

Západočeská univerzita v Plzni  
Fakulta aplikovaných věd  
Katedra informatiky a výpočetní techniky

## **Bakalářská práce**

# **Umělá inteligence pro karetní hru No Limit Hold'em Heads-up**

Místo této strany bude  
zadání práce.

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím citovaných pramenů.

V Plzni dne 21. června 2016

Jan Kebrle

# Poděkování

Děkuji panu Ing. Kamilu Ekšteinovi Ph.D. za ochotu při vedení bakalářské práce a rady s jejím vypracováním.

## **Abstract**

The goal of this thesis is to create an artificial intelligence (AI) capable of playing the No Limit Hold'em variant of poker against one opponent. First part of the thesis explains the rules of poker and introduces the reader to the basics of poker strategy. Subsequently, the game of poker is described in terms of game theory and various methods used to create poker AI are introduced. Second part of the thesis explains in detail methods and algorithms used to create the resulting AI. The quality of play of the AI was tested by several experienced poker players and their evaluation and observations are listed.

## **Abstrakt**

Cílem této práce je vytvoření umělé inteligence (UI) schopné hrát variantu pokeru No Limit Hold'em proti jednomu oponentovi. První část práce vysvětluje pravidla pokeru a představí čtenáři základy pokerové strategie. Následně je poker popsán z pohledu teorie her a čtenář je seznámen s různými metodami používanými při tvorbě pokerové UI. Druhá část práce důkladně vysvětluje algoritmy a metody použité k vytvoření výsledné UI. Kvalita hry UI byla otestována několika zkušenými pokerovými hráči a práce obsahuje jejich hodnocení a dojmy.

# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Pravidla a terminologie pokeru</b>	<b>3</b>
2.1	Texas Hold'em	3
2.1.1	Historie	3
2.1.2	Ruka hráče a ruka hry	3
2.1.3	Rozdíly Limit a No Limit Texas Hold'emu	4
2.2	Balíček karet	5
2.3	Počet hráčů	5
2.4	Počet žetonů hráčů	5
2.5	Začátek hry	5
2.6	Průběh hry	6
2.6.1	Sázková kola	6
2.6.2	Možné akce hráčů	7
2.7	Konec hry	8
2.7.1	Výherní kombinace	9
2.8	Kombinatorika v pokeru	9
2.8.1	Možné kombinace rukou hráčů	9
2.8.2	Možnosti rozdání karet boardu	10
2.8.3	Další pravděpodobnosti	10
<b>3</b>	<b>Teorie pokeru</b>	<b>12</b>
3.1	Poker z pohledu teorie her	12
3.2	Nutné dovednosti dobrého hráče	12
3.2.1	Vyhodnocení síly vlastní ruky	13
3.2.2	Potenciál ruky	13
3.2.3	Nepředvídatelnost	13
3.2.4	Modelování protihráče	14
3.3	Stavový prostor hry	14
3.3.1	Strom akcí hráčů	14
3.3.2	Velikost stavového prostoru	15
3.4	Abstrakce stromu hry	15
3.4.1	Isomorfismus karet	16
3.4.2	Abstrakce velikostí sázek	17
3.4.3	Bucketing	17
3.5	Strategie v pokeru	18

3.5.1	Optimální strategie . . . . .	18
3.5.2	Nashova rovnováha . . . . .	18
3.5.3	Porovnání optimální strategie a Nashovy rovnováhy . . . . .	19
<b>4</b>	<b>Poker z pohledu umělé inteligence</b>	<b>20</b>
4.1	Obecné požadavky na pokerovou umělou inteligenci . . . . .	20
4.1.1	Vstupy algoritmu . . . . .	20
4.1.2	Výstupy algoritmu . . . . .	20
4.2	Metody umělé inteligence používané v pokeru . . . . .	21
4.3	Nashova rovnováha v pokeru . . . . .	21
4.4	Znalostní systémy . . . . .	21
4.4.1	Expertní systémy . . . . .	22
4.4.2	Systémy založené na formulích . . . . .	22
4.5	Simulace budoucích her . . . . .	22
4.5.1	Princip metody . . . . .	22
4.5.2	Modelování protihráče . . . . .	23
4.5.3	Výhody a nevýhody metody simulace . . . . .	24
4.6	Neuronové sítě . . . . .	25
<b>5</b>	<b>Modul umělé inteligence – bot</b>	<b>26</b>
5.1	Rozdíly v preflop a postflop fázích hry . . . . .	26
5.1.1	Nevýhody oddělení preflop a postflop modulů . . . . .	27
5.1.2	Výhody oddělení preflop a postflop modulů . . . . .	27
5.2	Rámcový popis bota . . . . .	28
5.2.1	Preflop modul . . . . .	28
5.2.2	Postflop modul . . . . .	28
5.3	Datové struktury aplikace . . . . .	28
<b>6</b>	<b>Preflop modul</b>	<b>30</b>
6.1	Data historií rukou . . . . .	30
6.1.1	Původ dat . . . . .	30
6.1.2	Načtení a formát dat . . . . .	30
6.2	Obecný princip algoritmu preflop bota . . . . .	31
6.2.1	Problémy této metody . . . . .	32
6.3	Volba velikostí navýšení . . . . .	33
6.4	Volba akcí bota . . . . .	34
6.4.1	Tabulka pravděpodobností . . . . .	35
6.4.2	Tvorba tabulky pravděpodobností . . . . .	35
6.4.3	Vyhlazení dat . . . . .	36
6.4.4	Určení výsledných pravděpodobností akcí . . . . .	37

6.5	Zhodnocení algoritmu preflop bota . . . . .	37
6.5.1	Výhody algoritmu . . . . .	37
6.5.2	Nevýhody algoritmu . . . . .	38
6.5.3	Možná vylepšení . . . . .	38
<b>7</b>	<b>Postflop modul</b>	<b>39</b>
7.1	Princip fungování postflop modulu . . . . .	39
7.2	Postflop reprezentace karet hráčů . . . . .	39
7.3	Výpočet síly ruky . . . . .	39
7.3.1	Určení výherní kombinace . . . . .	40
7.3.2	Síla ruky . . . . .	40
7.3.3	Očekávaná síla ruky . . . . .	40
7.3.4	Kvadrát očekávané síly ruky . . . . .	41
7.3.5	Algoritmus výpočtu sil rukou pro bucketing . . . . .	42
7.4	Bucketing . . . . .	42
7.4.1	Implementace bucketingu . . . . .	43
7.4.2	Nevýhody bucketingu a možná vylepšení . . . . .	43
7.5	Výběr následující akce . . . . .	44
7.5.1	Volba velikostí sázek . . . . .	44
7.5.2	Profily sázení . . . . .	44
7.6	Zhodnocení algoritmu postflop bota . . . . .	45
<b>8</b>	<b>Grafické uživatelské rozhraní</b>	<b>46</b>
8.1	Popis prvků okna a ovládání . . . . .	46
8.2	Možná vylepšení . . . . .	47
<b>9</b>	<b>Výsledky testování aplikace</b>	<b>48</b>
9.1	Možnosti testování pokerové umělé inteligence . . . . .	48
9.2	Popis testování . . . . .	48
9.3	Výsledky testování . . . . .	48
9.3.1	Nalezené chyby a připomínky . . . . .	48
9.3.2	Hodnocení kvality hry bota . . . . .	49
<b>10</b>	<b>Závěr</b>	<b>51</b>
	<b>Literatura</b>	<b>52</b>
<b>A</b>	<b>Tabulky mezivýpočtů při určování pravděpodobností akcí</b>	<b>55</b>
A.1	Počty rukou . . . . .	55
A.2	Ukázka iterací vyhlazování pro jednu akci . . . . .	57
A.3	Tabulky vyhlazených výskytnů . . . . .	59



A.4	Výsledné pravděpodobnosti akcí . . . . .	61
<b>B</b>	<b>Uživatelská příručka</b>	<b>63</b>
<b>C</b>	<b>Návod k otestování aplikace</b>	<b>64</b>
C.1	Instrukce před testováním . . . . .	64
C.2	Dotazník . . . . .	64
<b>D</b>	<b>Testovací reporty</b>	<b>66</b>
D.1	Tester č.1 . . . . .	66
D.1.1	Testovací report . . . . .	66
D.2	Tester č.2 . . . . .	67
D.2.1	Testovací report . . . . .	67
D.3	Tester č.3 . . . . .	68
D.3.1	Testovací report . . . . .	68
D.4	Tester č.4 . . . . .	70
D.4.1	Testovací report . . . . .	70
D.5	Tester č.5 . . . . .	71
D.5.1	Testovací report . . . . .	71
<b>E</b>	<b>Formát historie rukou klienta pokerové herny</b>	<b>73</b>

# 1 Úvod

Poker je nejhranější karetní hrou dneška, díky jednoduchosti pravidel je poker přístupný komukoliv, prvek náhody a možnost finanční výhry ho zase činí atraktivním a zábavným. Přestože v pokeru z krátkodobého hlediska výrazně hraje roli vliv štěstí a náhody (hráči mohou být chvíli rozdávány výrazně dobré nebo špatné karty), z dlouhodobého hlediska je rozhodujícím faktorem dovednost hráče, což nedávno uznal i vrchní soud USA [3].

Rozvoj počítačů a internetu způsobil po roce 2000 ve světě pokeru hned několik fundamentálních změn. Vznik online pokeru přivedl ke hře masy nových hráčů z celého světa, což způsobilo nevídaný nárůst popularity a příliv peněz do celého odvětví. Protože denně hrají online poker statisíce lidí, mnoho z dobrých hráčů začalo hrát profesionálně. Mnohem výrazněji však poker změnila dostupnost velkého množství dat sesbíraných při online hře. Analýza těchto dat způsobila obrovský rozvoj a posun v pokerové strategii, která byla do té doby často založena pouze na empirických zkušenostech hráčů.

Mnoho složitějších variant pokeru se zatím stále nachází na průběžně se krátícím seznamu her, ve kterých umělá inteligence dosud nepřekonala nejlepšího lidského hráče. Tento fakt vypovídá o tom, že za jednoduchými pravidly se skrývá velmi komplexní a složitá hra. Podstata všech variant pokeru je stejná, jedná se o stochastickou hru neúplné informace (karty protihráčů jsou neznámé). Aby maximalizovali svoje zisky, musí se hráči z mnoha neúplných či protichůdných informací různého druhu pokusit co nejlépe odhadnout sílu karet protihráče a způsob jeho uvažování. Zároveň musí zvážit, jak vývoj hry ovlivní budoucí akce ostatních hráčů a zejména karty, které budou teprve rozdány. Protože charakter mnoha úloh z reálného světa má s pokerem společné rysy a v těchto typech úloh má umělá inteligence zároveň stále velké nedostatky, jsou poznatky z výzkumu umělé inteligence v pokeru hodnotné.

Autor této práce se hraní pokeru a jeho studiu několik let věnoval a vždy ho lákalo vytvoření pokerové umělé inteligence (bota<sup>1</sup>), proto byla volba tématu bakalářské práce jednoduchá. Cílem této práce je prostudovat existující metody umělé inteligence používané v pokeru a následně navrhnout a

---

<sup>1</sup>V pokerové komunitě se tento termín zažil jako obecné označení pro pokerovou umělou inteligenci. Původní význam slova bot označuje umělou inteligenci, vydělávající svému autorovi peníze hrou v online pokerové herně (což je proti pravidlům všech pokerových heren).

vytvořit umělou inteligenci (bota) schopného hrát hrát dnes nejrozšířenější variantu pokeru – No Limit Texas Hold'em proti jednomu protihráči.

## 2 Pravidla a terminologie pokeru

Přestože existuje velké množství variant pokeru a jejich pravidla se často výrazně liší, všechny varianty sdílí klíčové společné rysy:

- Aby hra měla smysl, je nezbytně nutné, aby hráči hráli o něco, co má pro ně hodnotu, např. peníze.
- Mezi sázkovými koly se rozdávají karty, které mohou změnit sílu karetních kombinací hráčů.
- Část karet nebo všechny karty protihráče jsou skryty.

Pokud budou i po přečtení této kapitoly pravidla nejasná, na této webové stránce lze nalézt jejich podrobné vysvětlení [13]. Pro správné pochopení pravidel je nejpřínosnější vyzkoušet hru v praxi. Hru doporučuji vyzkoušet proti botovi v přiloženém programu nebo online v prohlížeči zde [9].

### 2.1 Texas Hold'em

#### 2.1.1 Historie

V dnešní době je zdaleka nejpopulárnější varianta pokeru Texas Hold'em, i přes velmi jednoduchá pravidla je tato varianta pokeru jednou z nejtěžších co se týče dovedností a strategie. Texas Hold'em vznikl okolo roku 1900 v Texasu, ale masového rozšíření a své současné podoby nabyl až po roce 1967, kdy ho skupina pokerových hráčů přinesla do Las Vegas [4]. V současnosti tato varianta dominuje pokerové scéně a ostatní varianty pokeru jsou spíše okrajové. Druhou nejhranější variantou je Pot Limit Omaha, která má téměř identická pravidla jako Texas Hold'em. Oproti Hold'emu však hráči na začátku hry obdrží čtyři karty namísto dvou, tím dojde ke kombinatorické explozi karetních kombinací, které hráči mohou poskládat a hra je výrazně složitější. Tuto variantu hrají spíše pokročilejší hráči a také nejlepší hráči na světě, kterým už k porovnání sil svou složitostí Hold'em nestačí.

#### 2.1.2 Ruka hráče a ruka hry

Na začátek je nutné definovat význam slova *ruka* (z anglického *hand*), protože má v pokerové terminologii dva různé významy. Konkrétní význam lze

však podle kontextu vždy jednoduše rozlišit:

- První význam slova ruka označuje dvě karty rozdané hráči na začátku hry. Použití: Pokud jsou hráči rozdány karty  $A\heartsuit A\spadesuit$ <sup>1</sup>, jeho **ruka** je velmi silná.
- Druhý význam označuje odehrání jedné hry/partie (od rozdání karet hráčům až po určení vítěze). Použití: Třetí **ruky** turnaje se účastnilo šest hráčů. V této **ruce** hráč C prohrál \$500. Hráči za hodinu stihli odehrát 47 **rukou**.

### 2.1.3 Rozdíly Limit a No Limit Texas Hold'emu

Z pohledu pravidel se tyto varianty liší zejména v tom, kolik žetonů může hráč během jedné sázky vsadit.

**Limit** - Velikost sázky a navýšení je pevně daná a je rovna velikosti jedné velké povinné sázky (vysvětleno dále). V průběhu jednoho sázkového kola mohou hráči sázku navýšit maximálně třikrát. Po třetím povoleném navýšení musí hrající hráč buď složit karty (Fold) nebo dorovnat (Call).

**No Limit** - Hráč může vsadit libovolné množství žetonů z těch, které mu ještě zbývají, kdykoliv je na řadě.

Omezení Limit Hold'emu činí hru mnohem jednodušší, protože hráč při svém tahu vybírá pouze ze tří možných akcí s předem definovanými velikostmi sázek. V No Limit Hold'emu mohou hráči vsadit jakoukoliv sázku, což činí hru mnohem složitější a také zajímavější.

V dnešní době se Limit Hold'em již prakticky vůbec nehraje. V této práci je zmíněn zejména proto, že mnoho výzkumných prací z oblasti umělé inteligence v pokeru se zabývá právě touto variantou, protože je jednodušší než No Limit. Pevně dané velikosti sázek a omezení jejich počtu v jednom sázkovém kole totiž umožňují jednoduché vytvoření stromu budoucích akcí hráčů. Oproti tomu možnost vsadit libovolnou částku v No Limit Hold'emu činí konstrukci stromu hry a odhadování budoucích akcí nesrovnatelně složitějším a komplexnějším problémem.

---

<sup>1</sup>Pár es je nejsilnější startovní kombinací (rukou) v Texas Hold'emu.

## 2.2 Balíček karet

Poker se hraje s balíčkem 52 karet čtyř různých barev: kříže—♣, káry—◇, srdce—♥ a piky—♠. Barvy karet nemají určené pořadí ani prioritu, rozhodující je pouze hodnota karty. Karta s nejvyšší hodnotou ve hře je eso (např. A♣), karta s nejnižší hodnotou je dvojka (např. 2◇). Balíček je po každé hře důkladně zamíchán, aby byla zajištěna náhodnost posloupností rozdáváných karet.

## 2.3 Počet hráčů

Poker se hraje v počtu 2 až 10 hráčů. Jak bude popsáno v následující kapitole, počet hráčů u stolu má obrovský vliv na dynamiku hry a strategii hráčů. Pravidla pokeru jsou stejná bez ohledu na počet hráčů, ale při hře dvou hráčů se částečně mění pořadí sázení hráčů. Protože se tato práce zabývá hrou dvou hráčů (*heads-up*), budou pravidla vysvětlena jen pro tento případ.

## 2.4 Počet žetonů hráčů

Žetonům hráče se říká *stack*. Velikost stacků hráčů se standartně uvádí v počtu velkých povinných sázek (big blindů). Pokud jsou povinné sázky \$10/\$20 a hráč má \$500, jeho stack je 25bb (big blindů). Podle formátu hry se poker hraje s různými stacky v rozmezí od 10bb do 200bb. Velikost stacků v No Limit Hold'emu ovlivňuje obtížnost a zejména charakter hry do takové míry, že se profesionální hráči často specializují pouze na určité rozmezí.

## 2.5 Začátek hry

Na začátku hraní je vylosován *dealer*. Z jeho perspektivy jsou v aktuální hře rozdávány karty a jeho místo u stolu je označeno žetonem s písmenem D. Pozice dealera se po každé hře posouvá o jedno místo ve směru hodinových ručiček.

Před rozdáním karet musí oba hráči povinně vsadit do *potu* (banku) slepé sázky, tzv. *blindy*. Dealer vkládá do hry malou slepou sázku *small blind*, ta je zpravidla polovinou velké slepé sázky *big blindu* (2.1), který musí vsadit druhý hráč. Tyto nucené sázky zajišťují, že hráče účast v každé hře něco stojí. Bez povinných sázek by hráči neměli motivaci hrát a hry by se zúčastnili pouze s nejlepšími karetními kombinacemi.

Termín *pozice hráče* označuje, na jakém místě u stolu se hráč nachází vzhledem k dealerovi. Při hře dvou hráčů je název této pozice převzat přímo od názvů povinných sázek které hráči v aktuální hře zaplatili. Dealer je tedy na pozici small blind a hráč, který vsadil velkou povinnou sázku je na pozici big blind.

Po zaplacení povinných sázek jsou každému hráči rozdány dvě soukromé karty (tzv. *ruka*), které vidí pouze on.



Obrázek 2.1: Situace po rozdání karet a zaplacení povinných sázek. Hráč se nyní rozhoduje, zda dorovná big blind, navýší, nebo složí své karty.

## 2.6 Průběh hry

Odehrání jedné ruky se skládá ze čtyř sázkových kol, během kterých hráči sází na to, že na konci hry bude jejich ruka nejsilnější.

### 2.6.1 Sázková kola

Jedna ruka se skládá z celkem čtyř fází-sázkových kol zvaných *streets*. Sázková kola mají následující pořadí:

- **Preflop** – Následuje po rozdání karet hráčům, jako první v tomto sázkovém kole hraje hráč na small blindu.

- **Flop** – Na stůl jsou z balíčku rozdány tři karty, jako první v tomto kole hraje hráč na big blindu.
- **Turn** – Na stůl je rozdána jedna karta z balíčku, první hraje hráč na big blindu.
- **River** – Na stůl je rozdána jedna karta z balíčku, první hraje hráč na big blindu.

Sázková kola flop, turn a river jsou často označována společným termínem *postflop*. V postflop sázkových kolech jsou na stůl rozdávány veřejné karty, které mohou k vytvoření své výherní kombinace použít všichni hráči, tyto karty se často označují termínem *board*.

