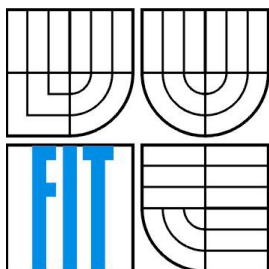


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA
DEPARTMENT OF COMPUTER SYSTEMS

INTELIGENTNÍ SYSTÉM PRO ÚČAST V SOUTĚŽI SSCAI

INTELLIGENT SYSTEM FOR THE SSCAI TOURNAMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

VÁCLAV HORÁZNÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

PAVEL SMRŽ, doc. RNDr., Ph.D.

BRNO 2015

Abstrakt

V této práci se zabývám vytvořením umělé inteligence tak, aby splňovala podmínky pro uvedení do soutěže SSCAI Tournament. Obsahuje charakteristiku a herní mechaniky hry Starcraft: Brood War, popis pravidel zmíněné soutěže a běžně hrané druhy strategií se zaměřením na civilizaci Zerg a to konkrétně strategie *Pool Rush*. V soutěži jsem se umístil na sdíleném 10. a 11. místě ze 42 zúčastněných. Umělou inteligenci jsem vytvořil pro hru Starcraft: Brood War (1.16.1). Práce obsahuje implementaci dvou agentů *ScoutManager* a *DefenseManager*. K těmto agentů jsou připojeni již vytvoření agenti z projektu BWSAL. K vytvoření jsem využil vývojového prostředí Microsoft Visual Studio 2008 (9.0). Pro spuštění umělé inteligence je nutné využít programu Chaoslauncher a využít knihoven BWAPI a BWTA.

Abstract

In this work I focus on the creation of artificial intelligence to meet the conditions for the competition SSCAI Tournament. It contains the characteristics and gameplay mechanics of the game Starcraft: Brood War, a description of the rules of that competition, usually played kinds of strategies focusing on the Zerg civilization, namely strategy *Pool Rush*. In the competition I was on a shared 10th and 11th place out of 42 participants. I have created the artificial intelligence for the game Starcraft: Brood War (1.16.1). The work includes the implementation of two agents *ScoutManager* and *DefenseManager*. These agents are already connected to created agents of the project BWSAL. I used the development environment Microsoft Visual Studio 2008 (9.0). To launch artificial intelligence it is required to use the program Chaoslauncher and to use libraries BWAPI and BWTA.

Klíčová slova

Umělá inteligence, StarCraft, SSCAI Tournament, Rush

Keywords

Artificial intelligence, StarCraft, SSCAI Tournament, Rush

Citace

Václav Horázný: Inteligentní systém pro účast v soutěži SSCAI, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2015

Inteligentní systém pro účast v soutěži SSCAI

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Pavla Smrže, doc. RNDr.,Ph.D.

Další informace mi poskytl Ing. Ondřej Soukup.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu práce panu Smrži, doc. RNDr.,Ph.D. za udělení obrovské volnosti v práci a panu Ing. Soukupovi za odbornou pomoc při vypracování práce.

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

Obsah

Obsah.....	1
1 Úvod.....	2
2 Starcraft.....	3
2.1 Charakteristika.....	3
2.2 Strategie.....	3
2.2.1 Průzkum.....	4
2.2.2 Rushování.....	5
2.2.3 Partyzánství.....	5
2.2.4 Turtling.....	6
2.2.5 Budovy.....	6
2.2.6 Expanze.....	7
2.2.7 Zásobování.....	7
2.3 Civilizace Zerg.....	8
2.3.1 Průzkum.....	8
2.3.2 Základní mechaniky hry pro Zergy.....	9
2.3.3 Rushovací strategie.....	9
3 Soutěž SSCAI Tournament.....	11
3.1 Ročník 2014.....	11
4 Implementace.....	12
4.1 Vývojové prostředí.....	12
4.1.1 The Brood War Application Programming Interface (BWAPI).....	12
4.1.2 The Brood War Terrain Analyzer (BWTA).....	12
4.1.3 The BWAPI Standard Add-on Library (BWSAL).....	13
4.2 Scout Manager.....	13
4.3 Defense Manager.....	14
4.4 ModuleAI.....	15
4.4.1 Počáteční strategie stavební řady.....	15
5 Závěr a budoucí práce.....	17
Literatura.....	18
Seznam příloh.....	19

1 Úvod

Moje práce je zaměřena na vytvoření umělé inteligence pro hru Starcraft: Brood War (1.16.1). Po jejím vytvoření jsem se s touto inteligencí přihlásil do soutěže SSCAI Tournament, kde jsem díky možnost analyzovat lépe chyby, které umělá inteligence obsahovala. Podařilo se mi standardní strategii *5 Pool Rush* zefektivnit. První část práce obsahuje uvedení do herních mechanik a charakteristik hry. V příloze 2 jsou vysvětleny běžně používané termíny ve hře, jako jsou: názvy herních strategií, názvy jednotek, budov a výzkumů, které jsou značeny v textu bakalářské práce *kurzívou*. Práce pojednává a popisuje přesněji jednotlivé obecné strategie jako je *rush*, partyzánství, průzkum a podobně. V kapitole civilizace Zerg se zaměřuji právě na tuto civilizaci a popis strategií mechanik a možností hry za tuto civilizaci. Po vyhodnocení soutěže jsem se umístil na sdíleném 10. a 11. místě ze 42 zúčastněných. Celý projekt je tvořený ve vývojovém prostředí Microsoft Visual Studio 2008 (9.0) v jazyce C++. Konkrétně jsem implementoval `ScoutManager`, který se stará hlavně o průzkum mapy a přehled o nepříteli a `DefenseManager`, který se stará o veškeré bojové situace ve hře. Tyto dva agenty jsem propojil s již vytvořeným systémem agentů BWSAL, které pro propojení se hrou využívá knihoven BWAPI a BWTA. V konečné fázi tvorby herní strategie jsem se snažil o co nejrychlejší a zároveň ekonomicky výhodnou rushovací strategii, což se podle výsledků, kterých jsem dosáhl v soutěži podařilo.

