

Bakalářská práce



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra počítačové grafiky a interakce

Hodnocení výkonu hráče - metodika a implementace

Michal Pozník

Vedoucí: doc. Ing. Jiří Bittner, Ph.D.
Obor: Počítačové hry
Studijní program: Otevřená Informatika
Květen 2020

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pozník** Jméno: **Michal** Osobní číslo: **474541**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra počítačové grafiky a interakce**
Studijní program: **Otevřená informatika**
Studijní obor: **Počítačové hry a grafika**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Hodnocení výkonu hráče - metodika a implementace

Název bakalářské práce anglicky:

Evaluation of Players Performance - Methodology and Implementation

Pokyny pro vypracování:

Zmapujte existující metodiky pro hodnocení výkonu hráče a jím realizovaných akcí během hry. Využijte dostupné informace z veřejných zdrojů a informace od hráčů a herních vývojářů.

Na základě získaných poznatků zformulujte základní metodiky hodnocení hráčů a navrhnete vlastní metodiku a její implementaci. Zaměřte se na metody umožňující podrobnou analýzu akcí hráče v průběhu i po skončení hry. Pozornost věnujte technické realizaci uchování a vyhodnocení informací o důležitých akcích hráče. Implementujte navržený systém v konkrétní hře. Implementaci realizujte tak, aby byla snadno přenositelná i do jiných herních projektů. Vyhodnoťte implementovaný systém hodnocení hráče pomocí uživatelských testů s nejméně třemi hráči.

Seznam doporučené literatury:

- [1] Jesse Schell. The Art of Game Design: A book of lenses. CRC Press, 2008.
- [2] Raph Koster. Theory of Fun for Game Design, 2nd edition, O'Reilly Media, 2013.
- [3] Simon Egenfeldt-Nielsen, Jonas Heide Smith, Susana Pajares Tosca. Understanding Video Games, 3rd edition. Taylor & Francis, 2016.
- [4] Jason Gregory. Game Engine Architecture (3rd edition). CRC Press, 2018.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

doc. Ing. Jiří Bittner, Ph.D., Katedra počítačové grafiky a interakce

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **11.02.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **22.05.2020**

Platnost zadání bakalářské práce: **30.09.2021**

doc. Ing. Jiří Bittner, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Poděkování patří především vedoucímu práce doc. Ing. Jiřímu Bittnerovi, Ph.D., že si i přes početnou skupinu vedených prací našel čas na konzultace a pomoc. Dále bych poděkoval spolužákům Štěpánovi Machovskému a Tomáši Bubeníčkovi za nápady a kritiku na konzultacích.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu.

V Praze, 14. května 2020

Abstrakt

Předmětem práce je analýza možností hodnocení akcí hráče v počítačových hrách a implementace modulu, který by byl schopen hráči takové hodnocení poskytnout jako zpětnou vazbu. Práce nejprve rozebírá analýzu předchozího výzkumu, existujících řešení a průzkumu mezi hráči. Další část obsahuje shrnutí možností evaluace a prezentace zpětné vazby hráči. Poslední část je pak o mé implementaci takového modulu. Modul byl implementován ve hře The Chaser, vyvinuté v rámci předmětu B4B39HRY v zimním semestru 2018/2019 týmem 11. The Chaser je hra, ve které je možné sbírat suroviny, z nich stavět svatyně, bořit protivníkovy svatyně a s tímto protivníkem bojovat. Modul byl vyvíjen v Unity, konkrétně ve verzi 2018.3.7f1.

Klíčová slova: výkon hráče, skill, zpětná vazba, hodnocení

Vedoucí: doc. Ing. Jiří Bittner, Ph.D.

Abstract

The matter of this work is the analysis of the possible ways of evaluating player action in computer games and the implementation of a module, which would be able to offer such evaluation as feedback. Firstly, the work analyzes previous research and existing applications and addresses a survey of gamer preferences. The second part sums up the options of both the principle and presentation of action evaluation. The last part of this work is about my implementation of such a module in a specific game. I have implemented the module in The Chaser, a game developed in the B4B39HRY course of the winter semester 2018/2019 by Team 11. The Chaser is a game in which the player collects resources, builds shrines with them, destroys the opponent's, and engages in combat with him. The module has been developed in Unity, specifically version 2018.3.7f1.

Keywords: player performance, feedback, skill, evaluation

Obsah

| | | | |
|--|-----------|---|-----------|
| 1 Úvod | 1 | 3.5 Jak hráče a jejich akce hodnotit bez statistik? | 34 |
| 1.1 Cíl práce | 2 | 3.6 Jak zpětnou vazbu hráči prezentovat? | 37 |
| 2 Analýza | 3 | 3.7 Shrnutí | 38 |
| 2.1 Overwatch | 3 | 4 Implementace | 39 |
| 2.2 Counter-Strike: Global Offensive . | 6 | 4.1 The Chaser | 39 |
| 2.3 Chess.com | 9 | 4.2 Logování | 40 |
| 2.4 Lední hokej | 14 | 4.3 Zpracování logu | 42 |
| 2.5 Elo | 19 | 4.4 Hodnocení logu | 43 |
| 2.6 Průzkum mezi hráči | 20 | 4.5 Vizualizace na panel | 46 |
| 2.7 Shrnutí poznatků z průzkumu . . | 26 | 4.6 Hráčova interakce | 47 |
| 3 Návrh | 27 | 4.7 Uživatelské testování | 49 |
| 3.1 Dává evaluace hráčových akcí smysl? | 27 | 4.7.1 První participant | 50 |
| 3.2 Je evaluace užitečná? | 29 | 4.7.2 Druhý participant | 51 |
| 3.3 K čemu evaluace bude? | 30 | 4.7.3 Třetí participant | 52 |
| 3.4 Je k dispozici dostatek dat pro statistickou evaluaci? | 32 | 4.7.4 Shrnutí | 52 |
| | | 4.8 Potenciální změny implementace | 53 |

| | |
|---|-----------|
| 5 Závěr | 55 |
| A Literatura | 57 |
| B Obrázky | 59 |
| C Dotazníky | 63 |
| C.1 Action evaluation in CSGO | 63 |
| C.2 Action evaluation in Overwatch | 66 |
| C.3 Action evaluation in Overwatch | 67 |
| C.4 Action evaluation in general . . . | 69 |
| D Obsah elektronické přílohy | 71 |
| D.1 Build.part1.rar a Build.part2.rar | 71 |
| D.2 hry_project.part01.rar až hry_project.part13.rar | 71 |
| D.3 imgs.zip | 72 |



Kapitola 1

Úvod

Práce se zabývá formou zpětné vazby v počítačových hrách, ze které by hráč lépe porozuměl nedostatkům v jeho výkonu. Účelem této zpětné vazby je zlepšení hráčových schopností a vědomostí ve hře, potenciálně snížení frustrace a zvýšení retence, jelikož hráč by si mohl nově nabyté poznatky chtít vyzkoušet. Rozhodl jsem se pro formu hodnocení jednotlivých hráčových akcí během hry. Zaměřím se jak na možnosti hodnocení a jeho prezentace, tak na konkrétní implementaci ve hře The Chaser. O části aplikace, která se stará o evaluaci akcí a prezentaci hodnocení, budu mluvit jako o modulu, případně jako o evaluačním modulu.

V práci nejprve rozeberu předchozí výzkum v oblasti hodnocení hráčů a jejich akcí, zároveň ukážu několik již existujících příkladů z herního průmyslu, z nichž pár sloužilo jako inspirace pro tuto práci. U každého objasním, jakou zpětnou vazbu o hráčově výkonu poskytuje a jak se liší od typu zpětné vazby, jakou tato práce rozebírá. Dále zmíním výsledky průzkumu mezi hráči a pokusím se z nich vyvodit požadavky a představy samotných hráčů.

Dále specifikuji návrh obou modulu a vymezím možnosti principu evaluace i prezentace výsledků. Z poznatků v předchozí části nastíním, za jakých podmínek se hodí jaký princip evaluace, jak lze data vizualizovat a předat tím hráči zpětnou vazbu a co lze ke zpětné vazbě přidat pro zvýšení srozumitelnosti.

V poslední kapitole se zaměřím na mou implementaci modulu ve hře The Chaser. Hra byla vyvinuta během semestru 2018/2019 v rámci předmětu B4B39HRY týmem 11, jehož členy byli studenti: Karel Petr, Michal Pozník,

Margarita Ryabova a Oleksandra Shumilina. Mentor týmu byl Tomáš Pastýřík. Kromě integrace modulu na hře není třeba nic měnit, protože modul je od hry oddělený. Vývoj hry i modulu proběhl v prostředí herního enginu Unity [19].

V práci rozlišuji hru jako softwarový produkt a zápas jako jednu instanci hraní hry. Zápas ve vícehráčových hrách může být soutěžení mezi hráči, dokud někdo nevyhraje, nebo soutěžení neskončí remízou, a v jednohráčové hře může být zápasem například jedna úroveň hry.

■ 1.1 Cíl práce

Prvním cílem práce je formulovat požadavky na evaluační modul do počítačové hry, který by hráči poskytl zpětnou vazbu, ze které by lépe porozuměl svému výkonu a co na něm by měl změnit, aby ho zlepšil. K tomuto účelu je také potřeba zmapovat možnosti principu hodnocení jednotlivých akcí a za jakých podmínek jsou přípustné. Podstatné je také prozkoumat způsoby prezentace hodnocení hráči, protože například příliš mnoho dat najednou ho může odradit. Druhým cílem je implementace takového modulu v již vyvinuté hře a jeho uživatelské testování.

Kapitola 2

Analýza

Za účelem zformulování možností tvorby evaluačního modulu a následné implementace takového modulu je potřeba najít již existující nápady a implementace v průmyslu. Během analýzy jsem se zaměřil především na hodnocení jednotlivých akcí, ale beru v úvahu i hodnocení se širším záběrem.

V této kapitole rozeberu několik již existujících řešení pro hodnocení hráče a jeho akcí, zmíním možnosti vyplývající z několika článků v předchozím výzkumu a vyvodím závěry z průzkumu mezi hráči. Vývojáři her mi bohužel neodpověděli na e-mail, který jsem jim poslal, takže informace o nich jsou z neoficiálních zdrojů.

2.1 Overwatch

Overwatch [6] je kompetitivní střílečka z první osoby, kde každý hráč hraje za jednoho z hrdinů, kteří se od sebe navzájem zásadně liší. Kromě spolupráce mezi hráči je tedy zásadní i kompozice týmu; většinou se týmy skládají ze dvou hrdinů specializovaných na způsobování poškození, dvou na léčení poškození a dvou na chránění spoluhráčů před poškozením. Základní mód hrají dva týmy, každý po šesti hráčích. Každá mapa má jeden z několika úkolů pro oba týmy. Úkoly mohou být symetrické, kdy se oba týmy snaží obsadit jednu centrální zónu, nebo asymetrické, kdy například útočící tým má za úkol doprovdít náklad do cílového bodu a bránící tým má za úkol nákladu v doručení zabránit. Hra poskytuje zpětnou vazbu o hráčově výkonu několika způsoby.



Obrázek 2.1: On-fire status, přibližně uprostřed, ve hře Overwatch (©Blizzard). Šipka ukazuje, kde pásek musí být, aby hráč byl tzv. "on fire".



Obrázek 2.2: Medaile zobrazené na konci zápasu, 2 zlaté, jedna bronzová a dvě stříbrné. Je možné v kategorii žádnou nedostat.

Jedním z nich je tzv. on-fire status, zobrazený pod hráčovými životy jako načítací pásek, jak je vidět na Obrázku 2.1. Status klesá s časem a stoupá podle různých hráčových akcí, v závislosti na postavě, za kterou hraje [18]. On-fire status je ze všech zpětných vazeb, o kterých budu mluvit, snad kromě Chess.com, nejvíce podobný mé představě. Hodnocení akcí mi ale přijde příliš izolované od kontextu aktuálního stavu zápasu. Například jeden hrdina má možnost jednoho protivníka na chvíli uspat. Uspání kohokoliv v zásadě vždy pomůže, ale v určitých situacích může být lepší uspat jednoho konkrétního protivníka, nebo si schopnost ponechat a použít až bude potřeba více. V takovém případě dokonce dostane horší hodnocení, protože schopnost použil méně často. Dále bych vytkl, že hráč nemá možnost se zpětně podívat na vývoj svého (či cizího) statusu, což by mu mohlo pomoci pochopit, co udělal správně a co udělal špatně. Status jde sice sledovat během hraní, ale v zápalu hry má hráč větší starosti. Konverzace o potenciálu a možných vylepšeních on-fire statusu byla inspirací pro tuto práci.

On-fire status ale není hráčům prezentován na konci zápasu. Hra totiž zobrazí několik jiných druhů zpětné vazby. Každému hráči například přidělí medaile za zásluhy v různých kategoriích. Tyto kategorie jsou: celkové poškození způsobené protihráčům, poškození vyléčené na spoluhráčích, celkový počet eliminací, počet eliminací v okolí úkolu a čas strávený v oblasti úkolu. Příklad hráčových medailí je na Obrázku 2.2. Kromě medaile hráč vidí také jednotlivé hodnoty v těchto kategoriích, například přesné množství způsobeného poškození. Oba soupeřící týmy mají nezávislé hodnocení, to znamená, že



Obrázek 2.3: Čtyři zobrazené karty na konci zápasu, celkem tři patří protihráčům a jedna spoluhráči. Tlačítkem dole na kartě hráč může hlasovat a číslo vpravo od tlačítka zobrazuje počet hlasů.



Obrázek 2.4: Play of the Game. Hráč se jmenuje Teedit a hrál za hrdinku jménem Moira. Po krátké animaci se spustí samotný klip.

zlatá medaile je odměněna za první místo z hráčova týmu, ne nutně ze všech hráčů v celém zápasu. Přestože hráč vidí pouze své medaile, osobně podle nich často hodnotím spíše spoluhráče, nežli sebe, většinou stylem „jestli já mám zlatou v našem týmu, tak jsem nedostal moc schopný tým.“ Tyto informace (medaile a hodnoty) jsou viditelné i během zápasu, ale jako u on-fire statusu hráč často nemá čas blíže medaile sledovat.

Poslední zpětná vazba ze hry Overwatch, o které chci mluvit, jsou karty na konci zápasu, příkladem je Obrázek 2.3. Hra vybere 4 hráče s nejpozoruhodnějšími výkony (možností je mnoho, ale příklady jsou nejvíce eliminací, největší poškození absorbované štíty, ...) a tyto čtyři zobrazí na jednotlivé "karty". Karet může být i méně, pokud hra nenašla dostatek kandidátů. Každý hráč pak má možnost hlasovat pro jednu z karet. Může se tedy stát, že jedna karta dostane 12 hlasů (za předpokladu, že daný hráč hlasoval sám pro sebe), což se ale stává velice zřídkakdy, protože většinou některý z hráčů nehlasuje. Jen pět hlasů často znamená, že je daný hráč ostatními hodnocen jako důležitý pro svůj tým. Jak je znát z popisu, hodnocení prostřednictvím karet je velice závislé na názorech hráčů.

| Rank | Player | K | A | D | MVP | Score |
|------|---------------|----|---|----|-----|-------|
| 27 | GoodnighT | 32 | 7 | 17 | ★ | 77 |
| 31 | ASIK | 23 | 8 | 18 | ★ | 65 |
| 15 | Teedit | 24 | 7 | 22 | ★ | 59 |
| 24 | Loko1985 | 20 | 6 | 23 | ★ | 57 |
| 81 | Vern Cá Júlio | 23 | 5 | 22 | ★ | 53 |

| Rank | Player | K | A | D | MVP | Score |
|------|------------------------|----|---|----|-----|-------|
| 119 | Arsenator.blot | 26 | 7 | 22 | ★ | 71 |
| 60 | [0tR] Luciole | 21 | 4 | 21 | ★ | 60 |
| 61 | 4SV#-FodiTop] | 21 | 5 | 27 | ★ | 48 |
| 42 | Malone008 hellcase.com | 17 | 3 | 24 | ★ | 42 |
| 70 | BreTonschYs00 | 16 | 5 | 29 | ★ | 41 |

| HS% | K/D | ADR | UD | EF | Score |
|-----|------|-----|-----|----|-------|
| 30 | 1.76 | 90 | 0 | 5 | 77 |
| 27 | 1.22 | 79 | 118 | 3 | 65 |
| 13 | 1.00 | 81 | 0 | 5 | 59 |
| 25 | 0.86 | 68 | 190 | 8 | 57 |
| 30 | 1.04 | 88 | 40 | 10 | 53 |

| HS% | K/D | ADR | UD | EF | Score |
|-----|------|-----|-----|----|-------|
| 11 | 1.23 | 93 | 111 | 4 | 71 |
| 23 | 1.05 | 68 | 79 | 3 | 60 |
| 28 | 0.80 | 78 | 0 | 0 | 48 |
| 23 | 0.73 | 69 | 0 | 3 | 42 |
| 47 | 0.60 | 70 | 11 | 1 | 41 |

Obrázek 2.5: Tabulka se statistikami, která se zobrazí při podržení klávesy Tab. Nahoře je vidět historie hry, kdo vyhrál jaké kolo a ke každému hráči se zobrazí jeho počet zabití, asistencí, smrtí, ocenění MVP a skóre. Na obrázku dole je vidět změna statistik po stisknutí tlačítka vpravo nahoře, kdy se zobrazí další statistiky, například procento zásahů do hlavy, nebo poměr zabití ku smrtím.

poškození (především hlava), by se mohlo projevit bonusem ve skóre. Pokud by se tedy hráč naučil lépe mířit, přirozeně by začal dostávat vyšší skóre.

Již jsem zmínil MVP, zkratku pro Most Valuable Player. MVP je ocenění, které hra přidělí každé kolo jednomu hráči z vítězného týmu podle různých kritérií, jako kdo zneškodnil největší část soupeřícího týmu, nebo kdo úspěšně odpálil či zneškodnil bombu. Je možné, že MVP nedostane nikdo [4], ale podmínka na to je dost přísná a v zásadě znamená, že týmy celé kolo nehrají. Počet obdržných MVP za zápas je vidět ve statistikách při podržení klávesy Tab. MVP zní jako odměna pro nejdůležitějšího hráče kola, ale jak 3klikphilip (hráč CSGO, který zkoumá herní mechaniky a sleduje jejich změny) sám zmínil, občas ho dostane někdo jiný, než koho bychom označili za rozhodujícího. MVP mi nepřijde příliš směřodonné, protože jsou i jiné způsoby, jak rozhodnout zápas, například zpomalit protější tým, aby jim došel čas. Třeba granáty



Obrázek 2.6: Na konci každého kola hra ukáže tým, který vyhrál, kdo dostal ocenění MVP a pozoruhodnost z daného kola, což v tomto případě je stejný hráč jako ten, kdo obdržel MVP.

(především dýmavnice, omračující, nebo zápalný) mají potenciál protějšší tým zastavit, nebo ho donutit se stáhnout. Jestliže jim kvůli tomuto granátu došel čas, hráč, který ho použil byl důležitější, než hráč, který celý tým pozabíjel, když se snažili čas dohnat.

Kromě MVP hra na konci kola ukáže také jednu zajímavost, například kdo zabil většinu protějššího týmu, kdo utratil na začátku kola nejvíce za vybavení, a podobně. Zajímavost nemusí nutně souviset s MVP, ale může, jak je vidět na Obrázku 2.6.