## 2.6.2 Možné akce hráčů

Hráči mohou během hry zahrát následující akce:

- **Fold** – Hráč složí svoje karty a skončí tím v aktuální hře, ztrácí tím nárok soutěžit o žetony, které byly vloženy do potu.
- **Check** – V aktuálním sázkovém kole dosud nikdo nevsadil, hráč se touto akcí zdržuje sázení.
- **Call** – Hráč dorovná velikost sázky nebo navýšení protihráče.
- **Bet** – Znamená vsadit po vyložení flopu, turnu a riveru. Minimální velikostí sázky je velikost jednoho big blindu, maximální velikostí sázky jsou všechny zbývající žetony hráče.
- **Raise** – Hráč navýší sázku nebo navýšení provedené protihráčem. Minimální velikost navýšení musí být dvojnásobkem velikosti sázky nebo navýšení protihráče. Maximální velikost navýšení je limitována počtem zbývajících žetonů hráče.
- **All in** – Hráč vsadí všechny své zbývající žetony.

V případě, že oba hráči vsadí All in, ukáží své karty a dojde k dorozdání karet, které by byly rozdány v následujících sázkových kolech. Po rozdání všech karet dojde k porovnání rukou hráčů a určení vítěze. Jaké akce mohou po sobě následovat shrnuje tabulka 2.1.



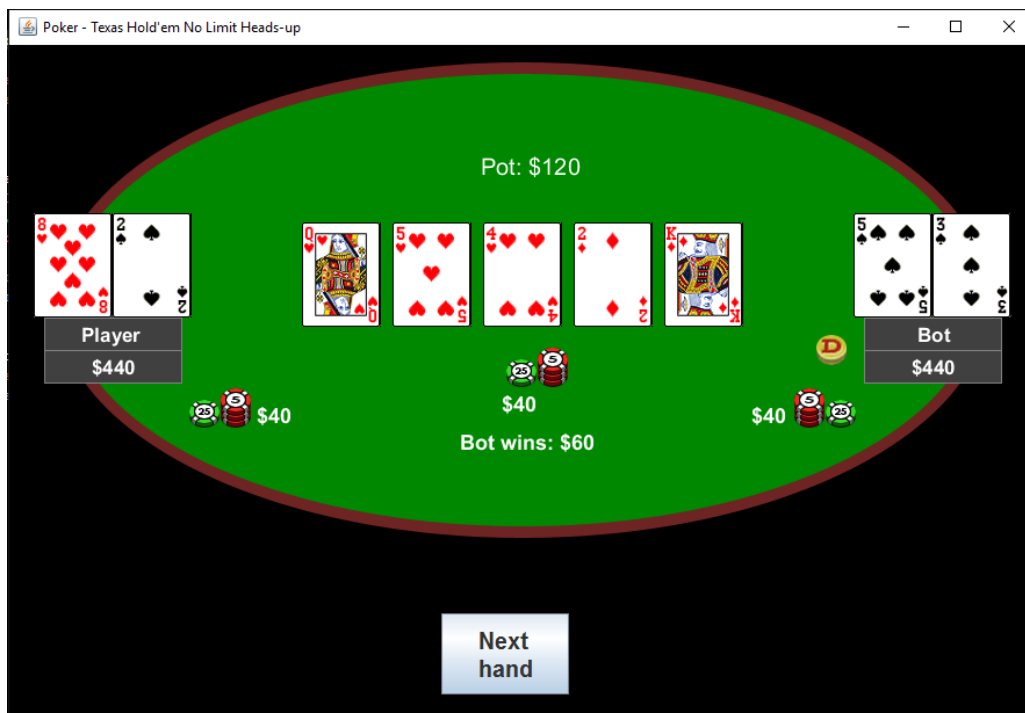
Akce hráče	Možné následující akce
Fold	konec hry
Check	Check, Bet
Call	Check, Bet
Bet	Fold, Call, Raise
Raise	Fold, Call, Raise

Tabulka 2.1: Přehled možností po sobě jdoucích akcí.

## 2.7 Konec hry

Hra končí ve dvou případech:

1. Jeden z hráčů složí svoji ruku (akce Fold), protože nemá zájem dorovnat sázku protihráče. V tomto případě se zahozené karty neukazují.
2. Po skončení posledního sázkového kola (river) hráči ukáží své karty (tzv. *showdown*) a hráč s lepší výherní kombinací zvítězí (viz obr. 2.2).



Obrázek 2.2: Po skončení posledního sázkového kola nastal showdown. Hráči ukáží své karty a hráč s lepší výherní kombinací získá žetony v potu.

## 2.7.1 Výherní kombinace

Výherní kombinace se vždy skládá z pěti karet. Hráč svou výherní kombinaci skládá z libovolné kombinace dvou karet, které drží a z pěti veřejných karet boardu, které jsou rozdány na stůl. Tabulka 2.2 ukazuje, jak se tvoří výherní kombinace z karet ruky hráče a veřejných karet boardu. Čím je výherní kombinace silnější, tím je vzácnější a méně často se během hry vyskytne.

Pokud mají oba hráči stejnou výherní kombinaci (např. pár), zvítězí výherní kombinace obsahující karty vyšší hodnoty. Pokud jsou hodnoty karet výherních kombinací obou hráčů identické, nastane *split* (remíza) a hráči si žetony v potu rovnoměrně rozdělí.

Ruka hráče	Board	Výherní kombinace	Název kombinace
Q♣8♦	K♣A♣T♣4♥J♣	T♣J♣Q♣K♣A♣	Royal Flush (Královská postupka)
5♦6♦	K♣3♦A♣4♦7♦	3♦4♦5♦6♦7♦	Straight flush (Postupka v barvě)
A♦A♥	7♣7♦7♥4♦7♠	7♣7♦7♥7♠A♦	Four of a kind (Čtveřice/poker)
T♠7♥	7♣7♦K♥T♦4♠	7♣7♦7♥T♠T♦	Full house (Trojice a dvojice)
A♠K♣	2♠4♦8♠9♠K♠	A♠K♠9♠8♠2♠	Flush (Barva)
T♠7♥	8♣9♦2♥J♠K♦	7♥8♣9♦T♠J♠	Straight (Postupka)
3♦3♣	8♣9♦3♥J♠K♦	3♥3♣3♦K♦J♠	Three of a kind (Trojice)
A♦A♣	8♣9♦3♥J♠3♦	A♦A♣3♥3♦K♦	Two pairs (Dva páry)
7♠8♥	J♣K♦3♥7♥2♦	7♥7♠K♦J♣8♥	Pair (Pár)
7♠8♥	J♣K♦3♥5♥2♦	K♦J♣8♥7♠5♥	High card (Vysoká karta)

Tabulka 2.2: Přehled možných výherních kombinací v pokeru seřazených od nejsilnějších po nejslabší.

## 2.8 Kombinatorika v pokeru

### 2.8.1 Možné kombinace rukou hráčů

Při rozdávání karet může hráč obdržet jednu z  $\binom{52}{2} = 1326$  možných rukou. Pokud známe svoji ruku, víme, že soupeři byla rozdána jedna z  $\binom{50}{2} = 1225$  rukou, které lze ze zbývajících karet balíčku poskládat. Všechny možné ruce, které může protihráč držet a zároveň pravděpodobnost že tyto ruce drží, nazýváme *range*. Ruce, které mohou být hráčům rozdány, dělíme do následujících kategorií:

- **Párové ruce** – Ruka hráče se skládá ze dvou karet stejné hodnoty. Pár může být rozdán šesti různými způsoby: 8♣8♥, 8♣8♦, 8♣8♠, 8♥8♦, 8♥8♠, 8♦8♠. Celkem  $13 \times 6 = 78$  kombinací.

- **Nepárové ruce** – Obsahují dvě karty různých hodnot (např.  $8\clubsuit 4\heartsuit$ ,  $K\heartsuit 5\spadesuit$ ). Nepárové ruce dále rozdělujeme na dvě kategorie:
  - Ruce s oběma kartami stejné barvy (*suited*) lze poskládat jen čtyřmi způsoby.  $A\clubsuit K\clubsuit$ ,  $A\heartsuit K\heartsuit$ ,  $A\diamondsuit K\diamondsuit$ ,  $A\spadesuit K\spadesuit$ . Celkem  $78 \times 4 = 312$  kombinací.
  - Ruce s kartami odlišných barev (*offsuited*) lze poskládat dvanácti možnými způsoby:  $A\clubsuit K\heartsuit$ ,  $A\clubsuit K\diamondsuit$ ,  $A\clubsuit K\spadesuit$ ,  $A\heartsuit K\diamondsuit$ ,  $A\heartsuit K\spadesuit$ ,  $A\heartsuit K\clubsuit$ ,  $A\diamondsuit K\clubsuit$ ,  $A\diamondsuit K\heartsuit$ ,  $A\diamondsuit K\spadesuit$ ,  $A\spadesuit K\heartsuit$ ,  $A\spadesuit K\clubsuit$ ,  $A\spadesuit K\diamondsuit$ . Celkem  $78 \times 12 = 936$  kombinací.

Z počtů rukou v jednotlivých kategoriích vidíme, že párové ruce jsou poměrně vzácné. Stejně tak nepárové suited ruce jsou rozdány jen v celé čtvrtině případů, jejich strategická hodnota oproti offsuited rukám spočívá v mnohem vyšší šanci na vytvoření výherní kombinace flush (barva). Všechny možné kombinace rukou jsou zobrazeny na obrázku 2.3. Celkový počet způsobů rozdání rukou mezi dvěma hráči se pak podle [11] spočítá jako  $\binom{52}{2} \binom{50}{2} \div 2 = 812175$ . Pokud by se hry účastnilo více hráčů, počet možných způsobů rozdání rukou hráčům by byl ještě výrazně vyšší.

## 2.8.2 Možnosti rozdání karet boardu

Po rozdání rukou dvěma hráčům v balíčku zůstává 48 karet. Z nich lze vytvořit  $\binom{48}{3} = 17296$  různých flopů. Protože v pokeru záleží na pořadí rozdání karet v jednotlivých sázkových kolech, počet možných rozdání flopu a turnu je  $17296 \times 45 = 55500975$ . Počet strategicky odlišných rozdání boardu včetně riveru je  $55500975 \times 44 \doteq 2,4 \times 10^6$ .

## 2.8.3 Další pravděpodobnosti

Uvádění výpočtů dalších pravděpodobností je nad rámec této práce. Základní přehled nejčastěji používaných pravděpodobností lze nalézt [11]. Mezi nejpoužívanější výpočty patří určení pravděpodobnosti zlepšení nebo zhoršení výherní kombinace na základě karet, které budou rozdány na turnu a riveru. Pro pochopení potenciálu různých startovních rukou je také důležité mít povědomí o pravděpodobnostech vytvoření různých výherních kombinací po rozdání flopu (např. šance na vytvoření trojice, dvou párů, náběhu na flush, atd.).

AA	AKs	AQs	AJs	ATs	A9s	A8s	A7s	A6s	A5s	A4s	A3s	A2s
AKo	KK	KQs	KJs	KTs	K9s	K8s	K7s	K6s	K5s	K4s	K3s	K2s
AQo	KQo	QQ	QJs	QTs	Q9s	Q8s	Q7s	Q6s	Q5s	Q4s	Q3s	Q2s
AJo	KJo	QJo	JJ	JTs	J9s	J8s	J7s	J6s	J5s	J4s	J3s	J2s
ATo	KTo	QTo	JTo	TT	T9s	T8s	T7s	T6s	T5s	T4s	T3s	T2s
A9o	K9o	Q9o	J9o	T9o	99	98s	97s	96s	95s	94s	93s	92s
A8o	K8o	Q8o	J8o	T8o	98o	88	87s	86s	85s	84s	83s	82s
A7o	K7o	Q7o	J7o	T7o	97o	87o	77	76s	75s	74s	73s	72s
A6o	K6o	Q6o	J6o	T6o	96o	86o	76o	66	65s	64s	63s	62s
A5o	K5o	Q5o	J5o	T5o	95o	85o	75o	65o	55	54s	53s	52s
A4o	K4o	Q4o	J4o	T4o	94o	84o	74o	64o	54o	44	43s	42s
A3o	K3o	Q3o	J3o	T3o	93o	83o	73o	63o	53o	43o	33	32s
A2o	K2o	Q2o	J2o	T2o	92o	82o	72o	62o	52o	42o	32o	22

Obrázek 2.3: Možné kombinace rukou hráčů v Texas Hold'em. Na diagonále jsou párové ruce, nad diagonálou nepárové ruce s oběma kartami stejné barvy (suited) a pod diagonálou nepárové ruce z karet různých barev (offsuited).

# 3 Teorie pokeru

## 3.1 Poker z pohledu teorie her

Svou podstatou je poker opakem her jako jsou šachy a dáma (deterministické hry úplné informace). Pro pochopení podstaty pokeru je užitečné ho popsat z pohledu teorie her (doplnit citaci):

- **Hra neúplné informace** – Každý hráč drží dvě karty, které zná pouze on. Oponent může v každé situaci držet velký počet různých rukou, jejichž síla se mění a závisí na kartách, které jsou rozdávány na stůl.
- **Nedeterminističnost** – Síly rukou hráčů se mohou rapidně měnit podle karet rozdaných na stůl v různých sázkových kolech. Hráči musí neustále brát v potaz, jak náhodně rozdané karty v budoucích sázkových kolech ovlivní sílu jejich ruky a sílu všech možných rukou protihráče.
- **Částečná pozorovatelnost** – Skryté karty protihráče jsou odkryty jen pokud hra skončí showdownem, velmi často však jeden z hráčů své karty složí a showdown nenastane. V tom případě se žádný z hráčů nedozví, jaké karty protihráč držel a zda byly jeho akce a odhad ruky protihráče správné. Důležitou dovedností pokerového hráče je schopnost odvodit informace o herním stylu protihráče a jeho tendencích i v případě, že nezjistí, jaké karty oponent zrovna držel.
- **Hra s nulovým součtem** – Částka, kterou jeden hráč vyhraje, je vždy rovna částce, kterou druhý hráč prohraje.

## 3.2 Nutné dovednosti dobrého hráče

Pokud chceme hrát dobrý poker (ať už z pohledu člověka nebo umělé inteligence), je nezbytně nutné, aby náš myšlenkový proces či algoritmus bral v potaz několik problémů (inspirováno [22]) vyplývajících z podstaty této hry. Lidé tyto problémy řeší především intuitivně a pomocí zkušenosti, umělá inteligence naopak spíše exaktními výpočty (typickou výjimkou jsou neuronové sítě).

### 3.2.1 Vyhodnocení síly vlastní ruky

Určení síly vlastní ruky je nezbytně nutným předpokladem k optimální volbě následující akce. V nejjednodušším slova smyslu to znamená určit svou výherní kombinaci z aktuálních karet boardu (např. pár, postupka, barva). Tato informace však pro učinění optimálního rozhodnutí není dostatečná. Skutečná síla ruky vyjadřuje, kolik procent protihráčovy range (všech potenciálních rukou oponenta vzhledem k aktuální situaci hry) naše ruka poráží. Pokud protihráč dvakrát za sebou vsadí, lze očekávat, že v jeho range jsou s vyšší pravděpodobností zastoupeny silnější ruce. Například bychom mohli předpokládat, že silnou ruku  $A\clubsuit K\heartsuit$  tímto způsobem (ze všech možných způsobů, jakými ji mohl zahrát) zahraje v 8 % případů, ale slabou ruku  $9\clubsuit 7\heartsuit$  pouze v 0,05 % případů. Skutečná síla ruky bere v potaz i tyto pravděpodobnosti. K určení skutečné síly ruky hráče je tedy nutné co nejpřesněji odhadnout:

1. Pravděpodobnost držení každé z možných rukou range oponenta vzhledem k aktuální situaci.
2. Pro každou ruku oponenta určit pravděpodobnost, že tato ruka bude v showdownu horší než ruka hráče.

### 3.2.2 Potenciál ruky

Důležitým předpokladem k optimální volbě následující akce je určení pravděpodobnosti, že se s rozdáním dalších karet boardu ruka hráče zlepší na vítěznou nebo se naopak zhorší a stane se prohrávající.

Pokud je aktuální výherní kombinace hráče slabá, ale obsahuje čtyři karty stejné barvy nebo čtyři karty do postupky, může se s rozdáním dalších karet síla takové ruky velmi výrazně zlepšit a její potenciál je tudíž vysoký. Opačným případem je ruka s nízkým potenciálem, to může být například pár pětěk bez možnosti flushu či postupky. Taková ruka může na flopu porážet velkou část oponentovy range, ale rozdání dalších karet boardu s vyšší pravděpodobností vylepší ruku protihráče.

### 3.2.3 Nepředvídatelnost

Akce hráče by měly prozrazovat co nejméně informací o síle jeho ruky. Pokud hráč při silné ruce vždy vsadí a slabé hraje vždy pasivně (call/check), většina protihráčů si toho rychle všimne a využije této informace. V tomto případě by protihráč reagoval častým blufováním a v případě sázky hráče

by věděl, že s vysokou pravděpodobností drží silnou ruku. Důležité je obměňování a kombinování strategie, občas stejnou situaci (stejně silné karty) zahrát různým způsobem a s různou velikostí sázek. Obecně je také užitečné hrát blufy stejným způsobem jako silné ruce. Správným kombinováním strategie udržuje hráč oponenta v nejistotě a výrazně mu ztěžuje rozhodování. Oponent pak snáze učiní chybu, protože jeho odhad range hráče bude mylný.

### 3.2.4 Modelování protihráče

Pro maximalizaci zisku je klíčové pochopit způsob uvažování protihráče. Cílem je z odpozorovaných akcí a dostupných informací o protihráči vytvořit model jeho hry. Ten umožní vydedukovat sílu rukou, které v aktuální situaci může protihráč držet, odhadnout jeho budoucí akce a identifikovat slabé stránky jeho hry. Z pohledu statistiky se model snaží co nejlépe určit distribuci pravděpodobností držení všech možných rukou protihráče vzhledem ke kontextu aktuální situace. Vynikající hráči pokeru na základě bohatých zkušeností často dovedou jen z několika málo odehraných rukou vytěžit obrovské množství informací. Přesně určí typ protihráče, úroveň dovedností a způsob jeho uvažování. Z hlediska umělé inteligence je problém modelování protihráče nesmírně zajímavý a bude dále rozveden v kapitole.

## 3.3 Stavový prostor hry

Velikost stavového prostoru pokeru závisí na:

- Všech možných způsobech, kterými lze rozdat karty hráčů a boardu (viz část 2.8). Počet možných způsobů rozdání karet je obrovský, ale existují metody, jak tento problém efektivně řešit v praxi.
- Velikosti stromu možných akcí hráčů.

### 3.3.1 Strom akcí hráčů

Vytvoření kompletního stromu všech možných akcí hráčů (bez ohledu na karty) je v případě Limit Hold'emu poměrně jednoduché. Velikost stromu je omezená, protože faktor větvení je malý, hráči se rozhodují mezi maximálně třemi akcemi (fold/check/bet nebo fold/call/raise). Počet možných navýšení v jednom kole je navíc obvykle omezen na 3 (někdy 4 nebo 5, podle pravidel herny).

