

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

KOOPERATIVNÍ HRA V MULTI-AGENTNÍM PROSTŘEDÍ JASON

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB HUSA

BRNO 2014



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV INTELIGENTNÍCH SYSTÉMŮ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF INTELLIGENT SYSTEMS

KOOPERATIVNÍ HRA V MULTI-AGENTNÍM PROSTŘEDÍ JASON

COOPERATIVE GAME IN MULTI-AGENT SYSTEM JASON

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

JAKUB HUSA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JIŘÍ KRÁL

BRNO 2014

Abstrakt

Tato práce se zabývá tvorbou hry založené na multi-agentním systému. Práce začíná seznámením se s teorií multi-agentních systémů, strategických počítačových her, jazyka AgentSpeak a jeho nástavby Jason použitých při implementaci. Dále je navržena tahová strategická hra Útěk z vězení, která proti sobě staví dva asymetrické týmy inteligentních agentů s rozdílnými cíli. Pro oba týmy jsou navrženy tři režimy inteligentního chování, lišící se svojí komplexností a mírou spolupráce agentů. Jeden z týmů může být ovládán hráčem, nebo oba ovládány počítačem. Hra je podrobena analýze na množině testovacích map. Práce srovnává jednotlivé režimy inteligence a hodnotí jejich schopnost uspět proti různým typům soupeřů a rychlost uvažování.

Abstract

The subject of this thesis is creation of a game based on a multi-agent system. First part of the thesis introduces theory of multi-agent systems, strategic computer games, language AgentSpeak and his extension Jason which were used for impementation. Then design of turn-based strategic game Prison Escape is described, which pitches two asymmetrical teams of intelligent agents with different goals against each other. Each team has three modes of intelligent behaviour designed for them, which differ by their complexity and extent of inter-agent cooperation. One team can be controlled by a player, or both teams can be controlled by computer. The game is tested on a set of testing maps. The thesis compares the three designed modes of behaviour and evaluates their ability to succeed againt varying opponents enemies and thinking speed.

Klíčová slova

Umělá inteligence, Multi-agentní systémy, BDI agent, AgentSpeak, Jason, Java, hra, simulace, kooperace.

Keywords

Artificial intelligence, Multi-agent system, BDI agent, AgentSpeak, Jason, Java, game, simulation, cooperation.

Citace

Jakub Husa: Kooperativní hra v multi-agentním prostředí Jason, bakalářská práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2014

Kooperativní hra v multi-agentním prostředí Jason

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Jiřího Krále. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Jakub Husa
20. května 2014

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Králi za jeho vedení a rady při tvorbě mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Marku Podsedníkovi a ostatním, kteří mi poskytli svůj čas a zúčastnili se testů mojí hry.

© Jakub Husa, 2014.

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

Obsah

| | |
|---|-----------|
| 1 Úvod | 3 |
| 1.1 Struktura práce | 4 |
| 2 Multi-agentní systémy | 5 |
| 2.1 Prostředí | 5 |
| 2.2 Inteligentní Agenti | 6 |
| 2.3 Model BDI | 6 |
| 3 Prostředky | 8 |
| 3.1 AgentSpeak | 8 |
| 3.2 Jason | 10 |
| 4 Strategické hry | 11 |
| 4.1 Principy strategických her | 12 |
| 4.2 Kategorie strategických her | 14 |
| 5 Návrh | 16 |
| 5.1 Pravidla hry | 16 |
| 5.1.1 Agenti | 16 |
| 5.1.2 Objekty | 17 |
| 5.1.3 Ovládání | 18 |
| 5.2 Vězni | 18 |
| 5.3 Dozorci | 20 |
| 6 Implementace | 24 |
| 6.1 Jádru hry | 24 |
| 6.2 Řešené problémy | 26 |
| 6.2.1 Ovládání | 26 |
| 6.2.2 Zobrazení | 26 |
| 6.2.3 Hledání cesty | 27 |
| 6.3 Inteligence | 28 |
| 6.3.1 Vězni | 29 |
| 6.3.2 Dozorci | 29 |
| 6.4 Známé chyby | 30 |
| 7 Testy | 31 |
| 7.1 Rozestavení agentů | 31 |
| 7.2 Porovnání iteligencí | 33 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 7.3 Hra proti člověku | 35 |
| 7.4 Výkonnost | 36 |
| 8 Závěr | 40 |
| A Použité mapy | 43 |
| B Testy rozestavení agentů | 49 |
| C Testy porovnání inteligencí | 54 |
| D Testy výkonnosti | 56 |

Kapitola 1

Úvod

Zábava je nedílnou součástí lidského života. Hraní her nám krátí dlouhou chvíli, rozvíjí naše myšlení a je oblíbeným prostředkem, jak se sblížit s ostatními. Informace o tom, jestli pralidé hráli nějaké hry, se nám bohužel nedochovaly, nicméně nejstarší známou hrou je staroegyptská desková hra *Senet*, které je dnes již přes pět tisíc let.[4] U deskových her ale lidstvo nezůstalo. Když byly vytvořeny první počítače, netrvalo dlouho a objevily se i první počítačové hry. Za první z nich je považován *Tenis pro dva*, který byl vytvořen roku 1958 v národní laboratoři Bookhaven pro pobavení tamních návštěvníků. V průběhu několika desítek let pak hry prošly rychlým vývojem a vznikl kolem nich celý průmysl. Byly vyrobeny herní konzole, hry se začaly dělit do kategorií a žánrů. S postupem času se hry přesunuly i na stolní počítače a s příchodem internetu se rozšířily i tam.

Zatímco čtenáři, posluchači a diváci jsou pasivními příjemci obsahu jejich oblíbeného média, hráči ovlivňují průběh hry svými akcemi a její obsah tak pomáhají sami vytvářet. U tenisu pro dva to byli dva lidé, kteří stáli před osciloskopem a s pomocí knoflíku a otočného kolečka si spolu přehazovali virtuální míček. Výhodou her je, že hráči mohou poskytnout výzvu, na jejíž úspěšné překonání se hráč musí soustředit. Dobře udělaná hra dokáže hráče zcela pohltnout a přimět ho zapomenout na svět okolo něj. Tomuto stavu se říká *Tok* a jednou z komponent nutných k jeho dosažení, je poskytnout hráči přiměřenou výzvu.[7] U tradičních her tuto výzvu poskytuje právě jiný hráč. Schopnosti jednotlivých hráčů se však mohou velice lišit a je těžké najít spoluhráče na stejné úrovni, který má zrovna volný čas na hraní her a chce hrát stejnou hru. Tento stav tvůrce her přiměl k tvorbě umělých protivníků, kteří by skutečné lidi nahradili. Pro umělého soupeře se ve hrách poněkud nepřesně vžil pojem *umělá inteligence*.