2 Starcraft

2.1 Charakteristika

Starcraft je real-time strategická počítačová hra vyvinutá společností Blizzard Entertainment v roce 1999 [1]. Zařadila se mezi nejprodávanější hry v historii. Hráč si může vybrat ze tří různých civilizací, za které lze hrát. Jsou to Terran, Zerg a Protoss. Tyto civilizace se liší vzhledem, původem a typem bojových jednotek, staveb, rozdílnou taktikou boje a strategií ekonomiky [2]. Ve hře je možné těžit dva typy surovin: minerály a plyn, které jsou nutné pro budování jednotek, budov a jejich vylepšování. Minerály je možné těžit pomocí dělníků, *SCV* za Terrany, *Drone* za Zergy a *Probe* za Protossy, zatímco pro těžbu plynu je nutné postavit budovu na jeho zřídle, *Rafinery* za Terrany, *Extractor* za Zergy a *Assimilator* za Protossy, pak už do budovy stačí posílat dělníky, kteří obě suroviny nosí do hlavní budovy. Hráči mohou mít jen omezené množství jednotek s výjimkou Zergských jednotek *Overlord*, což jsou v podstatě létající budovy. Každá jednotka má určité požadavky na zásobování, to úzce souvisí se silou jednotky, hráč tak musí udržovat dost podpůrných jednotek, u Terranů pomocí *Supply Depot*, u Protossů pomocí *Pylon* a u Zergů pomocí *Overlord*. Dále je pak ve hře také maximální limit pro množství zásob (200), které nelze překročit. Tak hráče nutí útočit a ne jen hromadit armádu a stále čekat. Pro vytváření bojových jednotek a jejich vylepšování je nutné stavět řadu rozličných budov, u mnohých jednotek je možné je stavět, až když je postavena některá z budov nebo proveden nějaký výzkum či vylepšení budovy.

2.2 Strategie

Základem každé strategie je zajištění dostatečného množství surovin pro vytvoření jednotek. Strategie se tak liší v tom, jaké jednotky, v jakém množství a jak rychle je hráč udělá před prvním útokem. Některé strategie jsou hodně defenzivní, takže se zaměřují na obranu a postupné naplnění celého limitu jednotek a až poté vysílají první útok. Extrémem je také takzvaná rushovací strategie, kdy jde o to, co v nejkratším čase překvapit nepřítele. U většiny těchto strategií je však problém s ubráněním se útoku nebo expanzi a pokroku ve vyvíjení základny a vylepšování jednotek, proto první útok musí nepřítele dostatečně poškodit, jinak je hra v podstatě prohraná a jen s malou pravděpodobností je možné prohru zvrátit. Následující strategie jsou odvozovány od těchto dvou strategií a jsou k jedné nebo k druhé blíže. Dalším prvkem strategie je například pohyb jednotek po bojišti (mikro kontrola), kdy se jednotky pohybují po bojišti tak, aby utrhly co nejmenší poškození, ale zároveň maximalizovaly poškození nepřítele, pro takovéto řešení se nejčastěji používá

algoritmus alfa-beta. Součástí algoritmu α - β je důležité, jaké budovy a jednotky mají být preferovány. Velkou výhodou je mít i přehled o pohybech nepřítele, jeho strategii a přizpůsobovat tomu svoji strategii. Čím dříve se detekuje soupeřův útok, tím kvalitnější je i reakce na něj. Důležitou součástí strategie je také pokrok ve vylepšování jednotek výzkumy. Je podstatné vylepšovat bojeschopnost jednotek, které zrovna vyrábím, nebo už mám vyrobené, popřípadě velice výjimečně dopředu vylepšovat jednotky, když vím, že jejich vylepšení zužitkují. V některých herních mapách úspěch útoku zásadně ovlivňuje jednak rychlost, jeho průběh, rozmístění budov v základně, popřípadě vystavění budovy umožňující výrobu jednotek co nejbliže soupeřovy základny. Další možností, jak podpořit a urychlit vítězství v útoku, je vystavění obraných budov přímo v bojišti a tak výrazně podpořit svůj útok (tuto strategii využívá zejména Terran se stavbou *Bunker*). V každé počáteční pozici je jen omezené množství surovin, tak je v rámci strategie také nutné odhadnout chvíli, kdy je nepostradatelná expanze do vzdálenějších pozic pro těžbu. Čím více vyrobíme dělníků, tím více a rychleji můžeme získávat suroviny, ale výroba dělníků stojí suroviny a čas, takže je důležité si ohlídat potřebné množství dělníků pro dostatečné přísuny surovin a nemít tak ani nadbytek surovin.

2.2.1 Průzkum

Je nedílnou a fakticky taktéž nejvýznamnější součástí každé strategie. Znalosti akcí, které nepřítel uskutečňuje, jsou nutné pro efektivní a dobré reakce na strategii nepřítele. Ale co to vlastně znamená průzkum? Kdy a jak ho provádět? Jen náhodné rozesílání jednotek po mapě je neefektivní. Nejvýznačnější cílem průzkumu je nutno hlavně v začátku hry lokalizování pozice nepřítele. Po tomto kroku je důležité co nejdéle zůstat v nepřátelské základně pro zjištění pořadí výstavby budov nepřítele. V další části hry je průzkum nepřátelské základny důležitý hlavně pro vysledování vylepšení budov a přípravu na dokonalejší jednotky, které tyto budovy umožňují stavět. Následujícím důležitým cílem průzkumu je zjištění umístění a složení nepřátelské armády. Armáda je mobilní a v pokročilejší fázi hry je mnohem obtížnější ubránit všechny těžební pozice na celé mapě. Při přehledu o umístění soupeřovi armády je pak jednoduché se připravit na obranu a nebo využít některých nedostatků v jeho obraně a podniknout útok. Posledním cílem průzkumu a jedním z nejdůležitějších je zjištění výstavby nových těžebních základen nepřítele a tomuto včasné zabránění. Tyto základny jsou nejzranitelnější při jejich výstavbě a proto je nutné je odhalit v co možná nejkratším čase od jejího počátku stavby. V pozdější části jsou těžební základny největší výhodou ve hře. Z tohoto všeho celkem jasně vyplývá, že by se měl průzkum provádět co nejdříve a pokud možno stále.