V No Limit Hold'em hráči mohou vsadit libovolnou částku ze svého svého stacku. Pokud by hráč byl ve hře s blindy \$10/\$20 a měl stack o velikosti \$500, mohl by vsadit jakoukoliv částku v rozmezí \$20 – \$500. Jeho možné akce tedy jsou fold, check a 480 různých velikostí sázky bet. Počet navýšení v jednom sázkovém kole navíc oproti Limit Hold'emu není nijak omezený, takže by hráči mohli opakovaně navyšovat jen o minimální částku (např.  $10\times$  v řadě), dokud by jim nedošly žetony. Přestože je takový sled sázek nepravděpodobný, pravidla ho umožňují. Faktor větvení No Limit Hold'emu je obrovský. Čím větší stacky hráči mají, tím více stavový prostor narůstá. Hráči mají více možností při volbě velikostí sázek a také průměrně provedou více sázek, než vsadí všechny žetony. Velikost stromu akcí tedy závisí především na velikosti stacků hráčů. To platí i pro obtížnost hry, čím větší jsou stacky hráčů, tím více jsou znát rozdíly v jejich dovednostech a strategická náročnost hry výrazně vzrůstá.

### 3.3.2 Velikost stavového prostoru

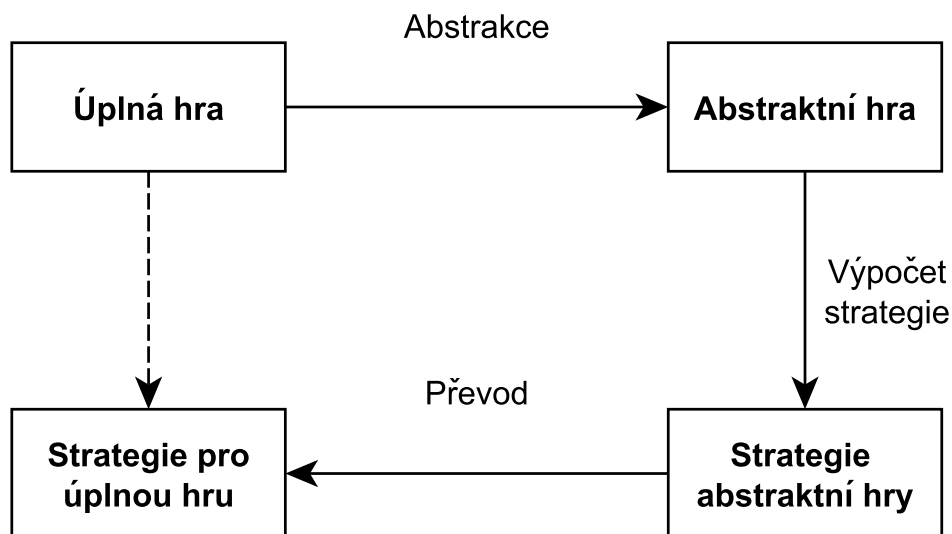
Limit Hold'em je nejmenší varianta pokeru, běžně hraná lidmi, její stavový prostor má velikost  $3,16 \times 10^{17}$  stavů [16][19]. Stavový prostor No Limit Hold'emu je však nepředstavitelně větší. Při hře dvou hráčů se stacky o velikosti 500 big blindů (což je více než je obvyklé v běžných hrách) autoři práce [20] vypočítali přesnou velikost stavového prostoru na  $7,16 \times 10^{75}$  stavů. Pouhé první sázkové kolo No Limit Hold'emu má tak větší stavový prostor, než celý Limit Hold'em.

Stavový prostor abstraktní hry má zvladatelnou velikost a umožňuje použití různých metod pro výpočet a určení strategie, kterou lze následně aplikovat na úplnou variantu pokeru. Metody abstrakce jsou podrobně vysvětleny v části práce popisující implementaci bota, protože je využívá.

## 3.4 Abstrakce stromu hry

Navzdory rostoucímu výpočetnímu výkonu a pokrokům v algoritmech je zatím vyřešení i pouhého Limit Hold'emu v plné velikosti nemožné. Naštěstí existují metody abstrakce, jejichž aplikací lze vytvořit zjednodušený model pokeru, který je však strategicky dostatečně podobný původní hře. Optimální tah či strategie je pak vypočítána ve zjednodušené hře a toto řešení je následně namapováno zpět na úplnou verzi hry [19]. Nástin tohoto procesu je zobrazen na obr. 3.1. Všechny z níže uvedených abstrakcí byly použity při tvorbě bota, o kterém tato práce pojednává.





Obrázek 3.1: Diagram tvorby herní strategie na zjednodušené verzi pokeru (vytvořeno podle [23]).

Abstrakce se podle [1] dělí na dvě kategorie: ty, které zachovávají původní strategickou komplexitu hry (bezztrátové abstrakce) a ty, které ji nezachovávají (ztrátové abstrakce).

### 3.4.1 Isomorfismus karet

V pokeru jsou karty 4 různých barev, ty však nemají dané žádné pořadí či prioritu a jsou ekvivalentní. Během hry také může nastat flush vždy pouze jedné barvy. Pokud v preflop fázi hry dostaneme karetní kombinaci  $A\clubsuit K\clubsuit$ , budeme ji hrát naprosto stejně, jako kdybychom dostali kteroukoliv ze zbývajících suited kombinací:  $A\heartsuit K\heartsuit$ ,  $A\diamondsuit K\diamondsuit$ ,  $A\spadesuit K\spadesuit$ . Z pohledu strategie nás zajímá pouze to, zda je ruka suited (tudíž má větší šanci na vytvoření výherní kombinace flush) nebo offsuited. Stejně tak nás po rozdání flopu nezajímá, jakou konkrétní barvu tyto karty mají, ale pouze jestli mají barvu, která může pomoci naší ruce vytvořit flush (nebo naopak barvu, ze které by mohl flush vytvořit soupeř). Tento fakt platí pro libovolné kombinace, ruce  $9\spadesuit 5\clubsuit$  a  $9\heartsuit 5\diamondsuit$  jsou v preflop fázi stejně silné a proto nejsou strategicky odlišné. V postflop fázi nás teoreticky opět nezajímají konkrétní barvy karet, ale pouze informace, kolik karet boardu má stejnou barvu jako karty naší ruky a zda karty boardu dávají soupeři potenciál na vytvoření flushu. Specifická barva jednotlivých karet je tedy často nadbytečnou informací.

Celkový počet 1324 různých rukou, které mohou být rozdány hráčům na začátku hry tak můžeme rozdělit do 169 ekvivalentních tříd (viz tabulka počátečních rukou 2.3). Touto abstrakcí výrazně zmenšíme stavový prostor hry, avšak tato samotná abstrakce k vytvoření stromu zvladatelné velikosti nestačí.

### 3.4.2 Abstrakce velikostí sázek

Jak bylo zmíněno v odstavci 3.3.1, v případě No Limit Hold'em mohou hráči vsadit libovolnou částku až do velikosti jejich stacku a faktor větvení stromu je pak obvykle v řádu stovek až tisíců, což je nezvládnutelné.

Faktor větvení lze na první pohled zmenšit omezením různých velikostí sázek na konkrétní, předem dané hodnoty. V této abstrakci určíme několik konkrétních velikostí sázek a budeme předpokládat, že hráči mohou vybírat jen z nich. Velikost sázek se při hře pro jednoduchost často vztahuje k velikosti potu (banku), nejjednodušší abstrakce by nastavila možné velikosti sázek například takto:  $0,5 \times \text{pot}$ ,  $1 \times \text{pot}$ ,  $1,5 \times \text{pot}$ , all in. Ideální je, aby zvolené sázky co nejlépe reprezentovaly skutečné velikosti sázek, které by hráči při hře volili.

Velikosti sázek v abstrakci však velmi často nebudou a ani nemohou odpovídat skutečným sázkám, které nastanou v reálné hře. Tato abstrakce tak vytvoří zjednodušenou verzi hry, která se i v nejlepším případě bude nezanedbatelně lišit od hry úplné a bude v sobě nést chybu (je ztrátová). Pokud při tvorbě bota použijeme algoritmus vyžadující konstrukci stromu hry, je tato abstrakce v No Limit Hold'em nepostradatelná.

### 3.4.3 Bucketing

Tato ztrátová abstrakce spočívá v seskupení mnoha strategicky podobných stavů hry do jednoho. Bucketing [1] seskupuje skupiny rukou do tříd ekvivalence. Jeden z nejjednodušších možných způsobů vytvoření skupin rukou (bucketů) funguje takto:

1. Pro každou ruku spočítáme její sílu. Síla ruky se vypočítá jako pravděpodobnost výhry této ruky proti náhodné ruce v showdownu.
2. Všechny ruce pak seřadíme podle jejich síly a rozdělíme do předem daného počtu tříd (bucketů). V bucketech pak budou ruce přibližně stejné hodnoty, o nichž lze prohlásit, že jsou strategicky ekvivalentní.
3. Abstraktní model hry pak namísto s velkým počtem rukou hráčů pracuje s buckety. Čím více bucketů použijeme, tím bude model přesnější,

ale zároveň výpočetně náročnější. Rizikem bucketingu je, že ve stejném bucketu skončí i ruce, které nejsou strategicky podobné (i když mají aktuálně stejnou sílu).

Pro dobré fungování bucketingu je nutné, aby algoritmus rozdělující ruce do bucketů k sobě seskupoval ty ruce, které jsou si strategicky nejpodobnější. Toto téma bude podrobněji rozvedeno v kapitole popisující fungování postflop bota.

## 3.5 Strategie v pokeru

### 3.5.1 Optimální strategie

V pokeru se hráči snaží od oponentů vyhrát co nejvíce peněz. Toho lze docílit jedinečně tak, že hráči svou strategii upraví způsobem, který v maximální možné míře exploatuje (využívá) chyby protihráče. Taková strategie je pak optimální (maximální) a v praxi se jí hráči snaží co nejvíce přiblížit. Během hry se hráči neustále přizpůsobují strategii protihráče a snaží se mu přijít „na kobytku“, tím se mění dynamika hry a s ní i teoretické optimální strategie obou hráčů. Při hře mezi zkušenými hráči tak dochází k neustálému závodu o to, kdo se rychleji přizpůsobí a adaptuje aktuální hře protihráče.

Klíčový je poznatek, že neexistuje jeden univerzální způsob, jak od každého protihráče vyhrávat maximum. Optimální strategie musí být vždy vytvořena na míru každému protihráči.

### 3.5.2 Nashova rovnováha

Neustálé přizpůsobování se protihráči není jedinou možnou strategií, poker totiž z pohledu teorie her splňuje všechny podmínky pro výpočet Nashovy rovnováhy [8]. Nashova rovnováha je podle [23] taková strategie, kdy žádný z hráčů nemůže získat tím, že se od této strategie jakkoliv odchýlí. V pokeru by hraní podle Nashovy rovnováhy znamenalo, že v nejhorším případě budeme z dlouhodobého hlediska na nule a nikdy ve ztrátě, což je fantastické.

V praxi je problémem, že výpočet Nashovy rovnováhy musí probíhat na úplném stavovém prostoru hry, který je v pokeru extrémě veliký. Použitím abstrakcí popsanych v části 3.4 je možné Nashovu rovnováhu aproximovat na zjednodušené verzi hry, to sebou však nese mnoho obtíží, jak bude podrobněji vysvětleno v části 4.3.

### 3.5.3 Porovnání optimální strategie a Nashovy rovnováhy

O těchto strategiích můžeme prohlásit, že leží na opačných koncích spektra možných strategií a každá k pokeru přistupuje odlišným způsobem.

Nashova rovnováha zaručuje, že hráč dlouhodobě neskončí v mínusu, ale na druhou stranu je tato strategie statická a žádným způsobem nevyužívá slabých stránek protihráčovy hry. Nashova rovnováha by byla ideální strategií v případě hry proti lepšímu oponentovi, protože toho bychom nebyli schopni „přechytračit“ a navrhnout strategii, která by ho exploatovala, spíše naopak.

V případě hry proti horšímu protihráči, by Nashova rovnováha nevyhrávala zdaleka tolik, jako exploatační strategie. Pokud oponent blufuje příliš, využijeme toho tím, že budeme častěji dorovnávat jeho blufy. Pokud protihráč naopak blufuje málo a špatné ruce skládá, budeme často blufovat a respektovat jeho sázky (dorovnávat je jen s dobrými kombinacemi). Pokud bychom oponentům hráli podle Nashovy rovnováhy, vzdali bychom se části potenciálního zisku.

Nashovu rovnováhu můžeme považovat za neporazitelnou strategii a každé odlišení od této strategie za chybu. Pokud se strategie jednoho z hráčů nějakým způsobem odchýlí od Nashovy rovnováhy, druhý hráč tuto chybu může exploatovat tak, že se jeho strategie od Nashovy rovnováhy odchýlí „správným směrem“, tím se však jeho strategie stane též exploatovatelnou.

Autoři práce [19] použili při tvorbě pokerové umělé inteligence zajímavý přístup, založený na výše uvedených konceptech. Základní strategie jejich bota je aproximace Nashovy rovnováhy. Během hry se pro strategii protihráče vypočítává, jak moc se jeho hra od rovnováhy odlišuje. Tato odlišnost je považována za chybu protihráčovy hry. Výchozí strategie bota podle Nashovy rovnováhy je následně pozměněna tak, aby maximálně exploatovala zjištěnou chybu protihráče.

# 4 Poker z pohledu umělé inteligence

Tato kapitola popisuje požadavky na bota a přehled nejčastěji používaných metod umělé inteligence v pokeru.

## 4.1 Obecné požadavky na pokerovou umělou inteligenci

Algoritmus umělé inteligence v pokeru můžeme obecně charakterizovat podle jeho minimálních vstupů a výstupů.

### 4.1.1 Vstupy algoritmu

Vstupem algoritmu je vždy poslední zahraná akce a aktuální stav hry (velikost stacků a potu, karty boardu, ruka bota). Algoritmu můžeme poskytnout i další informace, například sled akcí zahráných v aktuální ruce, nebo informace o předešlých rukách. To ale není pravidlem a algoritmus by si měl tyto informace spíše uchovávat ve svém vnitřním stavu.

### 4.1.2 Výstupy algoritmu

Výstupem algoritmu je zvolená následující akce. Interně by ale algoritmus měl vytvořit pořadí akcí podle preference a určit distribuci pravděpodobností volby pro všechny možné následující akce, které může v danou chvíli zahrát. Pokud má bot středně silnou ruku a volí ze čtyř možných akcí, může výstup algoritmu před finálním výběrem akce vypadat například takto: Fold 5 %, Call 60 %, Raise  $1,5 \times \text{pot}$  30 %, Raise All in 5 %. Výsledná akce se pak nejčastěji vybírá náhodně a podle těchto pravděpodobností.

V drtivé většině situací nebude mít jedna akce stoprocentní preferenci. Velmi často se hráč musí rozhodnout mezi dvěma či více akcemi, které se z hlediska očekávané velikosti výhry jeví jako ekvivalentní. Jak bylo popsáno v části 3.2.3, proti zkušenějším soupeřům je nezbytné kombinovat svou strategii, čímž soupeř získá minimum informací. K matení soupeře se proto občas vyplatí zvolit i mírně suboptimální akci (co se zisku týče), která se však vyplatí z dlouhodobého hlediska.

## 4.2 Metody umělé inteligence používané v pokeru

Pokerové umělé inteligence lze rozdělit do dvou kategorií:

- Ty které používají strategii Nashovu rovnováhu.
- Všechny ostatní, jejich výsledná strategie je většinou exploativní.

## 4.3 Nashova rovnováha v pokeru

V roce 2016 se v každoroční soutěži pokerových umělých inteligencí (Annual Computer Poker Competition [10]) v kategorii No Limit Hold'em Heads-up na prvních třech místech umístily boti používající strategii vypočítanou aproximací Nashovy rovnováhy na zjednodušeném modelu pokeru, který byl vytvořen pomocí abstrakcí (viz část 3.4). V roce 2015 se bot Claudico [2], též hrající podle aproximace Nashovy rovnováhy, utkal v několikadenní hře proti čtyřem profesionálům a výsledkem byla remíza. V roce 2015 skupina vědců z pokerové výzkumné skupiny univerzity v Albertě oznámila [16], že se jim podařilo pomocí Nashovy rovnováhy vyřešit Limit Hold'em (jejich aproximace rovnováhy je natolik přesná, že lze hru považovat za vyřešenou).

Přestože strategie získaná aproximací Nashovy rovnováhy podává impozantní výsledky, těmi její výhody končí. Výpočet Nashovy rovnováhy je extrémě náročný. Nalezení rovnováhy řešící Limit Hold'em [16] trvalo 70 dní a výpočet probíhal na 200 výpočetních uzlech s 24 jádry, k uložení strategie bylo potřeba 10 TB paměti. Stejně tak výpočet Nashovy rovnováhy pro Claudica vyžadoval superpočítač.

Výsledná strategie je pak sice téměř neporazitelná, ale z lidského hlediska je velmi nezajímavé proti takovému botovi hrát, protože jeho hra se nikdy nemění a je strojová.

## 4.4 Znalostní systémy

Při návrhu znalostního systému v pokeru je potřeba, aby expert (zkušený pokerový hráč), do systému vložil své znalosti. V pokeru se používají dva druhy znalostních systémů [1].

### 4.4.1 Expertní systémy

Expertní systémy používají množinu *if-then* pravidel pro různé scénáře, které se mohou během hry vyskytnout. Expertní systémy typicky nevynikají v postflop fázi hry, která je příliš složitá na to, aby byla reálně řešitelná člověkem definovanými pravidly. Kvalitní postflop strategie by vyžadovala v praxi nedosažitelný počet pravidel. S rostoucím počtem definovaných pravidel se totiž zhoršuje jejich udržitelnost a přehlednost.

Expertní systémy jsou schopné porážet začátečníky a dříve byly často používány jako boti na online pokerových hernách. Dokonce existuje komerční software [15], umožňující pokerovým hráčům bez znalosti programování vytvoření expertního systému a jeho nasazení na online pokerovou hernu.

Znalostní systémy lze s úspěchem použít zejména v preflop fázi hry (která je poměrně jednoduchá) s tím, že postflop fáze je řešena jinou metodou.

### 4.4.2 Systémy založené na formulích

Jejich vstupem jsou informace popisující stav hry. Formule následně vypočítají pravděpodobnost výběru pro každou z aktuálně možných akcí a jedna z nich je pak náhodně zvolena. Typickým vstupem formule může být aktuální síla ruky, kolik peněz bot musí dorovnat, kolik peněz je již v potu a sled akcí, které hráči během ruky zahráli.

## 4.5 Simulace budoucích her

### 4.5.1 Princip metody

Tato metoda je jednou z nejzajímavějších a teoreticky umožňuje najít strategii, která protihráče bude maximálně exploatovat. Svou podstatou je zároveň nejpodobnější uvažování lidského hráče. Ten se typicky rozhoduje tak, že si pro každou z možných akcí představí budoucí vývoj hry a vybere tu, pro kterou očekává maximální zisk (či minimální ztrátu).

Princip metody spočívá v simulaci možného budoucího vývoje ruky a počítání zisků/ztrát při dosažení listu stromu akcí hráčů (akce Fold nebo showdown). Jeden výpočet v simulaci tedy spočívá v dohrání ruky z aktuální situace až do jejího konce.

Nejjednodušší implementace by vytvořila úplný abstraktní strom akcí hráčů, následně by byly postupně rozdávány všechny možné boardy a pro každý určeny zisky a ztráty v listech stromu. Zisky (ztráty) z listů by pak byly propagovány zpět až k uzlu akce, kterou uvažujeme zahrát. Po skončení

simulace vývoje hry pro všechna možná rozdání, bychom znali očekávanou hodnotu každé z potenciálních akcí.

Velikost stromu akcí hráčů a počet možných rozdání boardu však v praxi znemožňují kompletní simulaci všech budoucích her. Navíc chceme, aby se bot rozhodoval podle aktuální situace (strategie nebude předpočítána) a výpočet probíhal online. V praxi se s úspěchem používá prohledávání stromu metodou Monte Carlo (MCTS [7]). To v pokeru podle [24] znamená:

1. Místo rozdání všech ( $2.4 \times 10^6$ ) možných boardů, je rozdáno například jen několik desítek nebo stovek náhodných boardů. Při volbě následující akce je totiž často jedna znatelně lepší než ostatní, takže i v případě simulace pouhého zlomku možných budoucích her, bude vybraná akce se solidní pravděpodobností nejlepší možná.
2. Místo vytvoření kompletního stromu akcí jsou při každé jednotlivé simulaci expandovány jen některé uzly akcí a strom je vytvářen postupně.