Existuje více přístupů, jak pomocí počítače modelovat chování živého hráče. Například pro hru šachy by se nejlépe hodil systém centrálně řízený, kde jediný proces ovládá všechny figurky současně, stejně jako to dělá skutečný hráč. Pokud se ovšem zamyslíme nad nějakou jinou komplikovanější hrou, například simulátorem fotbalového zápasu, zjistíme, že systém centrálního řízení vůbec neodpovídá realitě a je tedy zcela nevhodný. Všichni fotbalisté ze stejného týmu mají společný cíl, ale přitom každý z nich přemýšlí sám za sebe a koná ve spolupráci s ostatními členy svého týmu. Pro modelování takovýchto systémů je nejvíce vhodné použití multi-agentních systémů, které každého hráče, každou postavu ve hře modelují jako samostatného inteligentního agenta.

1.1 Struktura práce

Cílem této práce je navržení hry založené na spolupráci agentů. Pro tento účel byla navržena a implementována hra *Útěk z vězení*, která proti sobě staví dva asymetrické týmy. Hráči je umožněno chopit se ovládní jednoho z týmů, nebo pozorovat, jak spolu vzájemně bojují dva počítačem ovládaní protivníci. Protože je práce zaměřena hlavně na návrh a implementaci agentů multi-agentního systému, jsou pro oba týmy navrženy tři verze inteligentního chování, lišící se svojí komplexností a především mírou spolupráce jednotlivých agentů. Pro úplnost je hra a otestována na sadě připravených map navržených tak, aby oběma stranám poskytovaly spravedlivou šanci na vítězství.

Kapitola 2 této práce pojednává o multi-agentních systémech, vlastnostech inteligentních agentů a modelu BDI použitým pro jejich popis. Kapitola 3 popisuje jazyk AgentSpeak a jeho rozšíření a interpret Jason, které byly použity pro implementaci projektu. Kapitola 4 pojednává o strategických a taktických hrách, mezi které se *Útěk z vězení* žánrově řadí.

Kapitola 5 popisuje návrh samotné hry, jejích pravidel a prostředí. Detailně popsán je zde také návrh inteligentních agentů, kteří tuto hru budou hrát. Kapitola 6 dokumentuje implementaci projektu, popisuje a zdůvodňuje změny, které byly provedeny oproti původnímu návrhu. Popsány jsou zde vytvořené třídy, struktura uložení herních map a ovládní. V kapitole 7 jsou navrženy, popsány a vyhodnoceny testy vytvořené pro kontrolu funkčnosti projektu. Kapitola 8 z provedených testů vyvozuje závěr, shrnuje práci a zamýšlí se nad tím, jak by na ni šlo navázat. Na konci práce jsou ještě uvedeny odkazy na použitou literaturu a přílohy.

Kapitola 2

Multi-agentní systémy

Tato kapitola poskytuje úvod do Multi-agentních systémů. Jsou zde popsány jednotlivé složky multi-agentního systému, jejich dělení a nároky, které na ně klademe. Dále je zde popsán model BDI, který se pro popis agentů v multi-agentních systémech používá.

2.1 Prostředí

Multi-agentní systémy mají dvě základní složky. Prostředí a množinu agentů. Prostředí představuje skutečný nebo virtuální svět. Může jít například o počítačovou hru a nebo model městské dopravní sítě. Prostředí uchovává informace o stavu světa a definuje, jakým způsobem může být agenty tento svět pozorován a jak jej mohou jejich akce ovlivnit. V závislosti na jejich vlastnostech dělíme prostředí do několika kategorií. [8]

- *Plně a částečně pozorovatelné* – Plně pozorovatelné prostředí je prostředí o kterém mohou agenti získat kompletní a aktuální přehled. Příkladem může být třeba šachovnice, na které hráč v každém tahu zná přesnou polohu všech figur. Částečně pozorovatelná jsou pak prostředí, ze kterých agent může vidět pouze jejich část a nebo se musí spokojit se zastaralými informacemi. Příkladem je třeba skutečný svět.
- *Deterministické a stochastické* – Deterministické prostředí je takové prostředí, kde agentovy akce mají přesně definované následky nijak neovlivněné náhodou. Jako příklad deterministického prostředí můžeme opět použít šachovnici. Stochastické prostředí naopak ovlivněno náhodou je, příkladem nám zde může být libovolná hra kde se házejí kostky.
- *Statické a dynamické* – Statické prostředí je prostředí, které je měněno pouze akcemi agentů. Jako příklad nám opět poslouží šachovnice, kde je poloha figur ovlivňována pouze tahy hráčů. Dynamické prostředí může být ovlivněno akcemi agentů, ale v průběhu času se vyvíjí i bez jejich zásahu. Příkladem dynamického prostředí pak může být model lesa, kde rostou a padají stromy i bez toho, aby byly sázeny nebo káceny lidmi.
- *Diskrétní a spojitě* – diskrétní prostředí je prostředí s konečným pevně daným počtem možných stavů. Jako příklad diskrétního prostředí může znovu posloužit šachovnice. Jelikož počítače nejsou analogové, jsou všechna virtuální prostředí ve své podstatě diskrétní. Příkladem spojitého prostředí je třeba kulečnickový stůl.

2.2 Inteligentní Agenti

Druhou složkou multi-agentního systému jsou agenti. Agenti jsou umělé entity založené na bázi reaktivních systémů. Agenti jsou vytvářeni za účelem monitorování a řízení prostředí, v němž se nacházejí. Pro sledování prostředí jsou agenti vybaveni senzory, pro jeho ovlivňování jim pak slouží efektory. Příkladem jednoduchého agenta tak může být například termostat, který sleduje teplotu v místnosti a v závislosti na ní zapíná nebo vypíná topení. [6] Takovýto agent je však velice primitivní a nemůže být označen za inteligentního.

