal{R}$, které se liší počátečními prostředky, silou jednotek a silou magie. Tyto vlastnosti velmi ovlivňují herní strategii hráče i samotný výsledek hry při určitých startovních podmínkách. Přehled herních ras je v dodatku E na straně 41.

3.2 Rozbor stavu hry

Popis stavu hry obsahuje veřejné a privátní informace dostupné jen příslušnému hráči. Veřejné informace, až na pořadí v žebříčku hráčů ve statistikách počtu *many* a *zlata*, které jsou aktuální, pocházejí z okamžiku přepočtu.

Veřejné informace

- *Herní rasa* hráče.
- Informace o *zemích* hráčů včetně neúplných informací, jako je síla *armády* (nikoliv její složení), přibližný odhad počtu domů zaokrouhlený dolů na hranice $\{< 50, 50, 100, 150,$

$200, > 250\}$ a některé stavby veřejně viditelné (*pevnosti* a *magické věže*) a informace o tom, mezi kterými zeměmi jsou vyhlášené *války*.

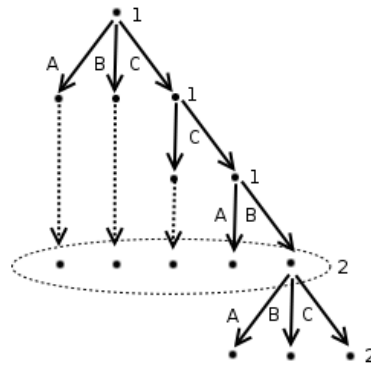
- Statistika: celková síla hráče, síla *armády* hráče, množství *zlata* a *many* v porovnání s ostatními hráči.
- *Počasí* ovlivňující cenu *domů* a příjmy *zlata* a *many*.

Privátní informace

- Počet *herních kol*, množství *zlata*, *many* a síla *kouzel*.
- Počet *domů*, postavené stavby, přesné složení *armády*, počet *lidí* v každé hráčově *zemi* a *smlouvy* s okolními *zeměmi*.
- *Útoky* a *magie* odeslané hráčem.

3.3 Akce hráče

Akce hráče je komplexní změna stavu složená z menších základních operací. Tyto základní operace (pod-akce) jsou prostředek hráče k ovlivnění aktuálního stavu.



Obrázek 3.1: pod-akce hráče

Pod-akce (A, B, CCA, CCB) jsou pro ostatní hráče nerozlišitelné a tvoří jedinou atomickou akci. Akce hráčů jsou pak vyhodnoceny během *přepočtu*. Ostatní hráči pocítí až důsledek této atomické skupiny akcí, viz kapitola 3.2 popisující stav hry.

Seznam pod-akcí, které mohou hráči provést:

- odehrát *herní kolo* - provedou se přírůstky *obyvatel* v zemích a hráči se připočte zisk *zlata* a *many* za *lidí* a stavby,
- postavit, zbořit stavby,
- postavit *domy*,

- naverbovat, propustit vojenské jednotky,
- poslat *útok* na zemi,
- seslat *kouzla*.

Jejich výběr a pořadí závisí na následujících aspektech.

Dílčí cíle: Stanovení dílčích cílů pro akci aplikovanou na aktuální stav vedoucí k dosažení cíle hry. Pro jejich stanovení je třeba analýza stavu hry a soupeřů.

Analýza stavu hry: Nejdříve hráč musí vyhodnotit okolní země, jejich obrany, dostupnost, strategické hodnoty, následně náklady na jejich útok a výhodnost těchto útoků.

Analýza soupeřů: Zjištění preferencí ostatních hráčů, vojenských možností a vyhodnocení jejich stavu hry a vliv akcí ostatních hráčů na hráče.

3.4 Atributy hráčů

Náchylnost hráče k riziku

Náchylnost hráče k riziku je vlastnost, která mění užitek hráče z výsledku akce. Upravuje užítkovou funkci tak, že stejná hodnota zisku má různý užitek pro hráče s různým sklonem k riziku. Pokud není vztah hráče k riziku neutrální, upravená funkce užitku musí být nelineární, protože právě tato nelinearita modeluje vztah hráče k riziku. Na obrázku 2.1 jsou vyobrazeny charakteristiky hráčů s různým vztahem k riziku. Čím je hráč více náchylný k riziku, tím více je pro něj nerozeznatelný užitek z hodnoty zisku bez rizika a z hodnoty neúspěšného risku. U hráče s averzí k riziku je to opačné; rozdíl mezi užitekem z prohry a užitekem ze zisku bez rizika je větší než rozdíl mezi užitekem ze zisku bez rizika a případné výhry.

Paměť hráčů

Schopnost pamatovat si předchozí stavy hry, stavy hráče samotného a stavy jednotlivých protihráčů. Jedná se o hloubku informace o akcích a v historii H . Tato schopnost je značně omezená a liší se podle charakteru informace.

- U stavu hry je hráč schopen si pamatovat základní informace, jako je vývoj *počásí*, více než tři *přepočty*. Složitější informace, jako je síla neutrálních *zemí*, se hůře pamatuje a omezuje se většinou jen na okolní *země* a na horizont maximálně jeden až dva *přepočty*.
- Stav vlastní si je hráč schopen zapamatovat a vybavit mnohem snadněji. Nejsnadnější je vývoj počtu *zemí* a postupu jejich získávání. Dále si hráč pamatuje svůj vývoj síly *kouzel*, průměrný počet *domů*.
- U historie stavů protihráčů je nejdůležitější informace o vývoji počtu a postupu dobývání *zemí*. Když hráč zná, odkud a kam protihráč zaútočil, získá tím taktickou výhodu, protože obě tyto *země* jsou pak velmi zranitelné.

Protože je vliv historie na rozhodování rozsáhlý a možnosti uchovávání informací o předchozích stavech omezené, je důležité stanovit pro každý typ informace jeho rozsah a dobu dostupnosti v bázi znalostí.

Schopnost hráčů uvažování do budoucnosti

Jedná se o schopnost hráčů odvodit budoucí stavy hry a dopad rozhodnutí o výběru budoucích akcí na stav hry. Formálně řečeno, je to výška (hloubka) stromu akcí, do které je hráč schopen vygenerovat možné akce.

Preciznost rozhodování hráčů

S narůstající složitostí stavu hry vlivem rostoucí historie hry, zvětšováním počtu *zemí* a výskytem dalších vlivů, roste počet možných akcí aplikovatelných na aktuální stav hry exponenciálně. Stejně, jak je tento trend růstu počtu stavů v pozdějších fázích hry neřešitelným pro počítač, tak vede i u reálného hráče k neschopnosti rozlišit dopady svých tahů vlivem narůstající složitosti. Vliv preciznosti rozhodování hráče a výběru nejefektivnější akce na výsledek hry s fází hry klesá, protože každé rozhodnutí má dopad na všechny následující přepočty, tzn. jeho váha je větší než váha následujících rozhodnutí.

Z tohoto důvodu je na první tři přepočty kladen největší důraz ohledně preciznosti. V pozdějších fázích hry je možné spojovat jednotlivé pod-akce do skupin a tím omezit složitost. S tímto souvisí i výběr heuristické funkce, která spojí pod-akce tak, aby toto zjednodušení mělo co nejmenší vliv na přesnost.

3.5 Funkce užitek hráčů

Funkce užitek hráčů se dělí na:

- ekonomické,
- pozičně strategické.

Celkový užitek hráče je pak roven jejich součtu.