Strom je tedy vždy prohledáván do hloubky, ale šířka prohledávání je omezena časem a výpočetním výkonem. S dalšími výpočty se očekávaná hodnota jednotlivých akcí zpřesňuje. Pokud po části plánovaných výpočtů jedna z potenciálních akcí výrazně převyšuje očekávanou hodnotu zbývajících akcí, lze výpočet předčasně ukončit.

Aby tuto metodu bylo možné použít, potřebujeme nějak určit pravděpodobnosti volby různých akcí v uzlech stromu náležících protihráči. Je tedy nezbytně nutné mít nějaký model protihráče, který tyto pravděpodobnosti odhadne. Kvalita vypočítané strategie tedy stojí a padá s přesností modelu protihráče.

#### 4.5.2 Modelování protihráče

Modelování protihráče je klíčovou součástí metody simulace, ale obecně je používáno mnoha různými metodami pro určení síly ruky protihráče. Model protihráče musí bez ohledu na implementaci plnit minimálně tyto dvě úlohy [22] [24]:

- První úlohou modelu je predikce pravděpodobností následující akce protihráče. Od modelu tedy potřebujeme získat distribuci pravděpodobností pro možné akce (např. Fold 5 %, Call 60 %, Raise  $1,5 \times \text{pot}$ , 30 % Raise  $1,5 \times \text{pot}$  30 %, Raise All in 5 %)



- Druhou úlohou modelu je odhad síly ruky protihráče v showdownu. Pokud simulace vývoje ruky dosáhne showdownu, model musí odhadnout, jak silná bude protihráčova ruka vzhledem ke sledu akcí, které byly zahrány.

Často je od modelu vyžadováno, aby byl schopen určit sílu ruky protihráče nejen v showdownu, ale i v každé situaci hry. Ve výsledku to znamená určit odhad pravděpodobnosti výskytu každé možné ruky v range protihráče vzhledem ke konkrétní situaci ve hře.

Pokud je při každé hře použit jen jeden model, který reprezentuje hru typického protihráče, nazýváme takové modelování *generické*[18]. Pokud je model vytvořen podle informací o konkrétním protihráči a na základě historií rukou, které proti němu byly odehrány, nazýváme takové modelování *specifické*.

Pokud porovnáme nároky kladené na model a nároky kladené na algoritmus bota, zjistíme že si jsou velmi podobné. Nejjednodušším způsobem, jak modelovat protihráče, je použít algoritmus, který zajišťuje hru bota a zjistit, jak by se se všemi možnými rukami zachoval na místě protihráče (nelze použít pro metodu simulace). Bot by tedy jakoby hrál sám proti sobě. Tato metoda tedy předpokládá, že protihráč by se zachoval stejně, jako kdyby byl na jeho místě bot. Podobně jako když se lidský hráč snaží odhadnout sílu ruky a záměry protihráče tím, že přemýšlí, jak by se na jeho místě zachoval on. To znamená, že model protihráče a bot jsou teoreticky zaměnitelní. Pokud se podaří vytvořit kvalitní model, klidně by mohl být použit i jako bot a naopak.

Nejjednodušším způsobem modelování je použít sadu jednoduchých pravidel či expertní systém, hrubě modelující akce protihráče. Další možností předpovídání akcí protihráče je použití jednoho z mnoha algoritmů strojového učení, který bude naučen na datech získaných z online herny. V praxi bylo modelování protihráče implementováno například neuronovými sítěmi [17][18].

### 4.5.3 Výhody a nevýhody metody simulace

Skvělou vlastností této metody je, že umožňuje objevení velmi komplexních strategií bez expertních znalostí a má velký potenciál pro nalezení skutečně exploativní strategie.

Hlavní slabinou této metody je její absolutní závislost na kvalitě modelu protihráče. V případě nerealistického modelu bude strategie bota chybná. Problémem může být také relativně vysoká výpočetní náročnost této metody.

## 4.6 Neuronové sítě

Neuronové sítě byly v pokeru aplikovány mnoha různými způsoby. Například v práci [17], byl použit vícevrstvý perceptron k modelování protihráče. Komerční software Neo Poker Bot [9] také používá neuronovou síť (natrénovanou na několika milionech historií rukou z online heren) k modelování protihráčů.

Zajímavé jsou neuronové sítě zvládající kompletní hru. Komerční výukový software PokerSnowie [12] umožňuje hru proti umělé inteligenci založené na neuronové síti. Ta dovede velmi přesně ohodnotit kvalitu zahraných akcí hráče, čímž mu pomáhá se zlepšit. PokerSnowie se veškerou strategií naučil sám učením bez učitele, při hře proti jednoduchým botům simulujícím různé herní styly (pasivní, agresivní, ...). Jeho autoři si však chrání své know-how a detaily jeho implementace nejsou známy. Autoři práce [25] použili konvoluční neuronovou síť, kterou natrénovali na datech historie rukou a zároveň na datech získaných tím, že neuronovou síť nechali hrát samu proti sobě. Výsledný bot hraje téměř na úrovni profesionálního lidského hráče.

# 5 Modul umělé inteligence – bot

Modul umělé inteligence je implementován v programovacím jazyce Java. Při tvorbě umělé inteligence v pokeru lze použít dvou přístupů. Buď lze použít jeden algoritmus řešící hru v obou fázích (preflop i postflop), nebo lze použít dva odlišné moduly řešící preflop a postflop fázi hry zvlášť.

## 5.1 Rozdíly v preflop a postflop fázích hry

Preflop a postflop fáze hry se svojí podstatou, náročností a strategií velmi odlišují:

- V preflop fázi mají ruce hráčů vždy stejnou sílu ( $A\clubsuit A\spadesuit$  – nejsilnější ruka,  $7\diamondsuit 3\heartsuit$  – slabá ruka). Preflop síla ruky je dána tím, kolik očekáváme, že s ní dlouhodobě vyhrájeme (prohrájeme) peněz. Přesnou sílu každé ruky není možné přesně zjistit, protože závisí na spoustě faktorů (zejména na velikosti stacků hráčů a na aktuálním protihráči), většinou ji však lze s rozumnou přesností odhadnout. V preflop fázi je k dispozici relativně malé množství informací, které hráči musí při rozhodování zvážit. V potaz je třeba brát jen své dvě karty a předešlé akce protihráče.
- Postflop fáze hry je výrazně složitější. Karty rozdané na board vždy změny sílu všech možných rukou hráčů. Zatímco preflop bylo možné považovat sílu všech rukou za neměnnou, postflop je síla rukou pokaždé různá podle aktuálních karet boardu. Akce hráčů provedené preflop, zkombinované s akcemi provedenými postflop, zároveň zvýší počet informací, které je nutné při rozhodování brát v potaz.

Po použití abstrakcí může mít strom akcí v preflop fázi velikost v řádu desítek až stovek uzlů. V postflop fázi však velikost stromu akcí dále výrazně roste a při rozhodování je nutné brát v potaz také karty boardu. Tyto fáze hry můžeme díky jejich výrazným odlišnostem řešit různými moduly, to má své výhody i nevýhody, které budou dále rozvedeny.

### 5.1.1 Nevýhody oddělení preflop a postflop modulů

Při oddělení modulů na sebe jejich strategie přímo nenavazují a výsledná strategie pak není tak robustní (celistvá, komplexní, koherentní), jako kdyby byl použit jen jeden modul pro hru v obou fázích. Vzdáváme se tak vlastně možnosti vytvoření umělé inteligence se špičkovou strategií, pro jejíž vytvoření je nutné, aby všechny akce bota byly součástí vyššího záměru v kontextu jedné celistvé strategie. Další nevýhodou je problém koordinace změn strategie preflop a postflop modulů v případě použití adaptivní strategie.

### 5.1.2 Výhody oddělení preflop a postflop modulů

Preflop fázi hry lze díky její jednoduchosti úspěšně řešit například expertním systémem. Tak můžeme poměrně jednoduše získat preflop strategii na dobré úrovni. Kvalita preflop hry je navíc extrémě důležitá pro celkový zisk, protože při hře dvou hráčů obvykle i více než polovina všech rukou končí již v preflop fázi.

Pokud bychom pro určení strategie používali metodu, která potřebuje vytvořit úplný strom akcí hráčů (např. simulace, Nashova rovnováha), může být oddělení modulů přínosem, protože výpočet na úplném stromu (přes obě fáze hry) sebou nese určité nevýhody.

Pro tyto metody je nutné vytvořit abstraktní strom akcí hráčů, tato abstrakce je však ztrátová a do výpočtu zanese chybu. V případě metody simulace navíc v každém uzlu protihráče potřebujeme získat také odhad pravděpodobností volby různých akcí. Model protihráče však bývá poměrně nepřesný, čímž se do výpočtu zanese další chyba.

V případě, že bychom chtěli preflop a postflop strategii určit jedním výpočtem, bylo by nutné vytvořit strom akcí (získat odhady modelu) pro čtyři sázková kola (preflop, flop, turn, river). S počtem sázkových kol, na kterých výpočet probíhá, však výrazně roste také velikost stromu akcí a zároveň roste kumulativní chyba způsobená abstrakcí stromu (a nepřesnostmi v modelu protihráče). Výsledná chyba by pak mohla být natolik velká, že by vypočítaná preflop strategie byla nesmyslná. Další nevýhodou je vysoká výpočetní náročnost, při simulaci budoucího vývoje hry by bylo i za použití metody Monte Carlo nutné rozdat velký počet různých boardů a získat velký počet odhadů akcí protihráče od jeho modelu.

V případě oddělení fází hry, by postflop modul při svém prvním rozhodnutí již znal karty flopu. Při výpočtu budoucího vývoje hry by pak stačovalo rozdat jen možné karty turnu a riveru, což je obrovské zjednodušení. Strom akcí by se skládal jen z akcí tří sázkových kol (flop, turn a river) namísto čtyř, tím by se výrazně snížila velikost stromu akcí hráčů (a počet

nutných odhadů modelu protihráče) a kumulativní chyba výpočtu by se tím pádem také snížila. Stejně tak výpočet Nashovy rovnováhy jen pro postflop fázi hry je výrazně jednodušší než pro celou hru.

## 5.2 Rámcový popis bota

Řešení prezentované v této práci se skládá ze dvou nezávislých modulů pro preflop a postflop fázi hry. Rozhodnutí rozdělit moduly má několik důvodů:

- Metoda použitá k řešení preflop fáze je z principu velmi robustní, ale není použitelná pro postflop fázi hry.
- Oddělení modulů umožňuje snažší úpravu a ladění hry bota v jednotlivých fázích hry.
- Jak bylo popsáno v části 5.1.2, pro mnoho metod je oddělení modulů výhodné. V případě implementace jiné metody by byla výměna jednoho z modulů snadná.

### 5.2.1 Preflop modul

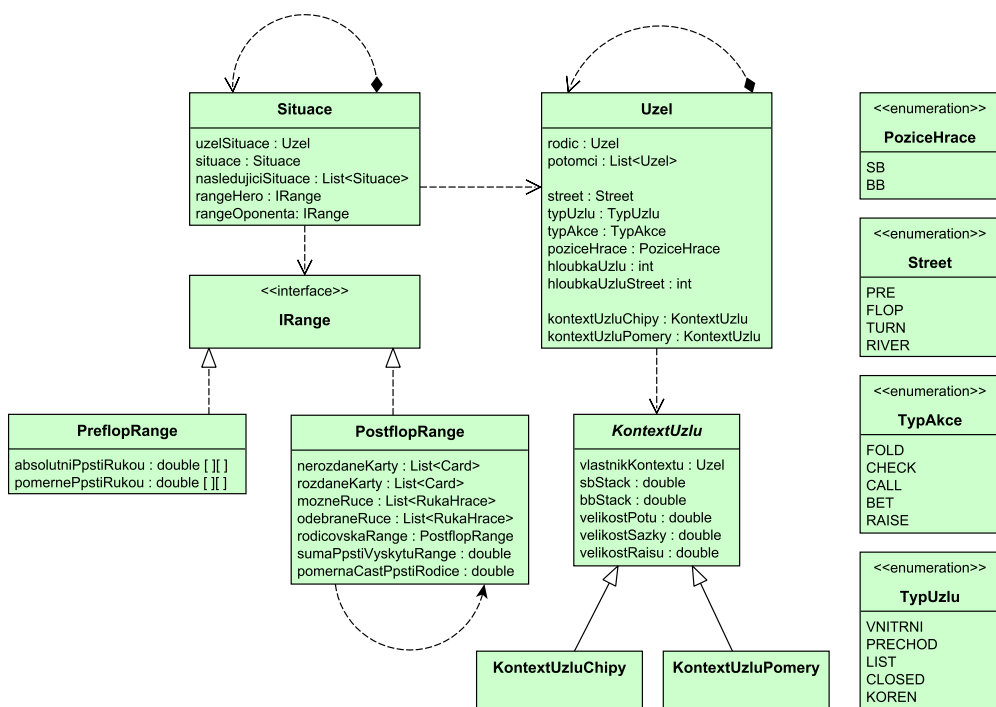
Tento modul ke svému rozhodování používá strojového učení a informace čerpá z dat historií rukou odehraných autorem této práce při hře v online pokerové herně. Volby akcí bota se pro konkrétní situace ve hře pokouší napodobovat volby hráče z dat historie rukou.

### 5.2.2 Postflop modul

Algoritmus postflop modulu vypočítá sílu všech možných rukou ve hře podle aktuálních karet boardu. Ruce s podobnou silou jsou následně seskupeny do bucketů (viz část 3.4.3. Strategie pro zahrání jednotlivých bucketů je pak určena z expertně nadefinovaných pravidel.

## 5.3 Datové struktury aplikace

Přestože preflop a postflop moduly používají odlišné algoritmy, oba sdílejí datové struktury pro reprezentaci akcí hráčů (případně vytvoření stromu akcí), ty jsou vyobrazeny na obr. 5.1. Moduly se liší zejména v odlišné reprezentaci všech možných rukou (range) hráčů.



Obrázek 5.1: UML diagram základních struktur použitých k reprezentaci stromu akcí hráčů.

# 6 Preflop modul

Modul preflop bota funguje na podobném principu, jako některé algoritmy modelování protihráče (viz část 4.5.2). Pokud bychom teoreticky měli možnost pozorovat nějakého hráče při odehrání velkého počtu rukou a zaznamenali všechny jeho akce, bylo by následně možné jeho hru napodobit tak, že bychom ve stejných situacích hry volili se stejnými rukami stejné akce.

Tento přístup je výhodný zejména v preflop fázi hry, kdy velikost stromu akcí dosud není příliš velká. Pro preflop fázi hry zároveň máme nejvíce dat oproti například riveru, protože až na river se hra dostane jen v relativně malém počtu případů.

Rozhodnutí bota se tedy snaží kopírovat rozhodnutí lidského hráče. Za tímto účelem má bot k dispozici data—*historií rukou* sesbíraná při online hře, ze kterých čerpá informace.

## 6.1 Data historií rukou

### 6.1.1 Původ dat

Data historií rukou byla získána při hře autora této práce v online pokerové herně. Formátem hry byly Heads-up turnaje pro dva hráče se vstupním vkladem 1,50\$ – 7\$, což jsou jedny z nejnižších hraných sázek. Dataset se skládá ze 300 turnajů a obsahuje historie 13000 rukou. V tomto typu turnaje hráči začínají se stacky o velikosti 75 big blindů. Během hry jsou povinné sázky postupně zvyšovány a hráči tak mají stále menší stacky (v počtu big blindů). Data obsahují nejvíce rukou s velikostí stacků v rozmezí 20 – 30 blindů a proto s touto velikostí stacků bot hraje nejlépe.

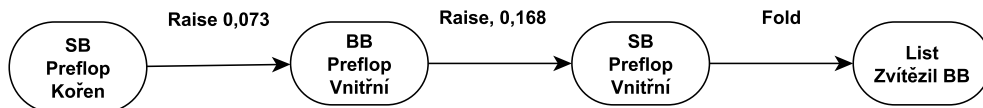
### 6.1.2 Načtení a formát dat

Klient pokerové herny ukládá informace o odehraných rukách do textových souborů (ukázka v příloze E). Proto bylo nutné vytvořit parser, který převede informace z textových souborů do datových struktur používaných botem. Z důvodu časové náročnosti parsování a velikosti textových souborů jsou načtené historie rukou uloženy jako serializované objekty ve složce `data` v souboru `handHistory.hh`.

Algoritmy bota nereprezentují velikosti sázek a stacky hráčů v počtech žetonů (např. \$1200, \$500, ...), ale jako hodnoty na intervalu  $\langle 0; 1, 0 \rangle$ . Počet

žetonů hráče s menším stackem je na začátku ruky prohlášen za hodnotu 1,0 a všechny velikosti sázek jsou podle tohoto přiřazení přepočítány. Pokud mají hráči na začátku hry \$500 a blindy jsou \$10/\$20, bude bot počty žetonů reprezentovat jako  $\$500 = 1,0$  a velikost big blindu  $\$20/\$500 = 0,04$ . Namapování velikostí stacků a sázek na interval  $\langle 0; 1, 0 \rangle$  umožňuje jednoduché porovnávání akcí rukou odehraných s různými počátečními stacky, což je velmi výhodné. Ať už hráči začali ruku s \$800 či \$600, maximální velikost sázky po přepočtu je vždy 1,0 a sázka poloviny stacku je bez ohledu na počet žetonů vždy 0,5.

Akce hráčů jsou reprezentovány třídou `Uzel.java`. Uzel obsahuje informace o pozici hráče který hrál, jeho akci, velikost sázky, street (Preflop, Flop, Turn, River) a typ uzlu (kořen, vnitřní, list). Každý uzel kromě listu (akce Fold nebo showdown) obsahuje odkaz na jeden nebo více následujících uzlů (podle toho zda uzly tvoří strom či sled akcí). Kořenový uzel vždy reprezentuje první rozhodnutí po rozdání karet. Obrázek 6.1 ukazuje uzly akcí jedné ruky.



Obrázek 6.1: Uzly akcí jedné ruky. V datech historií rukou jsou jednotlivé ruce uloženy jako sledy uzlů.

## 6.2 Obecný princip algoritmu preflop bota

Algoritmus pracuje tak, že na strom akcí hráčů mapuje akce načtené z dat historií rukou. Výsledek tohoto procesu je ukázán na obr. 6.2, namapované uzly akcí z obr. 6.1 jsou vyznačeny barevně. V každém uzlu je uvedeno, jak často se v datech historií vyskytl. Pokud by byl bot po rozdání karet na pozici small blind (SB), probíhal by jeho rozhodovací proces následovně:

1. Algoritmus v datech historií rukou najde všechny ruce, ve který hráč začínal na pozici SB. Na obr. 6.2 vidíme, že pro kořenový uzel bylo nalezeno 3052 takových historií rukou.
2. Kořenový uzel je expandován, jsou vytvořeny uzly pro následující akce povolené pravidly (Fold, Call, Raise). Na obr. 6.2 vidíme, že každému z nových uzlů (hloubky 1), jsou přiřazeny uzly historií rukou se stejnou akcí.