Účelem existence agenta je splnění nějakého cíle, nebo cílů. Ty se v průběhu agentovy existence mohou měnit, vždy však jde o to dosáhnout nějakého stavu prostředí. Jak název napovídá, v multi-agentním systému se může nacházet větší množství agentů. Abychom agenty mohli označit jako inteligentní, musíme se ujistit, že vykazují následující prvky inteligentního chování.

- *Autonomie* – Schopnost samostatného jednání. Ne ve smyslu tvoření vlastních cílů, ale ve smyslu rozhodování se, jak zadaných cílů dosáhnout.
- *Proaktivita* – Snaha dosáhnout svých cílů. Agent nemůže pouze čekat, jak se prostředí kolem něj vyvine. Musí do něj cíleně zasahovat tak, aby došlo ke splnění jeho cílů.
- *Reaktivita* – Schopnost reagovat na změny v okolí. Při plnění svých cílů může agent narazit na různé problémy a musí se s nimi umět vypořádat. Nejen ve smyslu okamžité reakce na změnu v prostředí, ale i ve smyslu změny svých plánů. Tato schopnost se uplatní především pokud se prostředí může měnit samovolně a nebo se v něm nacházejí i další agenti.
- *Sociálnost* – Schopnost spolupracovat s ostatními agenty. Vyžadována je nejenom schopnost umět s ostatními agenty komunikovat a vyměňovat si informace, ale i tvořit nové plány zahrnující koordinovanou činnost více agentů.

2.3 Model BDI

Jedním z možných přístupů k popsání chování agentů je model BDI, který roku 1987 navrhl Michael Bratman pro popis lidského uvažování. Model BDI se zabývá praktickým uvažováním a popisuje stav mysli člověka pomocí tří pojmů, které se dají použít i pro popis inteligentních agentů, kteří lidské myšlení napodobují.

- *Představy (Beliefs)* – Pomocí představ si agent vnitřně uchovává informace o svém prostředí. To, že si o svém prostředí agent něco myslí, neznamená, že tomu tak musí skutečně být. Agent si může vytvořit nějakou mylnou představu, nebo jeho představy mohou v měnícím se prostředí zastarat.
- *Přání (Desires)* – Stav prostředí, kterého by agent chtěl dosáhnout. To, že si agent něco přeje, nemusí znamenat, že se toho aktuálně snaží dosáhnout. Různá přání agenta se spolu mohou vzájemně vylučovat a agent si tak mezi nimi musí volit.
- *Úmysly (Intentions)* – Úmysl je jedno z přání, které si agent vybral, a aktivně se jej snaží dosáhnout. Ne každý úmysl se dá vykonat jednou akcí. Splnění takového úmyslu je tedy potřeba rozdělit na pod-úlohy, jejichž splnění se stává přáními a rozhodnutí je vykonat pod-úmysly. Takovéto zanořování pak pokračuje tak dlouho, dokud

se nestanou dostatečně jednoduchými na to, aby je agent mohl vykonat přímo. Poté, co je úmysl splněn, nebo se stane neproveditelným, agent si vybere úmysl nový.

Kapitola 3

Prostředky

Tato kapitola popisuje prostředky použité při implementaci projektu. V první části je popsán jazyk AgentSpeak určený pro formální popis chování BDI agentů. V druhé části se dozvíte o frameworku Jason, který je jeho nadstavbou a je použit pro implementaci projektu. Pro implementaci prostředí a jeho vizualizaci je použit také jazyk Java. Ten v této kapitole nebude popsán, protože se očekává, že principy objektově orientovaných jazyků jsou čtenáři známy.

3.1 AgentSpeak

AgentSpeak je jazyk pro implementaci BDI agentů. Původně pod jménem AgentSpeak(L), ho roku 1996 navrhl Anand Rao [5]. AgentSpeak se podobá logickým programovacím jazykům. Agenti přijímají vjemy ze svého okolí a v závislosti na nich a svojí bázi představ se rozhodují jak budou na změny v prostředí reagovat. Pro popis chování agentů jsou použity tři základní konstrukce. [3]

Znalosti

Agenti si znalosti ukládají v podobě výroků predikátové logiky. Výroky a jejich negace jsou literály. Když se agent rozhoduje, zda je nějaký výrok pravdivý, pokusí se jej sjednotit s nějakým literálem ve svojí bázi znalostí. Pokud se mu takový literál najít nepodaří, považuje výrok za nepravdivý, pokud se mu to podaří, považuje jej za pravdivý. Pokud má agent ve svojí bázi znalostí více literálů se kterými by šel výrok sjednotit, sjednotí jej s prvním vyhovujícím literálem.

```
jmeno(karel) [source(self)] .
```

Znalosti mohou obsahovat i parametry. Takovýto zápis udává, že agent má jméno a že jeho jméno je Karel. V rozšíření Jason, popsaném dále, si agent o uchovává i zdroj informace. Tím může být vjem z prostředí, agent samotný, nebo jiný z agentů.

```
barva(cervena) :- not barva(zelena) & not barva(modra) .
```

Kromě znalostí samotných může agent znát i pravidla pro vyvozování sekundárních znalostí. Použití pravidel nijak nerozšiřuje vyjadřovací schopnosti jazyka, ale může programátorovi usnadnit práci. Takovýto zápis agentovi říká, že pokud objekt není zelený ani modrý, znamená to, že je červený.

Cíle

```
!!zapni(Televize)
!sedni_si(Pohovka)
?vysíláno(Film)
```

AgentSpeak zná dva druhy cílů, vykonávací (achievement) značené vykřičníkem a zjišťovací (test), značené otazníkem. Vykonávací cíle se používají pro vykonávání činností. Vykonávací cíl se dá zapsat dvěma způsoby. Je-li cíl zapsán s jedním vykřičníkem, agent při vykonávání plánu čeká na jeho splnění. Pokud je cíl zapsán se dvěma vykřičníky, agent na jeho splnění nečeká. Vykonávací cíle na které se nečeká jsou součástí rozšíření Jason. Zjišťovací cíle se používají pro sjednocení výrazů s bází znalostí. Můžeme tak vybrat objekt na který poté aplikujeme nějakou akci, nebo testovat podmínku, zda máme v plánu pokračovat.