Protože MVP v CSGO a Play of the Game ve hře Overwatch je vlastně to samé, mám k nim stejnou výtku a nápad na zlepšení. Overwatch už má implementovanou metriku pro číselné hodnocení jednotlivých hráčových akcí. Mějme množinu všech hráčových akcí v zápase A . Řekněme, že pro akci $a \in A$ je číselné hodnocení $h(a) \in \langle -\infty, \infty \rangle$, akce tedy mohou být týmu prospěšné, či škodící. Pak A_a jsou všechny hráčovy akce, které se během zápasu staly před a , zároveň $a \in A_a$. Můžeme pak ohodnotit dosavadní vývoj zápasu až do akce a funkcí $H(a) = \sum_{\alpha \in A_a} h(\alpha)$. To znamená, že pro poslední akci, kterou hráč v zápase udělal, má funkce H hodnotu odpovídající celkovému přínosu hráče svému týmu. Pokud hledáme hráče, který během časového úseku dlouhého t měl na vývoj zápasu největší vliv, můžeme pro každou jeho akci a najít nějakou předchozí akci a_t , která je časově daleko o více, než t a zároveň ze všech takových akcí nejbližší. Fakticky se tak díváme na časový úsek délky t , končící akcí a . Hráčův dopad na zápas během této doby je pak:

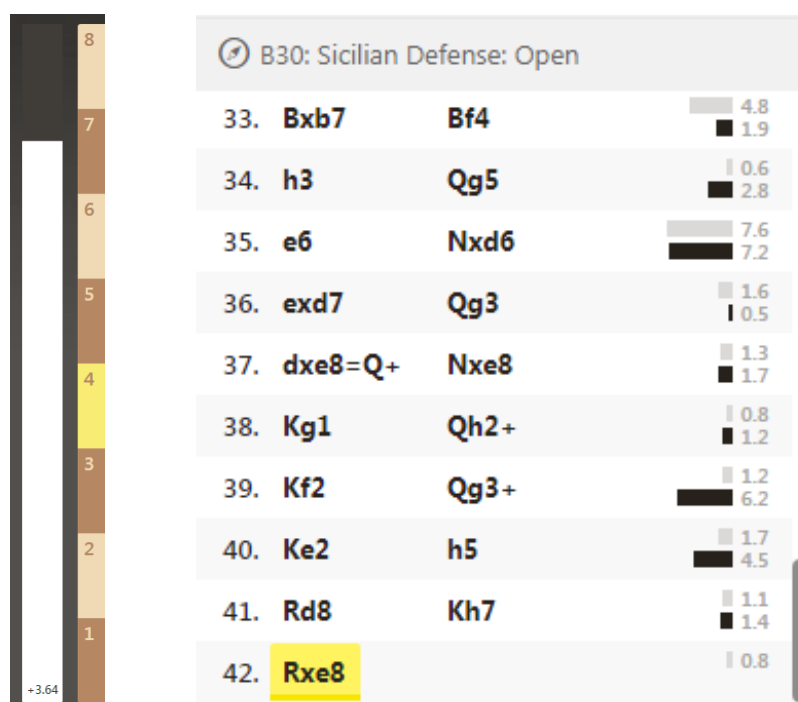
$$I(a, t) = H(a) - H(a_t) \quad (2.1)$$

Jinými slovy součet hodnot akcí během tohoto časového úseku. Sérii hráčových akcí délky t , která měla největší dopad na výsledek zápasu, pak najdeme pomocí $\max_{a \in A} I(a, t)$. Pokud v CSGO najdeme podobnou metriku jako on-fire, stejným způsobem můžeme vybírat hráče, který si zaslouží MVP. Omezíme se jen na akce hráčů týmu, který vyhrál, protože CSGO prohrávající tým tímto oceněním neodměňuje. Hodnocení se váže ke konkrétní akci (případně sérii akcí), takže kromě hráče, který ocenění dostane, hra může ukázat i čím si ho hráč zasloužil. Komunita v CSGO se víceméně shoduje, že Valve, vývojáři za CSGO, neradi zveřejňují informace o mnoha mechanikách jejich her. Například jaké faktory mají a nemají vliv na změnu hráčovy dovednostní kategorie a jak se tato kategorie bere v úvahu při hledání důstojných protivníků je dobře střeženým tajemstvím. Princip hodnocení, jaký jsem zde nastínil, je v souladu s touto politikou minima veřejných informací, protože výsledek hodnocení závisí jen na funkci h a jakou hodnotu přiřadí jednotlivým akcím. Za kvalitní funkci h považuji takovou, že kdyby hráč chtěl zvýšit hodnocení svých akcí, musel by hrát lépe a jeho akce by musely lépe pomáhat snažení jeho týmu. Zkrátka hodnocení by bylo přirozeně víceméně tak, jak by hodnotili hráči. Jak takovou funkci definovat je jedna z otázek, které bych chtěl touto prací odpovědět, nebo alespoň odpověď nastínit.

Hodnocení by dále šlo zpřesnit bráním v úvahu kontext. Dýmavnice například má ve hře potenciál držet druhý tým na druhé straně, protože probíhat vzniklou kouřovou clonou naslepo je velice nebezpečné. Hodit druhou dýmavnici na to samé místo (a vytvořit tak novou kouřovou clonu na tom samém místě) pak není týmu tolik prospěšné, jako použít ji například o chvíli později, těsně před vyprcháním efektu té první. Kontext aktuálního stavu zápasu, případně krátké historie, by tak mohl být užitečný pro zpřesnění hodnocení, což více rozeberu v další kapitole.

2.3 Chess.com

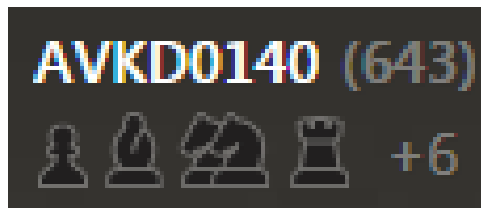
Chess.com [7] je projekt poskytující online prostředí pro hraní šachů. Poskytuje i prostor pro zlepšování schopností, například video lekce na jednotlivé koncepty, od přípustných tahů jednotlivých figur, až po složité situace, mířené na velice pokročilé hráče. K dispozici je i interaktivní výuka prostřednictvím hádanek, kdy hráč dostane situaci na šachovnici a má za úkol najít správné řešení. Podle toho, do jaké míry ho najde (může najít jen prvních pár tahů), dostane body do osobního hodnocení. Toto hodnocení je nezávislé na hodnoceních v jednotlivých kategoriích, například Live Chess (šachy naživo), Blitz nebo Daily Chess (denní šachy). Kromě tréninku lze samozřejmě hrát i šachy online proti ostatním uživatelům. Šachy mají oproti předchozím dvěma hrám jednodušší evaluaci, protože hráčovy akce jsou mnohem přímočařejší a



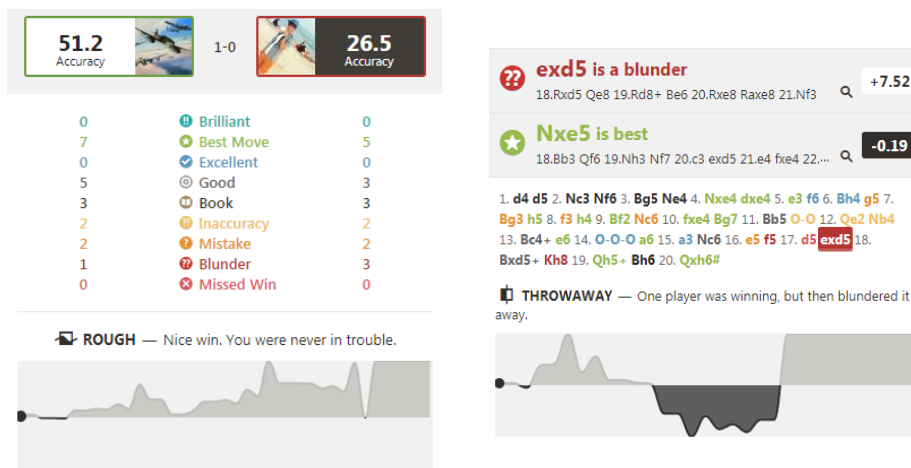
Obrázek 2.7: Zpětná vazba dostupná hráčům během zápasu. Vlevo je vizualizace hodnoty stavu na šachovnici a vpravo je historie několika posledních tahů v šachové notaci. Hodnoty vpravo od tahů vyjadřují čas, jak dlouho hráči daný tah trval, a jsou také vizualizovány páskem.

stavový prostor není tak velký. Kromě toho jsou šachy dobře prozkoumaná hra a existují způsoby, jak ohodnotit aktuální stav šachovnice, a heuristiky, jak hledat smysluplné tahy.

Chess.com poskytuje hráči jistou formu okamžité zpětné vazby už během zápasu. Na pravé straně šachovnice je historie tahů a ke každému tahu čas, jak dlouho nad ním hráč přemýšlel. Nad historií je název zahájení, které hráči odehráli v počátku hry. Zahájení je dobře prozkoumaná část šachů a spousta jich má nějaké označení. Jak hráči zpočátku hrají, mění se název zahájení, protože hráči jdou nějakou konkrétní variantou, dokud nedosáhnou konce této varianty a název nad historií se přestane měnit. Chess.com nabízí ještě jednu real-time zpětnou vazbu, a tou je hodnocení aktuálního stavu šachovnice. Protože šachy jsou hra, ve které záleží hodně na vlastním hodnocení situace a počítání tahů dopředu, zobrazovat real-time hodnotu stavu šachovnice by mohlo hráčům pomoci opravit své chyby a využít těch protivníkových. Proto tato zpětná vazba není k dispozici právě hrajícím hráčům, ale divákům tohoto zápasu. Pokud hráč hraje trénink proti počítači, má možnost si zapnout zobrazování této evaluace, podobně jako se může zeptat na nejlepší tah pro danou situaci.



Obrázek 2.8: Strana šachovnice jednoho hráče zobrazuje jeho jméno a hodnocení Elo (o něm více později). Zabral pěšce, střelce, oba koně a jednu věž, celkem je o šest bodů napřed. Podobně vypadá strana černého, ale figury jsou bílé.



Obrázek 2.9: Automatická analýza vypočítá kvalitu jednotlivých tahů. Obrázek vlevo je hlavní strana Reportu ze zápasu, ukazující přesnost jednotlivých hráčů, výsledek hry, četnosti všech různých typů tahů, jednoslovné hodnocení celé partie a vývoj hodnoty stavu šachovnice, vyjádřený grafem. Vpravo nahoře je zobrazená notace všech tahů, obarvených podle jejich přesnosti a pod ní příklad stručného hodnocení mnohem dynamičtější hry.

Chess.com během hraní také ukazuje počet zajatých figur jednotlivými hráči včetně rozdílu jejich celkových hodnot. Tyto informace lze přečíst i ze šachovnice, ale mít je předpočítané je rozhodně výhodou, protože stačí jeden pohled, aby hráč věděl, jestli se mu vyplatí figury vyměňovat. Dle mého názoru zkušenější hráči tuto zpětnou vazbu nevyužijí tolik, protože mají o stavu šachovnice a vývoji hry lepší přehled.

Nejužitečnější informace ale hra poskytuje po dohrání v takzvané analýze. Hráč má k dispozici vlastní analýzu, kdy může v libovolné situaci vyzkoušet jiné tahy a zkusit, jak by se stav na šachovnici vyvíjel pak. Během analýzy má hráč opět k dispozici hodnocení na Obrázku 2.7. Po nakliknutí tahu v seznamu tahů se ukáže stav na šachovnici a počítač spočítá hodnocení tahu. Například řekne, že tah byl nepřesný a ukáže sérii optimálních tahů, jaká by po něm následovala. Vizually vypadá vlastní analýza velice podobně té automatické, proto ji zmiňuji jen krátce.



Obrázek 2.10: Příklady zpětné vazby, kterými hra učí hráče, kde udělal (on či protivník) chybu a zároveň proč to chyba je. Na obrázku vlevo je tah černým pěšcem označený jako hrubá chyba a naznačený nejlepší tah. Na druhém obrázku je seznam chyb, které si hráč může zkusit opravit a najít nejlepší tahy v daných situacích. Pokud takový tah hráč už našel, hra ho také zobrazí.

Automatická analýza hráči rozšiřuje možnosti o další nástroje a zpětnou vazbu. Automatická analýza totiž projde celou partii a ohodnotí každý tah. Každému tahu pak přiřadí hodnocení od brilantního až po promeškanou výhru. Výchozí evaluační engine je open-source projekt Stockfish [2], který implementuje upravené alfa-beta prořezávání. Když dokončí analýzu, ukáže hráči nejprve tzv. Report (příklad lze vidět na Obrázku 2.9), ve kterém ohodnotí oba hráče číslem od nuly do sta, které vyjadřuje přesnost hráče ve srovnání s nejlepšími vypočítanými tahy počítačem. Čím blíže hráč hraje těmto vypočítaným tahům, tím větší má hodnotu přesnosti. Níže pod tím je zobrazená statistika kvalit tahů. Každý hráč má počet jednotlivých typů tahů. V tomto případě hrál bílý ve srovnání s protivníkem lépe, protože víckrát hrál tah, který počítač spočítal jako nejlepší a méněkrát zahrál hrubou chybu. Tato statistika úzce souvisí s vypočítanou hráčovou přesností, protože čím méně má hráč tahů z nižších kategorií, tím větší má přesnost. Dále Report nabízí krátké shrnutí partie. V tomto příkladu počítač hru vyhodnotil jako drsnou pro hráčova protivníka a přidal komentář, že hráč nikdy nebyl v nesnázích. Jiný příklad takového hodnocení je vidět na Obrázku 2.9. Další možný popis by byl například něco ve smyslu: „Vyhrával jsi, ale došel ti čas“. Pod shrnutím je graf vývoje hodnocení stavu šachovnice, ze kterého je poznat, proč se počítač rozhodl pro toto shrnutí. Kliknutím do grafu hráče přeneseme na danou situaci na šachovnici a zobrazí tah, který způsobil danou změnu v grafu. Podobně lze kliknout na kategorii v přehledu nad grafem a na šachovnici se ukáže první výskyt takto ohodnoceného tahu.

Report je jen první část (a záložka obrazovky) analýzy. Druhá část je analýza samotná, kdy hráč může sám procházet historii partie a prozkoumávat možnosti a alternativy. Vedle šachovnice je zobrazená historie tahů, obarvená podle přesnosti od zelené až po syté červenou, jak je vidět na Obrázku 2.9. Černě zvýrazněné tahy jsou buď tzv. "book moves", tedy tahy známých zahájení, či vynucené tahy, protože hodnotit rozhodnutí, kdy měl hráč jen jednu možnost nedává smysl. Kliknutí na libovolný tah v historii zobrazí

odpovídající situaci na šachovnici, zvýrazní nakliknutý tah a šipkou naznačí doporučený nejlepší tah. Hráč má volnou ruku nad situací na šachovnici, může libovolně pohybovat figurkami a tahy vracet. Varianty, které hráč vyzkouší, se zapisují do historie, aby se k nim mohl zase vrátit, nebo v jejich rámci vyzkoušet další variantu. Účelem analýzy je hráči poskytnout nástroje pro prozkoumání alternativ a promyšlení možností bez tlaku tikajícího časovače. Kromě toho poskytuje i počítačovou analýzu partie a hodnotí nejen jednotlivé tahy, provedené během zápasu, ale také provedené hráčem během analýzy.

Třetí část analýzy hráči poskytuje možnost opravit své chyby. Hráči je nabídnuto několik chyb, kterých se dopustil, a má možnost místo nich zahrát silnější tahy. Pokud zahraje pro danou situaci nejlepší tah, obdobným hodnocením jako v Obrázku 2.9 vpravo nahoře hra potvrdí, že ho našel a nabídne hráči, že může přejít k další chybě. Pokud nejlepší tah nenajde, hra spočítá, jak by se partie vyvíjela dál a představí hráči několik tzv. linií, což jsou varianty hry po určitém tahu. Hráč má možnost si zobrazit nejen své chyby, ale i ty protivníkovy, a stejným způsobem si vyzkoušet je opravit.

Čtvrtá část analýzy je pojmenována Details a obsahuje množství statistik. V kategorii výkonu jsou čtyři statistiky každého z hráčů: přesnost, procento nejlepších tahů, průměrný rozdíl hodnocení tahu od toho nejlepšího a celkový počet tahů. V další kategorii, výkon podle figur, jsou přesnosti a počty tahů pro každého hráče a každou figuru. Hráč tak může vidět, kterými figurami hraje hůře, což ho může přesvědčit, aby lépe nad tahy touto figurou přemýšlel. Naopak vysoká přesnost tahů určitou figurou hráči potvrzuje jeho intuici v rozhodování, jak s ní zacházet. Toto hodnocení nemusí být úplně směrodatné, protože počty tahů jednotlivými figurami jsou moc nízké a jedna hrubá chyba ho tak dost vychýlí. Pokud si hráč hlídá přesnosti tahů jednotlivými figurami přes několik her, váha jedné hrubé chyby nebude tak velká a číslo bude více reprezentativní hráčových schopností. V kategorii zahájení jsou stručné informace o tom zahájení, které hráči na začátku zahráli, a to jak se daná konkrétní varianta zahájení jmenuje, kolik bylo vzorových tahů, jaká byla hodnota šachovnice po opuštění a jakým tahem hráči opustili zahájení. Následující dvě kategorie informují o počtu nepřesností, chyb, chrubých chyb a promeškaných výher v tzv. middlegame, respektive v koncovce. Middlegame je označení pro část hry mezi zahájením a koncovkou, kdy většina figur a pěšců je stále na šachovnici. Poslední kategorie poskytuje statistiku stráveného času. Každému hráči je spočítán celkový čas jeho tahů, nejdelší a průměrný čas tahu a průměrné časy čtyř kategorií tahů: excelentní, nepřesný, chyba, hrubá chyba.

Poslední část analýzy se zabývá zahájením. Hráč může procházet zahájení, které během partie s protihráčem zahráli, a dívat se, jak se mění jméno varianty, statistika výher bílého, černého a remízy. Zároveň analýza hráči

nabízí z aktuální situace další tahy, použité jinými hráči v minulosti, četnosti výskytu takových tahů v dané situaci a procenta výher bílého, černého a výher po tahu. Hráč může opět libovolně pohybovat figurami, nebo vybírat tahy z nabídky. Tímto způsobem může projít nejen známá zahájení, ale celou hru, kterou před ním již někdo jiný odehrál, protože tahy se nenabízí jen v rámci zahájení, ale celých her.

Zpětná vazba poskytovaná projektem Chess.com je velice rozsáhlá a přijde mi výrazně zaměřená na hráčovo vlastní zlepšení, což je přesně ten typ zpětné vazby, o kterém v této práci chci mluvit. Chess.com poskytuje mnoho nástrojů k lepšímu porozumění chyb a jejich lepších alternativ. Zároveň protože informace jsou přehledně kategorizovány a tempo analýzy je jen v hráčových rukou, jelikož Chess.com poskytuje spíše jen nástroje k analýze, zpětná vazba mi nikdy nepřišla příliš informativní a odrazující. Analýza je hráči nabídnuta hned po dohrání, kdy si stále pamatuje svá rozhodnutí a pocity ze hry (například překvapení nad soupeřovým tahem). Kdykoliv se ale k té samé analýze může později vrátit a přemýšlet nad partií znovu.

2.4 Lední hokej

Evaluace akcí hráčů není ve sportu neprozkoumané téma. Existuje výzkum na evaluaci v různých sportech, mluvit budu ale jen o ledním hokeji. Hodnocení hráčů a jejich akcí je ve sportech velice užitečné, protože pomáhá hráče hodnotit finančně a určit, o které hráče se týmu vyplatí usilovat. Například pokud všechny hráče ohodnotíme a tyto hodnocení navzájem srovnáme, můžeme odhalit přeceňované a nedocenené hráče. Taková informace je důležitá pro trenéry a manažery týmů, protože mohou zkusit nějakému nedocenenému hráči v jiném týmu nabídnout víc, než kolik dostává v jeho týmu. Hráči se tak zvýší plat a trenér dostane posilu do týmu.

Lední hokej hrají proti sobě dva týmy, každý po šesti hráčích. Pět tzv. bruslařů, šestý, gólman, chrání bránu týmu. Výjimkou mohou být tresty, kdy provinilý hráč sedí po určitou dobu na trestné lavici a jeho tým hraje v oslabení, nebo střídání brankáře, kterého může nahradit bruslař. Zápas je rozdělen na třetiny po dvaceti minutách. Cílem každého z týmů je do konce poslední třetiny skórovat vstřelením puku do soupeřovy brány více gólů, než soupeřící tým.

V hokeji se široce používá jedna jednoduchá metoda hodnocení, plus-mínus. Každý hráč je hodnocen číslem, které reprezentuje, jaký má vliv na skórování

gólů na hřišti. Pokud skóruje tým, který má na ledě stejně tolik, nebo méně, hráčů ve srovnání se soupeřem, všem hráčům na ledě z týmu, který skóroval, se k jejich plus-mínus hodnocení přičte jedna a všem protihráčům se odečte. Plus-mínus hodnocení se nemění, pokud jde o gól z trestného střelení, gól do prázdné brány, nebo má-li skórující tým na ledě více hráčů, než soupeř. Pokud je hráč touto metrikou hodnocen vysoce, může jít o úspěšného střelce, nebo kvalitního obránce. Další možností je hráč, který často hraje na ledě s takto úspěšným hráčem. Plus-mínus tedy nevidím jako tolik směrodatné.