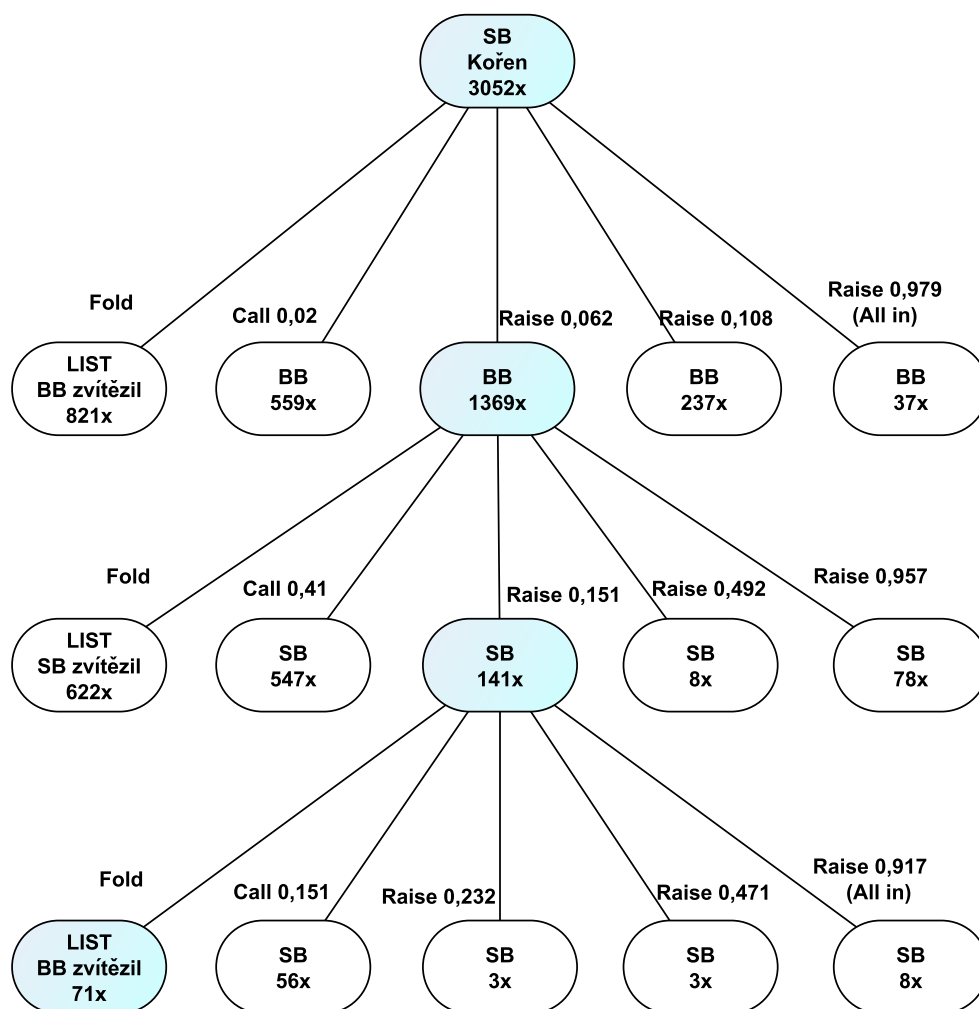
3. Algoritmus z dostupných dat historií, které byly uzlu přiřazeny, určí, s jakou pravděpodobností byly následující akce vybrány pro aktuální ruku a svou akci vybere se stejnou pravděpodobností.

Pro uzly protihráče je použit obdobný postup. Algoritmus dovede odhadnout pravděpodobnost držení všech možných rukou protihráče tak, že pro každou možnou ruku určí, s jakou pravděpodobností by s ní zvolil akci, kterou zahrál protihráč. Pokud soupeř navýší a bot by na jeho místě ruku  $J_{\spadesuit}9_{\diamond}$  navýšil s pravděpodobností 0,3, algoritmus předpokládá, že protihráč tuto ruku také navýší s pravděpodobností 0,33. Tento proces algoritmus opakuje pro každou možnou ruku protihráče a dokáže tak přibližně odhadnout, jaké karty může oponent držet.

### 6.2.1 Problémy této metody

Při použití tohoto postupu k výběru následující akce je nutné vyřešit následující problémy:

- Protože v No Limit Hold'emu můžeme zvolit libovolnou velikost sázky, je nutné nějak zvolit abstrakci velikostí sázek. To znamená vybrat několik velikostí sázek, kterým budou přiřazeny uzly historií rukou. Jak vidíme na obr. 6.2, bot při výběru akce v kořenovém uzlu navrhl pro akci Raise tři možné sázky: Raise 0,062, Raise 0,108 a Raise 0,979 (All in).
- Může se stát, že se hra dostane k uzlu, který se v datech historií téměř nevyskytoval (např. uzly s hloubkou 3 na obr. 6.2). I v těchto uzlech však musí být algoritmus schopen pro libovolnou ruku zvolit vhodnou následující akci. Algoritmus se tedy musí zvládnout vypořádat s nedostatkem dat.
- V každém uzlu musí algoritmus určit, jakou akci zvolit vzhledem ke konkrétní ruce, kterou aktuálně drží. Stejně tak pro akce protihráče potřebujeme určit pravděpodobnost jejich zahrání pro všechny možné ruce, které může protihráč držet.



Obrázek 6.2: Ukázka možného vývoje hry. Vedle hran je uvedena akce a velikost sázky, v uzlech pak počet uzlů historií, které mají stejný sled akcí jako tento uzel. Velikosti navýšení u hran s akcí Raise byly určeny algoritmem k-means.

## 6.3 Volba velikostí navýšení

Potřebujeme způsob, jak provést abstrakci velikostí sázek (viz část 3.4.2) a určit velikosti možných navýšení bota. Toho docílíme následujícím způsobem:

1. Algoritmus z uzlu, pro který určuje možné velikosti navýšení, vezme všechny uzly historií rukou s akcí Raise.
2. Na velikostech navýšení uzlů historií rukou se provede shlukování al-

goritmem k-means [6]. Centroidy shlukování jsou pak prohlášeny za hledané velikosti navýšení (viz obr. 6.2).

Jedním ze vstupů algoritmu k-means je požadovaný počet shluků. Nastavením počtu shluků vlastně určíme faktor větvení stromu akcí hráčů. Větší počet shluků bude lépe odrážet strategickou odlišnost jednotlivých velikostí sázek. Nevýhodou však je, že se zároveň výrazně zvýší počet uzlů stromu akcí a dojde k naředění dat historií. Při experimentování se jako rozumný kompromis mezi věrností sázek a ředěním dat autorovi osvědčilo zvolit pro první akci ve hře tři shluky a pro uzly s větší hloubkou pak dva nebo tři shluky.

Na obr. 6.2 jsou u hran mezi uzly pro akce Raise vypsány velikosti navýšení nalezené při shlukování. Každý uzel historie je pak přiřazený k uzlu s nejbližší velikostí sázky nalezené shlukováním. Stejně tak každé navýšení protihráče bot přiřadí k nejbližší velikosti sázky nalezené shlukováním. Například sled akcí (z obr. 6.1): Raise 0,076 – Raise 0,168 – Fold, byl botem namapován (barevně vyznačeno na obr. 6.2) na akce: Raise 0,062 – Raise 0,151 – Fold.

## 6.4 Volba akcí bota

Preflop bot se z uzlů historie snaží určit, jaké akce byly vybrány pro konkrétní ruce a ty následovně zahrát stejným způsobem. V tabulce 6.1 vidíme, s jakou pravděpodobností se bot rozhodne pro jednotlivé akce v případě, že dostane ruku Q6 (na barvách karet ruky v preflop fázi hry nezáleží) a hraje první po rozdání karet (z kořenového uzlu).

Akce	Počet uzlů historie	Poměrná velikost sázky	Ppst volby akce pro Q $\diamond$ 6 $\clubsuit$
Fold	821 $\times$	—	0,26
Call	559 $\times$	0,02	0,25
Raise	1376 $\times$	0,062	0,45
Raise	237 $\times$	0,108	0,03
Raise	39 $\times$	0,979	0

Tabulka 6.1: Pravděpodobnosti výběru různých akcí bota pro ruku Q $\diamond$ 6 $\clubsuit$ . V tabulce vidíme, že pravděpodobnost výskytu uzlu nesouvisí s pravděpodobností výběru následující akce pro konkrétní ruku. Ruce Q6 offsuited byly v datech hand history hrány spíše pasivněji, proto bot nikdy nenavýší All in.

### 6.4.1 Tabulka pravděpodobností

Pravděpodobnost výběru konkrétní akce pro všechny ruce je uchovávána ve dvourozměrném poli o velikosti  $13 \times 13$  prvků. Kvůli nedostatku dat jsou suited ruce (obě karty stejné barvy) umístěny do jedné skupiny k offsuited rukám (viz tab. 6.2). Algoritmus preflop bota pro každou akci z dat historií rukou vygeneruje tabulku, která obsahuje pravděpodobnost volby této akce pro každou možnou ruku. Pokud bot tuto akci zvolí vždy, pravděpodobnost je 1,0 a pokud nikdy, pravděpodobnost je 0. V tabulce 6.2 vidíme pravděpodobnosti pro akci Raise 0,062 z pozice SB po rozdání karet (kořenový uzel). Pokud by byl na místě bota protihráč a navýšil, bot by u něj předpokládal stejné pravděpodobnosti rukou. To umožňuje botovi odhadnout, jaké karty by mohl protihráč držet.

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	0,601	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	0,367	0,601	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,354	0,346	0,599	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	0,335	0,324	0,306	0,585	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	0,310	0,301	0,286	0,274	0,550	—	—	—	—	—	—	—	—
7	0,291	0,284	0,272	0,269	0,280	0,491	—	—	—	—	—	—	—
8	0,283	0,277	0,270	0,275	0,297	0,334	0,428	—	—	—	—	—	—
9	0,289	0,284	0,282	0,293	0,324	0,372	0,426	0,380	—	—	—	—	—
T	0,310	0,307	0,307	0,323	0,360	0,415	0,475	0,535	0,360	—	—	—	—
J	0,345	0,343	0,346	0,365	0,404	0,460	0,524	0,582	0,631	0,363	—	—	—
Q	0,387	0,387	0,392	0,412	0,451	0,505	0,565	0,621	0,664	0,695	0,377	—	—
K	0,423	0,424	0,432	0,453	0,491	0,541	0,596	0,647	0,686	0,711	0,725	0,390	—
A	0,440	0,442	0,451	0,473	0,509	0,558	0,610	0,658	0,695	0,718	0,730	0,735	0,390

Tabulka 6.2: Pravděpodobnosti výběru akce Raise 0,062 při preflop raisu po rozdání karet na pozici SB. Na diagonále jsou párové ruce, pod diagonálou seskupené suited a offsuited nepárové ruce. Nejsilnější ruce jsou v pravé spodní části tabulky.

### 6.4.2 Tvorba tabulky pravděpodobností

Tato část popisuje, jak algoritmus z dat historií dovede pro libovolnou akci v preflop fázi hry vygenerovat tabulku (podobnou jako je tab. 6.2) pravděpodobností volby této akce. Protože je tabulek velké množství, jsou umístěny v příloze A. Pro snížení počtu tabulek je také uvažována jen jedna akce Raise (místo několika). Tabulka pravděpodobností pro akci je vytvořena následovně:

1. Do tabulky pro danou akci jsou zaneseny počty výskytů všech rukou historie této akce. Ukázka těchto tabulek je v příloze A.1.
2. Jak se lze přesvědčit nahlédnutím do části A.1, počty rukou (i stejné síly) značně kolísají. Kvůli malému vzorku se některé ruce vlivem náhody vyskytují častěji a jiné méně, než kdybychom měli velký vzorek dat, který by vliv náhody vyrovnal. To je nežádoucí a data jsou proto vyhlazena. Tento proces bude popsán v následující části 6.4.3.
3. Vyhlazené výskyty rukou pro všechny možné akce jsou následně normalizovány na hodnotu 1,0.

### 6.4.3 Vyhlazení dat

Pokud se podíváme např. do tabulky A.3, vidíme že i ruce se stejnou strategickou hodnotou (např. AA a KK) se kvůli vlivu náhody vyskytují s rozdílnou frekvencí, za tímto účelem jsou data vyhlazena. Vyhlazování probíhá podle těchto pravidel:

- Pro každou ruku je vypočítána hodnota vyhlazeného počtu výskytů. Ta se vypočítá jako průměr výskytů okolních rukou a přepočítávané ruky.
- Jako okolní ruka je zpravidla brána každá přímo sousedící ruka. Výjimkou jsou v tabulce sousedící párové ruce a nepárové ruce, jejich výskyty nejsou brány dohromady. Tabulka 6.3 uvádí příklady rukou a jejich okolí.
- Hodnoty v tabulce jsou aktualizovány až po přepočítání všech rukou.

Přepočítávaná ruka	Ruce považované za okolní
22	33, 44
AA	KK, QQ
AK	AQ, KQ
A2	A3, A2, K2
87	98, 97, 96, 86, 76
J5	Q6, Q5, Q4, J6, J4, T7, T6, T5

Tabulka 6.3: Ruce považované za sousedící s rukou, jejíž počet výskytů je vyhlazován.

Představu o výsledku procesu vyhlazování lze získat porovnáním tabulek četností rukou v části přílohy A.1 a vyhlazených tabulek, které vznikly sedmi iteracemi vyhlazování a jsou uvedeny v části přílohy A.3

Vyhlazování je výhodné v tom, že pokud je aplikováno opakovaně, dokáže přiřadit pravděpodobnost výskytu každé ruce (nejvýše po třinácti iteracích tohoto procesu) i v případě, kdy se v tabulce vyskytuje jen několik rukou. Tento případ je ukázán v části přílohy A.2, kde jsou vyobrazeny četnosti rukou pro akci **Raise** ve sledu akcí (Raise – Raise – **Raise**), která se v datech vyskytuje zřídka.

Již po prvních třech iteracích vyhlazování se četnosti výskytů pouhých několika rukou „rozšíří“ do velké části tabulky, avšak s rostoucí vzdáleností od původního výskytu ruky její vliv klesá. Při určení výsledných pravděpodobností pro jednotlivé ruce tento proces funguje překvapivě dobře i při nedostatku dat. Vyhlazení dat lze s trochou představivosti přirovnat k rozpití kapky barvy na mokřím papíře. Část z kapky se rozpije do okolí a s rostoucí vzdáleností sytost rozpité barvy klesá, přesto je ale původní místo kapky stále zřetelné.

#### 6.4.4 Určení výsledných pravděpodobností akcí

Pravděpodobnosti výběru jednotlivých akcí jsou pro každou ruku vypočítány tak, že jsou z tabulek vyhlazených četností zjištěny její výskyty. Tyto četnosti jsou následně normalizovány tak, aby jejich součet byl 1,0. Vyhlazené četnosti například ruky A2 (v tabulkách části přílohy A.3) jsou pro jednotlivé akce: Fold 4,833, Call 3,409 a Raise 12,964. Po normalizaci na hodnotu 1,0 získáme následující pravděpodobnosti volby akcí: Fold 0,228, Call 0,161 a Raise 0,611

### 6.5 Zhodnocení algoritmu preflop bota

#### 6.5.1 Výhody algoritmu

Velkou výhodou algoritmu je, že dovede poměrně věrně reprodukovat hru hráče z dodaných dat. Pokud by se podařilo získat data od zkušeného hráče, kvalita hry bota by byla vysoká. Výsledná strategie bota je exploativní (za předpokladu, že strategie hráče jehož data bot využívá hrál exploativně). Hlavní výhodou algoritmu je jeho celková flexibilita, pokud má dostatek dat, dovede napodobit styl libovolného hráče.

### 6.5.2 Nevýhody algoritmu

Problémem může být získání dostatku dat historií rukou. Dataset použitý v této práci (13000 rukou) je téměř minimem k tomu, aby algoritmus podával rozumné výsledky. Rozumný počet rukou v datasetu by byl odhadem okolo 200000. Použitá data pochází od autora této práce a byla sesbírána v době, kdy kvalita jeho hry nebyla příliš dobrá, což se zákonitě projevuje na kvalitě hry bota.

Přestože je výsledná strategie je ze své podstaty exploativní, není adaptivní, takže se jí zkušený oponent může poměrně snadno přizpůsobit. Kvalita napodobené hry se nikdy nemůže kvalitou vyrovnat své předloze. Pouhé kopírování frekvencí akcí hráče z dat historií rukou nestačí k perfektní reprodukci jeho hry. Pokud hráč s nějakou rukou v polovině případů dorovná a v polovině ji složí, činí toto rozhodnutí vzhledem ke kontextu aktuální situace a proti konkrétnímu protihráči. Když bot kopíruje hru tohoto hráče, ve stejné situaci také v polovině případů dorovná a v polovině složí, ale pouze náhodně a bez ohledu na kontext situace.

### 6.5.3 Možná vylepšení

V případě získání velkého množství dat (statisíce až miliony rukou od jednoho dobrého hráče) by bylo možné tato data rozdělit do několika skupin podle různých herních stylů protihráčů. Během hry by pak bot hrál podle datasetu, který by nejvíce odpovídal hře aktuálního protihráče. Tento přístup by učinil strategii bota částečně adaptivní a přestože by rozhodnutí bota byla stále vybírána pouze podle frekvence, mnohem lépe by „platila“ na daného protihráče.

# 7 Postflop modul

## 7.1 Princip fungování postflop modulu

Postflop modul k rozhodování používá kombinaci výpočtu síly ruky, bucketingu (viz část 3.4.3) a ručně vytvořených profilů sázení pro různé situace. Algoritmus pracuje následovně:

- Na aktuální street (flop, turn, river) je pro každou ruku vypočítána její síla.
- Ruce jsou podle síly rozděleny do bucketů.
- Podle aktuální situace je zvolen profil sázení, ten je následně aplikován na buckety. Podle bucketu, ve kterém leží ruka bota, se pak vybere jeho akce.

## 7.2 Postflop reprezentace karet hráčů

Zatímco v preflop fázi bylo možné konkrétní barvy karet abstrahovat, v postflop fázi je toto možné jen do určité míry, protože karty boardu změny sílu všech rukou. Například v preflop fázi měly ruce  $7\heartsuit 6\spadesuit$  a  $7\clubsuit 6\diamondsuit$  stejnou strategickou hodnotu, avšak v postflop fázi na flopu  $Q\heartsuit 9\heartsuit 2\heartsuit$  má první ruka šanci na vytvoření výherní kombinace barva, čímž se její hodnota může výrazně zvýšit, zatímco druhá ruka je v tomto případě téměř bez šance na zlepšení. V postflop fázi hry je tedy každá možná ruka hráče reprezentována samostatně kvůli výherním kombinacím, které berou v potaz barvu karet.

## 7.3 Výpočet síly ruky

Cílem bucketingu je rozdělení rukou do skupin s podobnou strategickou hodnotou. Rozdělení rukou do bucketů lze teoreticky provádět libovolným způsobem splňujícím tento požadavek, v praxi se však jako nejjednodušší možnost nabízí použití síly ruky. Výsledné rozdělení rukou do bucketů pak závisí na algoritmu použitém k výpočtu síly rukou.



### 7.3.1 Určení výherní kombinace

Pro výpočet síly ruky je nejprve nutné zvládnout určit z ruky hráče a karet boardu výherní kombinaci (viz část 2.7.1). Naprogramovat kód, který by byl pro libovolnou street schopný správně a zejména rychle určovat výherní kombinace rukou, není triviální úlohou.

Pro určování karet výherních kombinací je z tohoto důvodu použita volně dostupná knihovna `HoldEmShowdown` [14]. Implementace této knihovny k určování výherních kombinací používá bitové operace a matematické optimalizace využívající isomorfismu karetních kombinací. Díky těmto optimalizacím dovede knihovna určit výherní kombinace pro desítky milionů rukou za vteřinu.