Plány

Plán je návodem, jak má agent postupovat v případě nějaké události. Počet plánů které agent může mít, není nijak omezen. Každý plán se skládá ze tří základních částí.

```
spouštěcí_událost : kontext_události <- tělo_plánu.
```

Spouštěcí událost je podnět, který agenta přiměje k vykonání plánu. Tímto podnětem může být získání nějaké znalosti a nebo přidání nějakého cíle. Pokud agent nemá plán pro přidání nějaké znalosti, nijak na ni nereaguje a pouze si ji přidá do své báze znalostí. Pokud agent nemá plán pro dosažení nějakého cíle, je cíl považován za nesplnitelný a dochází k selhání plánu. Pokud má agent pro spouštěcí událost plánů několik, vykoná vždy pouze jeden z nich. K rozhodnutí, který z nich to bude, je využit kontext.

Kontext události je logický výraz, který určuje, zda se v daném okamžiku dá plán použít. Agent v reakci na spouštěcí událost sekvenčně prochází svoji knihovnu plánů a vyhodnocuje jejich kontext. Je-li kontext plánu pravdivý, agent vykoná tělo plánu a ostatní plány ignoruje. Pokud je kontext nepravdivý, agent přechází na další plán v pořadí. Pokud jsou kontexty všech plánů pro danou událost vyhodnoceny jako nepravdivé, je cíl považován za nesplnitelný. Pokud si uživatel přeje, aby se plán vykonal vždy, může jako kontext plánu použít konstantu `true`.

Tělo plánu je seznam akcí, jejichž vykonáním agent dosáhne splnění zadaného cíle, respektive korektně zareaguje na změnu svých znalostí. Tělo plánu může obsahovat několik typů položek. V seznamu jsou uvedeny i možnosti přidání nadstavbou Jason.

- Dosažení cíle – Splnění komplexních cílů může být takto rozloženo na několik podcílů, které jsou každý vykonán samostatným plánem. Cíle a plány je možno do sebe zanořovat a komplexní úlohy řešit po částech.
- Manipulace se znalostmi – Součástí těla plánu může být přidání nebo odebrání nějaké znalosti. Agent si například může udělat poznámku o tom, jakou akci vykonal, nebo odstranit nějakou znalost kterou vykonáním plánu učinil nepravdivou.
- Vykonání akce prostředí – Agent v rámci prostředí vykoná nějakou akci. To, jak konkrétně akce prostředí ovlivní, není definováno agentem, ale prostředím samotným.

- **Vykonání interní akce** – Interní akce nejsou součástí samotného AgentSpeaku, ale jedním z rozšíření přidaných Jasonem a umožňují část plánu vykonat v jazyce Java. Interní akce se hodí pro provádění komplexních výpočtů a jiných operací které by se v jazyce AgentSpeak pouze těžko realizovaly. Interní akce nijak neovlivňují agentovo prostředí.
- **Spočítání výrazu** – Součástí těla plánu může být počítání logických i aritmetických výrazů.

Agenti plány vykonávají sekvenčně. Je-li součástí vykonání plánu dosažení nějakého cíle, agent pozastaví vykonávání plánu a tento cíl splní dříve, než se vrátí k vykonávání původního plánu. Výjimkou jsou v tomto případě výše popsané neblokující cíle. Pokud je libovolná část plánu nesplnitelná, je celý plán nesplnitelný a dochází k jeho selhání.

3.2 Jason

Jason je interpret rozšířené verze jazyka AgentSpeak. Vytvořili jej Rafael H. Bordini a Jomi F. Hübner. Protože se Jason zakládá na jazyce AgentSpeak, jeho základní konstrukce a způsob popisu agentů jsou shodné. [2] Uvedeny jsou zde tedy pouze samotná rozšíření.

- *Podpora prostředí v jazyce Java* – Samotný AgentSpeak byl navržen pro programování inteligentních agentů. Propojení s Javou usnadňuje úlohy jako zobrazení výsledků, využití síťové komunikace a ostatních praktických funkcí, které s programováním agentů přímo nesouvisí a jejichž implementace by v logicky orientovaném jazyce byla zbytečně komplikovaná nebo prakticky nemožná.
- *Zabudované akce* – Pro zjednodušení práce programátora má Jason připraveny funkce pro běžně řešené úlohy jako výpis textu nebo komunikace mezi agenty. Jména zabudovaných akcí vždy začínají znakem tečky ' .' a jsou vykonávány v jazyce Java, nikoliv AgentSpeak. Tyto akce nikdy nemění stav prostředí v němž se agenti nacházejí. Jason také umožňuje si naprogramovat akce vlastní.
- *Silná negace* – Kromě informace o pravdivosti nějaké skutečnosti může agent vědět i o nepravdivosti nějaké skutečnosti. V čistém jazyce AgentSpeak agent buď určitou věc ví, nebo o ní nemá žádné informace. Silná negace se značí pomocí vlnovky ' ?'.
- *Anotace* – Ke znalostem a plánům se do hranatých závorek ' [' a '] ' dají přidat meta informace. U znalostí se toho dá využít pro uchování informace o zdroji. U plánů mohou poznámky obsahovat informace například o relativní prioritě vůči ostatním plánům. Nutno poznamenat, že anotace nezvyšují vyjadřovací možnosti jazyka, pouze zvyšují komfort programátora.
- *Neblokující cíle* – Agenti svoje plány standardně vykonávají sekvenčně. Pokud jsme ovšem v situaci, kdy agent nemusí čekat na splnění jednoho cíle plánu předtím, než přistoupí k cíli dalšímu, můžeme tento bod plánu označit pomocí dvojitého vykřičníku ' !! '. tím řekneme, že agent na splnění nemusí čekat a jeho práci tak zefektivníme.
- *Zpracování selhání plánů* – V případě, že se plán stane v průběhu svého vykonávání neproveditelným, vyvolá se událost odebrání cíle. Tato vlastnost je mimořádně důležitá v dynamickém multi-agentním prostředí, a v prostředí, kde si agenti konkurují a snaží si svoji práci navzájem kazit.

Kapitola 4

Strategické hry

Tato kapitola poskytuje informace o strategických hrách, jejich základních principech a jejich kategoriích. Důraz je kladen především na ty prvky, které jsou využity při návrhu hry v následující kapitole. Jednotlivé kategorie jsou ilustrovány příklady her, které do daných kategorií patří.

Počítačové hry vycházejí ze stolních her. První stolní hry zaměřeny na schopnost přemýšlet a přelstít protivníka. Ze všech herních žánrů, které dnes existují, se strategické hry nejvíce podobají jejich předkům, jakými jsou například *Šachy* nebo *Go*, a najdeme mezi nimi mnoho podobností. Nároky jsou kladeny na hráčovu schopnost uvažovat, tvořit plány a přelstít soupeře.