Ekonomická funkce užtku hráče

Ekonomická funkce užtku $f(u)_{eko}$ závisí na ziscích zlata a many, ceně postavených domů a ceně postavených staveb. Vzorec na výpočet $f(u)_{eko}$ je:

$$f(u)_{eko} = f_{ZLATO} + 5 \cdot f_{MANA} + \sum (cena(budovy)) + cena(domů) - ž, \quad (3.3)$$

kde:

- f_{ZLATO} - funkce zisku zlata hráče za herní kolo:

$$f_{ZLATO} = h \cdot pz \cdot zz \cdot mz \cdot \left(l + 0.18 \cdot \sum_{so_1}^{so_n} \min(l, ls) \right) + mz \cdot bz, \quad (3.4)$$

- f_{MANA} - funkce zisku many hráče za herní kolo:

$$f_{MANA} = h \cdot pm \cdot zm \cdot mm \cdot \left(m + 0.2 \cdot \sum_{sm_1}^{sm_n} \min(m, ms) \right) + mm \cdot bm, \quad (3.5)$$

- $pz = \frac{\text{koef}}{100}$: $\text{koef} \in \langle 50, 150 \rangle$ - koeficient vlivu počasí na příjem zlata,
- $pm = \frac{\text{koef}}{100}$: $\text{koef} \in \langle 50, 150 \rangle$ - koeficient vlivu počasí na příjem many,
- $pd = \frac{\text{koef}}{100}$: $\text{koef} \in \langle 50, 150 \rangle$ - koeficient vlivu počasí na cenu domů,
- $mz = \frac{\text{koef}}{100}$: $\text{koef} \in \langle 70, 130 \rangle$ - koeficient vlivu magie na příjem zlata,
- $mm = \frac{\text{koef}}{100}$: $\text{koef} \in \langle 70, 130 \rangle$ - koeficient vlivu magie na příjem many,
- $ml = \frac{\text{koef}}{100}$: $\text{koef} \in \langle 50, 200 \rangle$ - koeficient vlivu magie na přírůstek obyvatel,
- $zz = \frac{\text{koef}}{100}$: $\text{koef} \in \langle 100, 200 \rangle$ - koeficient vlivu bonusu země na příjem zlata,
- $zm = \frac{\text{koef}}{100}$: $\text{koef} \in \langle 100, 250 \rangle$ - koeficient vlivu bonusu země na příjem many,
- $zo = \frac{\text{koef}}{100}$: $\text{koef} \in \langle 100, 200 \rangle$ - koeficient vlivu bonusu země na obranu,
- $l \in \mathbb{N}^0$ - počet lidí v zemi,
- $ls \in \mathbb{N}^0$ - počet lidí v sousední zemi,
- $m \in \mathbb{N}^0$ - počet mágů v zemi,
- $ms \in \mathbb{N}^0$ - počet mágů v sousední zemi,
- $so \subseteq M \cap \{z\} : z = z_1, z_1 \in Z, z_2 \in Z$ - obchodní smlouva se zemí z , podmnožina hran průniku grafu M se zemí z , kde z_1, z_2 mají mezi sebou obchodní smlouvu,
- $sm \subseteq M \cap \{z\} : z = z_1, z_1 \in Z, z_2 \in Z$ - magická smlouva se zemí z , podmnožina hran průniku grafu M se zemí z , kde z_1, z_2 mají mezi sebou magickou smlouvu,
- $sv \subseteq M \cap \{z\} : z = z_1, z_1 \in Z, z_2 \in Z$ - vojenská smlouva se zemí z , podmnožina hran průniku grafu M se zemí z , kde z_1, z_2 mají mezi sebou vojenskou smlouvu,
- $bz = f(\{s_z\} \subset S) \in \mathbb{N}^0$ - zisk z budov produkujících zlato,
- $bm = f(\{s_z\} \subset S) \in \mathbb{N}^0$ - zisk z budov produkujících manu,
- $ž \in \mathbb{N}^0$ - žoldy armády,
- $h \in \langle 200, 2000 \rangle$ - hodnota hráče ovlivňující zisky podle $\frac{h}{1000}$.

Návratnost investice je další velmi důležitá informace pro rozhodování, zda se vyplatí do ní investovat či ne. Návratnost investice je počet *přepočtů* do navrácení vložených prostředků. Návratnost ovlivňuje herní *rasa* hráče, protože každá *rasa* se liší počtem *herních kol* přidělených za *přepočet*.

Pozičně strategické funkce užitku hráče

DarkElf je hra kladoucí velký důraz na využití herního plánu, proto je nutné zohlednit též vlivy polohy, jako je vzdálenost od nepřátel a poměr vnitrozemských zemí vůči hraničním. Je to významná část celkového hodnocení užitku a ovlivňuje hlavně rozhodnutí o volbě cílových zemí pro útok.

- Spočítáme vzdálenost zemí od hráčů do maximální vzdálenosti tří zemí; nad tuto vzdálenost není plánování příliš možné, protože v horizontu 3 přepočtů může nastat mnoho událostí s větší významností, než je samotná předpověď a také není ani v lidských silách situaci dobře odhadnout.
- Užitek země se dělí vzdáleností země od hráče (role plánování).
- V případě, že při zisku země hrozí střet s jiným hráčem, je užitek dále dělen pravděpodobností úspěchu střetu. To je popsáno v kapitole 2.1.

3.6 Řešení a cíle hry

Hlavní cíle hry, podle herního scénáře, jsou:

- porazit všechny hráče,
- porazit všechny aliance hráčů,
- získat speciální *zemi* (*zemi DarkElfa*).

Pokud to není v rozporu s výše uvedeným cílem, můžou mít hráči další možné cíle, jako například:

- vydržet do konce hry s co největším počtem zemí,
- dobýt jiného hráče (jeho poslední *zemi*),
- získání dalších odměn (v případě kooperačních her).

Reálnost cíle

Objektivní zhodnocení stavu hry hráče a ostatních hráčů. Zjištění cílů ostatních hráčů a výpočet pravděpodobnosti úspěšného dosažení cíle.

Přehodnocení cíle

V případě, že aktuální cíl je nedosažitelný nebo málo pravděpodobný, je potřeba přehodnotit hráčovy cíle a zvolit nový cíl s největší pravděpodobností úspěchu a užitku pro hráče.

Z důvodu zjednodušení modelu jsem navrhl jediný cíl pro hráče, a tím je mít co největší počet zemí. V případě, že na herním plánu nezůstane žádná neutrální země, hra skončí a hráč s největším počtem zemí bude vyhlášen vítězem. Tímto má model jednoznačné ukončovací podmínky a výherní funkci.

Inicializace hry

Inicializace hry probíhá v následujících krocích:

1. Načtení modelu hry.
2. Nastavení počátečních podmínek.
3. Nastavení počátečního stavu hry pro zadané počáteční podmínky.
4. Nastavení cíle hry podle scénáře hry.

Po inicializaci hry se do hry přidají hráči.