Vstupem knihovny je ruka hráče a karty boardu (3, 4 nebo 5 karet) podle aktuální street. Výstupem knihovny je celé číslo, v jednotlivých bitech tohoto čísla je zakódována výherní kombinace a hodnoty karet, ze kterých se kombinace skládá. Formát výstupního čísla je chytře navrhnut takovým způsobem, že lepší výherní kombinace má vždy vyšší hodnotu než horší výherní kombinace. Tento fakt umožňuje jednoduše porovnávat a řadit ruce podle síly bez zjišťování dalších informací (klasicky bychom museli v případě stejné výherní kombinace lepší z nich určit porovnáním jednotlivých karet).

### 7.3.2 Síla ruky

V nejjednodušším významu termín síla ruky (*HS-Hand strength* [1]) vyjadřuje, kolik procent všech možných rukou protihráče tato ruka na riveru poráží. Síla ruky se vypočítá podle vzorce 7.1.

Pokud má hráč například ruku  $J\clubsuit T\clubsuit$  a karty flopu jsou  $2\heartsuit T\spadesuit K\heartsuit 6\spadesuit 5\diamondsuit$ , proti  $\binom{45}{2} = 990$  možným rukám protihráče tato ruka vyhraje  $753\times$ , prohraje  $231\times$  a bude remizovat  $6\times$ . Síla ruky (HS) je v tomto případě:  $(753 + 6/2)/(753 + 176 + 6) = 0,764$ . Tato ruka tedy poráží 76,4% možných rukou protihráče.

$$HS = \frac{(\text{výhry} + (\text{remízy}/2))}{\text{výhry} + \text{remízy} + \text{prohry}} \quad (7.1)$$

### 7.3.3 Očekávaná síla ruky

Před rozhodnutím bota je potřeba vypočítat síly všech možných rukou, aby bot mohl určit, do kterého bucketu jeho ruka náleží. Na flopu výpočet síly probíhá tak, že dojde k rozdělení (enumeraci) všech možných turnů a riverů. Při každém takovém rozdělení jsou určeny výherní kombinace všech rukou

a pro každou z těchto rukou následně i její síla (stejně jako ve výše uvedeném příkladu). Očekávané síly ruky (*EHS–Expected Hand Strength* [1]) zjištěné rozdáním při rozdání možných turnů a riverů jsou pak zprůměrovány. Takto pro každou možnou ruku získáme průměrnou pravděpodobnost výhry v showdownu.

Tento přístup má však slabinu v tom, že neuvažuje odlišný potenciál zlepšení různých rukou. U některých rukou se může jejich síla s rozdáním budoucích karet boardu dramaticky měnit. Například ruka  $6\heartsuit 5\heartsuit$  je na flopu  $7\spadesuit 8\heartsuit 2\heartsuit$  extrémě slabá, ale má velký potenciál se s rozdáním karet turnu a riveru zlepšit na postupku či flush, což jsou velmi silné výherní kombinace. V některých rozdáních tak síla ruky  $6\heartsuit 5\heartsuit$  bude velmi vysoká a jindy nízká. Naopak ruka jako  $A\diamondsuit 7\clubsuit$  má na stejném flopu velmi malou šanci na vytvoření postupky či barvy a její síla zůstane při rozdávání budoucích karet ve většině případů bez velké změny.

Obě ruce z předešlého příkladu mohou mít velmi podobnou očekávanou sílu ruky (EHS), ale ze strategického hlediska jsou velmi odlišné, proto EHS není příliš vhodná pro použití s bucketingem.

### 7.3.4 Kvadrát očekávané síly ruky

U rukou nás zajímá různorodost jejich síly vzhledem k rozdání budoucích karet. Autor práce [21] navrhl postup, který do výpočtu síly ruky promítne případnou různorodost potenciálu ruky. Tato metrika se nazývá očekávaná síla ruky na druhou (*EHS<sup>2</sup>–Expected Hand Strength Squared*). Její výpočet probíhá téměř identicky jako v případě EHS, avšak všechny síly rukou jsou před zprůměrováním umocněny na druhou.

Následující příklad je převzat z práce [21]. Představme si, že máme dvě ruce  $a$  a  $b$ . Síla ruky  $a$  se mění jen málo a může nabýt dvou hodnot 0,4 a 0,6. Potom  $EHS(a) = (0,4 + 0,6)/2 = 0,5$  a  $EHS^2(a) = (0,4^2 + 0,6^2)/2 = 0,25$ . Pro ruku  $b$  platí, že má velký potenciál, její síla se tak výrazně mění a může nabýt 0,2 a 0,8. Pak  $EHS(b) = (0,2 + 0,8)/2 = 0,5$  a  $EHS^2(b) = (0,2^2 + 0,8^2)/2 = 0,68$ . Přestože mají obě ruce stejnou hodnotu EHS, metrika  $EHS^2$  správně považuje ruku s vysokým potenciálem za strategicky podobnější silným rukám. To odpovídá i hře v praxi, kdy jsou slabé ruce s velkým potenciálem často zahrány stejným způsobem, jako již velmi silné ruce. Pokud se potenciál ruky naplní a ta vytvoří silnou výherní kombinaci, očekává hráče vysoká výhra, pokud se potenciál ruky nenaplní, může být ruka případně proměněna v bluf. Takto se podaří využít potenciál ruky na maximum.

### 7.3.5 Algoritmus výpočtu sil rukou pro bucketing

Síly všech rukou jsou v postflop fázi vypočítávány podle metriky  $EHS^2$ . Algoritmus výpočtu probíhá následovně:

1. Rozdávej dosud nerozdané karty na stůl, dokud nejsou rozdány všechny jejich kombinace.
2. Po rozdání karty riveru urči výherní kombinace všech možných rukou hráčů.
3. Na základě výherních kombinací pro každou ruku urči její sílu (kolik procent ostatních rukou poráží), tuto sílu ruky umocni (viz algoritmus  $EHS^2$ ) a přičti k sumě všech sil této ruky.
4. Pokud dosud nebyly enumerovány všechny karty boardu, jdi zpět na krok 1.
5. Ze sumy umocněných sil pro každou ruku vypočítej průměrnou hodnotu síly  $EHS^2$ .

Tento výpočet je velmi náročný, proto trvá relativně dlouho než se bot na flopu rozhodne.

## 7.4 Bucketing

Bucketing je abstrakce fungující na principu seskupení rukou s podobnou strategickou hodnotou. O skupinách rukou v jednotlivých bucketech následně předpokládáme, že je lze hrát stejným způsobem (podle stejné strategie). Princip a výhodnost bucketingu spočívá ve dvou oblastech:

- Použití bucketingu nám umožní nebrat v potaz konkrétní karty boardu. Síla každé ruky, vypočítaná podle postupu popsaneho v části 7.3.2, totiž v sobě tuto informaci již určitým způsobem obsahuje. V pokeru ve skutečnosti vůbec nepotřebujeme znát konkrétní karty boardu a můžeme je abstrahovat. Při rozhodování jsou z pohledu strategie směrodatné pouze síly rukou a informace jak se tato síla zvětší či zmenší s rozděním dalších karet.
- Pro každý bucket je určena nějaká strategie, která je pak aplikována na každou ruku tohoto bucketu. Konvenční přístup by byl určovat strategii pro každou ruku zvlášť, což je nepraktické.

### 7.4.1 Implementace bucketingu

Aktuální implementace bucketingu rozdělí všechny možné ruce hráčů do deseti stejně velkých bucketů. V prvním bucketu jsou ruce s největší silou (podle EHS<sup>2</sup>) a v desátém s nejmenší silou. V tabulce 7.1 je uveden příklad rozdělení rukou do bucketů na flopu Q♥6♥7♠. V tabulce vidíme, že skutečně silné ruce obsahují pouze první a druhý bucket. Relativně dobré ruce obsahuje ještě třetí, čtvrtý a pátý bucket. Zbývající buckety obsahují velmi slabé ruce, to je názorná ukázka toho, že v Texas Hold'emu hráči většinou nedrží příliš silnou ruku. Často ani jeden z hráčů nemá silnou kombinaci a agresivnější hráč pak vyhrává častěji, blufování (kalkulovaná agrese) proto musí být nedílnou součástí strategie každého hráče.

Bucket	Průměrná síla bucketu	Ruce bucketu
1.	0,71	6♣6♠, A♣Q♦, Q♠8♥, K♥Q♠, A♥Q♠, 7♥3♥
2.	0,57	9♣7♥, K♥7♦, 9♥9♠, T♥7♦, K♠7♣, Q♣4♣
3.	0,47	J♦7♥, 7♣3♣, J♠7♦, J♣7♦, K♦7♣, 8♣7♥
4.	0,40	A♥6♠, 9♣6♣, A♥6♠, 7♣2♥, T♦6♦, J♥6♣
5.	0,32	5♦4♠, 6♦2♦, A♦K♣, 4♠4♥, K♥9♣, T♠9♠
6.	0,26	A♦J♦, 5♣3♥, 5♠5♣, 5♠5♣, A♠J♥, K♥5♠
7.	0,23	2♥2♦, J♠T♠, K♠5♦, A♠5♣, A♠2♠, 9♠5♠
8.	0,19	J♥8♣, J♦9♥, J♠T♦, K♠2♦, K♦3♥, A♠2♥
9.	0,14	J♣5♣, 9♠4♠, T♦5♣, 8♠2♠, T♣4♥, 9♠2♠
10.	0,10	J♠2♦, J♣4♦, 4♣2♦, 8♠3♥, J♣2♥, T♣3♠

Tabulka 7.1: Ukázka bucketingu pro karty flopu Q♥6♥7♠. Ruce vypsané u každého bucketu byly vybrány náhodně, aby čtenář získal představu o různých typech rukou, které jsou do tohoto bucketu zařazeny.

### 7.4.2 Nevýhody bucketingu a možná vylepšení

Bucketing na určitých typech vzácně se vyskytujících boardů nepodává dobré výsledky. Pokud na board přijdou velmi silné karty, například: 5♠6♠7♠8♠9♠ (postupka v barvě) nebo Q♠Q♦Q♣Q♥A♠ (poker), výherní kombinace obou hráčů se budou skládat pouze z karet boardu. Oba hráči v těchto případech budou mít stejnou výherní kombinaci a jejich ruka situaci nijak neovlivní. Všechny možné ruce hráčů by v těchto situacích měly stejnou sílu, ale algoritmus bucketingu by je přesto rozdělil do bucketů a předpokládal, že některé ruce jsou silné a jiné slabé. Tyto situace se naštěstí vyskytují velmi řídce. Tento problém by bylo možné řešit inteligentnějším bucketingem, který by volil počet bucketů dynamicky podle aktuálního rozptylu sil rukou. Přesněj-

šího bucketingu by také bylo možné dosáhnout tak, že by jednotlivé buckety neobsahovaly stejný počet rukou, ale ruce by byly do bucketů zařazovány například shlukováním. Tento přístup by lépe respektoval rozložení sil rukou vzhledem k textuře konkrétních karet boardu.

## 7.5 Výběr následující akce

### 7.5.1 Volba velikostí sázek

Abstrakce velikostí sázek pro akce Bet a Raise je nastavena ručně (v preflop modulu je abstrakce zajištěna algoritmem k-means) na následující hodnoty:

- **Bet** – Velikosti sázek se určují jako násobky potu, hodnoty násobků jsou nastaveny následovně:  $0,5 \times \text{pot}$ ,  $1 \times \text{pot}$ ,  $1,5 \times \text{pot}$  a All in.
- **Raise** – Velikosti navýšení se určují jako násobky předchozí sázky či navýšení protihráče. Jejich hodnoty jsou nastaveny takto:  $1,2 \times \text{sázka}$ ,  $2 \times \text{sázka}$  a All in.

### 7.5.2 Profily sázení

Pravděpodobnosti výběru následující akce pro jednotlivé buckety, jsou zapsány v profilu sázení. Ten určuje, jak často bude s konkrétním bucketem zvolena každá z možných následujících akcí. Formát profilu sázení vypadá následovně:

```
private double[] [] foldCallRaiseDeep
= {
{0.0, 0.5, 0.3, 0.15, 0.05},
{0.01, 0.49, 0.3, 0.15, 0.05},
{0.05, 0.3, 0.5, 0.1, 0.05},
{0.3, 0.25, 0.25, 0.18, 0.02},
{0.3, 0.13, 0.35, 0.2, 0.02},
{0.77, 0.01, 0.1, 0.1, 0.02},
{0.88, 0.01, 0.05, 0.05, 0.01},
{0.88, 0.01, 0.05, 0.05, 0.01},
{0.96, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01},
{0.96, 0.01, 0.01, 0.01, 0.01}
};
```

První řádek obsahuje pravděpodobnosti voleb různých akcí pro bucket obsahující nejsilnější ruce, poslední řádek pro bucket obsahující nejslabší

ruce. V případě, že by ruka bota patřila do prvního bucketu a byl zvolen tento profil sázení, následující akce bota by byla vybrána náhodně s následujícími pravděpodobnostmi: Fold 0 %, Call 50 %, Raise 1,2×sázka 30 %, Raise 2×sázka 15 % a All in 5 %. Profilů sázení je možné definovat neomezené množství a výběr konkrétního profilu lze podmínit libovolným kódem. V současnosti však bot vybírá konkrétní profil zejména podle množství zbývajících žetonů hráčů.

## 7.6 Zhodnocení algoritmu postflop bota

Možnosti postflop bota jsou částečně limitovány tím, že se rozhoduje podle expertně definovaných pravidel (profilů sázení), která nikdy nemohou pokrýt všechny strategicky odlišné situace pokeru. Kvalita hry záleží zejména na pravidlech pro výběr profilů sázení a následně na optimálním nastavení frekvencí pro možné akce v těchto profilech. Toto řešení je výhodné zejména v tom, že lze hru bota jednoduše upravit změnou profilu sázení pro konkrétní situaci.

Profily sázení a pravidla jejich výběru jsou aktuálně umístěny přímo ve zdrojovém kódu postflop modulu. To je nepraktické řešení a v budoucnu bude třeba navrhnout nějaký formát souboru, do kterého by bylo možné pravidla a profily přehledně zapisovat.

V současnosti postflop strategie bota není adaptivní, to by bylo možné řešit vytvořením různých profilů sázení pro různé druhy protihráčů. Druhým způsobem jak dosáhnout adaptability, by bylo použití jedné sady profilů sázení, jejichž pravděpodobnosti akcí by byly dynamicky upravovány (např. aby bot hrál agresivněji či pasivněji) podle aktuálního soupeře.

Algoritmy pro výpočet síly ruky a tvorbu bucketů fungují velmi dobře a bylo by možné je znovu použít i v případě výměny expertních pravidel za např. metodu simulace.

Konkrétní chyby, kterých se postflop modul bota při hře dopouští, jejich příčiny a řešení jsou popsány v části 9.3.2.

## 8 Grafické uživatelské rozhraní

Uživatelské rozhraní hry je vytvořeno pomocí knihovny Java Swing. Ihned po spuštění aplikace se objeví okno se stolem hry a rozdá se první ruka. Vzhled a funkčnost okna stolu jsou navrženy podle vzoru, který používá většina online pokerových heren. Konkrétní předloha je na obrázku 8.1.



Obrázek 8.1: Screenshot z okna hry klienta online herny PokerStars.

### 8.1 Popis prvků okna a ovládání

Návrh okna hry je minimalistický a slouží zejména k předvedení hry bota. Na obrázku 8.2 jsou zobrazena ovládací tlačítka, pomocí kterých hráč vybírá svou následující akci. Pro zadání velikosti sázky lze použít dva způsoby:

- **Posuvník** – Velikost sázky lze nastavit tažením posuvníku. V případě klikání na posuvník se jeho hodnota mění s krokem o velikosti jednoho big blindu.

- **Textové pole** – Částku, kterou chce hráč vsadit, lze zadat do textového pole, to akceptuje pouze znaky číslic. V případě zadání částky větší nebo menší než povolují pravidla je velikost sázky nastavena na nejbližší platnou hodnotu.

Posuvník se automaticky nastavuje podle částky napsané do textového pole. Stejně tak částka v textovém poli se automaticky mění podle posuvníku.



Obrázek 8.2: Screenshot okna hry z vytvořené aplikace.

## 8.2 Možná vylepšení

Uživatelské rozhraní by bylo do budoucna vhodné rozšířit o možnost volby velikostí stacků hráčů před započítím hry. V současnosti ale pro nedostatek dat bot nejlépe funguje se startovními stacky velikosti 25bb, proto aplikace tuto možnost neumožňuje.



## 9 Výsledky testování aplikace

### 9.1 Možnosti testování pokerové umělé inteligence

V pokeru má na výsledky z krátkodobého hlediska obrovský vliv variance a v případě jednotlivých rukou o vítězi rozhoduje zejména element náhody. Mezi hráči podobných kvalit je vliv náhody výrazný i po odehrání několika tisíc rukou [22]. Rozumně přesný odhad toho, kolik big blindů za hodinu hráč vyhrává (nebo prohrává) v určitém typu hry, lze získat až po odehrání desítek tisíc rukou.

Ideální způsob otestování bota by bylo nechat ho odehrát tisíce rukou proti mnoha různým lidským hráčům, to je však nereálné. Další možností by bylo nechat bota hrát proti jinému botovi, komerční boti však nenabízejí rozhraní pro hru s jiným botem. Přestože by takové srovnání bylo zajímavé, mnoho botů dnes používá aproximaci Nashovy rovnováhy a tak by bot zcela jistě prohrával a výpovědní hodnota výsledků by byla nízká.

Z pohledu zhodnocení kvality hry, identifikace slabin, chyb a nedostatků je nejpřínosnější, pokud se ke hře bota vyjádří zkušení pokeroví hráči a subjektivně zhodnotí jeho kvalitu.

### 9.2 Popis testování

Bot byl otestován pěti zkušenými pokerovými hráči. Každý proti botovi odehrál několik desítek rukou a následně vyplnil dotazník týkající se stylu hry bota, jeho chyb a slabin. Návod k otestování aplikace lze nalézt v příloze C.

Vyplněné dotazníky z testování se nachází v příloze D. Odpovědi testerů byly v nutných případech opraveny po pravopisné stránce, ale výhradně tak, aby zůstal původní obsah odpovědi zachován a nezměněn.

### 9.3 Výsledky testování

#### 9.3.1 Nalezené chyby a připomínky

Hráči při testování aplikace zmínili následující připomínky a chyby:

- První tester objevil dvě menší chyby ve zobrazení karet ve specifických situacích. Tyto chyby byly opraveny a další testeři obdrželi opravenou verzi aplikace.
- Jeden z testerů poznamenal, že trvá dlouhou dobu, než bot učiní rozhodnutí. Na flopu je výpočet síly ruky nejnáročnější a doba, než bot zvolí následující akci, může trvat až 20 vteřin. Dobu výpočtu by bylo možné v budoucnu snížit použitím více vláken pro výpočet sil rukou.
- Jeden z testerů si stěžoval na tlačítko „Next hand“, na které je nutné kliknout před rozdáním další ruky. Pokud by toto tlačítko v aplikaci nebylo přítomné, mohl by hráč v případě nepozornosti zmeškat výsledek ruky.
- Jeden z hráčů navrhl po skončení každé ruky ukázat karty bota, to by sice pomohlo testerům ohodnotit kvalitu hry bota, ale ve výsledku by to znehodnotilo jejich pohled na bota jako hráče.