Naprostá většina her staví na nějakém konfliktu. U strategických her to nejčastěji bývá nějaký druh války. Je tomu tak proto, že válečné konflikty jsou snáze pochopitelné než konflikty ekonomické, a lépe definované než konflikty ideologické. Ve válce, alespoň té virtuální, je velice jednoduché rozhodnout, kdo vyhrál. Podle žánru je to buď ten, kdo zabral požadované území, nebo ten, kdo zůstal naživu, stejně jako tomu je u *Go* a *Šachu*. Podobně jako stolní hry i počítačové strategie mají svoje slavné postupy a zahájení. *Zerg Rush* je mezi hráči strategických počítačových her téměř tak známý, jako mezi šachisty *King's pawn game* (pěšec na E4). Společným jmenovatelem těchto her je také to, že hráč většinou není reprezentován ve hře samotné žádnou konkrétní jednotkou. Pokud už se ve hře nějaký hráčův avatar vyskytuje, vždy hraje roli klíčové jednotky, kterou je za každou cenu třeba ochránit, podobně jako šachového krále (*Original War*, *Supreme Commander*).

Počítačové hry stolní hry nejen napodobují, ale také rozvíjejí. Správa armády bývá rozšířena o její výrobu. Ovládání území je rozšířeno o stavění základen a těžbu surovin. Politické a ekonomické konflikty, kterým se stolní hry vyhýbaly, jsou přítomny v podobě diplomacie a obchodu. Na rozdíl od většinou poměrně abstraktních stolních her, počítačové hry mnohdy berou podobu nějakého skutečného válečného konfliktu, čímž hráči pomáhají nastavit správná očekávání jak se bude hra hrát a jaký je význam jednotek, které se v ní vyskytují. Další inovací počítačových strategických her je to, že poskytují možnost hry za různé druhy armád. U stolních her mají hráči vždy stejné armády se stejně se chovajícími jednotkami. U současných počítačových her to bývají minimálně tři armády. Jednotky každé z armád se mohou navzájem lišit, ale jejich schopnosti jsou pro zábavnost a férovost hry vyváženy tak, aby všechny strany měly srovatelnou šanci na vítězství. Potřeba je také zmínit, že se vznikem internetu počítačové hry poskytly hráčům možnost spolu hrát v reálném čase i bez toho, aby se spolu fyzicky nacházeli v jedné místnosti.

4.1 Principy strategických her

Strategické hry jsou dnes dobře ustanoveným žánrem a lze u nich vysledovat mnoho společných principů. Kromě samotné strategičnosti se u těchto her vyvinula i spousta ostatních vlastností, které dnes hráči od těchto her očekávají, a už dávno nejde jen o to umět lépe velet armádě.

Viditelnost

Protože strategické hry vyžadují koordinaci velkého množství jednotek a celkový přehled o situaci, je na herní mapu zpravidla nahlíženo z ptačí perspektivy. Podobně jako u deskových her tak má hráč k dispozici všechny informace o tom, co se ve hře děje. Standardem je dnes také válečná mlha. Hráč vidí pouze ty soupeřovy jednotky, které se nacházejí v blízkosti jeho vlastních jednotek. Na území, které dříve prozkoumal, pak vidí pouze terén a případné nehybné budovy. Jednotliví hráči tak mají o mapě rozdílné informace. Podobného efektu se snaží dosáhnout i některé stolní hry (Battleship), ale faktem zůstává, že zařídit, aby na jednom bojišti viděli dva hráči něco jiného, je v reálném světě problém.

Většina moderních her také obsahuje různé druhy terénu, které viditelnost ovlivňují. Nejčastějším případem jsou překážky jako zdi a stromy, které blokují linii pohledu, případně vyvýšený terén, který poskytuje delší dohled a nebo skrývá jednotky před nepřítelem nacházejícím se v nižší výšce. Průzkum, hlídkování a správné využití terénu je tak podstatnou součástí moderních strategií.

Strategie a taktika

Strategické hry ve velké míře využívají také taktiku. Strategie je o plánování a rozhodování se, čeho chce hráč dosáhnout. Taktika je o tom, jak uskutečnit strategii. Čistě strategické hry tak až na výjimky (Dwarf Fortress) prakticky neexistují, protože součástí drtivé většiny her není plán pouze připravit, ale také vykonat. Hry se tak označují jako převážně strategické, respektive taktické, podle toho, který z těchto elementů ve hře převažuje a je důležitější pro dosažení vítězství. Zda je hra taktická nebo strategická, se dá nejspíše poznat na jejím přístupu k produkci a boji jednotek. Pokud se hra zabývá produkcí jednotek, ale střety jednotek jsou řešeny automaticky, jde o strategii (Galcon). Pokud se hra zabývá ovládním jednotek v boji, jejich umístěním a výběrem cílů, ale nezabývá se produkcí jednotek, je taktická (World in Conflict). Většina her se pak snaží jít střední cestou a zabývá se do jisté míry obojím (StarCraft).

V tomto významu se také často využívají pojmy makro-management a mikro-management. Makro-management odpovídá strategii, znamená soustředění se na ekonomiku a produkci jednotek. Mikro-management odpovídá taktice a znamená zaměření se na ovládní se jednotek v boji. U tahových her bývá tou obtížnější činností mikro-management, u her hraných v reálném čase je tomu naopak.

Správa surovin

Dalším široce rozšířeným principem je systém správy surovin. Stavba budov a produkce jednotek spotřebovává určité množství materiálu, který musí hráč získat předtím, než může s produkcí jednotky začít. Jakým způsobem se suroviny získávají zpravidla definuje, jakým způsobem se bude hra hrát. Tahové a pomalé hry obvykle mají propracovaný ekonomický systém s velkým počtem druhů surovin, které mají každá své specifické využití (Heroes of

Might and Magic). U těchto her je většinou vítězství dosaženo ne poražením nepřítele na bojišti, ale podrytím jeho ekonomiky. Reálné hry se naopak většinou snaží být akčnější a omezují se pouze na jednu až dvě suroviny. Důraz je v nich kladen spíše na to, jak hráč suroviny využije, než na to, jaké suroviny získá.