Existuje méně používaná varianta plus-mínus hodnocení, která počítá všechny góly, kromě samostatných nájezdů a trestného střelení. Každý gól je vážen podle počtu hráčů obou týmů. Změna hodnocení je poměr počtu hráčů týmu, proti kterému byl gól skórován, ku počtu hráčů týmu, který skóroval. Podobně jako u původní plus-mínus metriky se toto číslo přičte k hodnocením hráčů jednotlivých týmů. Hodnocení se mění opět pouze hráčům na ledě v okamžik gólu.

Plus-mínus bere v úvahu pouze góly, hráči během zápasu ale mohou podnikat mnohem více akcí, jako přihrávky, střely nebo blokování. Metrika, která by dokázala například zhodnotit, zda hráč měl střílet místo přihrávání, by byla užitečnější pro hodnocení týmů i jednotlivců. Evaluace jednotlivých akcí by mohla být užitečná i pro trenéry a hráče samotné, jako zpětná vazba o tom, jaké akce týmu pomůžou a jaké mu spíše uškodí. Na základě těchto informací pak mohou změnit strategii a rozhodování v jednotlivých situacích.

Reinforcement Learning. Liu a Shulte [11] zvolili Reinforcement Learning pro estimaci hodnoty akce. Na strojové učení je potřeba velké množství dat, což v hokeji není problém, protože jen v rámci americké NHL se za jednu sezónu odehraje spousta zápasů. Autoři zmiňují i konkrétní čísla z datasetu, který použili. Dataset je z NHL sezóny 2015-2016, celkem 1140 zápasů a 3,382,129 událostí. Události jsou ale jen z okolí puku. Přestože v hokeji vlastně jde jen o pohyb puku, protože cílem týmu je dostat ho do soupeřovy branky, přijde mi, že omezení vyškrtává mnoho potenciálně rozhodujících akcí. Blokování hráče může znamenat rozdíl mezi střelou z modré čáry, která nemá moc velkou šanci na úspěch, a mnohem hůře chytatelnou střelou z přihrávky. Zmíněný dataset byl vytvořen počítačovým viděním, takže je možné, že toto omezení bylo výsledkem technických limitů. V každém případě je dataset dostatečně velkým zdrojem dat pro učení.

Autoři použili model Markovovy hry, jinak také stochastické hry. Hru hrají dva agenti, reprezentující oba týmy a k dispozici mají 13 akcí. V každém kroku akci koná pouze jeden tým, druhý se zdržuje. Blokováná střela by tak byla dvě akce ve dvou různých okamžicích (kterým autoři říkají observation,

pozorování): v jednom okamžiku jeden tým vystřelí, v následujícím druhý tým střelu blokuje. Tyto okamžiky mohou mít stejnou časovou značku. Stav je reprezentován seznamem okamžiků a akcí mezi nimi. V časovém kroku t je stav $s_t = (\mathbf{x}_t, a_{t-1}, \mathbf{x}_{t-1}, \dots, \mathbf{x}_0)$, kde \mathbf{x}_τ je okamžik v kroku τ , což je vektor deseti hodnot reprezentujících aktuální stav zápasu, a a_τ je akce provedená ve stavu s_τ . Celý zápas je rozdělen na tzv. plays, volně přeloženo jako segmenty. Segment je časově souvislá část zápasu, během které byl puk ve vlastnictví pouze jednoho týmu. Stav může obsahovat pouze okamžiky z jednoho segmentu. Každý stav tak obsahuje pouze krátkou historii aktuálního segmentu. Zápas je zároveň dělen na gólové epizody tak, že každá epizoda začíná buď začátkem zápasu (třetiny) nebo těsně po gólu a končí gólem, případně koncem zápasu (třetiny).

Q funkce jsou tři, každá vyjadřuje pravděpodobnost určitého výsledku epizody. Q_{Home} je pravděpodobnost skórování ve prospěch domácího týmu, Q_{Away} ve prospěch hostů a $Q_{Neither}$ je pravděpodobnost, že epizoda skončí bez gólu. Tuto volbu autoři ospravedlnili třemi důsledky. Jednak taková forma odměny reprezentuje, co od hráče očekává trenér, totiž že za všech situací bude hrát tak, aby maximalizoval šanci na skórování týmu. Jednak jsou takové hodnoty snadno čitelné i pro neinformovaného diváka, protože předpovídají událost (gól), která je časově většinou blíže než konec zápasu. Zároveň se v hodnocení projeví ofenzivní i defenzivní akce, například blokování střely sníží pravděpodobnost skórování protihráče a tranzitivně zvýší pravděpodobnosti ostatních výsledků, tedy i vlastního skórování.

Q funkce autoři odhadují neuronovou sítí. Síť na vstupní vrstvě bere aktuální stav s_t , vykonanou akci a_t a délku stopy tl_t , která určuje, kolik kroků historie se má brát v úvahu. Další vrstva je LSTM, Long Short Term Memory, která zajišťuje počítání s historií, protože část jejího výstupu je vstup LSTM v dalším kroku. Síť má tři skryté vrstvy s úplným propojením a každá o tisíce neuronech. Výstupem sítě jsou tři čísla, normalizovaná na pravděpodobnosti. Tyto tři čísla jsou hodnoty odhadů jednotlivých Q funkcí. Výhoda tohoto přístupu je, že učení neuronové sítě je sice časově náročné, ale jakmile je síť naučená, ohodnotit hráče v určitém datasetu je relativně rychlé a hodnocení zápasu jde použít i během hraní, pokud jsou data ze strojového vidění produkována dost rychle. Takovéto informace během zápasu by mohly být užitečné trenérům jako okamžitá zpětná vazba, i komentátorům jako rychlé zhodnocení klíčových okamžiků.

Pro tuto příležitost autoři definovali novou metriku hodnocení hráčů, Goal Impact Metric (GIM), v překladu přibližně metrika dopadu na gól. Dopad akce se měří jako změna Q hodnoty v důsledku akce. Vypočítat ho tedy můžeme jako rozdíl Q funkce ve stavu před akcí a po ní:

$$\text{impact}_{team}(s_t, a_t) = Q_{team}(s_t, a_t) - Q_{team}(s_{t-1}, a_{t-1}), \quad (2.2)$$

$$\text{GIM}^i(D) = \sum_{s,a} n_D^i(s, a) * \text{impact}_{team_i}(s, a), \quad (2.3)$$

kde i je hráč, D je dataset, ze kterého se metrika počítá, $n_D^i(s, a)$ je četnost, s jakou hráč i v datasetu D ve stavu s vykonal akci a , a $team_i$ je tým hráče i .

Liu a Shulte [11] zároveň ukazují například jak vypadají vypočítaná data v závislosti na čase nebo údaje o dvaceti nejlépe hodnocených hráčích. Dále srovnávají svou metriku se šesti jinými v korelaci s několika standardními měřítky úspěchu.

Stochastická hra. Routley [12] použil podobný princip. Opět byl použit obrovský dataset o 9220 zápasech a 2,827,467 událostech. Ve srovnání s předchozím datasetem má tento několikanásobně více zápasů, ale o něco méně událostí, je tedy méně detailní. Především zaznamenává jen osm různých akcí oproti třinácti. Kromě akcí jsou zaznamenány také počátkové a koncové události, například vhazování nebo trest. Všechny události jsou řazeny do sekvencí, z nichž každá typicky začíná vhazováním a končí zastavením hry. Autor použil model stochastické hry se dvěma agenty (jeden pro každý tým), kteří hrají hru s nulovým součtem, tzn. odměna pro jeden tým je stejně velký trest pro druhý. Výsledkem je zjednodušení odměn, protože první tým maximalizuje, druhý minimalizuje. V každém stavu akci koná pouze jeden tým, ale ne nutně střídavě.

Pro definici stavu v prostoru jsou potřeba kontextové rysy (context features), což jsou rozdíly v gólech a v početní síle a číslo třetiny. Číselné rozdíly v gólech a počtu bruslařů jsou vzhledem k domácímu týmu, takže kladná hodnota znamená výhodu pro domácí tým. Číslo třetiny bere v úvahu i prodloužení a samostatné nájezdy, a je tedy v rozmezí od jedné do sedmi. Tyto rysy se většinou v rámci jedné sekvence nemění. Stav kontextu je konkrétní trojice hodnot kontextových rysů. Stav $s = (\mathbf{x}, h)$ v prostoru je pak definován stavem kontextu \mathbf{x} a historií $h = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ akcí v sekvenci, kde akce je ve tvaru $a(T, Z)$, kde a je jedna z týmům dostupných akcí, T je tým (domácí/hosté) a Z je třetina hřiště, relativně k týmu T .

Stav je čistě kontextový, pokud je $h = \emptyset$. Z každého stavu lze přejít pouze do stavu spojeného s nějakou nenulovou historií. Pouze koncové události způsobí přechod do čistě kontextového stavu. Stavový prostor si můžeme představit

podobný lesu, v němž kořen každého stromu je čistě kontextový stav a z jejich listů lze přejít do několika kořenů dalších stromů (kořen toho samého stromu je také možností). Ke každému přechodu je potřeba si pamatovat počet výskytů v datasetu, což se využije pro hodnocení jednotlivých akcí.

Q funkce jsou dvě, jedna pro domácí tým, Q_H , druhá pro hosty, Q_A . Interpretovat je lze jako pravděpodobnost, že začne-li hra z tohoto stavu, náhodný průchod skončí gólem daného týmu. Pravděpodobnosti přechodů jsou dány četnostmi v datasetu. Jestliže $occ(s)$ je počet výskytů stavu s v datasetu a $occ(s, s')$ je počet výskytů přechodu z s do s' , pravděpodobnost tohoto přechodu je $\frac{occ(s, s')}{occ(s)}$. Odměna v každém stavu je pro oba agenty nula, ale každý stav s zakončený gólem dá odměnu $R_H(s) = 1$ ($R_A(s) = 1$), pokud skóroval domácí tým (hosté). Každý takový stav je také absorpční. V každém stavu je tak očekávaná odměna pravděpodobnost skórování. Tyto parametry jdou upravit například na výpočet očekávaného počtu gólů, nebo obdobně s tresty či výhrou.

Autor podle mě zanedbal událost konce zápasu, která by měla také dělat absorpční stav. Jak Routley [12] výpočet popsal, konec hry bez skórování se nebere v úvahu. Jak bylo vidět například v předchozím článku [11], ke konci hry klesá pravděpodobnost skórování obou týmů. Existují sice pravidla proti remíze, která prodlužují zápas do prodloužení a samostatných nájezdů, ta se ale netýkají všech stavů s koncem hry. Změnil bych proto stavy s historií zakončenou koncem hry, které nemají v kontextu rozdíl počtu gólů nula, na absorpční. Především při výpočtu předpokládaného počtu gólů se počítá s nekonečně dlouhou hrou.

Dále autor zmiňuje několik způsobů počítání hodnoty dopadu akce na průběh hry (hodnocení akce) a ke každé vysvětlí, v čem je nedostatečná a kdy připadá v úvahu ji použít. Ta, kterou nakonec použil, je:

$$impact(s, a_H) = (Q_H(s') - Q_H(s)) - (Q_A(s') - Q_A(s)), \quad (2.4)$$

kde s je stav, ve kterém byla provedena akce a_H a s' je stav, do kterého se agenti vlivem akce přesunuli. Takto se počítá hodnota akce pouze pro domácí tým, akce hostů se hodnotí opačnou hodnotou. Rovnice bere v úvahu jak akce změnila chod zápasu a zároveň jak změnila šance na skórování protivníka.

Tyto hodnoty pak používá pro hodnocení hráčů několika způsoby. Bud se hodnota akce přičte pouze hráči, který ji vykonal, nebo se zároveň opačná hodnota přičte protivníku, který v akci mohl figurovat, nebo se hodnota přičte k hodnocení hráče konající akci a všem jeho spoluhráčům na ledě

a opačná hodnota všem jeho protihráčům na ledě. Nezávisle na zvolené možnosti dostaneme hodnocení všech hráčů na základě akcí, které provedli ve zkoumaném datasetu. Opět můžeme počítat s hodnocením výhry, gólů, nebo trestů.

Lední hokej je sport, ve kterém se ročně odehraje mnoho zápasů v několika ligách. Dat je proto dostatek na statistické hodnocení, což se o mnoha počítačových hrách bohužel říct nedá, ať už kvůli rychlému větvení stavového prostoru, nedostatku zápasů, nebo jejich nedostupnosti pro vývojáře, například protože se hra nehraje přes internet.

2.5 Elo

Elo je široce používaný systém hodnocení hráčů. Elo hodnotí hráče číslem, které odhaduje jeho schopnosti ve hře vzhledem k ostatním hráčům. Hodnocení se jmenuje podle amerického fyzika a statistika maďarským jménem Arpad Elo (1903-1992). Původně byl systém Elo vymyšlen pro hodnocení šachových hráčů, jeho varianty se však dnes používají v mnoha jiných sportech i počítačových hrách. Účelem tohoto hodnocení je číselně odlišit hráče různých dovednostních kategorií. Elo jde použít v pozměněných variantách i pro vícehráčové hry, ale protože bylo vymyšleno pro dvou hráčovou hru, budu předpokládat pouze dva hráče hrající proti sobě.

Rozdíl hodnocení obou hráčů lze použít pro předpověď výsledku zápasu. Mají-li oba hráči stejné Elo, zápas by měl být vyrovnaný a oba hráči mají stejnou pravděpodobnost výhry. Mají-li různé Elo, hráč s vyšším hodnocením by měl převažovat a jeho pravděpodobnost výhry by tak měla být vyšší než jeho soupeře. Očekávaný výsledek je proto výhra hráče s vyšším Elo, v takovém případě by změna neměla být tak velká, jako kdyby se stal opak. Na konci každé hodnocené hry se oboum hráčům změní Elo podle výsledku a rozdílu jejich dosavadních hodnocení. Oběma hráčům se Elo změní o stejnou hodnotu, pouze opačným směrem.

V takovéto kvantifikaci hráčových schopností vidím minimálně ten problém, že nepočítá s nekonzistencí hráčova výkonu. Hráč může mít několik zápasů štěstí, nebo mu hraní jde lépe než obvykle. Elo systém by takovou změnu chápal jako hráčovo zlepšení, což je dle mě unáhlený závěr. Kromě jiných řeší tento problém Glicko-2 [9] systém, založený na systému Glicko. Jmenuje se po autorovi, prof. Glickmanovi. První rozdíl je interval hodnocení, ve kterém si je systém na 95% jistý, že v něm hráčovo hodnocení leží, narozdíl od Ela, které

používá pouze jedno číslo. Další změnou je přidání nestability hodnocení, která bere v úvahu potenciální kolísání hráčova výkonu. Vypočítaná nestabilita nemá na interval hodnocení vliv.

Oba systémy, Elo i Glicko-2, se používají pro hodnocení hráče, ne přímo jeho akcí. Každý zápas ale většinou můžeme rozdělit na několik fází. Šachy například na zahájení, middlegame a koncovku, CSGO zase na nákup, roze-stavení, útok teroristů na jedno z cílových stanovišť a znovudobytí stanoviště protiteroristickou jednotkou. Dále můžeme dělit i tyto fáze, dokud dělení dává smysl. Pokud každý z hráčů má vlastní hodnocení v těchto jednotlivých dílech zápasu, můžeme předvídat výsledek a tato hodnocení podle něj upravovat.

Příkladem mějme CSGO, ve kterém každý hráč má hodnocení střelby, tedy jak přesně dokáže střílet. Potkají-li se dva hráči z protějších týmů, spočítají se pravděpodobnosti jednotlivých výsledků. Tento odhad může brát v úvahu několik různých faktorů, například kdo má jakou zbraň, jaká je vzdálenost mezi hráči, zda se hráči pohybují, atd., ale je možné, že ne každý takový faktor bude statisticky významný. Podle výsledku přestřelky pak můžeme upravit hodnocení. Zároveň, pokud hráči poskytujeme nějakou zpětnou vazbu k jeho akcím, máme co říct k této konkrétní přestřelce, například něco ve smyslu „zde jsi měl malou šanci na úspěch, lepší bylo se stáhnout.“ Pokud si hlídáme, které faktory nejvíce ovlivnily pravděpodobnost úspěchu, můžeme hráči předat i tuto informaci, třeba „zde jsi měl malou šanci na úspěch protože samopal, se kterým jsi hrál, je horší na takovou vzdálenost, než puška, se kterou hrál soupeř.“ Takovýmto způsobem můžeme hodnotit i jiné části zápasu, kde hodnocení dává smysl. V šachách například hra jednotlivými figurami, útok, obrana, nebo jednotlivé koncovky. Ve hře Overwatch například hra jednotlivými hrdiny nebo jednotlivé části mapy, v CSGO zase použití různých granátů či pozic a fáze zápasu.

2.6 Průzkum mezi hráči

Za účelem zjištění preferencí a názorů hráčů jsem provedl průzkum formou dotazníků. Každý dotazník byl mířen na určitou hru a rozdělen na dvě části. První část se soustředí na existující a potenciální zpětnou vazbu v dané hře, ta druhá se zabývá zpětnou vazbou ve hrách obecně. Každou odpověď měli respondenti možnost vysvětlit. Dotazníky jsou celkem čtyři, ale odpovědi jsem dostal pouze na tři. Přišlo devět odpovědí, z toho sedm bylo na dotazník o CSGO a po jedné na dotazníky o hrách Overwatch a Hearts of Iron. Oslovil jsem i několik profesionálních hráčů, ale nikdo z nich neodpověděl. Otázky postupně rozeberu a uvedu příklad z dotazníku o CSGO. Další dotazníky

Action evaluation in CSGO

CSGO already has several ways of providing feedback on different levels of detail and usefulness for improving player's skills. My work focuses on making the players understand why they perform the way they do and what they would have to change to perform better.

The questionnaire is composed of two sections, the first of which explores feedback in CSGO, the other explores evaluation of player's actions in a general game.

***Required**

The questionnaire is anonymous, but if you wish, you can sign it so that I can contact you in the case of some follow-up questions. Your name and e-mail will not be disclosed in any way.

Your answer _____

Obrázek 2.11: Úvod dotazníku. Respondenti měli příležitost se podepsat, abych se kdyžtak mohl na něco dozeptat.

Do you think the score system in the game provides enough feedback about the game and your skills? Do you understand, why you got your score and why the opponent got theirs? *

1 2 3 4 5

Satisfactory Unclear

Obrázek 2.12: První otázka o skóre ve hře se ptala, zda je skórovací systémem hráčům užitečný.

vypadaly velice podobně, ale otázky byly upravené, aby seděly na danou hru.

Obecně jsou hráči více méně spokojeni s mírou zpětné vazby, kterou jim hry poskytují, většinou ale měli nějakou výtku k nějaké nesrozumitelnosti. Často zmiňované byly faktory, které se počítají, nebo by se měly počítat, do skóre, což je problém, který vidím jak ve hře Overwatch, tak v CSGO. Jsou akce, které bych čekal, že se budou počítat, ale jeden z respondentů odpověděl, že odměňovat hráče za více akcí by mohlo podpořit hraní způsobem, který nebyl vývojáři zamýšlen. Další nápad byl zobrazit historii vývoje skóre, ale neukazovat ho spolu se skóre samotným.

Další otázkou bylo, zda ze zpětné vazby hráči dobře rozumí, co mají změnit, aby hráli lépe. Odpovědi byly dost vyrovnané. Každá odpověď byla zastoupena, nejvíce ale bylo odpovědí „Rozumím pouze, zda můj výkon obecně potřebuje zlepšit.“ Různorodosti odpovědí rozumím tak, že každý hráč vnímá zpětnou vazbu jinak a ne každý rozumí tomu, co se mu hra snaží říct. Je možné, že hráči ve zpětné vazbě nevidí to, co mají, ale také, že ve zpětné vazbě nachází více informací, než kolik jich je. Odpovědi ale není moc a je možné, že respondenti otázku nepochopili, protože osobně v CSGO moc sebevědomě nedokáží říct, co jsem udělal špatně a jak mám situace řešit lépe, to je ale

How do you understand what you would have to change to perform better from the collection of feedback the game provides (not from your own observation)?

- I can see specific situations I need (not) to improve my skills in.
- I understand what aspect of the game I need to improve in.
- I can only understand, if my performance in general needs improvement.
- The game doesn't provide enough feedback for that.

Obrázek 2.13: Druhá otázka, podobná té první, zjišťovala srozumitelnost poskytované zpětné vazby.

jen můj vlastní pohled.