Inicializace hráčů

Inicializace hráčů probíhá v následujících krocích:

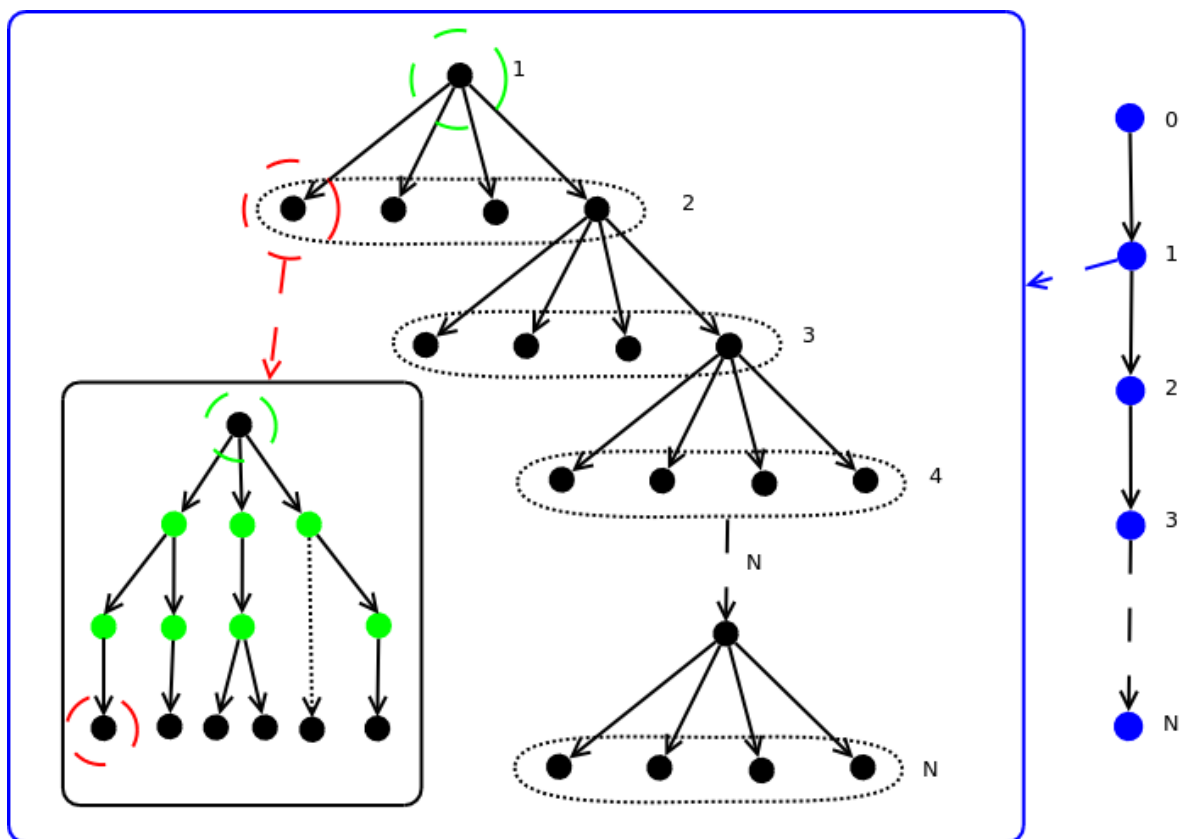
1. Výběr herní *rasy* hráče a nastavení počáteční *země* (ta je vygenerována náhodně systémem).
2. Nastavení počátečního stavu hráče: hráč dostane první *zemi* a počáteční *zlato*, *manu* a *herní tahy* v závislosti na vybrané *rase*.
3. Volba cílů hráče.

Generování akcí hráčů

Generování akcí hráče probíhá aplikováním všech použitelných operací (pod-akce). Na obrázku 3.2 na straně 22 jsou zobrazeny pod-akce hráče, ty jsou ohraničeny černým rámečkem (tvoří tak jednu atomickou akci hráče). Výsledkem je strom akcí, jehož koncové uzly tvoří všechny možné operace, které hráč může provést. Tyto akce jsou pro dalšího hráče nerozlišitelné; toto je znázorněno tečkovaným rámečkem. Akce hráčů jsou zde znázorněny „za sebou“, ale ve skutečnosti probíhají současně a tvoří tak *přepočty*. *Přepočty* se opakují do té doby, než je dosaženo koncového stavu hry.

Vyhodnocení akcí a výběr akce hráče

Pro rozhodování mezi akcemi hráčů byl zvolen postup řešení her v normální formě. Každý hráč si vytvoří pro každého protihráče matice užiteků. Tyto matice obsahují na jedné ose akce hráče a na druhé akce i-tého protihráče. Obsahem matice jsou užitky hráče plynoucí z kombinace těchto akcí; viz kapitola 3.5. Z této matice pak můžeme vybrat tu strategii, která dominuje nad ostatními. Z vektoru matic hráče tak pro každou jeho akci vypočítáme průměrný užitek a hráč pak volí akci s největším užitekem.



Obrázek 3.2: Vztah mezi *přepočtem*, akcí a pod-akcí

Kapitola 4

Implementace modelu hry

Model systému se skládá z prostředí hry, pravidel (zákonů) hry a hráčů. Prostředí hry a hráči jsou prvky množiny U a pravidla hry patří do množiny R . Samotné prostředí se skládá z herního plánu, herních ras, staveb a kouzel. Vztahy mezi nimi popisují funkce (pravidla), které jsou implementované jako metody objektu `game` a blíže popsané v programové dokumentaci.

Hráči jsou uloženi v objektu `player::player(RACE race)`, který obsahuje veškeré informace potřebné k uložení stavu hry, v němž se hráč nachází, a akci, kterou si vybral. Obsahuje metody pro práci se stavem hry, akcemi hráče a historií hry.

Akce hráče je objekt `action::action(t_player_state state)`, kde `state` je stav hráče; vychází ze stavu hráče a v případě, že hráč neprovedl žádné pod-akce, se stav hráče a akce hráče rovnají.

Pro aplikaci pod-akce využívám přetypovaného operátoru `<<`. Je to binární operátor, který v případě, že je možné pod-akci provést, ji aplikuje a vrací objekt `action` rozšířený o tuto akci. V případě, kdy validátor zjistí, že pod-akce je neproveditelná, operátor vrací objekt původní.

- `action operator << (subAction);`
Aplikuje pod-akci na akci hráče, ta se ověří, a pokud je splnitelná, provede se změna. Při aplikaci dojde ke změně akce a vytvoří se akce s jiným ID pro rychlé porovnání, že se jedná o jinou akci.
- `action operator << (vector<subAction>);` Obdobná funkce, jen s tím rozdílem, že se provede vektor pod-akcí, a pokud jsou **všechny** validní, dojde k jejich aplikaci.
- `action operator << (t_act_attack_combined);`
Toto je speciální druh pod-akce, kdy se nejedná přímo o konkrétní pod-akci, ale o požadavek na vojenský útok s určitými parametry. Tyto parametry se vyhodnotí, a pokud jsou veškeré podmínky splnitelné, dojde k vygenerování pod-akcí a k jejich aplikaci na akci hráče.

Implementace herního plánu je podrobněji popsána v kapitole 4.1 a v dodatku E je zobrazen graf popisující strukturu herního plánu. Dále jsou herní rasy popsány v dodatku E. Stejně jako u herních staveb a kouzel se jedná o ekonomické parametry modelu.

Rozhodovací nastavba doplňuje model o funkce užitku ohodnocující akce hráčů, struktury a algoritmy potřebné k výběru akce s nejlepším užitekem pro hráče.

Metoda `action::profit()` vrací ekonomický užitek z akce a `game::combinator(int playerId)` pro zadaného hráče doplní akce o vojenské užitky, které následně porovná a vybere nejvýhodnější.

Pro implementaci jsem navrhl a použil následující datové struktury a algoritmy.

4.1 Datové struktury

Plán hry

Herní plán $M = (Z, E)$ je uložen ve dvou strukturách.