Suroviny bývají těženy z předem určených míst na mapě. Oblasti s nejhojnějším výskytem surovin se pak stávají klíčovým strategickým prvkem a o nadvládu nad nimi se zpravidla svádí urputný boj. Mnoho her také na těžbu surovin vyhrazuje speciální jednotky a nebo budovy. Tyto jednotky bývají téměř bezbranné a vyžadují ochranu od vojenských jednotek. Útok na nebojové jednotky nepřítele, rozvrácení jeho ekonomiky a omezení schopnosti produkovat vojenské jednotky je osvědčenou strategií napříč všemi hrami tohoto žánru.

Hry, které se soustřeďují čistě na taktiku, jsou od ekonomiky obvykle zcela oproštěny a poskytují všem hráčům předem dané množství surovin nebo v nich suroviny přibývají zcela samovolně (World in Conflict). Hráči tak stačí přemýšlet o tom, jak tyto suroviny využít a ne jak je získat. Alternativně je hráči na začátku hry poskytnut pevný počet jednotek a suroviny jsou ze hry odstraněny úplně.

Diplomacie

U strategických her menšího měřítka je komunikace mezi hráči a možnost řešit herní konflikty mírovou cestou obvykle velice omezená, až zcela neexistující. Protivníci jsou určeni na začátku hry a pokud je ve hře více hráčů, mohou být na začátku hry rozděleni do týmů. U strategických her hraných ve větším měřítku naopak bývá implementován systém diplomacie. Ve hrách s diplomacií je rozhodování o tom, jak vést válku, rozšířeno o rozhodování, s kým vést válku. Diplomacie bývá nutností ve hrách zaměřených na hru jednoho hráče, kde by systém boje všech proti všem mohl znamenat hráčovu rychlou prohru již na začátku hry a špatný herní zážitek (Civilization, Total War). I tak se ale najdou hráči, kteří diplomacii nikdy nepoužijí.

Rozvoj technologií

Strategické hry zaměřené na dlouhé konflikty obvykle obsahují nějaký druh rozvoje technologií. Na počátku jsou hráčům k dispozici pouze základní jednotky a pro zpřístupnění lepších je potřeba nasbírat určité množství surovin a vynalézt nové technologie. Kromě nových jednotek mohou být hráči odměnou vylepšení pro stávající jednotky a zpřístupnění dalších technologií. Jakkoliv může být myšlenka rychlého vývoje nových technologií nereálná, hry tímto získávají na svojí hloubce, protože nutí hráče k velice důležitým rozhodnutím. Pokud se hráč rozhodne investovat suroviny do pokroku, zbude mu méně surovin na tvorbu armády a může být snadno poražen. Pokud se ale rozhodne investovat suroviny do tvorby armády, může zůstat pozadu a být snadno poražen v pozdějších fázích hry. Hráč se tak musí kromě surovin naučit hospodařit i s časem a vědět, kdy na rozvoj technologií není příliš brzo ani příliš pozdě.

Technologie jsou většinou uspořádány do stromů, kde podobně jako pro produkci jednotek, je k vyzkoumání pokročilých technologií nejprve nutné vyzkoumat ty jednodušší. Způsob, jakým jsou technologie rozvíjeny, se hru od hry liší. Pokročilé jednotky obvykle vyžadují pro svoji produkci specializované budovy, na jejichž stavbu jsou zapotřebí jiné, méně pokročilé budovy a tak dále až k hráčově základní budově (Dune 2). Další hry vyžadují kromě budov i vynalezení určitých technologií, tedy investici surovin a čekání (Age of Empires, Age of Mythology). Hry, které systém budov nemají, pak omezují produkci

jednotek pouze vynalezenými technologiemi. Technologické stromy těchto her však bývají o poznání složitější. (Sword of the Stars)

4.2 Kategorie strategických her

Strategické hry se dělí do mnoha pod-žánrů. Protože neexistuje přesná definice, které hry do kategorie strategických spadají a které ne, jsou zde uvedeny pouze hlavní kategorie, na kterých panuje obecná shoda. [1]

4X

Tato zkratka vychází z anglických slov „explore, expand, exploit, exterminate“, přeloženo do češtiny „prozkoumej, rozviň se, využij, vyhlad“. 4X hry napodobují životní cyklus civilizace. V první fázi hry se hráč soustředí na prozkoumávání herního světa a hledání strategicky významných míst, která by se dala osídlit a nebo jinak využít. V druhé fázi pak tyto místa obsazuje a buduje svoji říši. Ve třetí fázi pak hráč tato místa využívá a posiluje svoji ekonomiku a vojenskou moc. V poslední fázi hráč vede válku s ostatními říšemi a snaží se zůstat posledním hráčem na mapě.

Jednotlivé fáze jsou od sebe velice odlišné a 4X hry tak poskytují velmi komplexní herní zážitek. Kromě vojenské simulace obsahují také politiku, diplomacii, správu zdrojů a rozvoj technologií. Termín 4X byl roku 1993 ustaven hrou *Master of Orion*, avšak nejznámějším reprezentantem této kategorie je herní série *Civilizace*.

Dělostřelecké hry

Původně zamýšleny jako vojenský simulátor tankových bitev, v dělostřeleckých hrách se hráči střídají v tazích a snaží se správně zaměřit a zasáhnout pozici nepřítele. Nejznámější dělostřeleckou hrou je dodnes série *Worms* z roku 1995.

Realtimové strategie

Nejznámější ze všech kategorií, ustanovená roku 1992 hrou *Duna II*. Realtimové strategie se zaměřují na vedení války. Každému hráči je dána základna. Hráči z herní mapy těží suroviny se kterými svoji základnu rozvíjejí a poté produkují vojenské jednotky s cílem zničit základnu nepřítele. Protože, jak z názvu vyplývá, nejsou tyto hry hrány na tahy, ale v reálném čase, hráč nemá dostatek času do detailu plánovat a kontrolovat každou akci.

Hráčova činnost se tak dělí na dvě části. První částí je makro-management, kde se hráč zaměřuje na celkový běh svojí základny, udržuje ekonomiku a rozhoduje o tom, jaké jednotky produkovat. Druhou částí je mikro-management, kde se hráč snaží využít vytvořené jednotky s maximální efektivitou. Protože v rámci hry může hráč ovládat desítky až stovky jednotek zároveň, realtimové hry vyžadují schopnost mezi nimi velice rychle přepínat a udělovat jim rozkazy. Tím je odsunut do pozadí význam uvažování nad tím, jaké rozkazy zadat, ve prospěch samotné schopnosti je zadat.