### 9.3.2 Hodnocení kvality hry bota

Hráči ve hře bota identifikovali mnohé nedostatky a celkově byly spíše kritiční. Podrobné odpovědi testerů jsou uvedeny v příloze C. Nejčastěji zmiňované chyby, slabiny a nedostatky jsou shrnuty v následujícím seznamu:

1. V preflop fázi bot hraje celkově pasivně. Zřídka 3-betuje, to znamená, že na pozici big blind navýší soupeřovo navýšení po rozdání karet. Pokud bot sám čelí 3-betu, velmi často zahazuje.
2. Pokud bot v preflop fázi navýší, často na flopu nepokračuje v sázení (tzv. *continuation bet* či *c-bet*).
3. Postflop hra bota je pasivní a pokud čelí navýšení, někdy zahodí i v případě, že již vložil do potu velkou část svých žetonů. Občas bot také složí, když čelí sázce, která je v poměru k velikosti potu malá a měl by ji dorovnat.
4. V postflop fázi bot někdy vsadí více žetonů, než je aktuální velikost potu, což je považováno za nestandardní.
5. Hra bota je nevypočitatelná a náhodná. Občas zahraje slabou kombinaci agresivně jako bluf, avšak po případném dorovnání v blufu často nepokračuje a situaci „vzdá“.
6. Bot občas zahraje All in se slabší rukou

Následující seznam obsahuje komentář autora práce k výše uvedeným problémům:

1. Kvalita preflop hry bota je určena daty, která jsou mu poskytnuta. Data pochází z turnajů odehraných autorem této práce. V době odehrání těchto turnajů však nebyla (a stále není) kvalita hry autora na příliš dobré úrovni. Pasivita bota a neschopnost se bránit 3-betům tak přímo pramení z dat, kterými se bot řídí. Preflop hra bota by se výrazně zlepšila v případě získání dostatečného počtu dat od zkušeného hráče.
2. Problém nedostatečné agresivity (continuation betu na flopu) by bude vyřešeno jednoduchou úpravou profilu sázení pro tuto situaci.
3. S těmito situacemi si bot v současné podobě neumí dobře poradit. Bylo by možné je řešit přidáním komponenty sledující poměr vsazených žetonů ku stacku bota (tzv. *pot odds*, zmíněné některými testery). Ta by příslušně upravila pravděpodobnosti akcí bota.
4. Toto lze řešit změnou přednastavených velikostí sázek v profilech sázení. Situace, kdy velikost sázky bota „přestřelí“, se vyskytují poměrně vzácně a mají sloužit ke zmatení soupeře. Jejich frekvenci a velikost je možné upravit v profilech sázení.
5. Ideální by bylo provázat strategii více streets do jednoho celku. Pro situace riveru by bylo vhodné vytvořit samostatnou komponentu. Tyto situace jsou často velmi specifické a vybrané akce by měly silně záviset na dosavadním vývoji ruky.
6. Autor předpokládá, že v těchto případech byly testeři zvědaví, jaké karty bot drží, a z toho důvodu dorovnali a načapali ho se slabou rukou. V reálné hře by ve většině případů nejspíš složili a bluf by byl úspěšný.

## 10 Závěr

V rámci této práce jsem prostudoval a popsal používané metody umělé inteligence v pokeru. Práce popisuje pravidla pokeru, strategické principy hry a identifikuje klíčové problémy při tvorbě pokerové umělé inteligence.

Na základě nabytých znalostí byla implementována umělá inteligence schopná hrát proti jednomu hráči. Ta pro hru v odlišných fázích hry (preflop a postflop) používá různé algoritmy, které však sdílí stejné datové struktury.

Algoritmus řešící preflop fázi hry funguje na principu kopírování hry lidského hráče podle dat sesbíraných při online hře. Toto řešení je robustní, avšak je limitováno velikostí a kvalitou datasetu, který je mu poskytnut.

Algoritmus řešící postflop fázi hry kombinuje výpočet síly karet s expertním systémem. Toto řešení ve většině případů poskytuje rozumnou strategii. Nevýhodou je občasné, z lidského pohledu nesmyslné rozhodnutí. To je způsobeno tím, že algoritmus nebere v potaz celý kontext hry, ale jen některé informace. Postflop strategii by bylo možné dále vylepšit vyladěním profilů sázení, potenciál této metody je však omezen.

Funkčnost aplikace a vzhled uživatelského rozhraní byly testery hodnoceny velmi pozitivně. Velká část programového vybavení (datové struktury, logika a pravidla hry, uživatelské rozhraní) je navržena s ohledem na znovupoužitelnost těchto komponent. Umělá inteligence je realizována jako samostatný modul a její implementaci lze tak měnit nezávisle na zbytku aplikace.

Původní představa o kvalitě hry umělé inteligence (úroveň začátečníka), byla naplněna jen z části. Většina testerů ve hře umělé inteligence zaznamenala občasné chybné akce a strategické omyly, které je nutné v budoucnu odstranit, pokud má být umělá inteligence schopna obstát proti lidským začátečníkům.

# Literatura

- [1] Computer poker: A review. *Artificial Intelligence*. 2011, 175, 5–6, s. 958 – 987. ISSN 0004-3702. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.artint.2010.12.005>.  
Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0004370211000191>.
- [2] *Claudico* [online]. [cit. 5.6.2016]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/Claudico>.
- [3] *Commonwealth v. Watkins* [online]. [cit. 20.5.2016]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Commonwealth\\_v.\\_Watkins](https://en.wikipedia.org/wiki/Commonwealth_v._Watkins).
- [4] *Texas hold'em* [online]. [cit. 20.5.2016]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Texas\\_hold\\_'em](https://en.wikipedia.org/wiki/Texas_hold_'em).
- [5] *Free Java Download* [online]. [cit. 10.6.2016]. Dostupné z: <https://java.com/en/download/>.
- [6] *K-means clustering Texas Holdem* [online]. [cit. 20.5.2016]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/K-means\\_clustering](https://en.wikipedia.org/wiki/K-means_clustering).
- [7] *Monte Carlo Tree Search* [online]. [cit. 5.6.2016]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Monte\\_Carlo\\_tree\\_search](https://en.wikipedia.org/wiki/Monte_Carlo_tree_search).
- [8] *Nash equilibrium* [online]. [cit. 25.5.2016]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Nash\\_equilibrium](https://en.wikipedia.org/wiki/Nash_equilibrium).
- [9] *Neo Poker Bot* [online]. [cit. 20.5.2016]. Dostupné z: <http://www.neopokerbot.com/play>.
- [10] *Annual Computer Poker Competition* [online]. [cit. 5.6.2016]. Dostupné z: <http://www.computerpokercompetition.org/>.
- [11] *Poker probability (Texas hold 'em)* [online]. [cit. 20.5.2016]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Poker\\_probability\\_%28Texas\\_hold\\_'em%29](https://en.wikipedia.org/wiki/Poker_probability_%28Texas_hold_'em%29).
- [12] *PokeSnowie* [online]. [cit. 20.5.2016]. Dostupné z: <http://www.pokersnowie.com/about/technology-training.html>.
- [13] *Komentovaná pravidla pokerové hry Texas Holdem* [online]. [cit. 20.5.2016]. Dostupné z: <http://www.pokerman.cz/komentovana-pravidla-pokerove-hry-texas-holdem/>.

- [14] *HoldemShowdown* [online]. [cit. 12.6.2016]. Dostupné z: <http://www.brecware.com/Software/software.html>.
- [15] *Warbot* [online]. [cit. 5.6.2016]. Dostupné z: <http://www.poker-bot.org/main/>.
- [16] BOWLING, M. et al. Heads-up Limit Hold'em Poker is Solved. *Science*. January 2015, 347, 1–2, s. 145 – 149. ISSN 1095-9203. Dostupné z: [http://ai.cs.unibas.ch/\\_files/teaching/fs15/ki/material/ki02-poker.pdf](http://ai.cs.unibas.ch/_files/teaching/fs15/ki/material/ki02-poker.pdf).
- [17] DAVIDSON, A. Opponent modeling in poker: Learning and acting in a hostile and uncertain environment. Master's thesis, University of Alberta, 2002.
- [18] DAVIDSON, A. et al. Improved opponent modeling in poker. In *International Conference on Artificial Intelligence, ICAI'00*, s. 1467–1473, 2000.
- [19] GANZFRIED, S. – SANDHOLM, T. Game Theory-based Opponent Modeling in Large Imperfect-information Games. In *The 10th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems - Volume 2, AAMAS '11*, s. 533–540, Richland, SC, 2011. International Foundation for Autonomous Agents and Multiagent Systems. Dostupné z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?id=2031678.2031693>. ISBN 0-9826571-6-1, 978-0-9826571-6-4.
- [20] JOHANSON, M. Measuring the Size of Large No-Limit Poker Games. *CoRR*. 2013, abs/1302.7008. Dostupné z: <http://arxiv.org/abs/1302.7008>.
- [21] JOHANSON, M. B. Robust Strategies and Counter-Strategies: Building a Champion Level Computer Poker Player. Master's thesis, University of Alberta, 2007.
- [22] RUBIN, J. – WATSON, I. The challenge of poker. *Artificial Intelligence*. 2002, 134, 1–2, s. 201 – 240. ISSN 0004-3702. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0004-3702\(01\)00130-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0004-3702(01)00130-8). Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0004370201001308>.
- [23] SNIZLEIN, D. P. State translation in No-Limit Poker. Master's thesis, University of Alberta, 2009.
- [24] KLEIJ, A. Monte Carlo Tree Search and Opponent Modeling through player Clustering in no-limit Texas Hold'em Poker. Master's thesis, University of Groningen, 2010.

- [25] YAKOVENKO, N. et al. Poker-CNN: A Pattern Learning Strategy for Making Draws and Bets in Poker Games. *CoRR*. 2015, abs/1509.06731.  
Dostupné z: <http://arxiv.org/abs/1509.06731>.

# A Tabulky mezivýpočtů při určování pravděpodobností akcí

## A.1 Počty rukou

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,000	19,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	0,000	11,000	9,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	0,000	19,000	6,000	12,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—
7	0,000	16,000	11,000	17,000	6,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—
8	0,000	19,000	22,000	11,000	6,000	3,000	0,000	—	—	—	—	—	—
9	0,000	17,000	23,000	14,000	16,000	6,000	3,000	0,000	—	—	—	—	—
T	0,000	17,000	13,000	18,000	15,000	11,000	3,000	0,000	0,000	—	—	—	—
J	0,000	10,000	17,000	15,000	7,000	6,000	0,000	0,000	0,000	0,000	—	—	—
Q	0,000	10,000	11,000	3,000	4,000	9,000	1,000	0,000	0,000	0,000	0,000	—	—
K	0,000	8,000	2,000	1,000	1,000	3,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	—
A	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

Tabulka A.1: Počty výskytů rukou s akcí Fold v datech historií rukou.

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	4,000	1,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,000	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	1,000	2,000	4,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	1,000	2,000	2,000	4,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—
7	1,000	0,000	3,000	3,000	3,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—
8	1,000	2,000	2,000	1,000	4,000	2,000	0,000	—	—	—	—	—	—
9	0,000	0,000	0,000	5,000	6,000	2,000	5,000	0,000	—	—	—	—	—
T	0,000	7,000	1,000	3,000	3,000	7,000	6,000	1,000	1,000	—	—	—	—
J	0,000	4,000	2,000	3,000	6,000	5,000	1,000	3,000	5,000	0,000	—	—	—
Q	1,000	4,000	4,000	4,000	6,000	2,000	1,000	4,000	2,000	1,000	0,000	—	—
K	2,000	4,000	7,000	2,000	9,000	6,000	2,000	5,000	0,000	0,000	3,000	0,000	—
A	1,000	4,000	3,000	6,000	1,000	2,000	1,000	2,000	4,000	0,000	1,000	0,000	1,000

Tabulka A.2: Počty výskytů rukou s akcí Call v datech historií rukou.



	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	8,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	21,000	10,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	11,000	2,000	7,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	23,000	4,000	6,000	4,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	14,000	4,000	0,000	6,000	9,000	—	—	—	—	—	—	—	—
7	22,000	1,000	3,000	3,000	13,000	7,000	—	—	—	—	—	—	—
8	20,000	2,000	4,000	1,000	7,000	11,000	5,000	—	—	—	—	—	—
9	20,000	3,000	2,000	2,000	8,000	16,000	17,000	8,000	—	—	—	—	—
T	17,000	4,000	5,000	4,000	7,000	10,000	19,000	20,000	5,000	—	—	—	—
J	25,000	5,000	2,000	9,000	4,000	12,000	11,000	13,000	19,000	8,000	—	—	—
Q	14,000	7,000	2,000	4,000	17,000	12,000	14,000	20,000	26,000	15,000	14,000	—	—
K	29,000	9,000	11,000	8,000	22,000	14,000	18,000	17,000	9,000	18,000	26,000	8,000	—
A	23,000	17,000	20,000	15,000	18,000	14,000	14,000	16,000	21,000	17,000	19,000	16,000	4,000

Tabulka A.3: Počty výskytů rukou s akcí Raise v datech historií rukou.

## A.2 Ukázka iterací vyhlazování pro jednu akci

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,000	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	0,000	0,000	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	—	—	—	—	—	—	—
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,000	—	—	—	—	—
T	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	—	—	—	—
J	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	—	—	—
Q	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	3,000	—	—
K	2,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	1,000	—
A	2,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	0,000	1,000	2,000	0,000

Tabulka A.4: Četnosti rukou pro třetí akci Raise v řadě (Raise – Raise – Raise).

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,000	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	0,000	0,000	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,333	—	—	—	—	—	—	—	—
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,333	—	—	—	—	—	—	—
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,333	—	—	—	—	—	—
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	—	—	—	—	—
T	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	—	—	—	—
J	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	—	—	—
Q	0,333	0,222	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,167	1,333	—	—
K	0,667	0,444	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,111	0,111	0,375	0,667	1,333	—
A	1,000	0,667	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,167	0,167	0,500	0,800	1,333	1,333

Tabulka A.5: Četnosti rukou po první iteraci vyhlazování.

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,000	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	0,000	0,000	0,000	0,111	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,222	—	—	—	—	—	—	—	—
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,667	—	—	—	—	—	—	—
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,889	—	—	—	—	—	—
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,111	—	—	—	—	—
T	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	—	—	—	—
J	0,093	0,062	0,025	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,028	1,111	—	—	—
Q	0,278	0,185	0,074	0,000	0,000	0,000	0,012	0,025	0,095	0,220	1,222	—	—
K	0,556	0,370	0,148	0,000	0,000	0,000	0,031	0,062	0,177	0,348	0,640	1,333	—
A	0,694	0,463	0,185	0,000	0,000	0,000	0,046	0,093	0,238	0,437	0,735	0,933	1,333

Tabulka A.6: Četnosti rukou po druhé iteraci vyhlazování.

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	0,000	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,000	0,000	0,037	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	0,000	0,000	0,000	0,111	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	0,000	0,000	0,000	0,000	0,333	—	—	—	—	—	—	—	—
7	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,593	—	—	—	—	—	—	—
8	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,889	—	—	—	—	—	—
9	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	1,000	—	—	—	—	—
T	0,026	0,020	0,010	0,003	0,000	0,000	0,000	0,005	1,074	—	—	—	—
J	0,103	0,080	0,038	0,011	0,000	0,001	0,004	0,020	0,061	1,111	—	—	—
Q	0,257	0,199	0,096	0,027	0,000	0,005	0,014	0,048	0,119	0,252	1,222	—	—
K	0,424	0,328	0,158	0,045	0,000	0,010	0,030	0,087	0,188	0,361	0,552	1,296	—
A	0,521	0,403	0,194	0,056	0,000	0,013	0,039	0,108	0,226	0,429	0,619	0,770	1,296

Tabulka A.7: Četnosti rukou po třetí iteraci vyhlazování.

## A.3 Tabulky vyhlazených výskytů

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	8,481	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	8,780	8,957	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	9,285	9,508	9,900	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	9,978	10,146	10,462	10,705	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—
7	10,602	10,729	10,908	10,914	10,611	0,000	—	—	—	—	—	—	—
8	10,904	10,993	11,053	10,826	10,183	9,184	0,000	—	—	—	—	—	—
9	10,664	10,726	10,700	10,306	9,412	8,139	6,709	0,000	—	—	—	—	—
T	9,784	9,825	9,750	9,278	8,283	6,889	5,402	4,027	0,000	—	—	—	—
J	8,375	8,395	8,291	7,818	6,862	5,547	4,138	2,912	1,945	0,000	—	—	—
Q	6,772	6,768	6,641	6,206	5,379	4,258	3,067	2,021	1,261	0,744	0,000	—	—
K	5,447	5,421	5,275	4,881	4,187	3,269	2,300	1,453	0,827	0,447	0,230	0,000	—
A	4,833	4,796	4,640	4,267	3,639	2,823	1,967	1,217	0,665	0,323	0,161	0,089	0,000

Tabulka A.8: Četnosti rukou pro akci Fold vzniklé vyhlazením výskytů rukou.

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	0,343	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	1,658	0,343	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	1,684	1,722	0,288	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	1,725	1,789	1,927	0,208	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	1,783	1,873	2,062	2,307	0,144	—	—	—	—	—	—	—	—
7	1,867	1,978	2,220	2,514	2,806	0,122	—	—	—	—	—	—	—
8	2,004	2,130	2,402	2,736	3,035	3,258	0,141	—	—	—	—	—	—
9	2,219	2,350	2,629	2,961	3,243	3,405	3,444	0,179	—	—	—	—	—
T	2,507	2,633	2,897	3,193	3,414	3,494	3,426	3,252	0,213	—	—	—	—
J	2,826	2,941	3,173	3,411	3,547	3,522	3,345	3,076	2,769	0,230	—	—	—
Q	3,116	3,218	3,415	3,589	3,637	3,513	3,240	2,886	2,532	2,214	0,233	—	—
K	3,321	3,414	3,581	3,707	3,688	3,490	3,149	2,742	2,342	2,021	1,784	0,231	—
A	3,409	3,496	3,651	3,754	3,706	3,476	3,107	2,677	2,263	1,924	1,712	1,595	0,231

Tabulka A.9: Četnosti rukou pro akci Call vzniklé vyhlazením výskytů rukou.

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	7,387	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	8,903	7,387	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	8,660	8,490	7,266	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	8,296	8,078	7,700	7,082	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	7,899	7,693	7,357	7,142	6,918	—	—	—	—	—	—	—	—
7	7,675	7,487	7,209	7,176	7,517	6,854	—	—	—	—	—	—	—
8	7,741	7,577	7,382	7,498	8,109	9,108	6,951	—	—	—	—	—	—
9	8,154	8,014	7,887	8,135	8,933	10,146	11,514	7,237	—	—	—	—	—
T	8,946	8,821	8,732	9,040	9,920	11,245	12,664	13,970	7,679	—	—	—	—
J	10,075	9,955	9,869	10,161	11,004	12,279	13,685	14,909	15,895	8,179	—	—	—
Q	11,357	11,236	11,127	11,351	12,070	13,195	14,457	15,617	16,505	17,173	8,603	—	—
K	12,447	12,320	12,184	12,331	12,917	13,873	14,980	16,028	16,896	17,511	17,935	8,843	—
A	12,964	12,835	12,683	12,790	13,308	14,177	15,200	16,192	17,032	17,670	18,049	18,253	8,843

Tabulka A.10: Četnosti rukou pro akci Raise vzniklé vyhlazením výskytů rukou.

## A.4 Výsledné pravděpodobnosti akcí

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	0,445	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,459	0,467	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	0,481	0,491	0,507	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	0,508	0,515	0,526	0,531	0,000	—	—	—	—	—	—	—	—
7	0,526	0,531	0,536	0,530	0,507	0,000	—	—	—	—	—	—	—
8	0,528	0,531	0,530	0,514	0,477	0,426	0,000	—	—	—	—	—	—
9	0,507	0,509	0,504	0,482	0,436	0,375	0,310	0,000	—	—	—	—	—
T	0,461	0,462	0,456	0,431	0,383	0,319	0,251	0,190	0,000	—	—	—	—
J	0,394	0,394	0,389	0,365	0,320	0,260	0,195	0,139	0,094	0,000	—	—	—
Q	0,319	0,319	0,314	0,293	0,255	0,203	0,148	0,098	0,062	0,037	0,000	—	—
K	0,257	0,256	0,251	0,233	0,201	0,158	0,113	0,072	0,041	0,022	0,012	0,000	—
A	0,228	0,227	0,221	0,205	0,176	0,138	0,097	0,061	0,033	0,016	0,008	0,004	0,000

Tabulka A.11: Tabulka pravděpodobností volby akce Fold pro všechny ruce.