- Vztahy $e \in E$ mezi zeměmi z jsou uloženy v neorientovaném grafu. Neorientovaný graf je implementován pomocí vektoru zemí, z nichž každá obsahuje vektor hran s okolními zeměmi. Toto řešení je paměťově méně náročné, než uložení v matici hran. Přístup k hranám zemí je též rychlejší, protože se prohledává vektor maximálně 10 hran. V tom se liší od maticové implementace, kde se prohledává n prvků, kdy v našem případě je $n = 51$. Mezi zápory patří složitější mazání hran v grafu a bez další úpravy nemožnost definování délky hrany. To nám v našem případě nevadí, protože délka hran je ve všech případech 1 a model zemí je statický.
- Informace o zemích $z \in Z$ je uložena ve vektoru struktur s jednotlivými parametry zemí $z = (B_z, S, D, l, a)$; viz kapitola 3.1.

Generování akcí hráče

V rámci prohledávací metody BFS (slepé prohledávání do šířky) používám pro generování akcí hráče a kombinování útoků 2 seznamy: OPEN a CLOSED; viz skripta [2]. Do seznamu OPEN se ukládají uzly ke generování a do seznamu CLOSED již vygenerované uzly. Při expandování uzlu dochází k sekvenčnímu prohledávání těchto seznamů, zda již není vygenerovaný. Kvůli enormní velikosti seznamu CLOSED jsem v něm musel zavést hašování záznamů. Jako hašovací funkce byla použita jednoduchá aritmetická celočíselná operace. Díky použití jednoduché hašovací funkce, která i přes svoji jednoduchost dobře rozdělila dlouhý seznam akcí do mnoha menších, došlo k třicetinásobnému zrychlení celého generování. Hašování seznamu OPEN znamenalo zrychlení pouze 30% u generování útoku a u generování akcí hráčů bylo zrychlení zanedbatelné.

Užitky akcí hráčů

Pro snížení časové náročnosti, kterou způsobuje výpočet funkcí užitku, jsem implementoval ukládání výsledku těchto funkcí pro další použití. Tím jsem docílil zrychlení celého procesu rozhodování mezi akcemi minimálně n -krát (kde n je počet hráčů), jelikož pro potřeby rozhodování byly opakovaně používány ty samé hodnoty užitků.

Z důvodu nemožnosti vytvoření obecné n -rozměrné matice pro uložení užitků n hráčů pro potřeby porovnávání akcí, jsem navrhl obecnou strukturu schopnou uchovat užitky akcí pro libovolnou kombinaci akcí hráče a jeho protihráčů. Struktura zahrnuje vektor $n - 1$

2D matic obsahující kombinaci hráčových akcí s akcí n -tého protihráče. Osa x znázorňuje akce jednoho hráče a osa y akce druhého hráče. Obsahem matice jsou objekty, nebo vektory objektů s procentuálním ohodnocením pravděpodobnosti výskytu a obsahem objektů je užitek vyplývající pro hráče z kombinace akcí.

Objekt 2D matice užitek může být konkrétní hodnota plynoucí z kombinace akcí, nebo struktura obsahující stav po provedení akcí, ve kterém jsou vygenerované nové akce ohodnoceny a v obdobné struktuře porovnány. Takto to může rekurzivně pokračovat až do okamžiku, kdy 2D matice užitek obsahuje terminální uzly (konkrétní číselné ohodnocení užitek). Limit pro zanořování je atribut hráče definující vzdálenost, jak daleko do budoucnosti je schopen uvažovat.

4.2 Klíčové algoritmy

Výpočet útoku

Funkce na výpočet útoku dokáže ze zadaných prostředků určit realizovatelnost útoku a vypočítat nejvýhodnější kombinaci armády a podpůrných staveb potřebných k útoku. Dále dokáže vypočítat takové parametry pro zadaný útok, aby byla možnost přeposlání útoku následující den po započítání ztrát jednotek při útoku. K tomu využívá odhadu růstu obrany následující den a odhadu ztrát při útoku.

Pro generování útoků používá upravený algoritmus BFS, který generuje všechny kombinace akcí (verbování armády, stavba podpůrných staveb) a vybere nejvýhodnější akci; viz skripta [2]. Oproti BFS nekončí generování při nalezení hledaného prvku, protože hledaný uzel není známý, ale končí po vyprázdnění seznamu OPEN. Pokud byla nalezena kombinace útoku ze zadaných prostředků, končí funkce úspěchem, takže řešení funkce je nejlepší kombinací akcí.

Generování tahů hráče

Pro generování tahů hráčů je použit obdobný algoritmus jako pro výpočet útoku, jen probíhá ve dvou krocích.

- V prvním kroku generuje akce hráčů aplikováním ekonomických operací, jako je stavění domů, staveb, aplikaci herního kola a dalších.
- V druhém kroku pro každou takto vygenerovanou akci aplikuje vojenské operace. Rozdělením klesne paměťová i časová náročnost generování, protože velikost generovaného stromu akcí závisí na větvičím faktoru, kterým je počet operací aplikovatelných na uzel stromu. Navíc vojenské akce způsobují zásahy do ekonomiky hráče, proto se vyplatí je generovat jako poslední. Tak se maximalizuje užitek z vojenských akcí a minimalizují ekonomické ztráty z nich vyplývající.

Všechny vygenerované akce hráčů následně uloží do vektoru akcí hráče.

Hodnotící funkce užitek

Pro ohodnocení užitek jsem navrhl řadu hodnotících funkcí. Podrobněji jsou popsány v programové dokumentaci.

Výběr nejvýhodnější akce hráče

Pro výběrový algoritmus je použita struktura popsaná v sekci 4.1. Algoritmus vyhodnotí užitky plynoucí z důsledků akcí hráče. Samotný výběr akce je implementován jako výběr akce s maximálním průměrným užitekem kombinací všech akcí ostatních hráčů. Toto je více zdůvodněno v závěru práce.

Výpočet vzdáleností mezi zeměmi

Pro výpočet byl použit algoritmus UCS (uniform cost search); viz skriptu [2]. Jedná se o slepou prohledávací metodu, což ale příliš nevádí, protože většina výpočtů se pohybuje do vzdálenosti třetí země, kde časová náročnost není kritická. Při větších vzdálenostech by bylo třeba použít nějakou informovanou metodu a model zemí doplnit například údajem o vzájemné poloze.

Kapitola 5

Experimenty s modelem

5.1 Popis simulačního prostředí

Do simulačního módu se uživatel programu přepne příkazem **r**, **run**, kde dále bude vyzván k zadání dalších parametrů simulace.

Ukázka výstupu programu:

První část obsahuje informace o herních rasách hráčů a počáteční zemi. Tato část je vypisována pouze jednou na začátku simulace.

```
race enti
vygenerovana zem: 377
race enti
vygenerovana zem: 384
```

Dále navazuje simulační výpis, který se dělí na tři části (generování tahů, výběr akce hráče a vykonání akcí).

```
-----ZACATEK GENEROVANI -----
player ID: 0
Pocet akci hrace: 29                - počet vygenerovaných akcí
player ID: 1                        - ID hráče
Pocet akci hrace: 28
-----KONEC GENEROVANI -----
-----ZACATEK VYBERU AKCE-----
player: 0
kol: 0 zlato: 1147 mana: 0 zemi: 1   - stav hráče po provedení akce
[377]Království barbarů -> [366]Kardif (50) - vojenský útok (zdroj -> cíl)
player: 1
kol: 0 zlato: 587 mana: 0 zemi: 1
[384]Obelisk osudu -> [379]Cedrové údolí (78)
-----KONEC VYBERU AKCE-----
-----HERNI PREPOCET-----
Prepocet: 0                         - číslo herního přepočtu
[0 >> 1]                           - akt náhody, pořadí ve kterém budou vykonány akce hráčů
377 -> 366 Def: 48 Atack: 50        - vykonání útoku hráče
384 -> 379 Def: 48 Atack: 78
player: 0
[366, 377]                          - výpis zemí hráče po dokončení přepočtu
player: 1
[379, 384]
```

5.2 Vliv počasí na herní rasy

Tento experiment zjišťoval vliv herního počasí a herní rasy na počet zemí hráče. Zvolil jsem rasy **ent** a **člověk**. Počáteční země byly 356 a 386 a vliv počasí na zlato nabývalo dvou krajních hodnot 50% a 150%.