2.2.2 Rushování

Rushování nebo-li útok v co nejkratší době se považuje za značně neúčinnou taktiku proti zkušeným hráčům. Je to hlavně z důvodu, že velice oslabí hráčovu ekonomiku pro další průběh hry, což v konečném důsledku končí vítězstvím nepřítele, pokud není rush úspěšný. Útok nemusí být zcela zničující pro nepřítele, ale může ho pouze oslabit, například zničením několika dělníků těžících suroviny, popřípadě jejich zdržením od práce útoky na ně. Nejlepší volbou pro útok je ve většině případů oběhnout obranu nepřítele a zaútočit nejdříve na jeho dělníky, a tak mu ochromit co možná nejvíce přísun zdrojů, i když jsou i případy, kdy se více vyplatí zničení nejdříve obrany a to hlavně ve chvíli, kdy nepřítel obranu teprve staví nebo má slabou obranu. Dobré je také s několika jednotkami jen pobíhat po nepřátelské základně a odvádět tak pozornost dělníků od těžby a obrany od efektivního bránění. K dosažení úspěchu musí být, ale rush proveden v co možná v nejkratším čase a to buďto slabými jednotkami na úkor rozvoje technologií a ekonomiky, nebo jednotkami silnými, ale v podstatně nižším počtu opět na úkor ekonomiky a technologického rozvoje a navíc ještě špatné obrany proti rushy z počátku hry. Základním kamenem každého dobrého rushe je výborný a včasný průzkum nepřátelské základny. Pro obranu proti rushy je důležité mít nějakou základní obranou budovu v místě těžby nebo pár základních jednotek pro obranu a při detekci útoku přerušit výrobní posloupnosti a suroviny investovat do výroby jednotek na obranu. Pokud je rush ubráněn a zbudou nějaké jednotky, po obraně je jedním z nejlepších rozhodnutí udělat protiútok se zbylými jednotkami. Hodnotit sílu rushe se dá pomocí 3 základních aspektů: rychlosti, počtu jednotek a vyspělosti jednotek. Například 6 jednotek *Zerling* v rané části hry může být stejně silný útok jako 3 jednotky *Hydralisk* v pozdější fázi hry.

2.2.3 Partyzánství

Partyzánství nebo-li partyzánská taktika je běžně využívána v průběhu celé hry. Je to spíše řada systematických akcí než přímo strategie. Do těchto taktik patří například multitasking, využívání děr obrany, výsadky, neustálé malé útoky a podobně. Ve chvíli nevyrovnané síly armád jsou partyzánské taktiky neocenitelnou výhodou a pomocí nich lze vyhrát i značně nevyrovnané boje. V těchto taktikách jsou důležité tři body. Vyvarovat se otevřenému pozemnímu boji, získat a udržet terénní výhodu a koordinovat jednotky mezi základnami. Hlavní filozofií těchto taktik, jak výše zmiňuji, je vyhnout se otevřenému pozemnímu boji, proto je lepší využívat menších skupinek jednotek pro boj a útočit na nepřítele na několika místech zároveň a donutit jeho armádu k rozdělení. Je dobré udržovat nepřítele neustále pod náparem malých útoků. Díky tomu nepřítel pomalu, ale jistě začne ztrácet kontrolu nad územím, zdroji, velikostí armády a počtem budov. Dalším důležitým aspektem partyzánství je využití terénu a kontroly nad mapou ku svému

prospěchu. Obrana strategických míst, obrana surovin nebo blokování strategických cest, to vše dopomáhá ke kontrole nad mapou. Zergská civilizace je pro partyzánské taktiky nejlepší, protože má po provedení příslušného výzkumu velice rychlé pozemní jednotky a taktéž jsou levné. Má i výhodu v jednoduší obraně základen proti útočným stavbám, které nepřítel nemůže stavět na *Creep*. *Creep* pokrývá okolí základen. Mohou také využít tunelů pro okamžitý přesun jednotek mezi jednotlivými základnami. Postupem času se partyzánská válka promění ve velkou bitvu na celém území mapy.

2.2.4 Turtling

Turtling nebo-li zaželvění je způsob využití terénu, obrany a speciálních jednotek tak, že se zabrání snadnému průchodu nepřítele do životně důležitých částí základny, jako jsou pole nevytěžených surovin nebo technologické budovy. Jde vlastně o běžnou obranou strategii. Tato strategie je velice obranná a není dobré se zcela zaměřovat pouze na ni. Pokud se krunýř obrany někde povede nepříteli prorazit, útok udělí obrovské škody a zároveň je složitější rozšiřovat základnu k dalším zdrojům surovin. Při tvoření obrany je nesmírně důležité využití terénu. Na vyvýšeném místě je obrana více účinná než v údolích. Pozemní jednotky z údolí nevidí na vyvýšená místa, ale naopak ano. Velice důležité je při vytváření želvy nezapomenout na vyčerpateľnost surovinového pole a včas začít svoji základnu rozšiřovat. Protože některé z jednotek při obraně budou ztraceny, je nutné je nahrazovat, což ale stojí suroviny. Pokud nelze dál těžit, nelze vyhrát hru. Účelem hry není vybudovat dokonalou základnu, ale vyhrát hru!

2.2.5 Budovy

Je mnoho strategií jak umisťovat budovy. Budovy jsou poměrně levné a staví se krátkou dobu ve srovnání s budováním jednotek. Proto hráči obecně stavějí hodně budov. Dalším důvodem stavby více stejných budov je vytvořit si zálohu, kdyby byla budova zničena, aby nedošlo k zpomalení nebo znemožnění budování některých budov nebo jednotek. Rozmístění budov lze rovněž využít pro zefektivnění obrany základny. Ať už lepší průchodností uvnitř základny pro rychlejší přemísťování obraných jednotek i uzavírání některých cest budovami a znemožnění průchodu nepřátelských jednotek. Zergové jako jediná civilizace nemůžou stavět jinde než na *Creep*, jedinou výjimkou je hlavní budova a *Extractor*. Proto mají Zergové složitější se rozšířit do dalších pozic. Lepším než stavět *Creep Colony* pro rozšíření *Creep* je stavět další hlavní budovy, aby se rozšířila možnost vyrábět více jednotek najednou.