Jeden respondent odpověděl názorem, že automatická analýza nemůže plně nahradit tu vlastní. S tím rozhodně souhlasím. Hra sice dokáže projít a zhodnotit data ze zápasu rychleji, ale hráč má především větší přehled v důvodech, proč se rozhodl tak, jak se rozhodl. V Chess.com mi automatická analýza nepříjde jako snaha nahradit hráčovu vlastní, ale spíše že poskytuje nástroje ke kvalitnější analýze. Pokud například hra řekne, že určitý tah byla chyba, tak pomocí vlastní analýzy spolu s doporučenými nejlepšími tahy se snažím zjistit, proč můj tah byla chyba a proč doporučený tah je nejlepší možnost. Rozhodně souhlasím, že automatická analýza nemá nahradit tu vlastní, spíše že má poskytovat nástroje a nápovědy, na co se hráč má podívat, hráče tedy vlastní analýzou spíše doprovodit.

Většina hráčů také zmínila snazší playback zápasu. Přehrávání historie a hledání alternativ v určitých situacích je vlastně v jádru analýzy v Chess.com, kdežto CSGO má playback velice jednoduchý a Overwatch ho vůbec neposkytuje. Schopnost skočit na libovolný bod zápasu a zkoumat situaci z různých úhlů je sice mocný nástroj, ale v počítačových hrách, ve kterých se děje mnoho akcí, by takovýto přístup k playbacku mohl být nereálný. Vzhledem ke komplexitě historie zápasu a objemu dat potřebných pro rekonstrukci záznamu budou data potřeba nějak zkomprimovat ukládáním ve vhodném formátu. Komprimaci nemyslím archivovou, ale nějakým vhodným způsobem si ukládat informace, aby jich nebylo tolik a záznam z nich šel stále sestavit. Protože přirozený směr přehrávání záznamu je dopředu, možnost vracet se by mohla být omezená, což by během vlastní analýzy mohlo rušit.

Další otázka se ptala na úrovně zpětné vazby, které by hráči chtěli, aby jim hra předávala. Respondenti měli na výběr několik možností s akcemi či událostmi a vybírali ty, které by chtěli, aby hra hodnotila. Odpovědi opět byly různorodé, ale hráči spíš vybírali vyšší úrovně akcí či událostí, například jednotlivá kola, či pozici, jakou si hráč vybral, že zaujme, oproti nižším úrovním, jako jednotlivé stisky kláves a výběr cíle střelby. Výjimkou

If the game could provide more feedback (in the sense of "you did well/bad here" or "this decision was a good/bad one"), what level of detail of actions or events (from evaluating the whole match to individual key presses) would you prefer to see included? *

The whole match

Each round

Phase of the round (Setup, CT defense, CT retake, Clutch, Save, ...)

Position

Utility use

Target choice

Shooting skills

Key presses

None of these

Other: _____

Obrázek 2.14: Třetí otázka, kde hráči vybírali zpětnou vazbu, kterou by chtěli, aby jim hra poskytovala.

tohoto pravidla jsou střelecké schopnosti, tedy jak přesně hráč střílí a jak dobře se zbraní umí zacházet, což je ve spoustě střelců z první osoby jedna z nejzákladnějších schopností. Druhá výjimka jsou fáze jednotlivých kol, kterou hráči nevybírali tolik. Z mého pohledu je možné, že ze zpětné vazby o jednotlivých fázích hráč tolik informací nedostane, protože kromě stylu „tato fáze vám prohrála kolo,“ moc není co říct a tato zpětná vazba by šla sloučit s informacemi o celém kole. Nejčastěji vybraná možnost byla pozice, což si vysvětlují hráči kýženou výhodou, kterou mají, stojí-li na nezvyklém místě nebo pokud spolu s týmem vytvoří křížovou palbu.

Jeden hráč, který se označil za zkušeného se dvěma tisíci herními hodinami, odpověděl, že během hry by další zpětná vazba hráče rušila a že by přidal pouze hodnocení jednotlivých kol, které by pomohlo plánovat týmovou ekonomiku. Již jsem psal o přílišném množství informací, ale zpětná vazba, kterou tento hráč navrhuje, mi nepřijde rušivá, protože by byla potřeba pouze mezi jednotlivými koly, kdy hráči plánují, co nakoupit a odhadují, jak se rozhodnou soupeři. Respondent otázku nejspíš pochopil mířenou na zpětnou vazbu sdělenou během hry, ale takto omezená myšlena nebyla. Další respondent zaškrtnl všechno a napsal, že čím více informací, tím lépe. Jak jsem již zmínil, poskytovat zpětnou vazbu o všem by mohlo hráče zahltit, a dokonce až odradit od analýzy. Vybíral bych proto jen podstatné informace, které jsou hráči potřeba předat, aby lépe rozuměl tomu, co dělá špatně.

Předposlední otázka první části zjišťovala preferenci orientace zpětné vazby na strategii, či taktiku. Většina hráčů střelců odpověděla, že preferují zaměření zpětné vazby spíše na taktická rozhodnutí. Několik z nich se shodlo, že strategie by měla být v rukou hráčů a automatické hodnocení by mohlo být mylné a hráče zmást. Jeden hráč, který odpovídal na dotazník týkající se

Would you prefer feedback focus on the evaluation of strategic (long-term) decisions, such as bought equipment, or of tactical (short-term) decisions, such as using utility or picking an angle? Which kind of feedback is more important to you? *

1 2 3 4 5

Rather strategic Rather tactical

Obrázek 2.15: Otázka zjišťující, zda hráči preferují hodnocení taktických, či strategických rozhodnutí.

How do you think the answers of players of different skill categories would differ from yours?

Your answer _____

Obrázek 2.16: Poslední otázka, zaměřená především na vnímání jiných dovednostních kategorií.

strategické hry Hearts of Iron odpověděl, že by naopak upřednostnil hodnocení strategických rozhodnutí. Tuto dualitu si vysvětlují rozdílem mezi herními žánry. Střílečky jsou často o přesnosti střelby, pohybu hráče a rychlém tempu událostí, kdežto ve startegiích hráč mnohem více musí uvažovat dopředu a strategická rozhodnutí tak mají větší váhu.

V závěru první části se dotazník ptal, jak si respondenti myslí, že by odpovídali hráči jiných dovednostních kategorií. Dva ze čtyř hráčů se shodli v předpokladu, že hráče lepší než oni by více zajímala zpětná vazba o strategii, protože základní principy hry už mají dobře naučené. Jeden hráč ale zmínil zpětnou vazbu o strategických prvcích i ve spojení s nižšími dovednostními kategoriemi. Další hráč odpověděl, že profesionální hráči by nejspíš nebrali ohled na automatickou evaluaci, protože mají nahrány tisíce hodin a evaluaci musejí provádět vlastní. Myslím, že s takovým množstvím času investovaného do hraní už viděli důsledky různých rozhodnutí sami a spíš budou věřit vlastní zkušenosti, než informacím od hry.

V druhé části byli hráči dotázáni, kolik informací by chtěli, aby evaluace brala v úvahu. Většina odpověděla, že preferují informace o celém zápase, včetně informací, které nebyly dostupné žádnému hráči, a budoucím vývoji. Několik respondentů považovalo za zbytečné brát v úvahu informace nedostupné žádnému z hráčů během hry, několik zase zavrhl budoucí vývoj zápasu, ať už z důvodu nespolehlivosti, složitosti evaluace či pochopení předaných informací. Nejzkušenější z hráčů ale vybral pouze první možnost, tedy pouze informace dostupné hráči v daný moment. Dává smysl uvažovat pouze události a akce, které hráč sám viděl či konal, protože hráč sám se podle nich rozhodoval a vyloučí to pocity typu „No dobře, ale to jsem nemohl vědět.“

What information would you prefer to see included in the evaluation? *

- Information available to the player at the time.
- Information available to anyone in the game at the time.
- Information deductible from the state of the game, that no player may have had access to.
- Future development of the match.
- Calculation of player's intent from their past and future actions. (That intent might change unexpectedly and thus the wrong intent might be evaluated)
- Expected behaviour of the player, if they played at the same performance level. (For example what a baseline player, modeled after this specific player, would do)

Obrázek 2.17: Druhá část dotazníku byla zaměřená na zpětnou vazbu obecně ve hrách, ne jen v té, o které byla první část. Tato otázka zjišťovala preference o informacích, které by měly být brány v úvahu při hodnocení.

Which basis of evaluation would you trust more? Statistics will evaluate based on what generally happens after, whereas calculated scenarios try to predict what could happen based on the game rules. *

- Statistics (provided there is enough data, even for your specific skill level)
- Calculated possible scenarios (how the action affected the possible future scenarios)

Obrázek 2.18: Poslední otázka dotazníku o principu evaluace, buď statistické hodnocení, nebo výpočet možných důsledků akce.

Zároveň se tak ale nebudou uvažovat informace, které hráč mohl dostat od spoluhráčů, protože bych se nespolehl na kvalitu automatické analýzy hlasové komunikace. Jeden z hráčů zaškrtl všechny možnosti, konzistentně se svou předchozí volbou a vysvětlením, že čím víc dat k analýze, tím lépe. K tomu mám opět stejnou výtku, že by mohly být pro hráče příliš nepřehledné důvody hodnocení a ve výsledku by si ze zpětné vazby moc neodnesl. Hráči většinou odpovídali proti počítání hráčova záměru a srovnávání s předpokládaným hráčovým chování zaškrtl pouze jeden respondent.

Poslední otázkou dotazníku bylo, zda by hráči preferovali zpětnou vazbu založenou na statistice, či na vypočítaných možnostech budoucího vývoje. Druhou možnost zvolil pouze jeden z dotázaných, který svou volbu vysvětlil tím, že zkušenosti a vědomí o důsledcích jsou faktory, které hráče zlepšují. Další například zmínil šachy a jak se počítání potenciálních scénářů na takovou hru hodí, kdežto ve složitějších hrách by bylo příliš složité pokrýt všechny možnosti. Dalších pár názorů se shodlo v tom, že nevěří předvídání rozhodnutí hráčů. Několik respondentů odpovědělo zmatením buď nad predikcí, kterou by hra počítala, či otázkou samotnou s tím, že nerozumí záměru otázky a že preferuje vědět jak o statistice vývoje situace, tak o simulovaném optimálním rozhodování, když analyzuje situaci. Retrospektivně měla být otázka formulována lépe a dotázaní měli mít více možností na výběr, alespoň včetně možnosti „Obojí.“

2.7 Shrnutí poznatků z průzkumu

Ve shrnutí mě výsledky dotazníků docela překvapily, především v různorodosti odpovědí nejen mezi jednotlivými respondenty, ale i v rámci odpovědí každého z respondentů. Nejvíce jsem ji zaregistroval mezi otázkami „Jakou úroveň detailu akcí či událostí byste preferovali, aby byla zahrnuta ve zpětné vazbě?“, kde dotázaní mohli vybírat libovolně z několika nabízených možností, a „Raději byste dostávali zpětnou vazbu zaměřenou na strategická, či taktická rozhodnutí?“. Odpovědi respondentů v první otázce měly tendenci spíše k událostem s trvalejšími následky, kdežto v druhé otázce zase k taktickým rozhodnutím. Hráč, který se označil za zkušeného, například vybral zpětnou vazbu pouze o jednotlivých kolech, ale na škále v druhé otázce zvolil čistě taktická rozhodnutí. Další překvapivá dualita byla v odpovědích o existující zpětné vazbě. První otázka, „Myslíte, že zpětná vazba ve hře poskytuje dostatek informací o zápasu a vašich schopnostech? Rozumíte, proč jste dostali své skóre a proč protivníci dostali jejich?“, a druhá otázka „Nakolik rozumíte, co byste museli změnit pro zlepšení svého výkonu, pouze ze zpětné vazby, která hra poskytuje?“, byly ve třech případech zodpovězeny zásadně rozdílně. Ať už v první otázce respondent hodnotil zpětnou vazbu pozitivně a ve druhé negativně, či naopak, takto zásadní rozdíl v odpovědích na, z mého pohledu, úzce související otázky je zvláštní. První otázka je složena ze dvou, což mohlo dotázané zmást a proto odpověděli takto. V každém případě z těchto nesrovnalostí viním špatný návrh dotazníku a kdybych měl průzkum opakovat, otázky bych formuloval jasněji.

Kapitola 3

Návrh

V této kapitole nastíním možnosti návrhu evaluačního modulu z poznatků převzatých z analýzy a různých článků. Nejprve budu mluvit o návrhu principu evaluace, poté o prezentaci. Základní rozhodování při konceptualizaci rozdělím několika otázkami, které by si měl návrhář položit. Otázkami se pokusím vyloučit několik případů, kdy v implementaci evaluace nevidím smysl a kdy se hodí konkrétní přístupy k hodnocení.

3.1 Dává evaluace hráčových akcí smysl?

Hodnocení nějaké akce či rozhodnutí není izolované a vždy je v nějakém kontextu. Ať už je jím cíl, kterého se hráč snaží či má snažit dosáhnout, nebo zamýšlené řešení situace, úrovně či celé hry. Během hraní má k dispozici takové akce, kterými může tohoto cíle dosáhnout, ale také takové, které k cíli nevedou, nebo dokonce jdou přímo proti hráčovým zájmům. V určitých situacích ale tyto zájmy jsou čistě v rukou hráče a hra pouze poskytuje prostředí a nástroje pro vytváření vlastních zážitků. Hráč se sám rozhoduje, o co se ve hře snaží a jak hru bude hrát, dává smysl tedy jeho akce srovnávat pouze s těmito vlastními cíli, které ovšem může být velice složité odhadovat, nemluvě o možnosti hráče tyto cíle během hry nečekaně změnit.

Příkladem takového žánru her jsou sandboxové hry. Přestože hra může poskytovat dílčí cíle, směr, jakým se hráč vydá, a způsob, jakým bude hrát, jsou jen na něm a i dílčí cíle může obcházet, ať už jako vlastní výzvu, či jako

zjišťování možností hry. Například může zkoušet zjistit s jakým minimem lze pokořit určitou překážku. I snadno odhadnutelné hráčovy cíle však mohou být složité na hodnocení. Chce-li hráč například cestovat mezi dvěma body, hra může snadno spočítat nejkratší cestu a hráče informovat, že jde zbytečně delší cestou. Delší cesta ale pro hráče může mít větší sentimentální hodnotu, protože má třeba po cestě mnohem hezčí výhled na krajinu. Hodnotit hráče v sandboxových hrách, ve kterých má volnost interakce s prostředím podle mě nedává smysl.

Další příklad, který bych chtěl zmínit, je žánr RPG a s ním související příběhové hry. Často má hráč na výběr více, než hrát za hrdinného dobrodince, dnes už totiž hry s příběhem jako jedním z hlavních prvků nabízejí širokou škálu rozhodnutí a způsobů, jak dialogy procházet. Hráč se může v herním světě chovat jako hrdina, nebo záměrně působit chaos jako padouch. Příběhové hry opět hráči dávají prostředí a nástroje, ale bez nějakého „správného“ řešení. Hráčovy záměry se mohou během hraní změnit, například si rozmyslí, za koho hraje, nebo zkusí hrát za mnohem dynamičtější osobnost. Hrdina, který padne na stranu zla, zločinec, který se snaží vykoupit, i náhodná rozhodnutí jsou podle mě validní způsoby, jak příběhem procházet, ale netriviální na předpověď. V těchto žánrech samozřejmě nemusí jít jen o příběh a mohou poskytovat hráči přímé a povinné cíle, k nimž vede série akcí, které lze hodnotit, ale alespoň co se příběhu týče, v evaluaci nevidím smysl.

Stejný sentiment lze aplikovat i na typičtější zpětnou vazbu. Proč hráči hodnotit provedené akce (například i v kompetitivních hrách jako Overwatch [6] či CSGO [21]), když mohl jen zkoušet nekonvenční strategie, zjišťoval, co funguje, co nefunguje a jak protihráči reagují. Říct mu „Taková akce je špatně, tato je lepší, protože (důvod),“ by mohlo zbytečně omezovat rozmanitost zápasů a herních zážitků. Ve výsledku by hra mohla hráče omrzet, protože zápasy mu přijdou navzájem stejné a neděje se v nich nic nového. Zrovna v kompetitivních hrách, si myslím, že nezkušené hráči zpětnou vazbu ocení, a podle mých zkušeností s hraním šachů, i detailní zpětná vazba po partii, kdy mám dost času si ji projít a podívat se na chyby, necítím, že mě směřuje určitým směrem.

Co za akce vlastně chceme hodnotit? Akce máme dvojího druhu: operativní a výsledné [15](strana 140). Operativní akce jsou na menším měřítku a jsou přímým důsledkem hráčových vstupů, například vystřel, jdi dopředu nebo tah pěšcem. Výsledná akce je záměr, s jakým hráč operativní akce koná, například zachránit figuru, změnit pozici na výhodnější či zneškodnit protivníka. Operativních akcí za jeden zápas zaznamenejme mnohem více, ale výsledných je více možných. Některé nedává smysl hodnotit a v průzkumu je hráči nezaškrtovali jako podstatné. Pro zaznamenávanou akci je dobré rozmyslet, jestli se nevyplatí ji sdružit s jinými, nebo rozdělit na několik

menších.

Ještě bych chtěl zmínit především hru ve více hráčích, kterou si hráči mohou chtít zahrát spíše než aby se o něco snažili, tak aby si zahráli spolu. V takových situacích nemůžeme od hráčů očekávat snahu o maximální výkon, spíše naopak. Sám si vzpomínám na případy, kdy jsme si záměrně navzájem škodili a konali akce, které šly proti našemu očekávanému snažení, ale protože jsme přátelé a hraní je pro nás v tu chvíli spíše společenská aktivita, nikomu z nás to nevadí. Pokud hra v takové situaci hráči řekne, že střelba do vlastních jeho týmu nepomáhá, spíše hráče touto zpětnou vazbou otravuje.

Zda zpětnou vazbu ve hře poskytovat, záleží na hře samotné, co hráčům poskytuje a co od ní hráči očekávají. Zpětná vazba typu „Toto jsi udělal špatně,“ by mohla narušit hráčův pocit volnosti a spíš by ji mohl vnímat jako rýpání. Důležité je rozhodnout, která rozhodnutí by hráč ocenil ohodnocená a z čeho by ho zajímala zpětná vazba.

3.2 Je evaluace užitečná?

Co když hra dá hráči konkrétní cíl, kterého má dosáhnout, nástroje, jaké k tomu má použít a hráčovým úkolem je vymyslet, jak tyto nástroje použít v takové kombinaci, kterou dosáhne cíle? Tomu, co se snažím popsat, se říká žánr puzzle her. Hráč má většinou zřejmý cíl, někam se dostat, nebo něco někam dostat, a jeho úkolem je zjistit, jak tohoto cíle dosáhnout s nástroji, které má k dispozici. Z tohoto obecného popisu je vidět souvislost se skládačkami, známými jako puzzle. Cíl, tedy sestavený obrázek, je většinou vytištěný na obalu a je tedy jasně definovaný. Nástroji jsou otáčení a umístování dílků podle libosti. Často se stává, že na nějakém místě chybí dílek, víme, jak vypadá, ale nemůžeme ho najít. Až když ho najdeme a zjistíme, že na místo patří, zažijeme tzv. aha efekt. Podobně prožívá hráč i puzzle hry, snaží se přijít na řešení problému, zkouší co jde a nejde a když se mu nakonec problém podaří vyřešit, zažije zmíněný aha efekt.

Přestože máme konkrétní cíl a akce, hodnotit hráče, zda dělá správné akce nebo jak dlouho mu řešení trvá by opět pro hráče bylo spíše otravné. Hra je o přemýšlení, zkoušení a pochopení, co je vlastně potřeba udělat. Reakce jako „No teď už to vím taky,“ nejsou ty, které se snažíme zpětnou vazbou vyvolat. V tomto případě by se spíš než hodnocení hodilo srovnání, ať už s ostatními hráči, nebo se zamýšleným řešením. Informace, že hráč použil nekonvenční řešení, nebo že použil stejné řešení jako například 15%, pro něj

může být zajímavá a může se k hádance chtít vrátit a zkusit najít další řešení. Informovat ale hráče, že mu hádanka trvala deset minut místo dvaceti vteřin a zpočátku zkoušel spoustu akcí, které nikam nevedly, je vlastně zbytečné, protože hru hrál zamýšleným způsobem, tedy řešil hádanku.

Nelze samozřejmě říct, že si takováto hra nezaslouží hodnocení hráče. Je ale důležité rozmyslet, zda zpětnou vazbu hráč vlastně k něčemu použije, ale také zda hráče nevede od zamýšleného způsobu hraní a nejde tak proti designu hry. Pokud je hra o přemýšlení nad problémem a zkoušení cest k řešení, podporovat v hráči rychlost průchodu změny zážitků ze hry a to, o čem vlastně hra je.