Tabulka 5.1 obsahuje počáteční podmínky, jako je herní rasa, počáteční země hráče a vliv počasí na příjmy zlata. Dále obsahuje počet zemí v přepočtech 0-4, které jsou označeny číselnou hodnotou přepočtu. Z experimentu vyplývá, že vliv počasí na ekonomiku hráčů je značný; enty zpomalí získávání zemí o 25% a lidi dokonce téměř o 50%.

Rasa	Země	Zlato [%]	0	1	2	3	4
ent	356	50	1	3	4	5	6
ent	356	150	1	3	5	7	8
ent	386	50	1	3	3	5	5
ent	386	150	1	3	3	6	8
člověk	356	50	1	2	2	3	4
člověk	356	150	1	3	5	6	7
člověk	386	50	1	2	3	3	4
člověk	386	150	1	3	3	5	7

Tabulka 5.1: Vývoj experimentu 1

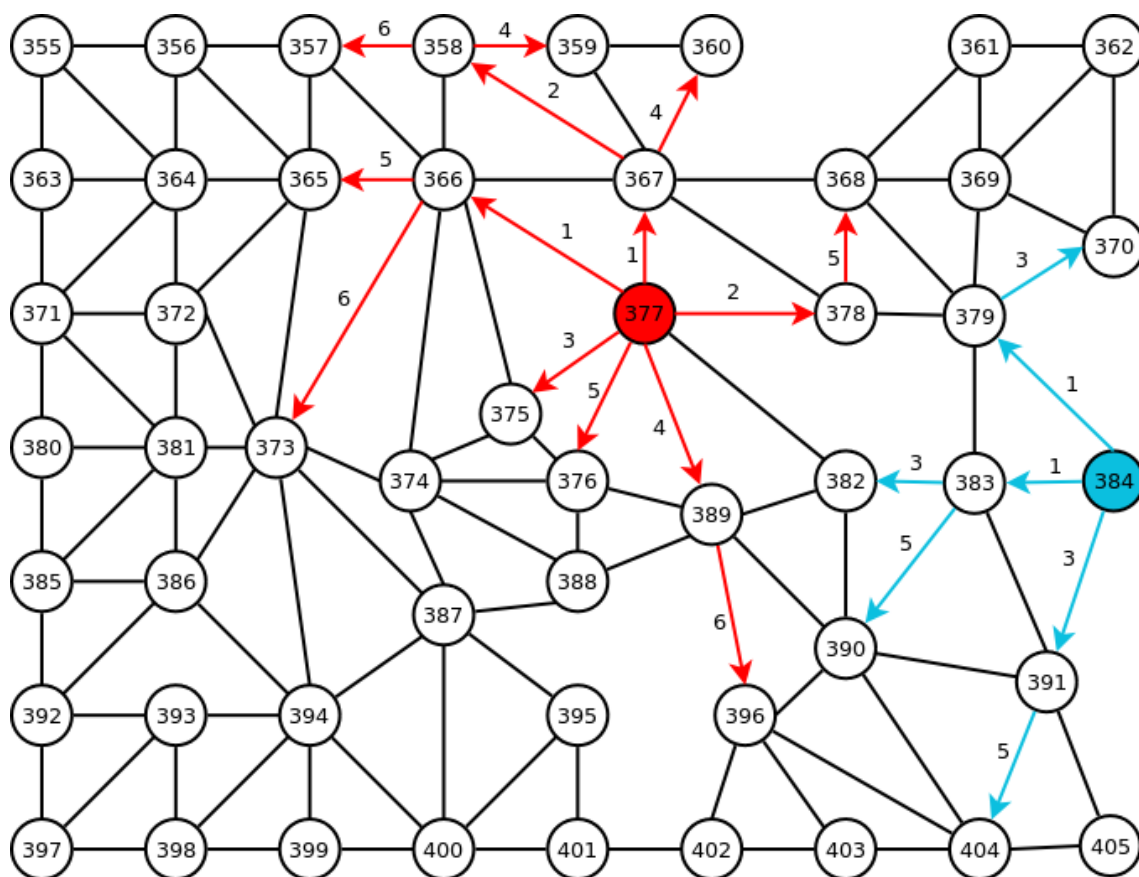
5.3 Vliv pozice na mapě

Počáteční podmínky:

Hráč 1 rasa: enti vygenerovaná země: 377

Hráč 2 rasa: enti vygenerovaná země: 384

Jak je vidět již z grafu, tak hráč 1 (červený) má výhodnější pozici; mnoho okolních zemí sousedících se základní zemí a tím i větší možnost využít vojenské stavby. Další důvod je, že síly neutrálních zemí rostou náhodně a tak hráč s více okolními zeměmi má větší šanci na sousední zemi s menší obranou. Od pátého přepočtu hráč 1 získává již dominantní pozici v počtu zemí i síle ekonomiky. Podrobný výpis dat experimentu je v dodatku D.



Obrázek 5.1: Vývoj experimentu 2

Kapitola 6

Analýza strategie hráčů

Ve zvolené hře [6] se nedá přesně vymezit výherní ani ztrátová strategie, neexistuje strategie, která vede přímo k výhře. Naopak ztrátových strategií je mnoho, avšak jsou v rozporu s racionálním rozhodováním hráče. Také existuje několik strategií, které v případě, že ostatní hráči neudělají žádnou chybu, vedou k jisté prohře.

Ve hře je jistá role náhody a risku. Proto, kdo neriskuje, nic navíc nezíská, ale ani neztratí. Což nevadí v případě, že nikdo neriskuje, ale vhodný risk může způsobit jasnou výhru hráče. Dále výsledek hry velmi ovlivňuje okamžik výběru herní rasy, kdy podle počasí, počtu hráčů na mapě (volného místa mezi hráči) a účelu hry si hráči vybírají rasu nejvhodnější do těchto počátečních podmínek.

6.1 Výherní strategie hráčů

Základ je výběr vhodné herní rasy, chyba již v tomto kroku může způsobit prohru. Protože se hra pravidelně opakuje, tak se vyplatí riskovat, pokud hráči nezáleží na tom, kdy cíle hry dosáhne, ale že ho dosáhne, tak jak to vyplývá z výše uvedeného.

6.2 Ztrátová strategie hráčů

Mezi ztrátové strategie patří rozhodně výběr nevhodné herní rasy. Mezi faktory ovlivňující vhodnost herní rasy patří:

- herní počasí, které u některých ras způsobí naprostou nekonkurenceschopnost,
- množství místa v okolí, protože některé herní rasy dobývají země jednodušeji, ale jsou slabší na menším počtu zemí a jiné dokáží velmi rychle útočit velkou silou, ale pomalu zabírají okolní země.

Uvedu několik případů nevhodně zvolené rasy.

1. Herní rasa ent, okolní místo: 30 volných zemí, vliv počasí: zisk 150% zlato, 150% mana a 50% cena domů.
Prakticky ideální herní podmínky, bez nepřátel, s dostatkem volného místa a výborným počasím ovlivňujícím ekonomiku. Ale díky nízkému počtu herních kol (5) není schopen tyto podmínky využít a oproti například skurutovi s počtem kol (9) bude více než dvojnásobně zaostávat.