2.2.6 Expanze

Počet základen se zdroji surovin je jedním z rozhodujících faktorů výsledku hry, proto většina strategií je právě v obsazení co nejvíce těžebních pozic a zároveň co nejvíce zabránit nepříteli obsazovat nové těžební pozice. Konkrétně u Zergů je důležité obsazovat hlavně ložiska plynu. Jednak mohou vystavět *Extractor*, i když poblíž ještě nemají základnu a *Creep*. A zadruhé jsou o něco více závislí na těžbě plynu než ostatní dvě civilizace. Při rushování se expanze odkládá tak dlouho, dokud není podniknut první rychlý útok. Po útoku většinou není dostatek surovin pro okamžitou expanzi a nebo byl útok natolik úspěšný, že není třeba se nijak rozšiřovat a je dobré pokračovat v útocích. Je hodně faktorů, které ovlivňují čas první expanze základny. Některými z nich jsou: jakou strategii zvolil nepřítel, zda se rush vydařil, je-li dostatek surovin pro expanzi, velikost armády pro obranu obou základen, ale třeba také poloha nejbližšího vhodného místa pro rozšíření.

2.2.7 Zásobování

Patrně nejdůležitější částí každé strategie je získávání surovin pro výrobu jednotek, budov a vylepšení. Z počátku každé hry mají všechny civilizace 4 jednotky schopné těžít suroviny a stavět budovy, možnost zásobovat 9 jednotek a mají 50 minerálů, za které je možné pořídit jednu další těžební jednotku. Základem každé strategie je vytěžit co nejvíce surovin a zároveň maximálně znemožnit těžbu nepříteli. Takže je nutno útočit na nepřátelské základny, které mají stále velké množství surovin k vytěžení, a ničit jejich těžební jednotky. Dále je vhodné vyřadit nepřítelovu těžbu v co možná nejrannější fázi hry, kdy má jen jednu nebo pár základen. Bude to pro něj podstatně větší rána do jeho ekonomiky. Minerály jsou nejdůležitějším zdrojem surovin a to především v počátku hry, kdy výstavba většiny budov a jednotek stojí nejvíce minerálů a plyn téměř žádný. Nejvíce závislími na těžbě minerálů jsou Protossové. V pozdější době nejvíce závislími na plynu jsou Zergové. Proto útoky na Zergy na jejich těžbu minerálů jsou v další části hry podstatně méně účinné. Při zničení těžební jednotky přichází nepřítel o suroviny, které výstavba stála a navíc také, které by jednotka vytěžila. Protože hráč nemůže jednotky obnovovat všechny zároveň škoda se načítá podle vzorce 1.

$$\text{vzorec 1: } ztráta = RN + \frac{1}{2}GN(N+1) = N\left(R + \frac{1}{2}G\right) + GN$$

kde: R – náklad na vyrobení těžební jednotky

N – počet zničených těžebních jednotek

G – počet surovin co vytěží jednotka za dobu její výroby

Tedy při ztrátě 1 těžební jednotky je škoda 62 minerálů, ale při zničení 5 už 430, což je 86 minerálů na jednu zničenou jednotku a při zničení 9 už je ztráta 110 minerálů na jednu jednotku. Tento výpočet platí, pokud nepřítel vyrábí jednotky pouze v jedné budově a nemůže vyrábět těžebních jednotek více najednou, to se v časně fázi hry stává jen zřídka a později tyto taktiky nejsou tolik účinné. Při útoku je důležité zničit těžbu co nejrychleji, aby nebyla možná reakce nepřítele dříve než se podaří zničit více jak 5 dělníků. Při poslání plně naloženého výsadku, který dovede zničit v krátké chvíli 5 a více dělníků, je jeho cena okolo 200 až 400 minerálů včetně výsadkové lodě. Do výsadku není doporučeno naložit jednotky, které jsou určeny k útoku z blízka, z důvodu jejich vzájemného blokování při přecházení od cíle k cíli. Díky této taktice se dá získat cenný čas navíc pro rozvoj základen a armády.

2.3 Civilizace Zerg

Zergská civilizace je složena z několika druhů tvorů, kteří jsou začleněni do *Swarm* a ovládnutí *Overmind*. Tito tvorové, nebo plemena, se díky evoluci stali efektivními zabijáky a maximalizovala se jejich síla. Pro Zergy není běžné vyvíjet nové technologie, ale jejich přirozené zbraně a krunýře jsou srovnatelné s nejpokročilejšími technologiemi jiných civilizací. Tato biologická evoluce v kombinaci s bezkonkurenční zuřivostí a jejich slepé oddanosti k *Overmind* se stali Zergové smrtícím nepřítelem pro ostatní civilizace. Zergové se dovedou přizpůsobit všem druhům prostředí, včetně nehostinných podmínek hlubokého vesmíru. Dokáží se přizpůsobit nástrahám cestování vesmírem, i když nelze jasně pochopit, jak se tomu naučili. Centrem Zergského bydlení jsou *Hatchery* (líhně). Jejich hnízda jsou složena z husté organické hmoty, přezdívané *Creep*, která zajišťuje výživu pro Zergy a poskytuje výživu pro Zergské larvy, ze kterých se vyvíjejí veškeré jednotky a pro *Drone* (trubec), kteří jsou schopni se vyvinout v jakoukoliv evolučně dostupnou budovu. *Creep* se rozšiřuje kolem hlavní budovy (*Hatchery*, později pak *Lair* nebo *Hive*) a kolem *Creep Colony*, kterou je možné ji přeměnit do obraných budov *Sunken Colony*, protipozemní obrana, a *Spore Colony*, protivzdušná obrana. Na *Creep* není možné stavět budovy Terranů a Protossů a po zničení budov, které je rozšiřují ve svém okolí, se pomalu vstřebává do země a ztrácí se.