3.3 K čemu evaluace bude?

Hodnotit hráčovy akce nebo přímo jeho můžeme s několika záměry. Jedním je například sdělení hráči, jak si vede, co kde dělá špatně a co dělá správně. Taková zpětná vazba se snaží ve hráči vzbudit snahu se zlepšit a dělat méně chyb. K tomu potřebujeme ohodnotit hráčovy akce, vybrat ty pozoruhodné (ať už negativně, či pozitivně) a tyto hráči vyzdvihnout, případně k těm špatným nabídnout lepší alternativy. Pokud má hráč pochopit, proč jeho akce byla chyba a ta nabízená je lepší, potřebuje analyzovat potenciální důsledky obou akcí. Potřebuje vidět, proč to, co udělal, byla chyba, jinak pro něj hodnocení nemusí být dostatečně věrohodné, či přesvědčující.

Další účel, za jakým můžeme hráče chtít hodnotit, je žebříček hráčů. Žebříček slouží pro srovnání všech hráčů v lineárním uspořádání, většinou podle číselného hodnocení, ať už podobného elu, nebo nějaké metriky jako skóre. Tento typ hodnocení může opět hráče motivovat ke zlepšení, ať už aby v žebříčku porazil přítele, pokořil hranici nějaké skupiny (například je v pořadí pětistý desátý a může se chtít dostat do top 500 hráčů) či své hodnocení dostal nad určitou hodnotu. Protože hráč nedostává hodnocení ke konkrétním akcím a řazení v žebříčku asi taky nepočítá, že bude přesné, není potřeba hodnotit důsledně a přesně. Pro účely udržování žebříčku hráčů stačí hráče hodnotit podle jednodušších metrik, například jen podle vyhraných a prohraných zápasů, či jak rychle a kvalitně hráč řeší situace. Složitější evaluace a počítání s větším množstvím faktorů sice může zpřesnit hodnocení na žebříčku, ale pro hráče může mít menší, až dokonce nezatelnou, hodnotu. Je potřeba proto vybrat rozumný kompromis mezi přínosem hráči a zdroji, jaké implementace stojí.

Žebříčky ale nemusí být takto obecné, sdružující všechny faktory. Můžeme hráče řadit do několika žebříčků podle různých vlastností. Ve střílečkách například můžeme hráče řadit podle přesnosti, množství poškození za jednotku času, nebo i nekonvenčnějších metrik jako přesnost při skoku. Ve hrách pro jednoho hráče zase můžeme řadit podle nejvyšší dosažené úrovně, atd. Tyto kategorie samozřejmě závisí na hře samotné a co v ní hráči mohou dělat, podstatné ale je, aby tyto žebříčky nezměnily způsob, jakým hráči hrají, jen aby zvýšili svou pozici v určitém žebříčku. Hrát nezvyklým způsobem sice může být zajímavé, ale rychle se může změnit jen ve zkoušení toho samého, čehož důsledkem se hráč nudí více, než v zamýšleném herním zážitku.

Dále zmíním čistě vnitřní potřeby hry. Hry dnes mají širokou škálu způsobů, jak hráč může nástroje, které mu hra poskytuje, použít, přestože nástrojů nemusí být tolik. Například ve hře Portal [20] má hráč k dispozici jen pár nástrojů. Může se pohybovat, může zvedat a pokládat určité objekty, s některými objekty interagovat a na určitých površích může vytvářet portály, skrz které může procházet a rychle se tak dostat z místa jednoho portálu k tomu druhému. I tato jednoduchá sada nástrojů však mezi sebou vytváří zajímavou dynamiku. Hráče je tedy zpočátku potřeba naučit, jak tyto nástroje používat a jak dosáhnout určitých výsledků. Hra může zjistit, zda se hráč mechaniku naučil do dostatečné míry, aby mohl postupovat dál a nezasekl se na neznalosti z předcházející úrovně. Pokud hra vyhodnotí, že se hráč dostatečně nenaučil, co se mu snaží předat, může hráči do průchodu hrou vložit úroveň navíc, kde se má možnost znalost doučit. Část hry by tak mohla být nedostupná pro mnoho hráčů, což by pro ně mohl být důvod stížnosti. Pokud by ale tyto bonusové úrovně byly podobné té předcházející, protože se snaží hráče naučit to samé, pro schopnější hráče by mohly být příliš otravné a narušit plynulost výzev, které hra poskytuje. Příliš dlouhé vysvětlování herních mechanik by mohlo hráče nudit [16] a to, podle mě, i přes tuto interaktivní formu. Vždy je samozřejmě možné tyto změny dát hráči pod kontrolu, aby si mohl například průchod bonusovými úrovněmi vynutit.

Poslední účel evaluace, který zmíním, je automatická úprava obtížnosti hry, což dává smysl pouze pro hry, ve kterých hráč hraje proti umělé inteligenci. Hrát proti soupeři, který je příliš silný, jeho hrozbám hráč nedokáže odolat a ty hráčovy snadno odzbrojí, není zábava. Podobně pak pro protivníka, který hráče nedokáže ohrozit a nijak se mu nebrání. Hry ale hraje především abychom se bavili, takže protivník by hráči měl přijít přiměřeně silný. Vnímání přiměřenosti ale může být pro hráče velice subjektivní, protože schopnosti hráčů, ať už skutečné, či virtuální, se mohou lišit. Virtuální schopnosti jsou hře známy a lze je brát v úvahu, ale ty skutečné hra může pouze odhadovat [15](strana 151). Nějak tedy musíme srovnávat hráče a protivníka, se kterým soupeří, a podle srovnání protivníka upravovat tak, aby hráči přišel více „fér“ [5].

Účel, za jakým hráče hodnotíme, má vliv na několik věcí, jednou z nich je přesnost hodnocení. Obecná evaluace nepotřebuje příliš přesný výpočet, protože by nepřinesl tolik užitku, kdežto k jednotlivým akcím hráči musí hráč mít i kontext ve formě důsledků, aby pochopil, proč se hra pro hodnocení rozhodla. Forma hodnocení je také závislá na účelu. Pro vnitřní účely stačí číslo, nebo sada čísel, která jdou rychle analyzovat, kdežto zpětná vazba hráči musí být pro člověka čitelná a snadno pochopitelná.

3.4 Je k dispozici dostatek dat pro statistickou evaluaci?

Z průzkumu mezi hráči vyplynulo, že spíše věří statistickému hodnocení, tedy jak kvalitní akce byla, soudě podle zkušeností z předchozích (ne nutně hráčových vlastních) zápasů. Aby taková evaluace byla spolehlivá, je potřeba dostatečné množství dat. Popularita hry, rozmanitost akcí a dovednostních kategorií, délka jednoho zápasu a opakovanost situací jsou všechno faktory, které rozhodují, zda bude dat dostatek. Každý z nich má potenciál omezit množství dat k nepoužitelnosti. Podobnou otázkou je, zda je jich dostatek pro hodnocení v hráčově dovednostní kategorii. Co když pro nějakou skupinu chybí data, protože se v ní odehraje málo zápasů? Lze jednoduše použít data pro jinou blízkou skupinu, například vyšší, protože tam se hráč ideálně chce dostat.

Problémem statistické evaluace by mohla být velikost dostupného úložiště a výpočetní kapacita. Data o zápasech by bylo potřeba někde ukládat, ideálně v nějaké úsporné formě. Pokud by hodnocení fungovalo přímo na zaznamenaných datech, například by se hodnota akce odvíjela od průměrného dalšího vývoje zápasu, potřebujeme strukturu, ve které bychom si udržovali statistiku ze zápasů, ne nutně data z jednotlivých zápasů. Pokud hodnocení provádí nějaká struktura na datech pouze naučená, například neuronová síť, data potřebujeme jen na učení a poté je můžeme zahodit. Další problém by nastal při potřebě strukturu přeúčít, protože hráči například objevili nový přístup a začali hrát jinak. Takto se s časem může měnit herní dynamika a provádění akce a reakce.

Evaluace akcí ve velkém datasetu je téma dobře prozkoumané především ve sportu [11], [12]. V této práci jsem již mluvil o evaluaci v ledním hokeji v sekci 2.4. Zmiňoval jsem hodnocení akcí neuronovou sítí s modulem pro paměť mezi po sobě jdoucími stavy [11]. Síť je třeba jednou naučit na datasetu a lze ji pak použít pro ohodnocení akcí v sekvencích. Akce jsou pak hodnoceny v kontextu datasetu. Zápas v hokeji jsou děleny na sezóny, dává proto smysl

datasety stavět z jednotlivých sezón, či jejich sloučení. Druhý zmiňovaný přístup k hodnocení byla tvorba stavového prostoru a počítání, jak se změnilы pravděpodobnosti skórování týmů [12].

Neuronová síť je vlastně klasifikátor. Na vstupu jí předáme popis toho, co chceme klasifikovat a na výstupu dostaneme čísla, nakolik si síť myslí, že vstup spadá do jednotlivých kategorií. Předchozí příklad s ledním hokejem tedy můžeme zobecnit na zaznamenávání stavů s příznaky a následnou klasifikaci na kategorie „vyhraje první tým,“ „vyhraje druhý tým,“ a případně i „zápas skončí remízou.“ Příznaky jsou potřeba vybrat takové, aby dávaly smysl v kontextu hry, do které klasifikátor implementujeme, a musí být relevantní k hodnocení stavu. Třeba pro strategie můžeme jako příznaky použít jednodušší faktory, jako počty jednotlivých jednotek a surovin každého z hráčů [13], složitější faktory, jako efektivita ekonomiky, velikost armády a schopnost efektivně ovládat jednotky [8], nebo jen jeden příznak, který dostatečně vyjadřuje stav celého zápasu [14].

Jaké příznaky zvolit je opět otázka s neurčitou odpovědí „záleží na hře a požadavcích na hodnocení.“ Máme k dispozici příznaky snadno měřitelné a kvantifikovatelné, ale i takové, které musíme odhadovat z aktuálního stavu zápasu, jeho historie, nebo dokonce i z předchozích zápasů. Například schopnost hráče efektivně ovládat jednotky ve strategických hrách (micro skill, dále jen micro). Pro pozorovatele nemusí být obtížné říct, kdo z hráčů má lepší micro, protože dobrým ukazatelem je stahování těžce zraněných jednotek z boje dříve, než je protivníkovy jednotky stačí zabít, a blokování protivníkových jednotek, aby se takto stáhnout nestihly. Micro nemusíme spočítat pro všechny hráče přesně, v zásadě nám stačí jen srovnání. Především ve dvouhráčových hrách nám stačí spočítat jen o kolik se oba hráči od sebe liší. Jak micro kvantifikovat? Jedním způsobem je srovnat výsledek bitvy s výsledkem stejné bitvy, jak by ji hrál počítačový hráč [8]. Jestliže výsledek bitvy umělé inteligence vezmeme jako průměr, pak ten hráč, který z bitvy vyšel lépe má lepší micro, o kolik můžeme definovat srovnáním některých hodnot obou bitev, například zbylými životy jednotek.

Kategoriemi mohou být různé výsledky, které nás zajímají. Nejzajímavější asi bude výsledek celého zápasu, tedy kdo vyhraje. Výstup klasifikátoru by tak dávalo smysl mít pravděpodobnosti (nebo přímo jednorázovou odpověď), kdo z hráčů nebo týmů vyhraje. Mohou nás ale zajímat i jiné typy výsledků, jak v hokeji ukázal Routley [12], například tresty, nebo příští gól.

Neuronová síť ale není jediný klasifikátor. Největší nevýhodou neuronových sítí je špatná čitelnost. Pokud chceme například zjistit, který z příznaků byl nejvíce rozhodující pro daný výsledek, sice můžeme, ale není to tak zřejmé při pohledu na síť. Můžeme ale použít jiné klasifikátory k předpovědi výsledků,

jako KNN, QDA [14], [13], nebo logistickou regresi [8]. Který prediktor se hodí více je asi potřeba otestovat, ale z výzkumu vypadá LDA jako dobrý kandidát.

Pokud máme přechod mezi stavy spojen s nějakou akcí, můžeme evaluovat i tuto akci podle hodnocení stavů před a po ní. Například ve dvouhráčové hře můžeme hru hodnotit jedním číslem, buď jako se to dělá ve šachách, nějak kvantifikovat výhodu (+1 je výhoda bílého odpovídající jednomu pěšci navíc), nebo jako pravděpodobnost výhry jednoho z hráčů (0.6 pak znamená 60% šanci na výhru prvního hráče a 40% šanci na výhru druhého hráče). Hodnota akce je pak rozdíl stavů před a po. Je tedy vidět, že hodnota akce závisí přímo na použitém hodnocení, porovnávat mezi sebou hodnoty z různých hodnocení tedy nedává smysl. Také je vidět, že hodnota pro jednoho hráče je v určitém smyslu opačná hodnotě pro druhého hráče, pro nějž je třeba změnit znaménko hodnocení, nebo ho odečíst od jedničky. Hodnotu stavu ale můžeme reprezentovat i více než jednou hodnotou. Například pravděpodobnosti jednotlivých hráčů, ke kterým jde přidat i pravděpodobnost remízy, pokud ji hra připouští. V takovém případě máme více způsobů, jak akce ve stavech hodnotit, může být ale složitější nějaký vybrat, protože potřebujeme vzít i v úvahu, jak se změnila ostatní pravděpodobnosti. Kromě zvyšování pravděpodobnosti vlastní výhry například můžeme chtít snížit nejvyšší pravděpodobnost mezi protivníky.

Statistika může být velice spolehlivý zdroj předpovědí, což může pomoci zhodnotit, jak určitá akce změnila dynamiku zápasu, a vyzdvihnout tak určité akce, které mohly být rozhodující pro výsledek zápasu, což je potenciálně zajímavá informace pro hráče, a hra na základě těchto informací může rozdávat bonusové odměny. Na zacházení s velkým objemem dat je však potřeba mít dostatečně výkonný hardware a jistou míru automatizace. Ne každá hra si však může tento princip hodnocení dovolit, protože dostatek dat nenasbírá.

3.5 Jak hráče a jejich akce hodnotit bez statistik?

V předchozí sekci jsem již popsal, jak lze využít statistická data pro hodnocení jednotlivých akcí. Přestože je podle mě tento princip nejspolehlivější, nemusíme vždy mít možnost ho využít a musíme proto použít jiná řešení. V této sekci nastíním jen několik možností, ale zdaleka nejsou všechny, především protože jsou limitované jen představivostí a jdou vymýšlet další a další. Co mají společného, a čím se liší od statistických metod, je ale potřeba evaluační systémy navrhnout tak, aby věděly o herní dynamice a počítaly s ní, takže už návrhář musí mít přehled o tom, které akce hráči pomůžou a které mu

uškodí, případně v jaké situaci je hráč ve výhodě. Statistické metody se tyto informace učí od nuly z dostupných dat.

Podívejme se třeba na šachy. Hodnota konkrétního stavu se zjišťuje Mini-Maxem, nebo nějakou jeho úpravou (jako je alfa-beta prořezávání). Teoreticky by stačilo jen prohledat celý stavový prostor, protože je omezený, ale je příliš velký na efektivní průchod, takže se většinou prohledává jen do určité hloubky, ve které se stav ohodnotí podle heuristiky, která hodnotu šachovnice odhaduje. Pro implementaci heuristiky ale potřebujeme znát, jak výhodu hráče ovlivňují různé faktory, jako pozice figur, prostor dostupný hráči k manévrování, nebo pohyblivost figur. Jak je vidět, pro tvorbu heuristiky je třeba se ve hře dobře orientovat a ideálně by návrh hodnocení měl dělat zkušený hráč, který dobře rozumí dynamice hry. Šachy jsou relativně prozkoumaná hra, ve které se řešení určitých situací nejspíše měnit nebude, kdežto obecně ve hrách mohou hráči najít nový přístup k hraní, mezi hráči se tomu říká meta, což má potenciál kompletně změnit způsob evaluace stavu. Update hry, který upraví pár hodnot, nebo přidá novou mechaniku, také může vynutit změnu evaluace.

Co když se snažíme hrou něco naučit? Můžeme nějak automaticky hodnotit, jak si hráč vede? Opět můžeme definovat stavový prostor hry s přechody podle akcí, které hráč může konat. Máme cíl, kam hráče chceme dovést a optimální cestu, jak se k němu dostat. Dále můžeme identifikovat ty stavy, ve kterých se může projevit znalost, a hlídat, jak se v nich hráč rozhodne. Pokud najednou z aktuálního stavu dojde do cílového optimální cestou (nebo jí dost podobnou), můžeme říct, že měl buď štěstí, nebo pochopil (třeba jen částečně), co se ho snažíme naučit. Je samozřejmě potřeba odlišit náhodný výběr správného řešení od skutečného pochopení znalosti. Pokud každé akci přiřadíme pravděpodobnost, že ji vybere hráč, který znalost nemá, můžeme spočítat šanci na náhodný průchod správnou cestou a pokud je tato pravděpodobnost příliš malá, nejspíš hráč znalost pochopil.

Problémů s tímto přístupem je několik. Je třeba určit pravděpodobnosti akcí hráče bez znalosti, což nemusí být nutně rovnoměrně, protože i hráč bez znalosti ví, kam se vlastně chce dostat a rozhoduje se podle toho. Určování experimentálně také může být problematické, protože chápání znalosti není binárně chápu/nechápu, ale hráč například může mít jistou míru intuice, aniž by dokázal vysvětlit proč, nebo chápe určitou část znalosti (třeba co bude potřebovat), ale stále mu něco nedošlo (třeba jak objekty použít), což může ovlivnit jeho rozhodování. Dalším problémem srovnávání pravděpodobnosti je délka cesty, se kterou počítat. Relativně krátké cesty budou mít větší pravděpodobnosti, protože po cestě nebylo tolik rozhodnutí, než ty delší, které zase budou mít dost malé pravděpodobnosti.

Další možností je hru (případně jen úroveň hry, která má znalost naučit)

3.6 Jak zpětnou vazbu hráči prezentovat?

Máme už hráčovy akce analyzované, ohodnocené a ke každé víme, zda hráči chceme nebo nechceme něco říct. Potřebujeme tedy nějaký způsob, jak mu zpětnou vazbu sdělit. Důležité je, aby hráč věděl, na co se vlastně dívá a co se mu hra snaží sdělit.

Protože zápas trvá určitou dobu a akce se během něj dějí postupně, přirozeně bychom dění během zápasu mohli vyznačit na časovou osu. Hráč by tak viděl jednotlivé akce a interakcí s nimi by se mu zobrazovala hodnocení. Takové zobrazení by mohlo mít problém s hustotou zobrazených prvků, takže by bylo potřeba nějak zlepšit čitelnost. Jeden způsob by byl rozšířit časovou osu o další interakční prvky, jako možnost ji přiblížit, oddálit a posunout. Hráč se tak může podívat detailněji na část zápasu, která ho zajímá, tedy s menší hustotou akcí. Stále ale můžeme potkat stejný problém, když máme sekvenci akcí těsně po sobě, kterou bychom si museli příliš přiblížit, abychom ji zpřehlednili. Můžeme proto také upravit vykreslování událostí na osu tak, aby byly mezi nimi zajištěné minimální rozestupy. časová osa tak nebude stoprocentně reprezentovat časové rozdíly mezi událostmi. Další nevýhodou zobrazení na jednu časovou osu by byla neschopnost zobrazit několik úrovní hodnocení. Můžeme si zápas představit jako hierarchii událostí. Zápas například můžeme rozdělit na kola, fáze kol, výsledné a operativní akce.

Tuto hierarchii můžeme využít pro zobrazení zpětné vazby. V přehledu svých odehraných zápasů by si hráč mohl jeden z nich rozkliknout a zobrazil by se mu seznam kol. Z tohoto seznamu by si opět mohl jedno kolo rozkliknout a zobrazil by se mu detail úrovně o jednu níž. Na každé úrovni by se mu také mohly ukázat informace a zpětná vazba o daném prvku. Tímto bychom vyřešili problém se zobrazením zpětné vazby ve více úrovních. Opět bychom potřebovali vyřešit potenciální vysokou hustotu akcí, pokud bychom i jednotlivé úrovně zobrazovali na časovou osu. Informace by ale pro hráče byly mnohem více strukturované a nebyl by zahlcen jejich velkým množstvím.