Realtimové taktiky

Taktické hry se vyvinuly z dřívějších her strategických úplným potlačením významu makro-managementu. Oproštěn od nutnosti přemýšlet nad produkcí jednotek, hráč se může plně soustředit na využití jemu dostupných vojenských sil. Ty oproti strategickým hrám bývají

v menším počtu, ale s mnohem detailnějším propracováním. Vrací se význam uvažování o tom jak jednotky využít, na úkor schopnosti je dostatečně rychle ovládat. Protože mnoho hráčů nerozlišuje mezi strategií a taktikou, neexistuje shoda na tom, která hra byla první, nicméně jedním z moderních představitelů tohoto žánru je například hra *DEFCON*.

Tahové strategie

Tahové strategie nenahradily kola reálným časem a zůstaly tak blíže k deskovým hrám. Hráč má více času o svých akcích přemýšlet, čímž se zvyšuje význam jeho schopnosti tvořit plány a maximálně využít možností prostředí. Opuštění reálného času s sebou ale přináší otázku jakým způsobem se hráči při hraní střídají. Jednou z možností je využití stejného přístupu jako u stolních her a nechat hráče aby se vzájemně střídali. Pokud se ovšem hry účastní více jak dva hráči, je tento přístup nevhodný, protože jednotliví hráči pak stráví více času čekáním, než samotnou hru.

Některé hry tak využívají druhý přístup, kdy všichni hráči zadávají svoje rozkazy současně a poté, co je zadán poslední rozkaz, hra je všechny současně vyhodnotí a posune se do dalšího kola. Tento postup nejen umožňuje hráčům trávit svůj čas efektivněji, ale také je nutí předvídat okamžité akce svých protihráčů. Nejznámějším zástupcem her, kde se hráči v tazích střídají je od roku 1995 herní série *Heroes of Might and Magic*. Hrou, kde hráči táhnou současně, je například hra *Risk* podobný *WarLight*.

Tahové taktiky

Tahové taktiky se od tahových strategií liší obdobně jako u jejich reálných protějšků. Jsou více zaměřeny na schopnost využít malé skupiny, velmi detailně propracovaných jednotek a dosažení jejich maximální efektivity. Oblíbeným tématem je napodobení vojenských operací, kde hráč ovládá jeden tým vojáků snažící se zajistit nepřátelskými jednotkami ovládané území. Příkladem může být například hra *Jagged Alliance*.

Válečné hry

Válečné hry se od ostatních her odlišují svojí snahou o co nejpřesnější simulaci vedení války a historických událostí s ní spojených. Příkladem může být například herní série *Hearts of Iron*, která se zaměřuje na období druhé světové války.

Kapitola 5

Návrh

Tato kapitola čtenáře seznamuje se hrou *Útěk z vězení*, která poslouží pro ověření platnosti dříve popsaných principů. Jsou zde popsána její pravidla, objekty, které se v ní vyskytují, a agenti, kteří ji budou hrát. Hra proti sobě staví dva týmy agentů s lišícími se schopnostmi. Pro jednoduchost je použito následující názvosloví. Agenti prvního týmu se nazývají *vězni*, agenti druhého týmu se nazývají *dozorci*. Pokud se v textu mluví o věznicích, pak se daná část textu vztahuje pouze na agenty prvního týmu. Pokud se mluví o dozorcích, pak se vztahuje pouze na agenty druhého týmu. Pokud se v textu mluví o *agentech*, pak se daná část textu vztahuje na agenty obou týmů.

5.1 Pravidla hry

Útěk z vězení je taktická tahová hra, situovaná do podoby věznice. Věznice je tvořena souvislou obdélníkovou mapou libovolné velikosti. Ve věznici se kromě agentů nacházejí i další objekty, jako jsou zdi, lampy a východy. Počet a počáteční poloha všech objektů ve věznici, včetně agentů samotných, je součástí definice mapy.

Cílem hry je nasbírat co nevíce vítězných bodů. Oba týmy získávají vítězné body odstraňováním vězňů. V tom, jak může tým vězně ze hry odstranit se oba týmy liší. Tým vězňů odstraňuje vězně tak, že najde východ z věznice a vězně do něj přesune. Počet vězňů, které lze odstranit jedním východem není omezen. Tým dozorců odstraňuje vězně tak, že najde vězně, a přesune na jeho pozici jednoho ze svých dozorců. Počet vězňů, které může jeden dozorce v průběhu hry odstranit, rovněž není nijak omezen.

Oba týmy tak hrají proti sobě. Vězni se snaží utéct, dozorcí se jim v tom snaží zabránit. Počet vězňů se tak v průběhu hry snižuje. Hra končí ve chvíli, kdy je z ní odstraněn poslední vězeň. Tým, který má na konci hry více vítězných bodů, vyhrává. Pro úplnost dodám, že dozorcí se žádným způsobem odstranit nedají a jejich počet je po celou dobu hry stejný.

5.1.1 Agenti

Každý agent může za jedno herní kolo vykonat jednu z několika akcí. Agenti jsou při výběru akce omezeni několika faktory – svým týmem, rychlostí, dosahem a dohledem. Rychlost omezuje agentův pohyb a určuje o jakou maximální vzdálenost se může za jedno kolo pohnout, přičemž platí, že vězni jsou mírně rychlejší než dozorcí. Dosah říká, na jakou vzdálenost se musí agent k objektu přiblížit, aby ho mohl využít k vykonání akce. Dohled neomezuje agentovy akce přímo, ale ovlivňuje to, kolik informací má o svém okolí. Agent nemůže použít objekt o kterém neví. Agentovi jsou k dispozici následující akce.

- Pohyb – Omezen agentovou rychlostí.
- Přepnutí lampy – Lampa musí být v agentově dosahu.
- Útěk z vězení – Tuto akci mohou vykonat pouze vězni a potřebují k ní mít ve svém dosahu východ.
- Chytit vězně – Tuto akci mohou vykonat pouze dozorcí a potřebují k ní mít ve svém dosahu vězně.
- Čekání – Tato akce je bez omezení.

Kromě těchto akcí spolu agenti také mohou komunikovat. Komunikace je možná pouze mezi agenty stejného týmu a je omezena jejich dohledem. Komunikace agentů z pohledu herního prostředí nezabírá žádný čas, agenti si tak mohou v průběhu jednoho kola sdělit všechno, co chtějí, a zároveň vykonat jednu jinou standardní akci.