2.3.1 Průzkum

Overlord je nejlepší průzkumná jednotka ve hře [3]. Jsou levné, mají hodně zdraví, jsou letecké, odhalují neviditelné jednotky, s rychlostním výzkumem jsou i rychlé a s přepravním výzkumem mohou přepravovat jednotky. Těchto jednotek má hráč též velké množství, protože fungují rovněž jako zdroj zásob pro udržení většího počtu jednotek. Na začátku hry jedním *Overlordem* hráč

disponuje, a proto může začít průzkum okamžitě bez ztráty nějaké těžební jednotky (*Drone*). Po nalezení nepřátelské základny může zůstat hlídkovat nad nepřátelskou základnou do doby, dokud nepřítel nepostaví jednotku, která dovede útočit na letecké jednotky. V pozdější fázi hry je téměř nezbytné provést výzkum pro zrychlení *Overlordů*. Velice to pomůže pro průzkum nových expanzí nepřítele a zároveň umožní *Overlordům* utéct z boje bez jejich ztráty. Na rozdíl od jiných civilizací Zergové mohou díky *Overlordům* prozkoumávat mapu stále. K průzkumu se mohou využít i jednotky *Zergling*, kteří jsou nejlevnější jednotkou ve hře a zároveň se mohou s výzkumem *Burrow* zahrabávat a stát se tak nepohyblivými, ale zároveň neviditelnými. Vylepšení hlavní budovy je taktéž důležité udělat co nejdříve, protože díky němu se zpřístupní výzkumy pro vylepšení jednotek *Overlord*.

2.3.2 Základní mechaniky hry pro Zergy

Zergové mají možnost transformovat těžební jednotky do budov a to pouze na *Creep* hmotě, která se tvoří kolem budovy základny, *Creep Colony* a vývojových stádií těchto budov. Na hmotě *Creep* nemohou civilizace Terranů a Protossů stavět žádné budovy, mohou se po nich pouze přesouvat jednotkami. Po zničení budov, které rozšiřují *Creep*, to poté pomalu mizí a už zde mohou ostatní civilizace budovy stavět. Veškeré jednotky zergské civilizace přeměňuje z *Larvae*, které se generují kolem základních budov každých 15 sekund do počtu 3 na každou základní budovu. Pro udržování (zásobování) jednotek je nutné vyrábět jednotky *Overlord*, které maximum možných jednotek rozšiřují až do počtu 200 zásob. Civilizace Zergů se vyznačuje největší mobilitou jednotek ve hře. Mají jednotky levné, ale nejsou tolik silné, takže je nutné nepřítele zničit velkou početní převahou. Jedno ze zajímavých vylepšení všech pozemních jednotek je *Burrow*, které umožňuje jednotkám se zahrabat a tak se stát neviditelnými bez možnosti útočit (výjimkou je *Lurker*). Díky jednotce *Overlord*, která má schopnost odhalovat neviditelné jednotky, mají nejlepší kontrolu nad mapou. Jako vedlejší a ne tolik podstatná mechanika ve hře je, že budovám a jednotkám se pomalu obnovuje samovolně zdraví. Naopak nevýhodou může být, že oproti Terranům nemohou budovy opravovat nebo nemají štít, který se postupně dobývá, jako u Protossů. Velkou mobilitu také dodává stavba *Nydus Canal*, která umožňuje instantní přesun z jednoho bodu do druhého [4].

2.3.3 Rushovací strategie

Civilizace Zergů je nejlépe uzpůsobena pro tyto strategie, proto existuje mnoho druhů těchto strategií. Jednou z nejznámějších, v mém projektu také využitou strategií, je *4 Pool Rush*. Je výjimečná právě tím, že se hned od začátku nic nebuduje, ale pouze se čeká na dostatečné množství surovin pro výstavbu *Spawning Pool*. Takže po dostavění *Spawning Pool* má hráč 3 těžební jednotky, které stíhají přesně produkovat minerály pro kontinuální produkci jednotek *Zergling*.

Další podobné strategie jsou *5 Pool Rush* a *6 Pool Rush*, kde se analogicky vystaví určitý počet těžebních jednotek a poté budova *Spawning Pool*. Rozdíl je hlavně v nadbytku produkce minerálů a rychlosti prvních útoků, ale nejsou to nikterak velké rozdíly. Mezi pomalejší rushe patří například *Lurker Rush*, kde jde o co nejrychlejší zpřístupnění jednotek, které se dovedou zahrabat a tím zneviditelnit, ale zároveň mohou útočit nebo *Mutalisk Rush*, kde jde o co nejrychlejší výrobu armády, která je letecká. Obě dvě strategie jsou více účinné proti civilizaci Protossů, protože mají z počátku slabou protileteckou obranu a omezenou možnost detekce neviditelných jednotek. Naopak strategie *Pool Rush* jsou více efektivní proti civilizaci Terranů.

3 Soutěž SSCAI Tournament

SSCAI (Student Starcraft Artificial Intelligence Tournament) je soutěž umělých inteligencí ve hře Starcraft: Brood War. Soutěž pořádá Univerzita Komenského v Bratislavě a České vysoké učení technické v Praze. Soutěže se může účastnit kdokoliv, ale je rozdělené hodnocení na studentskou a veřejnou část. V soutěži se koná zápas každého s každým. Za každý vyhraný zápas se dostanou 3 body a za prohru 0. Vyhrát lze dvěma způsoby - buďto nepříteli zničíme všechny budovy nebo po uplynutí časového limitu máme vyšší bodové hodnocení uplynulé hry než nepřítel, to je ale hodnoceno pouze 2 body. Zápas mezi jednotlivými umělými inteligencemi a průběžné hodnocení umělých inteligencí za posledních 20 zápasů je možné sledovat neustále on-line na webové stránce [5].

3.1 Ročník 2014

Tento ročník byl již pátým v řadě. Poprvé nebyl výherce studentské části oceněn finanční odměnou. Soutěžní zápasy započaly na začátku ledna 2015 a vyhodnocení zápasů bylo koncem ledna 2015, do této doby bylo nutné kompletně zpracovat umělou inteligenci. Po účasti v této soutěži moje umělá inteligence skončila na sdíleném 10 a 11 místě ze 42 zúčastněných. Jako civilizace Zerg se umělá inteligence umístila těsně na 2. místě. V soutěži nebyl problém některé protivníky pokaždé porazit, naopak některé byl problém porazit vždy, ale nejdůležitější byli právě ti, které moje umělá inteligence někdy porazila a někdy ne. Na těchto zápasech se nejlépe ladila strategie a způsob boje tak, aby nedocházelo k náhodnému porážení mojí umělé inteligence.