Další způsob, jak zabránit přehlcení informacemi, je vybrání těch nejdůležitějších a zanedbání zbytku. Pro zlepšení jsou nejdůležitější chyby, protože podle nich hráč pozná situace, ve kterých se má zachovat jinak. Pro zlepšení jeho schopností je tedy podstatnější, aby viděl, kde udělal chybu a proč to chyba byla, než aby mu hra ukázala události, ke kterým žádné zvláštní hodnocení nemá. Pro zpřehlednění by tedy stálo za zvážení hráči neprezentovat celou historii zápasu, ale jen jeho nejlepší a nejhorší výkony. Co kdyby ale hráče zajímala jedna konkrétní situace a její hodnocení? Kdyby hra vybírala jen extrémy, jediná informace o této situaci by byla, že jeho akce nebyla ani

výborná, ani hrubá chyba. Nic ale nebrání v poskytování obou typů zpětné vazby, shrnutí ve formě jeho nejlepších a nejhorších momentů i ohodnocenou celou historií. Vyzdvihnutí extrémů by hráči poskytlo další zpětnou vazbu tím, že by viděl, jak jeho nejhorší momenty jsou postupně méně a méně závažné, což by odrazilo jeho zlepšující se schopnosti.

Otázkou zpětné vazby je míra té negativní stránky. Pro zlepšení je potřeba především přestat chybovat, takže hráče je potřeba informovat o jeho chybách. Jak a v jaké míře negativní zpětnou vazbu hra předá může znamenat rozdíl mezi hráčovým poučením a odražením. Existuje mnoho důvodů, proč by negativní zpětná vazba měla nulový účinek, nebo byla dokonce kontraproduktivní [10]. Faktory, nad kterými vývojář hry nemá kontrolu, jsou například víra hráče, že svůj výkon dokáže změnit, hráčova ochrana vlastního ega, která špatný výkon může přisoudit faktorům, nad kterými nemá kontrolu, nebo zpětná vazba, která má původ v hráči samotném a nemusí být dokonce přesná. Ilgen a Davis věří, že nejdůležitější pro efektivitu negativní zpětné vazby je hráčovo uznání chyby a snížení konceptu sebe jako výsledkem.

Pro snazší přijetí zpětné vazby autoři doporučují vzít v úvahu několik faktorů. Za nejdůležitější z nich považují vnímání cílů jako orientovaných na učení, ne výkon. Při orientaci na učení jsou chyby více legitimizovány, což pomáhá s uznáním vlastní chyby. I orientace na výkon je ale lepší, než když hráč neví, proč vlastně má dělat to, co dělat má. Ve hrách si nemyslím, že je velký problém s orientací cílů, protože hráči mají vlastní motivaci hrát a sami se orientují buď na učení, výkon, nebo zábavu. Další důležitý faktor, především v jednohráčových hrách, popsáný autory je koncept sebe. Pokud hráč nemá srovnání, pak své výkony může srovnávat pouze opět s vlastními výkony. Negativní zpětná vazba by tak mohla snížit jeho koncept sebe a záporně tak ovlivnit jeho schopnosti.

3.7 Shrnutí

Jakým způsobem hráči zpětnou vazbu předávat záleží na formě, jak lze zápas vizualizovat, a kolik informací hráči bude potřeba předat. V každém případě je nejlepší data mít v nějaké grafické úpravě kvůli přehlednosti, aby jen vzhled předávaných dat hráče neodradil od jejich čtení. S psychologickou stránkou, kterou jsem nastínil v závěru sekce, jsem osobně nikdy jako hráč velké problémy neměl. Pokud mě někdy hra omrzela, bylo to kvůli vlastnímu vnímání svých schopností a jejich stagnace, ocenil bych tedy, kdyby takové hry alespoň srovnávaly můj aktuální výkon s minulým, protože bych třeba mohl vidět, že se mé schopnosti pomalu lepší.

Kapitola 4

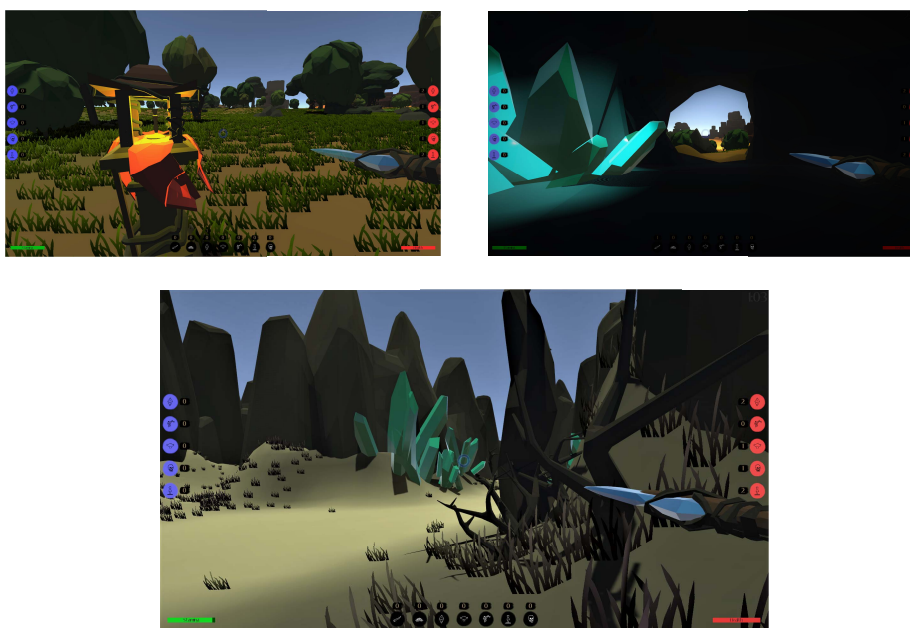
Implementace

V této kapitole popíšu mou implementaci evaluačního modulu ve hře The Chaser (dále jen modul), vyvinuté během zimního semestru 2018/2019 v rámci kurzu B4B39HRY týmem 11, jehož členy byli čtyři studenti: Karel Petr, Michal Pozník, Margarita Ryabova a Oleksandra Shumilina. Mentorem týmu byl Tomáš Pastýřík.

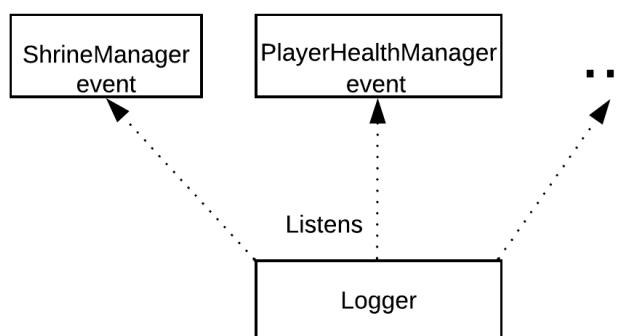
4.1 The Chaser

Ve hře The Chaser má hráč patnáctiminutový limit na ulovení protivníka ve formě velké pumy. Protivník je ale zpočátku nesmrtelný a má postavených několik svatyní. Svatyně mohou být jak hráčovy, tak protivníkovy, a každá určitým způsobem ovlivňuje hráče, protivníka, nebo prostředí. Oba mohou bořit svatyně a stavět si vlastní, ovšem je k tomu zapotřebí surovin, které jsou volně rozmístěné v prostředí hry. Protivník má čtyři nálady, které se mu mění v závislosti na jeho zdraví a počtu postavených svatyní. Hráč vyhrává, pokud do časového limitu stihne protivníka zabít, a prohrává, pokud je sám zabít, nebo mu dojde čas. V obou případech se vrací zpět do hlavního menu. Hru je možné si kdykoliv uložit do jedné ze tří pozic a z této pozice opět nahrát.

Během hry modul pouze sbírá informace o událostech a ukládá si je do logu. Na konci zápasu, tedy když hráč prohraje či vyhraje, dostane hráč na výběr buď rovnou jít zpět do hlavního menu, nebo si zobrazit historii hry,



Obrázek 4.1: Ukázky ze hry The Chaser.



Obrázek 4.2: Diagram vyznačující, jak je logování integrováno do hry.

kde se může podívat na jednotlivé události zápasu, ke každé co se stalo a co si o ní modul myslí. Implementace modulu je rozdělena na tři části: logování, shlukování událostí a analýzu, nakonec zobrazení hráči.

4.2 Logování

Správu logu má z většiny na starost třída Logger. Logger poslouchá eventy vystavené v několika dalších třídách, které ho zajímají. Tyto třídy se typicky starají o aspekty hry, které je třeba zaznamenávat, tedy zdraví hráče a protivníka, správce svatyní nebo hráčův inventář. Každá z těchto tříd při

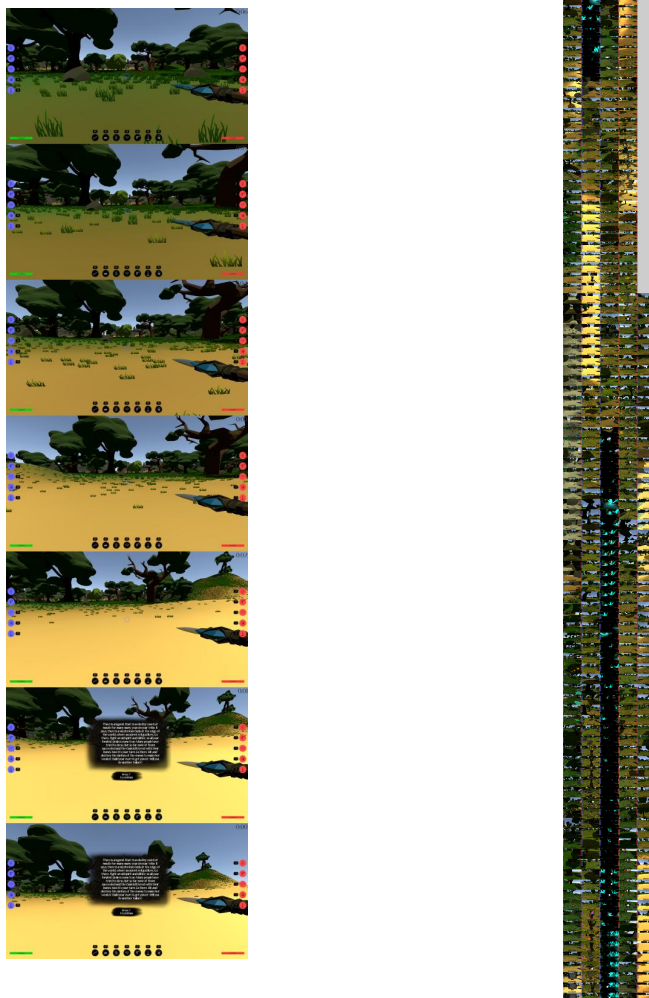
dostatečně důležité změně spustí event, který Logger poslouchá, a předá o změně informace, které si Logger uloží do logu. Event spustí v Loggeru metodu pro konkrétní událost a v ní informace zpracuje a uloží. Čas si Logger bere z herního časovače, na který má odkaz, informace o čase tedy nejsou třeba předávat v rámci eventu, stačí předat jen informace podstatné pro daný typ události. Logger pak pro událost vytvoří strukturu a uloží ji do logu.

Log je instance třídy `List<GameEvent>` a v něm jsou uloženy objekty abstraktní třídy `GameEvent`, od které dědí třídy jednotlivých specifických událostí, například `DamageDealtEvent` nebo `ShrineBuiltEvent`. Každá taková třída si udržuje informace charakteristické pro danou událost, jako způsobené poškození nebo typ svatyně a jejího vlastníka. Informace o čase jsou uloženy ve třídě `GameEvent`.

Kromě zaznamenávání událostí má Logger ještě jednu povinnost, kterou je tvorba a ukládání snapshotů obrazovky. Každou vteřinu se do nové textury zaznamená, jak vypadala celá obrazovka, tato textura se pak zmenší na šestnáctinovou velikost (v každém rozměru na čtvrtinu), aby nezabírala tolik místa, protože zobrazovat se bude jen takto zmenšená, a uloží se do seznamu snapshotů. Tento seznam je typu `List<Sprite>`, takže je třeba vytvořit nový `Sprite` z vytvořené textury.

Na konci hry má hráč na výběr možnost si nechat historii zápasu ukázat; pokud na tlačítko klikne, obslužná funkce z Loggeru vybere log a předá ho v pořadí dalšímu objektu typu `EvaluatorPanelManager`. Zpracování logu se tedy neprovede, pokud si ho hráč nevyžádá, a nezaměstnává se tak procesor.

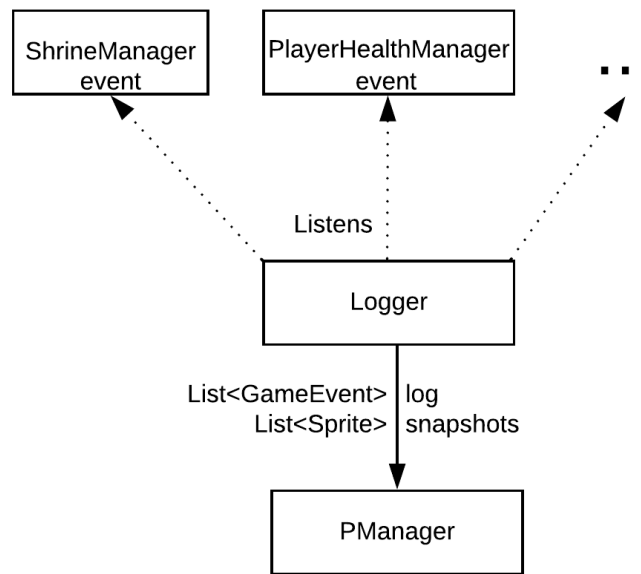
Pokud se hráč rozhodne si stav zápasu uložit, v uložené pozici bude i log s událostmi. Třídy dědicí od `GameEvent` jsou serializovatelné a integrace logu do objektu `Save`, jehož prostřednictvím se ukládání a načítání realizuje, není složitá. `Sprite` ani `Texture2D` ale serializovat nejdou, takže je třeba jejich zápis na disk řešit jinak. Původně jsem je chtěl spojit do jedné vysoké textury a uložit jako jeden obrázek, ale rozměry textur jsou v Unity limitovány na konkrétní hodnoty, takže jsem musel jednotlivé snapshoty naskládat v textuře do několika sloupců, aby nebyly maximální rozměry překročeny a takto obrázek ukládat. Patnáct minut snapshotů každou vteřinu znamená devět set snapshotů, což by na disku zabíralo mnoho místa, exportuji proto takto velkou texturu do JPG formátu, což znatelně zmenší velikost souboru. Příklady, jak takové obrázky mohou vypadat jsou na obrázku 4.3.



Obrázek 4.3: Příklady uložení snapshotů na disku v jednom obrázku. Na obrázku vlevo je vidět krátká historie se sedmi snímky, vpravo je historie jedné celé hry o více než tří stech snapshotech.

4.3 Zpracování logu

Log se předá instanci třídy `EvaluatorPanelManager` (dále jen `PManager`), která nejprve vytvoří tři seznamy událostí, jeden pro suroviny, jeden pro svatyně a poslední pro boj. Seznamy jsou typu `List` a záznamy v nich jsou typy dědicí od společné abstraktní třídy `TimelineEvent`. `TimelineEventy` nejsou jednotlivé události zápasu, ale jsou to jejich skupiny, které sdružují události souvisejících typů, které se staly ve zhruba stejné době. Mají uloženou informaci o časovém rozmezí událostí a popisu skupiny. Konkrétní typy jsou `TimelineResourceEvent`, který si pamatuje kolik jakých surovin hráč během jeho trvání nasbíral, `TimelineShrineChangeEvent`, který si pamatuje kolik,



Obrázek 4.4: Rozšíření předchozího diagramu o třídu zpracovávající log událostí.

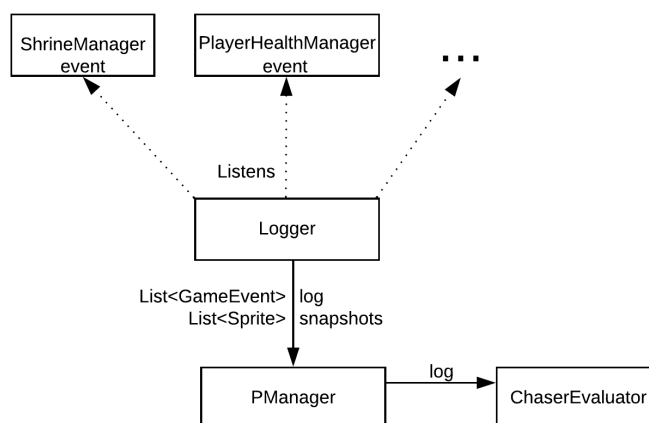
kterých a čím svatyně bylo zbořeno, či postaveno, a TimelineCombatEvent, ve kterém jsou informace o množství poškození přijatého hráčem i protivníkem.

Nejprve se v průchodu logu událostí vytvoří jednotlivé skupiny a upraví se čas, trvání a specifická data v nich podle událostí. Poté se projdou takto vytvořené seznamy a přidají se jim detailnější popisy, které shrnují informace o událostech, které rámcují. Tyto popisy jsou minimální v tom smyslu, že se nepřipisují zbytečné informace jako „nasbíráno 0 klacků, 0 provazů, …“. Účelem těchto skupin je zpřehlednit zobrazovaná data shrnutím, které se k nim přidá právě jako detailní popis. Skupinám jde přiřazovat i krátký popis, což ovšem z důvodu možné interference s popisem jednotlivých událostí zde není používáno.

Úkolem třídy PManager je jen takto zpracovat data, aby pak šla snáze a přehledněji zobrazit na časové osy. PManager má také odkaz na evaluační třídu, které předá log a ona ho ohodnotí.

4.4 Hodnocení logu

Když je hotová tvorba skupin, zbývá jen přidat k jednotlivým událostem komentáře. O to se stará třída ChaserEvaluator (dále jen Evaluator), která implementuje interface IGameEvaluator<T> pro typ GameEvent. Evaluator



Obrázek 4.5: Diagram po přidání evaluační třídy.

dostane log tak, jak přišel z Loggeru, a jednotlivým událostem přidá komentáře. Ty jsou přidělovány ve třech průchodech logu, což jim přirozeně dává různé priority, protože komentáře se nepřepisují na událostech, kde už nějaký je. Pokaždé, když napíšu, jak se událost hodnotí (pochvala, varování, chyba), zároveň se k události přepíše komentář s důvodem hodnocení.

V prvním průchodu se hodnotí především boj, protože je nejjednodušší a nepotřebuje předpočítaná data z předchozího průchodu. Zranění hráče se vždy považuje za chybu, protože – především pokud má hráč postaveny svatyně s kytkou – by neměl být problém od protivníka utéct. Hráčův útok se nejprve zkontroluje, zda byl proti nesmrtelnému protivníkovi, tedy zda má protivník postavenou svatyni s lebkou. V takovém případě byl útok chybou, protože byl zbytečný. V druhé řadě se zkontroluje, zda má protivník postavenou nějakou svatyni se soškou, která mu snižuje přijaté poškození. Zničit svatyně je rychlejší, než postavit vlastní, takže hráč by měl prioritizovat ničení těch protivnickových. Jako třetí se kontroluje, zda má protivník nějakou svatyni s krystalem, která hráči prodlužuje prodlevu mezi oštěpy, které může házet, tedy snižuje hráči poškození za jednotku času. Poslední jednoduchou kontrolou je počet svatyní postavených hráčem. Každá taková mu zvyšuje způsobené poškození, takže pokud jich postavil pět (více jich z dostupných surovin ve hře postavit nelze), útočí největším možným poškozením a útok je odměněn pochvalou.

Pokud o komentáři události způsobeného poškození stále není rozhodnuto, znamená to, že protivník nemá žádnou svatyni, která by hráčovu schopnost poškozovat ovlivňovala, a hráč zároveň nemá postavené všechny svatyně se soškou. Je třeba tedy zjistit, zda se hráči vyplatí postavit další svatyně a útočit tak silněji, nebo už jen útočit. Spočítá se, jak dlouho by hráči trvalo protivníka porazit se svatyněmi, které má, a pak se pomocí konstant odhaduje, jak dlouho by mu trvalo dostavět svatyně (odhad se počítá pro jednotlivé

počty svatyní, které by dostavoval) a protivníka dorazit až potom. Pokud existuje počet svatyní, které by se vyplatilo dostavět a bojovat až pak, útok se označí varováním, jinak pochvalou.