2. Herní rasa hobit, okolní místo: 30 volných zemí, vliv počasí: zisk 50% zlato, 50% mana a 150% cena domů.

Obdobný příklad s rozdílem, že počasí má nejhorší možné hodnoty. Každá rasa má různý vliv jednotlivých složek počasí. U hobitů, protože mají nízký útok, který je vyrovnán vysokým počtem herních kol (11), je velký vliv poměru zisk zlata/cena domů.

3. Herní rasa člověk, okolní místo: 30 volných zemí, vliv počasí: zisk 50% zlato, 150% mana a 50% cena domů.

Zde má vliv počasí na zisky zlata fatální důsledek, jelikož lidé k útoku musí používat jednotky druhého stupně, které jsou dražší a vyžadují speciální stavbu. Proto v tomto počasí nepošlou první přepočítání ani jeden útok a i následující dny bude tímto vývoj silně ovlivněn.

Kapitola 7

Závěr

Tato práce mě uvedla do problematiky teorie her, principů rozhodování a používaných metod. Pro vypracování programu jsem dále čerpal z vědomostí z oblastí algoritmů, umělé inteligence a osobních zkušeností s modelovanou hrou. Tento program dokáže vyhodnotit herní stav, ze zadaného stavu vygenerovat možné akce a vybrat nejvýhodnější akci s ohledem na rozhodnutí protihráčů. Model systému byl převeden ze hry v rozšířené formě na řadu po sobě jdoucích her v normální formě (normalizace). U těchto her v normální formě jsem pak eliminoval dominované strategie a pro hráče vybral strategie s největším užitekem. I přes zjednodušení modelu hry byly časové a paměťové nároky na generování akcí hráčů a na výběr nejlepší akce příliš velké. Musel jsem proto využít jen nejdůležitější část funkcí systému. Mezi omezené funkce patří například *stavba ekonomických a magických staveb*. To se dotklo hlavně herních *ras* závislých na příjmech *many*. Po zjednodušení klesly nároky na výkon, ale také to způsobilo horší přesnost modelu.

Co se povedlo

Program má velké množství funkcí pro ohodnocování užiteků, poměrně přesný model modelované hry a funkce pro práci s herním plánem. Dále obsahuje strukturu pro ohodnocování akcí hráčů, která má rychlý a přehledný přístup k jednotlivým strategiím hráčů a je lehce rozšiřitelná o další rozhodovací parametry, jako preference a pravděpodobnost.

Co se nepovedlo

Použití pouze velmi jednoduché metody pro výběr akcí hráčů, beroucí v úvahu pouze základní hodnotící funkce a řešení jako hra v normální formě. Pro lepší výsledky by bylo třeba model rozšířit o preference hráčů, odhad jak ovlivní rozhodování předpoklad jaké rozhodnutí provede protihráč a jak ovlivní protihráče odhad rozhodnutí hráče.

Další, i když očekávaný, neúspěch je enormní paměťová a časová náročnost výpočtů. Ta je způsobena velkým množstvím kombinací akcí hráčů, které je nutné generovat. Toto by bylo možné vyřešit přidáním heuristických funkcí, které by eliminovaly nelogické či nevýhodné kombinace. Další možnost je zvětšení výpočetního výkonu použitím rychlejšího procesoru, vláken, distribuovaných výpočtů po stránce časové náročnosti a optimalizováním datových struktur po stránce paměťové.

Náměty na rozšíření

Moje práce a vytvořený model je základ vhodný pro budoucí zefektivnění, rozšíření o další funkce a doplnění modelu o další prvky:

- rozšíření na celý svět a další cíle hry,
- kooperativní hru více hráčů,
- model trhu,
- vliv pověsti v opakovaných hrách.

Tomuto rozšíření bych se rád věnoval v rámci navazujícího studia.

Literatura

- [1] Stručný úvod do Teorie her. www.myslivecek.com/uvod_do_her.pdf, 2008.
- [2] doc. Ing. ZBOŘIL, F. CSc.; Ing. ZBOŘIL, F. Ph.D.: Opora předmětu IZU. Datový sklad WIS, 2006, dostupné studentům FIT.
- [3] Hrubý, M.: Přednášky z Teorie her (THE).
<http://perchta.fit.vutbr.cz:8000/vyuka-the>, 2009-11-18, dostupné online. (cz).
- [4] Hykšová, M.: Teorie her & optimální rozhodování - výukový text.
http://euler.fd.cvut.cz/predmety/teorie_her/hry.pdf, [Cit. 2009-01-23],
dostupné online. (cz).
- [5] Kolar, M.: Teorie her. www.math.muni.cz/~mkolar/hry.pdf, 2009, dostupné online.
(cz).
- [6] Pletka, Z.: Dark Elf online strategická hra. <http://www.darkelf.cz/>, dostupné
online. (cz, sk, en).

Dodatek A

Obsah CD

Přiložené CD obsahuje:

- Zdrojové soubory programu
- Readme
- Programová dokumentace
- Technická zpráva

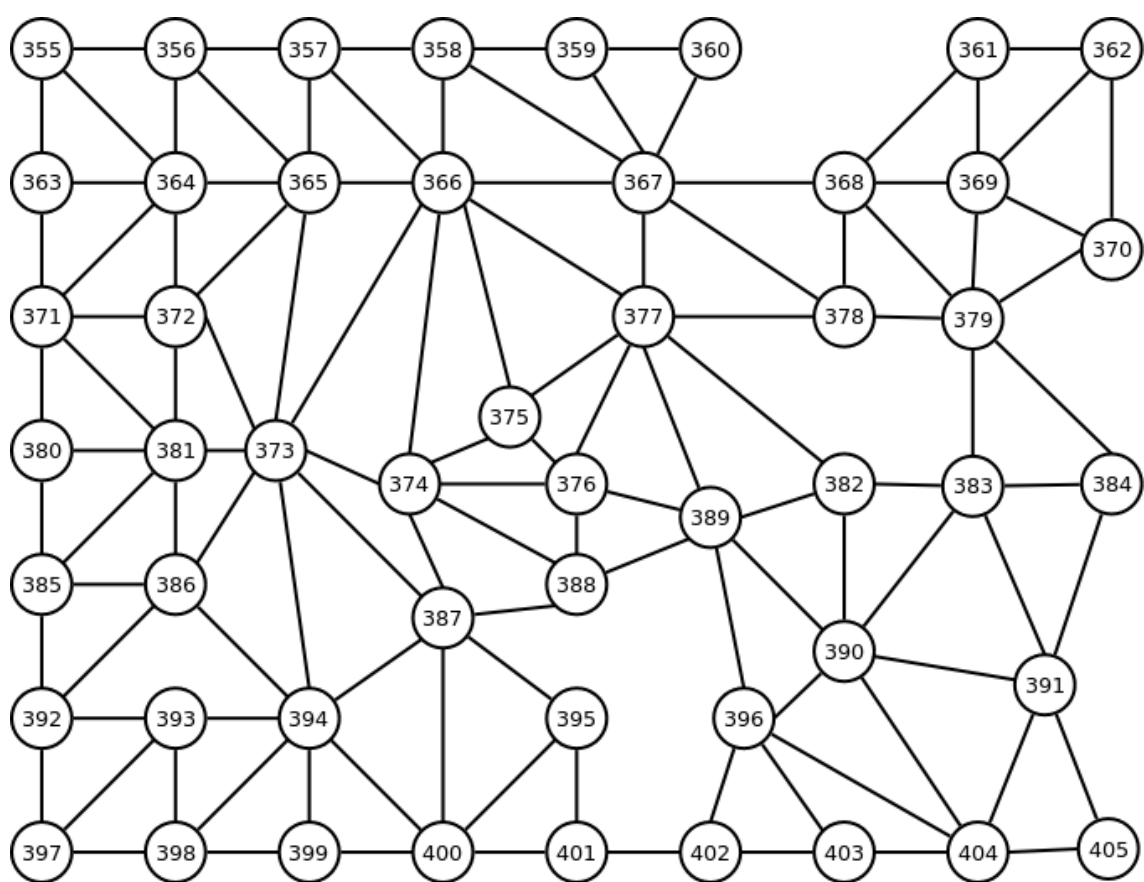
Dodatek B

Instalace a použití programu

- **Kompilace:** příkaz **make**.
Požadavky: překladač jazyka `c++` (program `g++`).
- **Spuštění a použití programu.**
Program spustíte příkazem `./priklad` v adresáři s přeloženým programem. Konzolové uživatelské rozhraní v příkazovém módu nabízí tyto funkce :
 - **h, help** - Náповěda programu.
 - **i, info** - Informace o programu.
 - **r, run** - Spuštění simulace. Po zadání příkazu budete vyzváni k zadání počtu hráčů. Poté dojde ke spuštění simulace.
 - **1, 2** - Spuštění experimentu.
 - **q, quit** - Ukončení programu.
 - Další možnosti ukončení jsou:
 - * v příkazovém módu programu stisknutím kombinace kláves `ctrl + D` (konec vstupu),
 - * kdekoliv v programu pomocí kombinace kláves `ctrl + C`.
- **Vygenerování dokumentace** provedete příkazem **make doxy**. Tento příkaz vygeneruje pomocí programu `doxygen` programovou dokumentaci.
Požadavky: program `doxygen`.
- **Archivaci programu a všech příložených souborů** provedete příkazem **make distrib**, který soubory sloučí a komprimuje `gzip` kompresí.
Požadavky: programy `tar` a `gzip`.

Dodatek C

Herní plán



Obrázek C.1: Herní plán

Dodatek D

Výstup dat herního experimentu 2

```
race enti
vygenerovana zem: 377
race enti
vygenerovana zem: 384
-----ZACATEK GENEROVANI -----
player ID: 0
Pocet akci hrace: 29
player ID: 1
Pocet akci hrace: 28
-----KONEC GENEROVANI -----
-----ZACATEK VYBERU AKCE-----
player: 0
kol: 0 zlato: 1147 mana: 0 zemi: 1
[377]Království barbarů -> [366]Kardif (50)
[377]Království barbarů -> [367]Barbarská step (52)
player: 1
kol: 0 zlato: 587 mana: 0 zemi: 1
[384]Obelisk osudu -> [379]Cedrové údolí (78)
[384]Obelisk osudu -> [383]Linské hory (52)
-----KONEC VYBERU AKCE-----
-----HERNI PREPOCET-----
Prepocet: 0
[0 >> 1]
377 -> 366 Def: 48 Atack: 50
377 -> 367 Def: 48 Atack: 52
384 -> 379 Def: 48 Atack: 78
384 -> 383 Def: 48 Atack: 52
player: 0
[366, 367, 377]
player: 1
[379, 383, 384]
-----KONEC PREPOCTU-----
-----ZACATEK GENEROVANI -----
player ID: 0
Pocet akci hrace: 50
player ID: 1

Pocet akci hrace: 11
-----KONEC GENEROVANI -----
-----ZACATEK VYBERU AKCE-----
player: 0
kol: 0 zlato: 704 mana: 0 zemi: 3
[367]Barbarská step -> [358]Čarodějné hory (60)
[377]Království barbarů -> [378]Mahulská pole (60)
player: 1
kol: 5 zlato: 587 mana: 0 zemi: 3
-----KONEC VYBERU AKCE-----
-----HERNI PREPOCET-----
Prepocet: 1
[0 >> 1]
367 -> 358 Def: 54 Atack: 60
377 -> 378 Def: 58 Atack: 60
player: 0
[358, 366, 367, 377, 378]
player: 1
[379, 383, 384]
-----KONEC PREPOCTU-----
-----ZACATEK GENEROVANI -----
player ID: 0
Pocet akci hrace: 26
player ID: 1
Pocet akci hrace: 77
-----KONEC GENEROVANI -----
-----ZACATEK VYBERU AKCE-----
player: 0
kol: 0 zlato: 1085 mana: 0 zemi: 5
[377]Království barbarů -> [375]Algeban (76)
player: 1
kol: 0 zlato: 828 mana: 0 zemi: 3
[379]Cedrové údolí -> [370]Zátočina (74)
[383]Linské hory -> [382]Zbořený kostelec (72)
[384]Obelisk osudu -> [391]Město lesního lidu (104)
-----KONEC VYBERU AKCE-----
```

```

-----HERNI PREPOCET-----
Prepocet: 2
[1 >> 0]
379 -> 370 Def: 73 Atack: 74
383 -> 382 Def: 69 Atack: 72
384 -> 391 Def: 86 Atack: 104
377 -> 375 Def: 73 Atack: 76
player: 0
[358, 366, 367, 375, 377, 378]
player: 1
[370, 379, 382, 383, 384, 391]
-----KONEC PREPOCTU-----
-----ZACATEK GENEROVANI -----
player ID: 0
Pocet akci hrace: 332
player ID: 1
Pocet akci hrace: 52
-----KONEC GENEROVANI -----
-----ZACATEK VYBERU AKCE-----
player: 0
kol: 0 zlato: 351 mana: 0 zemi: 6
[358]Čarodějné hory -> [359]Jeskyně Siitcewa (108)
[367]Barbarská step -> [360]Tajemný portál (92)
[377]Království barbarů -> [389]Hrad Laradur (84)
player: 1
kol: 5 zlato: 828 mana: 0 zemi: 6
-----KONEC VYBERU AKCE-----
-----HERNI PREPOCET-----
Prepocet: 3
[0 >> 1]
358 -> 359 Def: 89 Atack: 108
367 -> 360 Def: 88 Atack: 92
377 -> 389 Def: 71 Atack: 84
player: 0
[358, 359, 360, 366, 367, 375, 377, 378, 389]
player: 1
[370, 379, 382, 383, 384, 391]
-----KONEC PREPOCTU-----
-----ZACATEK GENEROVANI -----
player ID: 0
Pocet akci hrace: 195
player ID: 1
Pocet akci hrace: 981
-----KONEC GENEROVANI -----
-----ZACATEK VYBERU AKCE-----
player: 0
kol: 0 zlato: 1025 mana: 0 zemi: 9
[366]Kardif -> [365]Trpasličí štolý (94)

[375]Algeban -> [374]Krčma u Kulhavce (104)
[377]Království barbarů -> [376]Barbarské...(104)
[378]Mahulská pole -> [368]Závětří (108)
player: 1
kol: 0 zlato: 6414 mana: 0 zemi: 6
[383]Linské hory -> [390]Hvozd čarodějnic (100)
[391]Město lesního lidu -> [404]Drakeova...(116)
-----KONEC VYBERU AKCE-----
-----HERNI PREPOCET-----
Prepocet: 4
[0 >> 1]
366 -> 365 Def: 93 Atack: 94
375 -> 374 Def: 109 Atack: 104
377 -> 376 Def: 90 Atack: 104
378 -> 368 Def: 106 Atack: 108
383 -> 390 Def: 98 Atack: 100
391 -> 404 Def: 104 Atack: 116
player: 0
[358, 359, 360, 365, 366, 367, 368, 375, 376, 377,
378, 389]
player: 1
[370, 379, 382, 383, 384, 390, 391, 404]
-----KONEC PREPOCTU-----
-----ZACATEK GENEROVANI -----
player ID: 0
Pocet akci hrace: 428
player ID: 1
Pocet akci hrace: 35
-----KONEC GENEROVANI -----
-----ZACATEK VYBERU AKCE-----
player: 0
kol: 0 zlato: 23 mana: 0 zemi: 12
[358]Čarodějné hory -> [357]Sněžná pevnost (148)
[366]Kardif -> [373]Auguron (116)
[375]Algeban -> [374]Krčma u Kulhavce (124)
[376]Barbarské legie -> [388]Mlžné jezero (120)
[389]Hrad Laradur -> [396]Les kostí (152)
player: 1
kol: 5 zlato: 6414 mana: 0 zemi: 8
-----KONEC VYBERU AKCE-----
-----HERNI PREPOCET-----
Prepocet: 5
[0 >> 1]
358 -> 357 Def: 117 Atack: 148
366 -> 373 Def: 104 Atack: 116
375 -> 374 Def: 129 Atack: 124
376 -> 388 Def: 117 Atack: 120
389 -> 396 Def: 139 Atack: 152