4 Implementace

V této části práce se zaměřím přímo na mnou vytvořený program, jeho popis funkčnosti, použité knihovny a části přebrané z jiného projektu.

4.1 Vývojové prostředí

Umělou inteligenci je možné implementovat v jazyce C++ nebo JAVA. Můj program je implementován v jazyce C++ za pomoci knihoven [BWAPI](#) a [BWTA](#), které popíši v dalších kapitolách. Pro psaní a překlad programu jsem využíval Microsoft Visual Studio 2008 (9.0). Umělou inteligenci je nutné kompilovat jako DLL nebo EXE. Jako základ umělé inteligence jsem použil kostru [BWSAL](#), která byla nestabilní a nefunkční pro implementaci umělé inteligence civilizace Zerg. Podařilo se mi opravit několik chyb, které nestabilitu zapříčinily nebo se jim zcela vyhnout díky nevyužití několika modulů, které nebylo nutné využívat a umělou inteligenci zpomalovaly nebo dokonce zapříčinily spadnutí programu.

4.1.1 The Brood War Application Programming Interface (BWAPI)

Je to zdarma dostupný a open-source C++ framework, který se používá k interakci populární real-time strategie StarCraft: BroodWar. Díky této knihovně je možné vytvářet umělou inteligenci - agenta hrajícího tuto hru. BWAPI ve výchozím nastavení pouze odhaluje viditelné části herního stavu a tak umožňuje programátorům vytvářet umělé inteligence bez podvádění, jako je například vidění v místech, kde běžný hráč nevidí. V základním nastavení také BWAPI neumožňuje převzetí kontroly hráčem nad hrou. Všechna tato nastavení je možné pozměnit a tak umožnit efektivnější ladění vytvářené umělé inteligence. Využívám knihovny verze 3.7.4, ale kód je kompatibilní i s novější verzí 4.0.1 Beta. V nedávné době vyšla nejnovější verze 4.1.1 Beta, na které jsem svůj projekt zatím netestoval. Má podstatně lépe a přehledněji vytvořenou dokumentaci na webové stránce [6].

4.1.2 The Brood War Terrain Analyzer (BWTA)

Tato knihovna je rozšířením BWAPI pro analýzu mapy, vypočet regionů, zúžených míst na mapě a nejlepších nebo začátečních pozic základů. BWTA je zaměřena pouze na analýzu běžných map, takže nefunguje správně pro speciální mapy jako je například mapa *Crystallis*.

4.1.3 The BWAPI Standard Add-on Library (BWSAL)

Jedná se o multiagentní systém skládající se z několika základních agentů pro ovládání hry a systému pro zobrazování ladicích informací přímo ve hře [7]. Nejdůležitější součástí této knihovny je `Arbitrator`, usnadňuje spolupráci mezi jednotlivými agenty a rozhoduje, který dostane které jednotky k ovládání. Třída `Arbitrator` využívá šablonu `Controller`, z které je děděn každý z agentů v systému BWSAL. Jedinou součástí BWSAL, která není agentem, je `EnhancedUI`. Zpracovává data v StarCraftu a umožňuje zobrazování dodatečných informací do UI hry. Není nijak propojena s BWSAL, až na `UnitGroupManager`, takže je ideální pro ladění při vytváření a upravování umělé inteligence. Dalšími součástmi jsou `BuildingPlacer`, zařizuje vyhledání a určení pozice pro stavbu budovy. Samotné vytváření budov a jednotek a také přeměňování jednotek má na starost `BuildManager`, který podle typu nutné operace předává jednomu ze tří podagentů: `ConstructionManager` pro stavbu budov a jejich rozšíření, `ProductionManager` pro výrobu jednotek v budovách a `MorphManager` pro přeměňování jednotek. `BuildingOrderManager` agent zprostředkovává prioritní frontu pro výstavbu jednotek, budov či vylepšení. Pokud se s jeho pomocí do fronty zařadí položka, kterou není možné vykonat, když chybí nějaký předchozí výzkum, budova nebo jednotka, do fronty se zařadí všechny nutné předchozí položky pro umožnění výroby zařazené položky. `SupplyManager` dohlíží na zásoby a velikost zaplnění zásob. Snaží se o to, aby nedošlo nikdy k nedostatku zásob a úkoluje `BuildManager` pro výrobu zásobovacích budov, potažmo jednotek. `TechManager` a `UpgradeManager` se využívají k vytváření vylepšení a technických výzkumů. `BorderManager` a `InformationManager` v sobě zase uchovávají informace o mapě a soupeři: jaké má vytvořené výzkumy, vylepšení, budovy, jednotky, která území základen jsou pod jeho kontrolou a jaké jsou hranice vlastního území. Nejdůležitější součástí BWSAL pro moji práci byl `ScoutManager` a `DefenseManager`, které obstarávají průzkum mapy a obranu, respektive útok na nepřítele. Součásti, které jsem znovu implementoval nebo upravoval, popíší v následujících kapitolách.

4.2 Scout Manager

Tento agent byl původně vytvořen univerzálně pro všechny tři civilizace, ale vzhledem k tomu, že implementuji umělou inteligenci pouze pro civilizaci Zerg, místo univerzální implementace jsem vytvořil tohoto agenta pouze pro tuto civilizaci. Tento agent je vytvořen jako jednoduchý automat, který se snaží o co nejefektivnější průzkum s co možná nejmenšími ztrátami jednotek. Průzkum provádí pouze s jednotkami *Overlord*, takže každá nově vytvořená jednotka je přiřazována tomuto