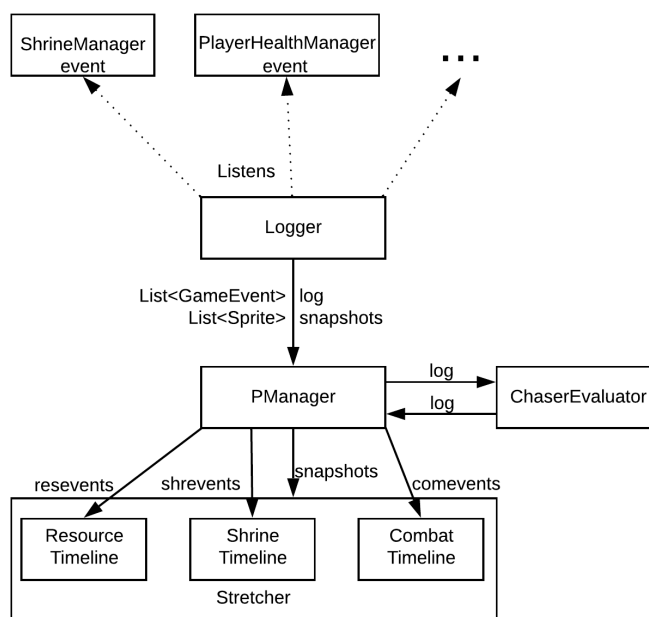
Bourání protivnickových svatyní má jedinou kontrolu, kterou je počet jeho svatyní s kytkou. Taková svatyně brání hráči ve sprintování a hráč zápas začíná přímo před ní, takže její nezničení jako první se považuje za chybu.

Stavba svatyní kontroluje jen ty s krystalem. Nejprve se zkontroluje, zda již hráč nějakou má postavenou, protože jejich efekty se nesčítají. Stavba několika takových svatyní se tedy považuje za chybu. Protože svatyně s krystalem zpomaluje tikání časovače, je lepší ji postavit dříve než později. Pokud ji hráč postavil v druhé polovině zápasu, stavba se označí varováním.

V prvním průchodu se také počítají množství jednotlivých nasbíraných surovin, které budou potřeba pro hodnocení rychlosti stavby svatyní a využití surovin.

V rámci druhého průchodu se spojují svatyně a na ně použité suroviny. Pro každou sebranou surovinu se zkontroluje, zda má hráč sebraných více, než použitých za celý zápas (spočítáno v prvním průchodu), a pokud ano, tato surovina sebraná navíc se označí za chybu. Pro každou postavenou svatyni se všechny použité suroviny označí pochvalou a do komentáře se přidá čas, kdy byly použity. Hráčův inventář surovin se považuje za zásobník, takže naposledy sebrané suroviny se použijí jako první, pokud byly na stavbu potřeba (tedy pokud nebyly přebytečné podle předchozího kritéria). Pokud od naposledy sebrané suroviny, použité na stavbu, uplynulo příliš času, stavba se označí chybou. Výjimkou je nepřímý limit pěti svatyní, protože po stavbě šesté svatyně protivník začne na hráče útočit. Dává proto smysl postavit pět svatyní, nasbírat suroviny a pak rychle dostavět zbytek. V tomto případě se prodleva za chybu nepovažuje.

V posledním průchodu se najdou všechny nebojové události, před kterými se dostatečně dlouho nic nestalo, a označí se varováním s komentářem, že hráč dlouho nic neudělal. Boj se takto neoznačuje, protože občas může hráči trvat velmi dlouho protivníka v rozsáhlé oáze najít. Toto varování je jediné, které může přepsat pochvalu.

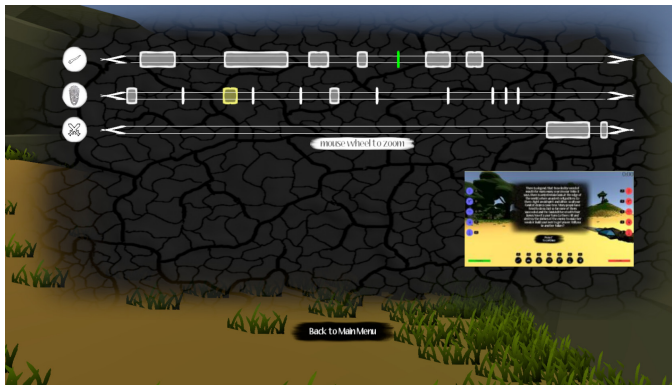


Obrázek 4.6: Kompletní diagram, včetně vizualizačních tříd.

4.5 Vizualizace na panel

Když jsou komentáře přiřazené, PManager zavolá metodu `DisplayType<T>` každé ze tří časových os a v argumentech předá odpovídající seznam `TimelineEvent`ů a původní okomentovaný log. Každá časová osa má komponentu `TimelineManager` (dále jen `TManager`) s generickou metodou `DisplayType<T>`. Tato metoda nejprve vymaže dosavadní obsah osy, a pak si z předaného seznamu vytvoří grafické znázornění jednotlivých skupin, tedy `TimelineEvent`ů, tak, že každá skupina je na časové ose graficky reprezentována, a umístěna na relativních souřadnicích na časové ose podle časových informací. Rozmísťuje se pomocí kotev, aby se při škálování os přirozeně roztahovaly i skupiny. Každé takto vytvořené skupině se pak předají informace o časovém rozmezí a popisu skupiny, aby je mohla při interakci sama zobrazit. Skupina také může mít nulové trvání, především když je v ní jen jedna událost, v takovém případě se zobrazí jinak graficky, a to stejně jako libovolná jiná událost.

Když jsou skupiny rozmístěné, zbývá už jen je obarvit a rozmístit události samotné. K tomu se použije předaný okomentovaný log, ze kterého se vyberou události, které souvisí s typem skupin. K tomu slouží metoda `EventsMatch<T, U>`, kde `T` je `TimelineEvent` a `U` je `GameEvent`, která vrátí, zda spolu předané třídy souvisí. Pokud ne, pak jsme z logu vybrali událost, která na danou časovou osu nepatří, a můžeme vybrat další. Pokud je událost ve skupině s nenulovou délkou, vytvoří se pro ni grafická reprezentace, pokud není, už je



Obrázek 4.7: Vzhled panelu hned po zobrazení, ještě před animací. Uprostřed je nápověda k animaci a vpravo první snapshot zápasu. Jednotlivé události, které jsou součástí skupin, nejsou vidět.

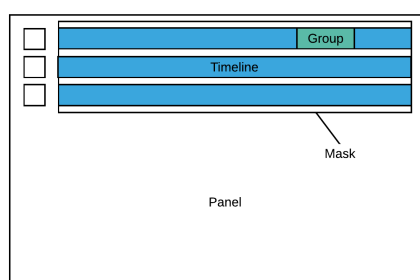
na ose reprezentována. Grafický prvek události, kterou označuji jako notch, se obarví podle její závažnosti, tedy červeně pro chybu, žlutě pro varování a zeleně pro pochvalu, a naplní informacemi. Každý notch se v Unity hierarchii nastaví jako potomek skupiny, do které patří, a přikotví se na místo, kam patří, opět pro usnadnění škálování. Skupina se pak obarví podle závažnosti události, pokud už nemá stejnou, nebo horší. To znamená, že se skupina zbarví podle nejzávažnější události v ní. Všechny takto vytvořené notche se zneaktivní, jelikož ve výchozí úrovni přiblížení nemají být vidět. Výsledek grafického znázornění je vidět na obrázku 4.7.

Když je hotová grafická podoba hodnocení, předá se objektu, na kterém časové osy leží, Stretcheru, seznam snapshotů jako `List<Sprite>` a celkový čas trvání zápasu, aby mohl správně zobrazovat snímky obrazovky. O tom více v další sekci.

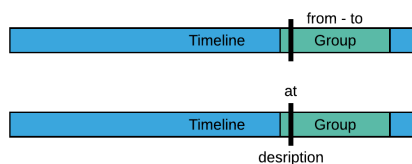
4.6 Hráčova interakce

Zjednodušená hierarchie objektů v Unity je vidět na obrázku 4.8a. Na panelu je maska, která zobrazí jen ty části jejích potomků, které nepřesáhnou okraje jejího obdélníka. Pod maskou je objekt jménem Stretcher, na něm jsou tři časové osy a na každé objekty, rozlohou odpovídající využitelné ploše os. Na panelu nad maskou je scrollbar, který jsem pojmenoval minimapa.

Stretcher má komponentu `StretcherBehaviour`, který z údajů o pozici kurzoru, tažení myši a vstupu z kolečka myši vypočítává, jak se mají změnit pozice jeho okrajů. Změna jeho rozměrů a pozice se propaguje i do časových

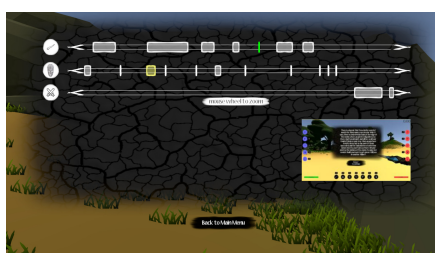


(a) : Znáznornění hierarchie grafických prvků.

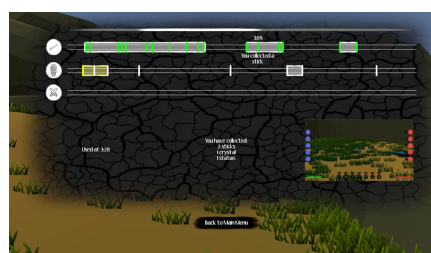


(b) : Informace se zobrazují jinak, je-li ukazatel myši nad skupinou, nebo událostí v ní.

Obrázek 4.8: Struktura grafických prvků panelu.



(a) : Při dostatečném oddálení jednotlivé události, které jsou součástí skupin, nejsou vidět.



(b) : Po přiblížení se notche pomocí průhlednosti postupně zobrazí. Nad osami je také vidět zobrazená minimapa.

Obrázek 4.9: Výsledek interakce s časovou osou.

os přes chytré využití kotev. Pro posouvání a změnu velikosti časových os se mění offset stran Stretcheru od masky, takže například přiblížování os jen odsouvá okraje Stretcheru od okrajů masky. Při oddalování se přisouvají k sobě a pro posouvání se posouvají stejným směrem. Při dostatečném oddálení notche nejsou vidět a přiblížením se pomocí průhlednosti prolnou do popředí, proto je třeba při změně přiblížení každé z os předat novou úroveň zoomu, aby si mohla průhlednosti notchů přizpůsobit. Při každé změně offsetů, tedy zoom a posun, je třeba také zkontrolovat, zda okraje Stretcheru nepřekročily hranici masky. Časové osy by tak mohly hráči „odjet“ pryč, nebo by minimálně část dostupné plochy nebyla využita. Po této kontrole se upraví minimapa tak, aby odpovídala aktuálnímu stavu přiblížení a posunu os. Výsledek přiblížení je vidět na obrázku 4.9.

Stretcher si také kontroluje, zda v jeho obdélníku je ukazatel myši a kde, a podle těchto údajů mění zdrojový Sprite obrázku vpravo dole na panelu. Hráč tedy může myší jezdit po časových osách a obrázkem se mu ukáže, jak v danou chvíli jeho obrazovka vypadala. Obrázek se vybírá podle relativní pozice kurzoru v obdélníku Stretcheru, tedy nezávisle na pozicích jednotlivých událostí. I přesto mi přijde, že obě tyto historie nejsou vůči sobě vychýlené.

Minimapa funguje také jako scrollbar, a to díky komponentě `MinimapScrolling`. Hráč může tažením myši posouvat ukazatel na minimapě, čímž posouvá i časové osy. Pozice ukazatele na minimapě je opět implementována pomocí offsetů. Funguje ale opačně, protože přiblížením se zmenšuje a tažením os doleva se posouvá doprava. Má představovat, na kterou část os se hráč dívá. U minimapy je opět potřeba kontrolovat přetažení přes okraj a poté upravit pozici os, postup je opačný jak při tažení os. Při maximálním oddálení minimapa není vidět, protože nedává smysl ji ukazovat. Vypadala by pouze jako dlouhá bílá čára a interakce s ní by nedělala nic.

Pro snazší pochopení interakce se po zobrazení přehraje krátká animace s popisem. Nejprve se časové osy přiblíží na 200%, pak se přesunou z jedné strany na druhou, kde se zase oddálí zpět na 100%. Před animací a mezi jejími částmi se chvíli čeká, aby hráč stíhal pochopit, co se děje. Během animace se pod časovými osami zobrazí nápověda, jak s panelem pracovat pro zopakování změny. Při změně přiblížení hráči text napovídá, že má použít kolečko a během přesunu že má táhnout myší.

4.7 Uživatelské testování

Hra s evaluačním modelem byla otestována se třemi uživateli. Na začátku hráči bylo vysvětleno, jak hru může ovládat a co je jeho cílem. Pokud chtěl, mohl si přečíst efekty jednotlivých svatýň. Poté odehrál jeden celý zápas, dokud nevyhrál či neprohrál. Testování nebylo zaměřeno na hru samotnou, ale pouze na evaluační panel, takže otázky, které měl během hraní, mu byly zodpovězeny. Po dohrání, když se dostal k panelu s hodnocením, mu bylo položeno několik otázek, které měl s pomocí informací před ním zodpovědět. Po analýze vlastní hry pak byl hráč požádán o načtení předchozí uložené pozice, ve které byl předem vyhraný zápas, a v evaluačním panelu opět měl hledat odpovědi na nové otázky. Po testování byl dotázán o kvalitě a účinnosti evaluace.

V první analýze účelem otázek bylo především zjistit, zda hráč rozumí, co se mu hodnocení snaží říct a zda s panelem umí správně interagovat. Otázky pro analýzu vlastní hry byly:

- Co byla první událost, která se ve hře stala?
- V jaký čas byla první bojová událost?
- Co si o ní hra myslí?

- Co za suroviny zbylo nevyužitých?
- Kolik chyb hra celkem našla?
- V kterém aspektu hry jsi nejvíce chyboval?
- Kdy jsi měl největší koncentraci chyb?
- Co bys změnil při příštím hraní?

V druhé analýze šlo o zjištění, zda jen z této historie hráč dokáže pochopit, co se během hry stalo. Otázky v druhé fázi testování byly:

- Kde všude hráč byl?
- Kolik chyb hra celkem našla?
- V kterém aspektu hry hráč nejvíce chyboval?
- Byl to lepší, nebo horší hráč než ty?
- Co by měl změnit při příštím hraní?

„Afteraction“ otázky, jak jsem poslední sadu pojmenoval, se snažily zjistit kvalitu a užitečnost evaluace. Otázky byly pouze čtyři:

- Přijde ti, že lépe rozumíš hře po hodnocení, než potom, co jsi dohrál?
- Myslíš, že hodnocení správně reprezentovalo, co jsi udělal správně/špatně?
- Víš o nějaké akci, která nebyla na časové ose, ale čekal bys ji tam, nebo která měla být hodnocena ale nebyla?
- A co opak? Víš o akci, kterou nebylo potřeba hodnotit, nebo vůbec přidat na časovou osu?

■ 4.7.1 První participant

První participant byl častý hráč různých typů her, od kompetitivních po puzzle hry. The Chaser už znal a několikrát hrál. Měl tedy představovat hráče s hrou seznámeného a testování se snažilo zjistit, zda se z hodnocení dozví něco nového.

Analýza vlastní hry. Odpověď na první otázku hledal na horní časové ose, kdežto první událost zápasu byla stavba svatyní, která se zobrazí na druhé časové ose. Také hledal události ze začátku zápasu, přestože měl časové osy přiblížené na jinou část, přibližně uprostřed. U třetí otázky mu chvíli trvalo zjistit, že komentář s hodnocením je v levé dolní části obrazovky. Jakmile text našel, správně ho interpretoval. Na šestou otázku odpověděl jinak, než jsem čekal. Chybu viděl především v nepostavení dalších svatyní, přestože chyby byly zobrazené u surovin. Chybu tedy nečetl přímo z informací před ním, ale z kombinace zpětné vazby a toho, co si pamatoval z průběhu zápasu.

Analýza cizí hry. V druhé části testování správně poznal úroveň dovednosti hráče a v čem měl nedostatky. Nic podstatného v této části ke zmínění není.

Otázky na závěr. Participant potvrdil, že mu hodnocení pomohlo pochopit hru lépe a že nevidí akce, které by chyběly či přebývaly ať už na časových osách, nebo v hodnocení samotném. Záporně ale odpověděl na druhou otázku s tím, že chyba nevyužívání surovin byla zobrazena jinde, než kde by ji čekal. Chybu nevidí ve sbírání samotných surovin, jak to hodnotí hra, ale spíše v nastavení svatyní, ke kterým jsou suroviny potřeba. Chybu tedy vidí v jiné kategorii, než v jaké by ji čekal. Mimo otázky také zmínil, že snapshoty, zobrazované v pravém dolním rohu, ani nepotřeboval a byly pro něj zbytečné.

■ 4.7.2 Druhý participant

Druhý participant byl opět častý hráč, ovšem s trochu omezenějším spektrem her, které hraje. The Chaser viděl a hrál poprvé, takže představoval hráče, který hru nezná a její principy se teprve učí.

Analýza vlastní hry. U první otázky mu chvíli trvalo zjistit, na co se vlastně dívá a jak informace číst, věděl ale, co hledá za odpověď, a správně poznal, že našel to, co měl hledat. U třetí otázky opět chvíli hledal a pak správně odpověděl komentářem s hodnocením. U čtvrté otázky nemohl najít jednotlivé události, protože nevěděl, že jdou časové osy přiblížit. Po vysvětlení ovládání úrovně zoomu sám přišel na interakci posunu os do stran a správně začal vyjmenovávat jednotlivé nepoužité suroviny. U šesté otázky odpověděl „správa surovin,“ tedy sbírání a využívání. Oproti předchozímu participantovi mi přijde jeho odpověď více čtená z informací na evaluačním panelu a méně z vlastní analýzy.

Analýza cizí hry. V této části testování opět žádná z odpovědí nestála za zmínku a participant všechny zodpověděl bez potíží.

Otázky na závěr. Participant shledal hodnocení adekvátně reprezentující jeho výkon a řekl, že po něm lépe hře rozumí. Na otázku, zda ví o akci, kterou nebylo třeba hodnotit, chvíli přemýšlel nad hodnocením „dlouho jsi před touto akcí nic nedělal,“ ale po chvíli změnil názor.

■ 4.7.3 Třetí participant

Třetí participant byl opět častý hráč, ale spíše menších indie her, podobných jako *The Chaser*. Hru dokonce před časem sám vyvíjel, ale přiznal, že z ní dost zapomněl a po dohrání řekl, že si na dost během hraní vzpomněl.

Analýza vlastní hry. Odpověď na první otázku hledal na první časové ose, protože si nevšiml prvního notche na druhé ose a řekl, že mu splývala s okrajem. Na čtvrtou otázku sice hledal odpověď správně, ale protože si osy nepřiblížil, nenašel všechny informace. Na interakci s osami ale za chvíli přišel a pak odpověděl správně. Na šestou otázku odpověděl jen podle zobrazené zpětné vazby a vlastní analýzu nejspíše neprováděl.

Analýza cizí hry. Podobně jako v předchozí části, aspekt hry, ve kterém hráč nejvíce chyboval, hledal ze zobrazených informací a vlastní analýzu tedy asi zase neprováděl.

Otázky na závěr. Podle něj mu hodnocení především pomohlo si vzpomenout na některé detaily z implementace hry. Také si myslel, že by mohlo pomoci k akcím přidat i navštívení různých lokací na mapě, ale pak uznal, že to jde vyčíst ze snapshotů. K poslední otázce jen zmínil, že je možná zbytečné zobrazovat všechny události sbírání surovin.

■ 4.7.4 Shrnutí

Z testování je zřejmý především problém intuitivnosti v interakci s panelem. Chtělo by animaci na začátku udělat jasnější, třeba, že by čekala na hráčův

vstup, než se přepne na další krok. Zároveň do úvodní animace přidat rychlé vysvětlení jednotlivých prvků, především textových, aby hráč věděl, kde má vlastně informace hledat. Participanti z mého pohledu především chybovali ve špatné volbě stavby svatyní, že stavěli málo potřebných a příliš zbytečných, ale ze zpětné vazby to přímo vidět není a participanti tak často úsudek zakládali příliš na informacích, které dostali od hry, a málo na vlastní analýze. To znamená, že by stálo za uvážení především nevyužití suroviny brát jako chybu u svatyní, tedy že nepostavili, přestože mohli, nebo dávat méně směrodatné hodnocení, aby hráčům nedávalo tak konkrétní „dobře/špatně/takto lépe“ informace.