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	0,044	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	0,087	0,044	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,088	0,090	0,038	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	0,089	0,092	0,099	0,029	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	0,091	0,095	0,104	0,114	0,020	—	—	—	—	—	—	—	—
7	0,093	0,098	0,109	0,122	0,134	0,018	—	—	—	—	—	—	—
8	0,097	0,103	0,115	0,130	0,142	0,151	0,020	—	—	—	—	—	—
9	0,105	0,111	0,124	0,138	0,150	0,157	0,159	0,024	—	—	—	—	—
T	0,118	0,124	0,135	0,148	0,158	0,162	0,159	0,153	0,027	—	—	—	—
J	0,133	0,138	0,149	0,159	0,166	0,165	0,158	0,147	0,134	0,027	—	—	—
Q	0,147	0,152	0,161	0,170	0,172	0,168	0,156	0,141	0,125	0,110	0,026	—	—
K	0,157	0,161	0,170	0,177	0,177	0,169	0,154	0,136	0,117	0,101	0,089	0,025	—
A	0,161	0,165	0,174	0,180	0,179	0,170	0,153	0,133	0,113	0,097	0,086	0,080	0,025

Tabulka A.12: Tabulka pravděpodobností volby akce Call pro všechny ruce. V tabulce vidíme, že akce Call je nejčastěji vybrána s průměrně silnými rukami.

	2	3	4	5	6	7	8	9	T	J	Q	K	A
2	0,956	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	0,468	0,956	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4	0,453	0,443	0,962	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5	0,430	0,417	0,394	0,971	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6	0,402	0,390	0,370	0,354	0,980	—	—	—	—	—	—	—	—
7	0,381	0,371	0,354	0,348	0,359	0,982	—	—	—	—	—	—	—
8	0,375	0,366	0,354	0,356	0,380	0,423	0,980	—	—	—	—	—	—
9	0,388	0,380	0,372	0,380	0,414	0,468	0,531	0,976	—	—	—	—	—
T	0,421	0,415	0,408	0,420	0,459	0,520	0,589	0,657	0,973	—	—	—	—
J	0,474	0,468	0,463	0,475	0,514	0,575	0,646	0,713	0,771	0,973	—	—	—
Q	0,535	0,529	0,525	0,537	0,572	0,629	0,696	0,761	0,813	0,853	0,974	—	—
K	0,587	0,582	0,579	0,589	0,621	0,672	0,733	0,793	0,842	0,876	0,899	0,975	—
A	0,611	0,608	0,605	0,615	0,644	0,692	0,750	0,806	0,853	0,887	0,906	0,916	0,975

Tabulka A.13: Tabulka pravděpodobností volby akce Raise pro všechny ruce. V tabulce vidíme, že akce Raise je nejčastěji zvolena se silnými rukami (párové ruce na diagonále a nepárové ruce v pravém dolním rohu).

## B Uživatelská příručka

Pro spuštění aplikace je nutné mít nainstalovanou Javu [5]. Pokud máte Javu nainstalovánu, lze program spustit několika způsoby:

- Aplikaci spustte jednoduše dvojklikem na soubor `pokerUI.jar` nacházející se ve složce `spusteni.jar`.
- V příkazové řádce se přepněte do složky se souborem `pokerUI.jar` a zadejte příkaz: `java -jar pokerUI.jar`
- Naimportujte příložený projekt aplikace do vývojového prostředí Eclipse a spustte aplikaci metodou `main` ve třídě `Spusteni.java`

Po spuštění aplikace je možné rovnou začít hrát. Ovládání aplikace je stejné jako na většině pokerových heren.



# C Návod k otestování aplikace

## C.1 Instrukce před testováním

Před spuštěním aplikace a započítím hraní prosím nejprve prostudujte následující instrukce k otestování:

1. Prostudujte přiložený dotazník.
2. Proti botovi odehrajte alespoň 40 rukou stylem, jakým byste normálně hráli proti neznámému hráči na nízkých sázkách v online herně. Pokuste se prozatím odolat zvědavosti na reakce bota při extrémních akcích (například můžete zkusit vsadit All in každou ruku) a hrajte jako proti člověku. Pro přiblížení se realitě, prosím, berte hru tak, jako kdybyste hráli o skutečné peníze, na kterých vám záleží. Při hře se snažte pozorně vnímat a analyzovat hru bota.
3. Zkuste proti botovi odehrát 20 nebo více rukou tak, abyste našli slabiny a hranice jeho schopností. Můžete zkusit cokoli vás napadne: velmi agresivní hru, nestandardní linie sázení či velikosti sázek, atd...
4. Podle přiložené uživatelské příručky spusťte aplikaci, otestujte ji a vyplňte přiložený dotazník. Neexistuje správný způsob, jak dotazník vyplnit. Co nejupřímněji, prosím, sdělte své názory, poznatky a pocity podle toho, jak vy osobně vnímáte poker a podle vašich znalostí pokeru.

## C.2 Dotazník

**Jak dlouho hrajete poker?**

**Jakou variantu a disciplínu pokeru hrajete nejčastěji?**

**Jak hodnotíte úroveň svých pokerových dovedností? (neexistující/naprostý začátečník/začátečník/mírně pokročilý/pokročilý/velmi pokročilý/profesionální hráč)**

**Podařilo se Vám aplikaci spustit bez problémů? (podařilo/nepodařilo/podařilo s problémy)**

Jak hodnotíte kvalitu preflop hry bota?

Jak hodnotíte kvalitu postflop hry bota?

Překvapily Vás nějaké zajímavé, neobvyklé či vyloženě chybné akce, které bot provedl?

Jaké situace podle Vás bot nezvládá dobře a v čem spočívají jeho slabiny? Jaká strategie proti němu nejlépe funguje?

Popište, prosím, svými slovy Váš subjektivní pocit ze hry bota. Případá Vám jeho hra pasivní/agresivní, strojová/kreativní, chytrá/hloupá, atd...

Jak hodnotíte vzhled a funkčnost grafického uživatelského rozhraní? Dalo by se podle Vás nějak vylepšit?

Děkuji za vyplnění dotazníku, pokud máte jakékoliv další poznámky, připomínky či návrhy, uveďte je prosím zde:

# D Testovací reporty

## D.1 Tester č.1

### D.1.1 Testovací report

**Jak dlouho hrajete poker?**

S přestávkami kolem 5 let.

**Jakou variantu a disciplínu pokeru hrajete nejčastěji?**

SNG, 6-max DON

**Jak hodnotíte úroveň svých pokerových dovedností? (neexistující/naprostý začátečník/začátečník/mírně pokročilý/pokročilý/velmi pokročilý/profesionální hráč)**

Mírně pokročilý.

**Podářilo se Vám aplikaci spustit bez problémů? (podářilo/nepodářilo/podářilo s problémy)**

Ano.

**Jak hodnotíte kvalitu preflop hry bota?**

Hodně pasivní. Po openu z buttonu se málokdy brání re-raisem (hodně často hraje fold) a když callne (checkne), tak na c-bet většinou zahodí. Z buttonu by podle mě měl otvírat víc hand. Preflop all-in s 65 suited byl hodně zajímavý.

**Jak hodnotíte kvalitu postflop hry bota?**

Málo c-betuje z buttonu, na flopu většinou checkne a po mém betu na turnu zahodí. Když už se rozhodne c-betnout, myslím si, že sází zbytečně moc.

**Překvapily Vás nějaké zajímavé, neobvyklé či vyloženě chybné akce, které bot provedl?**

Po akci na flopu, kdy nám zbyly každému 3\$ se šlo na turn a po mém all inu bot zahodil. Občas pošle plnou s celkem marginálními handami.

**Jaké situace podle Vás bot nezvládá dobře a v čem spočívají jeho slabiny? Jaká strategie proti němu nejlépe funguje?**

Hrát agresivně, otvírat víceméně any two a hodně c-betovat.

**Popište, prosím, svými slovy Váš subjektivní pocit ze hry bota. Příklad Vám jeho hra pasivní/agresivní, strojová/kreativní, chytrá/hloupá, atd...**

Myslím, že jsem to shrnul už nahoře, ale hraje hodně pasivně... Po pár úpravách by mikro-limity mohl hrát.

**Jak hodnotíte vzhled a funkčnost grafického uživatelského rozhraní? Dalo by se podle Vás nějak vylepšit?**

Grafické rozhraní je velmi pěkné a líbí se mi.

## **D.2 Tester č.2**

### **D.2.1 Testovací report**

**Jak dlouho hraje poker?**

7 let.

**Jakou variantu a disciplínu pokeru hraje nejčastěji?**

Nejčastěji hraji Texas Hold'em 9 man.

**Jak hodnotíte úroveň svých pokerových dovedností? (neexistující/naprostý začátečník/začátečník/mírně pokročilý/pokročilý/velmi pokročilý/profesionální hráč)**

Mírně pokročilý

**Podařilo se Vám aplikaci spustit bez problémů? (podařilo/nepodařilo/podařilo s problémy)**

Ano

**Jak hodnotíte kvalitu preflop hry bota?**

Velmi kvalitní. Chová se jako reálný člověk.

**Jak hodnotíte kvalitu postflop hry bota?**

Dobrá. Občas mi přišlo, že by bot ze mě mohl získat více peněz.

**Překvapily Vás nějaké zajímavé, neobvyklé či vyloženě chybné**

### **akce, které bot provedl?**

Velmi mě překvapilo, že bot umí blufovat a to i v případech, kdy měl minimální šanci dosáhnout výherní kombinace.

### **Jaké situace podle Vás bot nezvládá dobře a v čem spočívají jeho slabiny? Jaká strategie proti němu nejlépe funguje?**

Jak jsem zmiňoval, v postflop hře by mohl bot lépe lákat hráče do pasti. Stalo se mi, že bot měl trojici a na riveru z pozice prostě checknul. Mohl vsadit například nízkou částku a dát tak hráči šanci ze zvědavosti dorovnat. Proti botovi mi nejlépe fungovala mírná agrese.

### **Popište, prosím, svými slovy Váš subjektivní pocit ze hry bota. Případá Vám jeho hra pasivní/agresivní, strojová/kreativní, chytrá/hloupá, atd...**

Hra bota na mě působila pasivně. Musel jsem odehrát mnoho her, abych viděl alespoň flop.

### **Jak hodnotíte vzhled a funkčnost grafického uživatelského rozhraní? Dalo by se podle Vás nějak vylepšit?**

Vzhled programu je nádherný. Při hře mě otravovalo tlačítko „Next hand“. Uvítal bych zde automatické rozdání další hry.

## **D.3 Tester č.3**

### **D.3.1 Testovací report**

#### **Jak dlouho hrajete poker?**

K pokeru jsem se dostal před 7 lety. Zpočátku jsem jej hrál s přáteli o volných chvílích, později jsem přidal také online variantu. Poslední 3 roky se pokeru téměř nevěnuji.

#### **Jakou variantu a disciplínu pokeru hrajete nejčastěji?**

Texas Hold'em.

#### **Jak hodnotíte úroveň svých pokerových dovedností? (neexistující/naprostý začátečník/začátečník/mírně pokročilý/pokročilý/velmi pokročilý/profesionální hráč)**

Pokročilý.

**Podařilo se Vám aplikaci spustit bez problémů? (podařilo/nepodařilo/podařilo s problémy)**

Ano.

**Jak hodnotíte kvalitu preflop hry bota?**

Někdy raisuje 45 a jindy 62, podle mě by měl raisovat pořád stejně. Před flopem z big blindu příliš často zahazuje.

**Jak hodnotíte kvalitu postflop hry bota?**

Velikosti sázek po flopu jsou občas divné. I po agresivní sázce na raise často zahodí. Často overbetuje flopy. Na riveru zahazuje i proti malým betům.

**Překvapily Vás nějaké zajímavé, neobvyklé či vyloženě chybné akce, které bot provedl?**

Dostal jsem se do situace, kdy v potu bylo 800 žetonů a každému tedy zbylo 100 žetonů za čarou. Po mém all-inu bot zahodil karty.

**Jaké situace podle Vás bot nezvládá dobře a v čem spočívají jeho slabiny? Jaká strategie proti němu nejlépe funguje?**

Když jsem před flopem častokrát navyšoval (více než jen dvojnásobek), tak bot pokaždé zahodil. Na každý můj re-raise bot zahodil karty.

**Popište, prosím, svými slovy Váš subjektivní pocit ze hry bota. Případá Vám jeho hra pasivní/agresivní, strojová/kreativní, chytrá/hloupá, atd...**

Botova hra mi přišla pasivní. Bral bych ve hře možnost nastavit styl hry bota.

**Jak hodnotíte vzhled a funkčnost grafického uživatelského rozhraní? Dalo by se podle Vás nějak vylepšit?**

Vzhled nemá žádnou chybu. Velice propracovaný a svým designem napodobuje online herny. Funkčnost grafického rozhraní hodnotím jako velmi dobrou. Někdy se stane, že se dlouho nic neděje, ale to je pravděpodobně způsobeno složitým zpracováním daného tahu ve hře.

## D.4 Tester č.4

### D.4.1 Testovací report

#### **Jak dlouho hrajete poker?**

Pokeru jsem se začal více věnovat před 2 roky.

#### **Jakou variantu a disciplínu pokeru hrajete nejčastěji?**

6-max cash game NL10/NL25

#### **Jak hodnotíte úroveň svých pokerových dovedností? (neexistující/naprostý začátečník/začátečník/mírně pokročilý/pokročilý/velmi pokročilý/profesionální hráč)**

Pokročilý.

#### **Podařilo se Vám aplikaci spustit bez problémů? (podařilo/nepodařilo/podařilo s problémy)**

Ano.

#### **Jak hodnotíte kvalitu preflop hry bota?**

Spíše pasivní, ale občas zahraje i agresivně. Před flopem z pozice moc často zahazuje. Takový styl hry je vhodný proti agresivnímu soupeři, proti pasivnímu soupeři by bot nehrál moc dobře.

#### **Jak hodnotíte kvalitu postflop hry bota?**

Průměrná, bot občas zahodí i na malou sázku, kterou by měl podle pot odds dorovnat. Někdy linie sázení bota nedávají úplně smysl. Na flopu a na riveru by měl častěji sázet.

#### **Překvapily Vás nějaké zajímavé, neobvyklé či vyloženě chybné akce, které bot provedl?**

Dvákřrát bot na hodně navýšil se slabou rukou a pak v blufu nepokračoval.

#### **Jaké situace podle Vás bot nezvládá dobře a v čem spočívají jeho slabiny? Jaká strategie proti němu nejlépe funguje?**

Stačí hrát standartní agresivní strategii a bot bude pomalu, ale jistě prohrávat. Při hledání slabin jsem zjistil, že se bot asi nijak nepřizpůsobuje, což je možné využít.

**Popište, prosím, svými slovy Váš subjektivní pocit ze hry bota. Případá Vám jeho hra pasivní/agresivní, strojová/kreativní, chytrá/hloupá, atd...**

Hra bota mi přišla trochu neslaná a nemastná, většinou bot hraje pasivně a občas agresivně, ale ne tak, aby to dělalo potíže.

**Jak hodnotíte vzhled a funkčnost grafického uživatelského rozhraní? Dalo by se podle Vás nějak vylepšit?**

Vzhled programu je velmi pěkný. Hodně dlouho trvá, než se bot na flopu rozhodne.

## **D.5 Tester č.5**

### **D.5.1 Testovací report**

**Jak dlouho hrajete poker?**

2 roky.

**Jakou variantu a disciplínu pokeru hrajete nejčastěji?**

MTT

**Jak hodnotíte úroveň svých pokerových dovedností? (neexistující/naprostý začátečník/začátečník/mírně pokročilý/pokročilý/velmi pokročilý/profesionální hráč)**

Pokročilý

**Podařilo se Vám aplikaci spustit bez problémů? (podařilo/nepodařilo/podařilo s problémy)**

Ano

**Jak hodnotíte kvalitu preflop hry bota?**

Na min 3bet moc často zahazuje.

**Jak hodnotíte kvalitu postflop hry bota?**

Málokdy c-betuje, když je preflop agresorem.

**Překvapily Vás nějaké zajímavé, neobvyklé či vyloženě chybné akce, které bot provedl?**



J4 suited bot shovenul do open Raisu (krádež?). Na boardu KT4 K3 (rainbow), zahrál bot v pozici KQ, tak, že na flopu callnul a turn i river checknul zpět. Na flopu bot vsadil se straight draw 400 žetonů do potu 40.

**Jaké situace podle Vás bot nezvládá dobře a v čem spočívají jeho slabiny? Jaká strategie proti němu nejlépe funguje?**

Zřejmě nepoužívá pot odds a proto občas hraje nelogicky.

**Popište, prosím, svými slovy Váš subjektivní pocit ze hry bota. Případá Vám jeho hra pasivní/agresivní, strojová/kreativní, chytrá/hloupá, atd...**

Dost náhodná a nečitelná.

**Jak hodnotíte vzhled a funkčnost grafického uživatelského rozhraní? Dalo by se podle Vás nějak vylepšit?**

Pro hodnocení bota by bylo fajn mít možnost se mu podívat na karty - pokud ne v průběhu hry, tak alespoň na konci. Takhle člověk netuší, s čím na riveru dorovnává nebo sází a pak lze hodnotit jen část hand.

**Děkuji za vyplnění dotazníku, pokud máte jakékoliv další poznámky, připomínky či návrhy, uveďte je prosím zde:**

Vyřadil bych preflop blufy a soustředil bych se na to, aby bot dokázal co nejlépe value betovat.

# E Formát historie rukou klienta pokerové herny

PokerStars Game #66874490233: Tournament #435510196,  
\$3.32+\$0.18 USD Hold'em No Limit - Match Round I,  
Level I~(10/20) - 2011/09/01 23:21:41 [2011/09/01 17:21:41 ET]  
Table '435510196 1' 2-max Seat #1 is the button  
Seat 1: Kebolord (1500 in chips)  
Seat 2: playazhate (1500 in chips)  
Kebolord: posts small blind 10  
playazhate: posts big blind 20  
\*\*\* HOLE CARDS \*\*\*  
Dealt to Kebolord [Ah 5s]  
Kebolord: raises 40 to 60  
playazhate: raises 100 to 160  
Kebolord: calls 100  
\*\*\* FLOP \*\*\* [7c 2c Ts]  
playazhate: bets 160  
Kebolord: folds  
Uncalled bet (160) returned to playazhate  
playazhate collected 320 from pot  
\*\*\* SUMMARY \*\*\*  
Total pot 320 | Rake 0  
Board [7c 2c Ts]  
Seat 1: Kebolord (button) (small blind) folded on the Flop  
Seat 2: playazhate (big blind) collected (320)

PokerStars Game #66874506978: Tournament #435510196,  
\$3.32+\$0.18 USD Hold'em No Limit - Match Round I,  
Level I~(10/20) - 2011/09/01 23:22:00 [2011/09/01 17:22:00 ET]  
Table '435510196 1' 2-max Seat #2 is the button  
Seat 1: Kebolord (1340 in chips)  
Seat 2: playazhate (1660 in chips)  
playazhate: posts small blind 10  
Kebolord: posts big blind 20  
\*\*\* HOLE CARDS \*\*\*

Dealt to Kebolord [4c Jh]  
playazhate: raises 30 to 50  
Kebolord: folds

Uncalled bet (30) returned to playazhate  
playazhate collected 40 from pot  
\*\*\* SUMMARY \*\*\*  
Total pot 40 | Rake 0  
Seat 1: Kebolord (big blind) folded before Flop  
Seat 2: playazhate (button) (small blind) collected (40)