agentovi k ovládní. V agentovi jsou dva stavy, které ovlivňují způsob chování průzkumu. První stav je, pokud není stále objevena nepřátelská báze. Průzkumníci postupují od nejbližších možných startovních pozic k nejvzdálenějším. Seřazení podle vzdálenosti se uskuteční pro každého průzkumníka zvlášť a průzkumník s nejkratší vzdáleností se vyšle k této pozici a ze seznamu všech průzkumníků se odstraní, takže nemůže tak dojít k tomu že by dva průzkumníci směřovali ke stejné pozici a jejich průzkum byl neefektivní. Dalším, druhým stavem je, pokud už je nepřátelská základna objevena. Seřazení všech surovinových základen, výběr a vyslání průzkumníka je stejné jako v prvním případě. Mimo startovní pozice jsou ještě přidány i další možné surovinové základny. Pokud je na průzkumníka započat útok, nejlepší možnou cestou se vzdaluje od útočníků a jeho obsluha agentem je vypnuta a předána agentu `DefenseManager`. Po ukončení útočení na průzkumníka opět začíná průzkum. Při tvoření tohoto agenta jsem experimentoval se dvěma možnostmi. Při nalezení základny co nejdéle setrvat na nepřátelském území s prvním průzkumníkem, který ji objeví a odeslat průzkumníka stejně jako ostatní na průzkum zbytku mapy. Jako lepší se jevila možnost druhá: průzkumníka odeslat na průzkum zbytku mapy, protože u větších map při prozrazení průzkumníka nepřítel disponoval jednotkou, schopnou průzkumníka velice rychle zničit a tak zmenšit velikost zásob a množství průzkumníků. Navíc, protože jsem testoval účinnost a problémy spjaté s rushováním, neboli útočením v co nejkratším čase, nebylo tolik důležité znát strategii nepřítele. Další možností pro rozšíření funkcionality tohoto modulu mohlo být upřednostňování průzkumu těžebních pozic kolem nepřátelské základny nebo hlídkování na možných pozemních a vzdušných cestách z území nepřítele.

4.3 Defense Manager

V původním provedení tento agent pouze posílal jednotky na hranice vlastního území a tam se hromadili s rozkazem zaútočit na kolemjdoucí nepřátele. Tento agent je opět implementovaný jako stavový automat s několika stavy. Prvním počátečním stavem je, pokud není objevena nepřátelská startovní pozice. V tomto případě rozdělí jednotky a odešle je na všechna možná místa na mapě, kam není odeslán průzkumník a kde by se mohl nacházet nepřítel. V případě, že je objevena nepřítelova startovní pozice, přechází do druhého stavu. Zde jsou jednotky odesílány na místo, kde by se měla nacházet nepřátelská základní budova. Pokud je kdekoliv na mapě objevena nepřátelská jednotka nebo budova a je v blízkosti jednotky směřující k útoku, tak tato jednotka přejde do stavu třetího, kdy je udělen rozkaz pro útok na tuto jednotku. Po zničení jednotky, na kterou byl udělen rozkaz útoku, přechází zpět do stavu druhého. Je zde vytvořeno také jednoduché pravidlo upřednostňující útočení na jednotky v největší blízkosti a až posléze na budovy. Dalším možným rozšířením by mohlo být implementování algoritmu Alfa-Beta, který by využíval lépe informace

o jednotkách a jejich vlastnostech. Například by upřednostňoval pro útok více poškozené jednotky nebo jednotky, které by mohl útok více poškodit. Tímto se zabývají například práce [8,9,10]

4.4 ModuleAI

ModuleAI jádrem umělé inteligence a obsahuje několik metod, které se spouští při určitých událostech, jež nastanou během hry. Mezi základní patří, `onStart()`, která se realizuje při spuštění hry, `onFrame()`, která se provádí každý snímek hry. Během jedné sekundy ve hře proběhne 16 snímků, když ale nastavíme větší rychlost hry počet snímků se přímo úměrně zvětšuje. Při události, kdy se některá jednotka objeví na mapě a je viditelná se volá metoda `onUnitDiscover(Unit)`, naopak, pokud jednotka zmizí mimo dohled hráče provede se metoda `onUnitEvade(Unit)`. Když se jednotka stane neviditelnou (v dohledu hráče) volá se metoda `onUnitHide(Unit)`, naopak, při zviditelnění se provede `onUnitShow(Unit)`. Po zničení jednotky se volá metoda `onUnitDestroy(Unit)`, po vytvoření se volá metoda `onUnitCreate(Unit)`, když se změní jednotka se volá metoda `onUnitMorph(Unit)` a některé další, které naleznete v dokumentaci BWAPI [1]. V metodě `onStart()` jsem nejprve provedl analýzu mapy pomocí knihovny BWTA. Tato analýza, pokud nebyla provedena na stejné mapě v předchozích spuštěních, může trvat i několik minut. Dalším krokem inicializuji počáteční hodnoty proměnných a jednotlivé moduly. Nejdůležitější metodou je `onFrame()`, která provádí aktualizaci všech modulů a agentů, a ve které implementuji počáteční strategii stavební řady. V ostatních metodách, pokud je to potřeba, ošetřuji mizení, vytvoření, ničení, objevení, změnění jednotek a dávám o tom vědět jednotlivým modulům, které využívám.

4.4.1 Počáteční strategie stavební řady

Nejdříve jsem počáteční stavební řadu implementoval pomocí konečného automatu, který sledoval, jaká jednotka, výzkum nebo budova se právě dokončila, ale metoda `onUnitComplete(Unit)` ve starší verzi, ve které bylo nutné implementovat umělou inteligenci pro soutěž, nefungovala dobře a občas se provedla několik snímků po vytvoření jednotky. Díky tomuto nepředvídatelnému kritickému zpomalení jsem zvolil strategii implementovat na základě uplynulých snímků od začátku a plněním fronty položkami s prioritou. Jako základní počáteční strategii jsem zvolil *4 Pool Rush*, o které se zmiňuji v předchozí kapitole. Postupně jsem se snažil co nejvíce přiblížit ke strategii *6 Pool Rush*, kde jde jen o malou obměnu, a to, že se výstavba budov pro možnost výroby armády odsouvá až do doby, kdy je vytvořeno 6 těžebních dělníků. Při takovéto změně je možné i při selhání rushe mít šanci na výhru, pokud byl nepřítel alespoň částečně oslaben rychlím útokem.

Konečná podoba strategie, která byla nejrychlejší a zároveň umožnila nějakého dalšího rozvoje základny po uskutečnění rushe, je nejdříve vyrobit těžební jednotku do počtu 5, natěžit suroviny na stavbu *Spawning Pool*. Během její výstavby vytvořit další dvě těžební jednotky, postavit prvních 6 jednotek *Zergling*, vyrobit další jednotku *Overlord* a pokračovat ve výstavbě dalších jednotek *Zergling*. V tabulce 1 je popsána rychlost stavby 1. vlny útoku pro jednotlivé strategie včetně mojí.