4.8 Potenciální změny implementace

Logování je aktuálně závislé na reprezentaci různých druhů událostí konkrétními typy, což by šlo zjednodušit na logování pomocí stringů. Pak by stačila jen jedna třída pro události a ve stringu by byly uloženy informace o tom, jakého je typu a co se stalo. Sice by nebylo potřeba mít a udržovat množství různých tříd pro události, ale při zpracování logu by přibyla nutnost string zpracovat na data, jak vlastně vypadají v třídách v aktuální implementaci. Ve výsledku vidím nutnost kompromisu mezi složitějším logováním a složitějším zpracováním. Protože je log potřeba přečíst v několika průchodech, upřednostňuji spíše přístup dědicích tříd. Při správném pojmenování tříd a atributů si myslím, že kód je i přehlednější.

Ve zbytku kódu, který se stará o běh hry, jsou různé typy svatyní reprezentovány pouze čísly. Je tedy třeba si pamatovat, které číslo představuje jaký typ. Na několika místech dokonce je číslování jinak, takže je potřeba mezi těmito číslováními převádět. Protože každá svatyně je spojená s jednou konkrétní surovinou a na suroviny již v kódu existuje výčtový typ, typy svatyní by šlo jednoduše číslovat typem pro číslování surovin.

Evaluator nemá práci příliš strukturovanou, takže potenciální rozšíření potřebuje pochopení kódu. Log se prochází několikrát a v každém průchodu se události hodnotí, což kód znepřehledňuje. V prvním průchodu se hodnotí i předpočítává, takže bych pro snadnější čtení rozdělil průchody na předpočítávací a hodnotící. První průchod by připravil data pro hodnocení ideálně tak, aby na hodnocení stačil jen jeden průchod a aby bylo zřejmé co se kde počítá, čímž by se usnadnilo potenciální upravení či přidání výpočtu určitých dat.

Evaluator také počítá jen s jedním způsobem hraní, který jsem sám vymyslel podle desítek pokusů a opakovaného zlepšování. Znamená to, že se hráče snaží

směřovat ke stejnému způsobu hraní. Nelze ale říci, že takový způsob je jediný a snažit se hráče přinutit ho replikovat by mohlo znehodnotit pocit z hraní a zábavu z objevování herních mechanik vlastní cestou. Jak tedy zjistit, zda existuje nějaký další efektivní způsob, jak hru lze dohrát? V aktuálním stavu hry asi jen zkoušením. Teoreticky by připadalo v úvahu definovat stavový prostor a hledat v něm nejlevnější cestu ke snížení protivníkových životů na nulu, kde cena hrany by byl čas potřebný pro uskutečnění akce. Cesty s rozumně nízkou cenou (ne nutně nejlevnější) by se pak označily za potenciálně optimální a evaluátor by se pak snažil odhadnout, která cesta je k hráčově hraní nejbliž. Hodnocen by pak byl podle této předpovězené strategie.

Kapitola 5

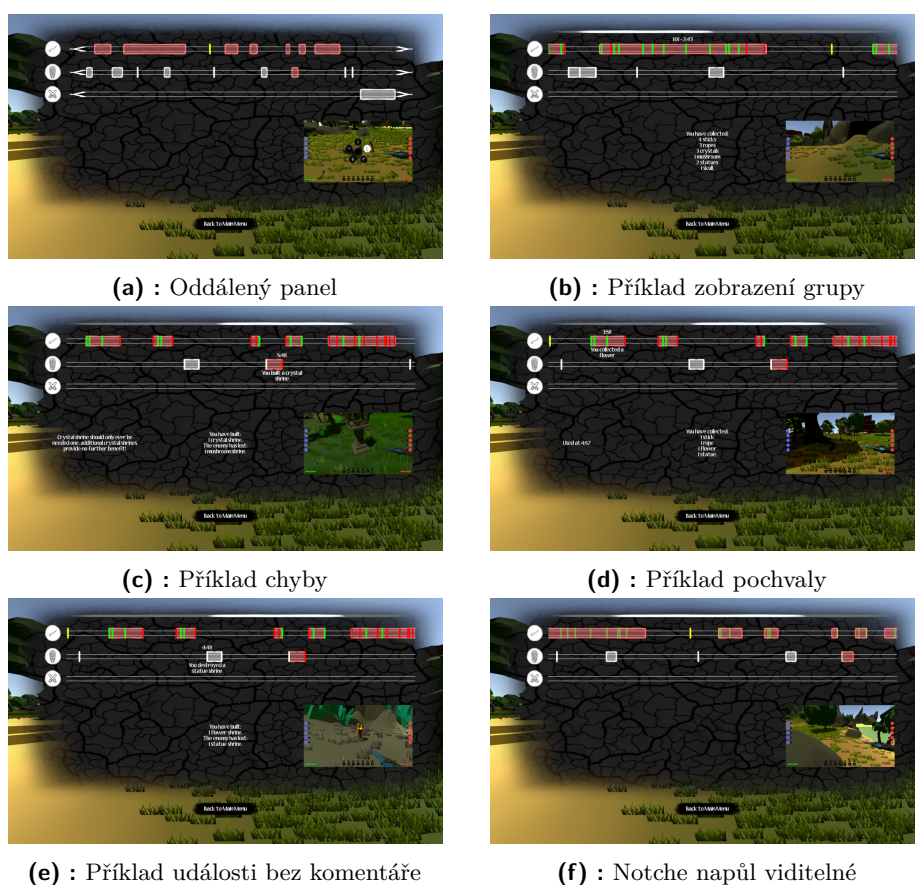
Závěr

V práci jsem nejprve popsal analýzu několika již existujících her, ve kterých je zpětná vazba o hráčově výkonu dostupná. Z analýzy je vidět, že tento typ zpětné vazby většinou implementován ve hrách není, kromě projektu Chess.com. Šachy jsou dost do hloubky prozkoumaná hra a není tedy divu, že zpětná vazba je takto rozsáhlá a z mého pohledu nejvíce podobná předmětu této práce. Popsal jsem také rozšířené hodnocení Elo a na konci kapitoly jsem mluvil o průzkumu mezi hráči, který jsem pomocí dotazníků realizoval.

V další kapitole jsem se snažil nastínit možnosti hodnocení formou otázek, které by si měl návrhář při návrhu evaluace hráče položit. Tato kapitola má účel pomoci při rozhodování, zda a jak evaluaci akcí hráče realizovat. Kapitola není myšlena jako návrh konkrétní implementace, ani jako její popis, ale spíše jako diskuse, rozebírající potenciální rozhodnutí, která návrhář bude muset učinit. V kapitole popisuji jednotlivé přístupy k evaluaci a diskutuji, k jakým typům her se hodí či nehodí a jaké jsou jejich nedostatky a alternativy.

Nakonec popisuji mou implementaci evaluačního modulu v Unity ve hře The Chaser, jehož vývojářského týmu jsem byl před více než rokem součástí. Hra má sice mnoho chyb a prostoru na zlepšení, zaměřil jsem se ale pouze na vývoj modulu a jeho integraci do hry. Grafická podoba byla iterativně zlepšována na základě zpětné vazby z konzultací a s jejím závěrečným vzhledem jsem spokojen. Grafické prvky jsem bral výhradně ze zdrojů dostupných ve hře a vlastní jsem nedělal, takže by potenciálně šly vytvořit více se hodící prvky, ale přijde mi, že i ty nynější vypadají pro tento účel vhodně.

Modul byl v konečné podobě otestován s uživateli a z testování vyplynulo



Obrázek 5.1: Finální grafická podoba modulu

několik nedostatků a potenciálních změn. Z testování mám nicméně pocit, že modul hráčům pomohl lépe najít nedostatky v jejich hraní, čímž splnil svůj účel.

Plán do budoucna je dopravit interakční část modulu tak, aby její ovládání bylo intuitivnější, například nějakou zřejmější animací. Aktuálně se hráči interakce vysvětlí během několika vteřin a pokud ji nestihne pochopit, má smůlu a musí zkusit interakci sám. Ze zbytku implementace snad už jen zřehlednit kód třídy `ChaserEvaluator` a lépe oddělit jednotlivé počítané části hodnocení.

Příloha A

Literatura

- [1] Play of the game. *Overwatch Fandom*.
https://overwatch.fandom.com/wiki/Play_of_the_Game.
- [2] Stockfish, 2008. Dostupné z: <https://stockfishchess.org/>.
- [3] 3klikphilip. Cs go hud and radar tutorial. *Youtube*, February 2015.
- [4] 3klikphilip. Cs:go: Who gets mvp? *Youtube*, October 2015.
- [5] Gustavo Andrade, Geber Ramalho, Hugo Santana, and Vincent Corruble. Extending reinforcement learning to provide dynamic game balancing. In *Proceedings of the Workshop on Reasoning, Representation, and Learning in Computer Games, 19th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI)*, pages 7–12, 2005.
- [6] Blizzard Entertainment, Inc. *Overwatch*, 2016. Dostupné z: <https://playoverwatch.com/>.
- [7] Chess.com Team. *Chess.com*, 2005. <https://chess.com/>.
- [8] Graham Kurtis Stephen Erickson and Michael Buro. Global state evaluation in starcraft. In *Tenth Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment Conference*, 2014.
- [9] Mark E Glickman. Example of the glicko-2 system. *Boston University*, pages 1–6, 2012.
- [10] Daniel Ilgen and Cori Davis. Bearing bad news: Reactions to negative performance feedback. *Applied Psychology*, 49(3):550–565, 2000.

- [11] Guiliang Liu and Oliver Schulte. Deep reinforcement learning in ice hockey for context-aware player evaluation. *arXiv preprint arXiv:1805.11088*, 2018.
- [12] Kurt Douglas Routley. *A markov game model for valuing player actions in ice hockey*. PhD thesis, Simon Fraser University, 2015.
- [13] AS Ruz-Granados. Predicting the winner in two player starcraft games. *Proc. the 2nd CoSECVi*, pages 24–35, 2015.
- [14] Antonio A Sánchez-Ruiz and Maximiliano Miranda. A machine learning approach to predict the winner in starcraft based on influence maps. *Entertainment Computing*, 19:29–41, 2017.
- [15] Jesse Schell. *The Art of Game Design: A book of lenses*. CRC press, 2008.
- [16] Penelope Sweetser and Peta Wyeth. Gameflow: a model for evaluating player enjoyment in games. *Computers in Entertainment (CIE)*, 3(3):3–3, 2005.
- [17] Pradeepa Thomas, Jean-Marc Labat, Mathieu Muratet, and Amel Yessad. How to evaluate competencies in game-based learning systems automatically? In Stefano A. Cerri, William J. Clancey, Giorgos Papadourakis, and Kitty Panourgia, editors, *Intelligent Tutoring Systems*, pages 168–173, Berlin, Heidelberg, 2012. Springer Berlin Heidelberg.
- [18] u/Medikaso. The "on fire" system explained. *Reddit*, June 2016.
- [19] Unity Technologies. Unity, 2005. Dostupné z: <https://unity.com/>.
- [20] Valve. Portal, 2007. Dostupné z: <https://store.steampowered.com/app/400/Portal/>.
- [21] Valve Corporation. Counter-strike: Global offensive, 2012. Dostupné z: <https://store.steampowered.com/app/730/>.

Příloha B

Obrázky

- 2.1 On-fire status, přibližně uprostřed, ve hře Overwatch (©Blizzard).
Šipka ukazuje, kde pásek musí být, aby hráč byl tzv. "on fire"..... 4
- 2.2 Medaile zobrazené na konci zápasu, 2 zlaté, jedna bronzová a dvě
stříbrné. Je možné v kategorii žádnou nedostat..... 4
- 2.3 Čtyři zobrazené karty na konci zápasu, celkem tři patří protihráčům
a jedna spoluhráči. Tlačítkem dole na kartě hráč může hlasovat a číslo
vpravo od tlačítka zobrazuje počet hlasů. 5
- 2.4 Play of the Game. Hráč se jmenuje Teedit a hrál za hrdinku jménem
Moirá. Po krátké animaci se spustí samotný klip. 5
- 2.5 Tabulka se statistikami, která se zobrazí při podržení klávesy Tab.
Nahoře je vidět historie hry, kdo vyhrál jaké kolo a ke každému hráči se
zobrazí jeho počet zabití, asistencí, smrtí, ocenění MVP a skóre. Na
obrázku dole je vidět změna statistik po stisknutí tlačítka vpravo nahoře,
kdy se zobrazí další statistiky, například procento zásahů do hlavy, nebo
poměr zabití ku smrtím. 7
- 2.6 Na konci každého kola hra ukáže tým, který vyhrál, kdo dostal ocenění
MVP a pozoruhodnost z daného kola, což v tomto případě je stejný hráč
jako ten, kdo obdržel MVP. 8

| | |
|--|----|
| 2.16 Poslední otázka, zaměřená především na vnímání jiných dovednostních kategorií. | 24 |
| 2.17 Druhá část dotazníku byla zaměřená na zpětnou vazbu obecně ve hrách, ne jen v té, o které byla první část. Tato otázka zjišťovala preference o informacích, které by měly být brány v úvahu při hodnocení. | 25 |
| 2.18 Poslední otázka dotazníku o principu evaluace, buď statistické hodnocení, nebo výpočet možných důsledků akce. | 25 |
| 4.1 Ukázky ze hry The Chaser. | 40 |
| 4.2 Diagram vyznačující, jak je logování integrováno do hry. | 40 |
| 4.3 Příklady uložení snapshotů na disku v jednom obrázku. Na obrázku vlevo je vidět krátká historie se sedmi snímky, vpravo je historie jedné celé hry o více než tří stech snapshotech. | 42 |
| 4.4 Rozšíření předchozího diagramu o třídu zpracovávající log událostí. . | 43 |
| 4.5 Diagram po přidání evaluační třídy. | 44 |
| 4.6 Kompletní diagram, včetně vizualizačních tříd. | 46 |
| 4.7 Vzhled panelu hned po zobrazení, ještě před animací. Uprostřed je nápověda k animaci a vpravo první snapshot zápasu. Jednotlivé události, které jsou součástí skupin, nejsou vidět. | 47 |
| 4.8 Struktura grafických prvků panelu. | 48 |
| 4.9 Výsledek interakce s časovou osou. | 48 |
| 5.1 Finální grafická podoba modulu | 56 |



Příloha C

Dotazníky



C.1 Action evaluation in CSGO

The questionnaire is anonymous, but if you wish, you can sign it so that I can contact you in the case of some follow-up questions. Your name and e-mail will not be disclosed in any way.

- Short answer

(povinná otázka)

Do you think the score system in the game provides enough feedback about the game and your skills? Do you understand, why you got your score and why the opponent got theirs?

- 1 Satisfactory
- 2
- 3
- 4
- 5 Unclear

Explain your answer, if you need to

- Long answer

What changes of the scoring system would you suggest? (if explained above, ignore, I'll figure it out)

- Long answer

(povinná otázka)

How do you understand what you would have to change to perform better from the collection of feedback the game provides (not from your own observation)?

- I can see specific situations I need (not) to improve my skills in.
- I understand what aspect of the game I need to improve in.
- I can only understand, if my performance in general needs improvement.
- The game doesn't provide enough feedback for that.

Explain further if needed. What would you change or what kind of feedback would you add to make you better understand the quality of your performance?

- Long answer

(povinná otázka)

If the game could provide more feedback (in the sense of "you did well/bad here" or "this decision was a good/bad one"), what level of detail of actions or events (from evaluating the whole match to individual key presses) would you prefer to see included?

- The whole match

- Each round
- Phase of the round (Setup, CT defense, CT retake, Clutch, Save, ...)
- Position
- Utility use
- Target choice
- Shooting skills
- Key presses
- None of these

Explain further, if needed. E.g. Why did you pick those? Why didn't you pick the rest? Did I miss something?

- Long answer

(povinná otázka)

Would you prefer feedback focus on the evaluation of strategic (long-term) decisions, such as bought equipment, or of tactical (short-term) decisions, such as using utility or picking an angle? Which kind of feedback is more important to you?

- 1 Rather strategic
- 2
- 3
- 4
- 5 Rather tactical

If you feel the answer needs more explanation, explain here.

- Long answer

How do you think the answers of players of different skill categories would differ from yours?

- Long answer

■ C.2 Action evaluation in Overwatch

Zmíněné jsou pouze otázky, které jsou navíc, nebo jinak formulované.

(povinná otázka)

Do you think the medal and card (at the end of the match) systems in the game are enough feedback about the game and your skills? Do you understand, why you got your medals, and why the players on the cards were featured, rather than someone else?

- 1 Satisfactory
- 2
- 3
- 4
- 5 Unclear

(povinná otázka)

Do you think the "On fire" status is a good indicator of your current performance?

- Yes
- With some improvements
- No

(povinná otázka)

Would you feel confident predicting, what direction a certain action or event would change the "On fire" bar?

- Yes
- Only with some actions
- No

(povinná otázka)

If the game could provide more feedback (in the sense of "you did well/bad here" or "this decision was a good/bad one"), what level of detail of actions or events (from evaluating the whole match to individual key presses) would you prefer to see included?

- The whole match
- Each round
- Hero choice
- Phase of the round (setup, First base, Second base, Point assault, Point defense, ...)
- Position
- Ability use
- Target choice
- Shooting skills
- Key presses
- None of these

■ C.3 Action evaluation in Overwatch

Zmíněné jsou pouze otázky, které jsou navíc, nebo jinak formulované.

(povinná otázka)

Since Hearts of Iron has no ultimate goal and is more of a sandbox game, would you trust the game to try and recognize your intent for the playthrough, or would you rather have only actions towards your more obvious goals evaluated? (e.g. how well you are performing in a war)

- I would like my intent estimated and have my actions evaluated based on that. (Although this might be prone to errors)
- The chance of wrong intent estimation is too great, so I would like only obvious goals considered. (e.g. having a strong economy, winning a war)

(povinná otázka)

Would you add some form of feedback, from which the player would better understand what the shortcomings of his performance are? If so, could you give an example?

- Long answer

(povinná otázka)

If the game could provide more feedback (in the sense of "you did well/bad here" or "this decision was a good/bad one"), what level of detail of actions or events (from evaluating the whole playthrough to individual mouse clicks) would you prefer to see included?

- The whole playthrough (would require to predict the player's intent)
- Phase of the match (Build up, Interwar periods, Different phases of war (e.g. for historical Germany: Poland, France, UK, ...), ...)
- Territory held
- Macro (Handling of manpower, Research, Factory allocation, Focus)
- Army composition
- Where the player's focus is
- Unit positions and assignments
- Direct orders and micro
- Key and mouse presses
- None of these

■ C.4 Action evaluation in general

Tato část byla všem dotazníkům společná

(povinná otázka)

Can you think of a good example (or several) of a game, which evaluates player's actions thoroughly (possibly providing better alternatives to them)?

■ Long answer

(povinná otázka)

Can you think of an example (or several) of a game, which does not have such feedback, but could use it well?

■ Long answer

(povinná otázka)

What information would you prefer to see included in the evaluation?

- Information available to the player at the time.
- Information available to anyone in the game at the time.
- Information deductible from the state of the game, that no player may have had access to.
- Future development of the match.
- Calculation of player's intent from their past and future actions. (That intent might change unexpectedly and thus the wrong intent might be evaluated)
- Expected behaviour of the player, if they played at the same performance level. (For example what a baseline player, modeled after this specific player, would do)

Why did you pick these and why did you not pick the rest?

■ Long answer

(povinná otázka)

Which basis of evaluation would you trust more? Statistics will evaluate based on what generally happens after, whereas calculated scenarios try to predict what could happen based on the game rules.

- Statistics (provided there is enough data, even for your specific skill level)
- Calculated possible scenarios (how the action affected the possible future scenarios)

Explain your answer, why do you put more trust in the source of information of your choice?

■ Long answer

Do you have something to add to your answers in this questionnaire? Do you have something to say about the questionnaire itself?

■ Long answer



Příloha D

Obsah elektronické přílohy



D.1 **Build.part1.rar a Build.part2.rar**

Spustitelná hra, ve které byl modul implementován. Pro spuštění hry dvakrát klikněte na soubor `The_Chaser.exe`. Interakce s modulem je možná až po dohrání zápasu.



D.2 **hry_project.part01.rar až hry_project.part13.rar**

Projekt hry vytvořený v Unity. Archiv obsahuje složku `hry_project`, kterou lze v Unity otevřít jako projekt. Většina změn v projektu, provedených v rámci této práce, jsou v hlavní scéně `hry_project\Assets_Scenes\GameScene.unity` a skriptech ve složce `hry_project\Assets\Scripts\Evaluator`.

D.3 **imgs.zip**

Osm obrázků z konce hry, kdy hráč interaguje s prostředím evaluačního modulu.