```

```

player: 0
[357, 358, 359, 360, 365, 366, 367, 368, 373, 375,
376, 377, 378, 388, 389, 396]
player: 1
[370, 379, 382, 383, 384, 390, 391, 404]
-----KONEC PREPOCTU-----
-----ZACATEK GENEROVANI -----
player ID: 0
Pocet akci hrace: 143
player ID: 1
Pocet akci hrace: 85
-----KONEC GENEROVANI -----
-----ZACATEK VYBERU AKCE-----
player: 0
kol: 0 zlato: 6806 mana: 0 zemi: 16
[365]Trpasličí štoly -> [356]Ledové jezero (118)
[375]Algeban -> [374]Krčma u Kulhavce (144)
player: 1
kol: 0 zlato: 18788 mana: 0 zemi: 8
[370]Zátočina -> [362]Severní útočiště (126)
[379]Cedrové údolí -> [369]Zem ještěřů (152)
[391]Město lesního lidu -> [405]Vrchy ozvěn (128)
[404]Drakeova marka -> [403]Strážná step (136)
-----KONEC VYBERU AKCE-----
-----HERNI PREPOCET-----
Prepocet: 6
[1 >> 0]
370 -> 362 Def: 131 Atack: 126
379 -> 369 Def: 145 Atack: 152
391 -> 405 Def: 127 Atack: 128
404 -> 403 Def: 114 Atack: 136
365 -> 356 Def: 115 Atack: 118
375 -> 374 Def: 148 Atack: 144
player: 0
[356, 357, 358, 359, 360, 365, 366, 367, 368, 373,
375, 376, 377, 378, 388, 389, 396]
player: 1
[369, 370, 379, 382, 383, 384, 390, 391, 403, 404,
405]
-----KONEC PREPOCTU-----

```

Dodatek E

Tabulka herních ras

Tabulka herních ras obsahuje jedinečné parametry pro každou herní rasu.

Kol za den		8				Peníze při startu		4400
Limit kouzel		120				Mana při startu		200
Zbrojnoš	Cena	30+0	Rytíř	Cena	90+7	Mudrc	Cena	150+20
	Žold	1		Žold	5		Žold	10
	Útok	1		Útok	7		Útok	4
	Obrana	5		Obrana	3		Obrana	4

Tabulka E.1: Herní rasa: Lidé

Kol za den		7				Peníze při startu		2000
Limit kouzel		80				Mana při startu		100
Válečník	Cena	50+0	Berserker	Cena	100+5	Zaříkávác	Cena	160+20
	Žold	2		Žold	4		Žold	11
	Útok	4		Útok	9		Útok	5
	Obrana	3		Obrana	3		Obrana	4

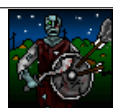
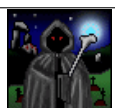
Tabulka E.2: Herní rasa: Barbaři

Kol za den		10				Peníze při startu		1500
Limit kouzel		80				Mana při startu		100
Skřet	Cena	30+0	Veleskřet	Cena	200+10	Šaman	Cena	100+30
	Žold	2		Žold	8		Žold	12
	Útok	2		Útok	5		Útok	3
	Obrana	4		Obrana	3		Obrana	3

Tabulka E.3: Herní rasa: Skřeti

Kol za den		9				Peníze při startu		2000
Limit kouzel		45				Mana při startu		75
Skurut	Cena	50+0	Troll	Cena	130+4	Zlotr	Cena	100+30
	Žold	2		Žold	5		Žold	16
	Útok	3		Útok	7		Útok	5
	Obrana	3		Obrana	1		Obrana	3

Tabulka E.4: Herní rasa: Skuruti

Kol za den		8				Peníze při startu		3200
Limit kouzel		200				Mana při startu		300
Zombie	Cena	10+0	Nazgûl	Cena	0+15	Přízrak	Cena	150+15
	Žold	1		Žold	3		Žold	10
	Útok	1		Útok	7		Útok	5
	Obrana	4		Obrana	2		Obrana	3

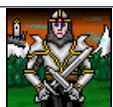
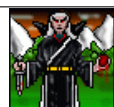
Tabulka E.5: Herní rasa: Nekromanti

Kol za den	7					Peníze při startu	2000	
Limit kouzel	240					Mana při startu	600	
Zabiják	Cena	0+4	Démon	Cena	0+20	Mág	Cena	0+15
	Žold	1		Žold	6		Žold	7
	Útok	2		Útok	7		Útok	3
	Obrana	5		Obrana	2		Obrana	5

Tabulka E.6: Herní rasa: Mágové

Kol za den		7				Peníze při startu		3000
Limit kouzel		160				Mana při startu		300
Lučištník	Cena	30+0	Těžko oděnc	Cena	60+8	Léčitel	Cena	100+15
	Žold	1		Žold	5		Žold	9
	Útok	2		Útok	6		Útok	5
	Obrana	6		Obrana	4		Obrana	5

Tabulka E.7: Herní rasa: Elfové

Kol za den		6				Peníze při startu		3100
Limit kouzel		200				Mana při startu		300
Střelec	Cena	30+0	Šermíř	Cena	50+10	Zaklínač	Cena	60+10
	Žold	1		Žold	5		Žold	10
	Útok	3		Útok	7		Útok	4
	Obrana	5		Obrana	3		Obrana	5

Tabulka E.8: Temní Elfové

Kol za den		6				Peníze při startu		4500
Limit kouzel		80				Mana při startu		200
Sekerník	Cena	10+0	Ničitel	Cena	20+2	Stařešina	Cena	200+2
	Žold	1		Žold	1		Žold	9
	Útok	2		Útok	4		Útok	3
	Obrana	7		Obrana	6		Obrana	7

Tabulka E.9: Herní rasa: Trpaslíci

Kol za den		11				Peníze při startu		3000
Limit kouzel		45				Mana při startu		50
Krajník	Cena	22+0	Šlechtic	Cena	100+10	Alchymista	Cena	100+25
	Žold	3		Žold	10		Žold	17
	Útok	2		Útok	4		Útok	1
	Obrana	2		Obrana	2		Obrana	1

Tabulka E.10: Herní rasa: Hobiti

Kol za den		5				Peníze při startu		5000
Limit kouzel		26				Mana při startu		0
Dubodub	Cena	20+0	Listovlas	Cena	100+0	Vrbák	Cena	200+0
	Žold	0		Žold	0		Žold	0
	Útok	4		Útok	8		Útok	3
	Obrana	6		Obrana	8		Obrana	4

Tabulka E.11: Herní rasa: Enti