Tabulka 1.

Název strategie	Čas začátku produkce	Čas vyprodukování 1. vlny útoku	Jednotky
Moje strategie	2250. snímek	2700. snímek	6 Zergling
4 Pool Rush	2250. snímek	2700. snímek	6 Zergling
5 Pool Rush	2250. snímek	2700. snímek	6 Zergling
6 Pool Rush	2400. snímek	2850. snímek	6 Zergling

5 Závěr a budoucí práce

Umělou inteligenci do soutěže se mi podařilo vytvořit tak, že splňovala veškerá pravidla pro její zařazení. V soutěži jsem se umístil na 10-11 místě ze 42 zúčastněných. V části pro studenty byla inteligence umístěna na 5-6 místě a jako civilizace Zerg se umístila na 2. místě. Při ladění počáteční strategie se mi podařilo vytvořit nejrychlejší rush v soutěži a to zároveň díky rychlému průzkumu možných počátečních pozic nepřítele. Již přibližně při 2700. snímku hry vyrazí první útok. Průzkum není vždy dostatečně rychlý pro přesné zacílení útoku, proto se může stát, že útok nebude vždy v plné síle. Díky jeho rozdělení na dvě možná umístění nepřítele se jeden útok o něco opožďuje. Jako další možné vylepšení této umělé inteligence je možné implementovat algoritmus pro efektivní výběr pro útok a obranu, dotvořit k počáteční strategii heuristiku pro další rozvoj základny, expanzi a výzkumů. Tato práce by se také dala využít jako projekt do předmětu IZU (Základny umělé inteligence), kde by měl student jako úkol vytvořit jednoho z agentů a tak si osvojit lépe dovednosti a znalosti z tohoto předmětu.

Literatura

[1] *StarCraft* [online]. [cit. 2015-05-10]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/StarCraft>

[2] *Starcraft: Brood War* [online]. [cit. 2015-03-16]. Dostupné z: <http://us.blizzard.com/en-us/games/sc/>

[3] *Starcraft/strategies* [online]. [cit. 2015-04-12]. Dostupné z: <http://strategywiki.org/wiki/StarCraft/Strategies>

[4] *StarCraft Compendium* [online]. [cit. 2015-05-11]. Dostupné z: <http://classic.battle.net/scc/>

[5] *SSCAI Tournament* [online]. [cit. 2015-03-1]. Dostupné z: www.sscaitournament.com/

[6] *BWAPI 4.1.1* [online]. [cit. 2015-05-20]. Dostupné z: <http://bwapi.github.io/>

[7] *BWSAL* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: <https://code.google.com/p/bwsal/>

[8] *Optimizing Micro-Management in RTS Games*. Grenoble, 2013. Dostupné z: http://emotion.inrialpes.fr/people/synnaeve/index_files/gameaic.pdf. Článek.

[9] *Developing game AI for the real-time strategy game Starcraft*. Reykjavik University, 2011. Dostupné z: http://skemman.is/is/stream/get/1946/9882/22934/1/Final_Report.pdf. Výzkumná zpráva.

[10] *Call for AI Research in RTS Game*. University of Alberta, Department of Computing Science. Dostupné z: <https://skatgame.net/mburo/ps/RTS-AAAI04.pdf>. Výzkumná zpráva.

Seznam příloh

Příloha 1. DVD

Obsahuje manuál po instalaci a nastavení všech potřebných součástí projektu, knihovny BWAPI a BWTA, Chaoslauncher

Příloha 2. Tabulka pojmů

Budovy, jednotky a výzkumy ve hře Starcraft: Brood War, použité v textu práce s krátkým popisem.

Příloha 2. Tabulka pojmů [4]

Terran, Protoss, Zerg	Civilizace ve hře
SCV	Těžební jednotka civilizace Terran
Drone	Těžební jednotka civilizace Zerg
Probe	Těžební jednotka civilizace Protoss
Rafinery	Těžební stanice plynu civilizace Terran
Extractor	Těžební stanice plynu civilizace Zerg
Assimilator	Těžební stanice plynu civilizace Protoss
Overlord	Letecká jednotka civilizace Zerg, jednotka poskytující zásoby
Supply Depot	Budova poskytující zásoby civilizaci Terran
Pylon	Budova poskytující zásoby civilizaci Protoss
Bunker	Budova civilizace Terran, v které se mohou ukrýt malé jednotky
Rush	Strategie hry, ve které jde o útok v co nejkratším čase
Zerling	Pozemní jednotka civilizace Zerg
Hydralisk	Pozemní jednotka civilizace Zerg
Creep	Hmota tvořící se kolem některých budov civilizace Zerg
Turtling	Strategie hry, ve které jde o vytvoření silné a nepropustné obrany
Creep Colony	Budova civilizace Zerg rozšiřující Creep
Swarm a Overmind	Pojmy z příběhu Starcraftu
Hatchery	Hlavní budova civilizace Zerg
Lair	Vývojové stádium budovy Hatchery
Hive	Vývojové stádium budovy Lair
Sunken Colony	Budova civilizace Zerg zajišťující protipozemní obranu
Spore Colony	Budova civilizace Zerg zajišťující protileteckou obranu
Burrow	Výzkum civilizace Zerg umožňující se pozemním jednotkám zahrabat
Larvea	Pozemní jednotka civilizace Zerg, vyvíjejí se z ní jejich veškeré jednotky
Lurker	Pozemní jednotka civilizace Zerg s možností útočit, když je zahrabaná
Nydus Canal	Dvě budovy civilizace Zerg umožňující přemísťovat pozemní jedntoky
Spawning Pool	Budova civilizace Zerg zpřístupňující tvoření jednotek Zergling
Pool Rush	Rushovací strategie se zaměřením na výrobu jednotek Zergling
Lurker Rush	Rushovací strategie se zaměřením na výrobu jednotek Lurker
Mutalisk Rush	Rushovací strategie se zaměřením na výrobu jednotek Mutalisk
Mutalisk	Letecká jednotka civilizace Zerg