5.1.2 Objekty

Kromě agentů samotných se ve věznici může nacházet i řada dalších objektů. Cílem je vytvořit zajímavou mapu poskytující spoustu možností a použitelných taktik.

Zdi

Zdi tvoří ve věznici překážky. Agenti přes ně nevidí a nemohou jimi procházet. Počet zdí ve věznici není omezen. Zdi se mohou libovolně křížit a vzájemně na sebe navazovat, ale mapa věznice jimi nesmí být rozdělena na dvě nebo více samostatných částí. Mezi libovolnými dvěma body na mapě vždy musí existovat alespoň jedna cesta. Čím vyšší je ve věznici počet zdí, tím nižší je v ní viditelnost. Zdi ovlivňují vězně i dozorce zcela stejným způsobem, jejich význam je ale pro oba týmy odlišný. Vězni mají ztíženo hledání východu, ale snadněji se schovají před pronásledujícím dozorcem. Dozorcí mají ztíženo hledání vězňů, ale mohou na ně připravit léčku. Členitější mapy tak obecně prospívají agentům s vyšší inteligencí, kteří umějí prostředí lépe využít. Zdi nelze v průběhu hry nijak měnit, bourat ani stavět, jsou nedotknutelné a zcela neměnné.

Východy

Východy jsou místa, kterými mohou vězni utéct z věznice. Poloha východů není nijak omezena, mohou se nacházet na kraji i uprostřed. Maximální počet východů z věznice není omezen, vždy však musí existovat alespoň jeden. Kdyby se ve věznici nenacházel žádný východ, tým vězňů by neměl jak získat vítězné body a hra by neměla smysl. Východ nemá žádný vliv na dohled agentů. Dozorcí pro východ nemají žádné použití, mohou se ale rozhodnout zůstat v jeho blízkosti a čekat, až se jím pokusí některý z vězňů projít.

Lampy

Lampy jsou objekty se dvěma stavy, zhasnuto a rozsvíceno. Zhasnutá lampa nemá na svoje okolí žádný vliv. Rozsvícená lampa osvětluje objekty ve svém dosahu. Osvětlené objekty, včetně lampy samotné, jsou vidět na libovolnou vzdálenost. Podobně jako dohled agentů, osvětlení poskytované lampou je blokováno zdmi. Rozsvícené lampy poskytují výhodu týmu dozorců, protože usnadňují hledání vězňů. V zájmu vězňů je snažit se lampy zhasnout.

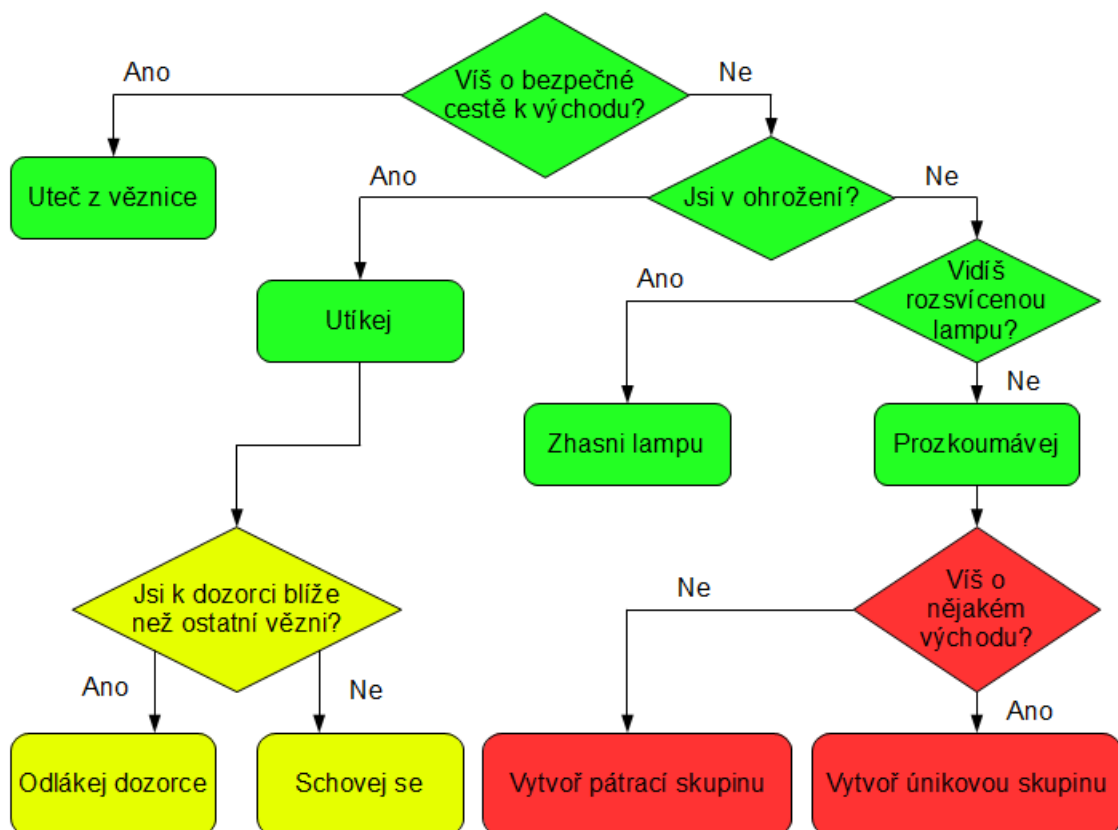
Přiblížením se k rozsvícené lampě se však vězeň vystavuje nebezpečí snadného odhalení dozorcí. Dosvit lampy je delší, než normální dohled agentů.

5.1.3 Ovládání

Oba týmy mohou být řízeny počítačem, nebo se řízení jednoho z týmů může ujmout hráč. U ovládání počítačem je pro oba týmy na výběr ze tří úrovní spolupráce, lišících se komplikovaností uvažování agentů a úrovní jejich spolupráce. Ve všech případech však platí, že každý agent má svoje vlastní informace o věznici a jeho chování je zcela v jeho vlastní režii. Agenti se spolu nicméně mohou domlouvat na společném postupu, vzájemně si pomáhat a sdělovat si informace. Pokud je tým ovládán hráčem, agenti vykonávají rozkazy, které jsou jim uděleny, a mají tak výhodu centrálního řízení.

5.2 Vězni

Jak již bylo zmíněno, cílem vězňů je utéct z vězení v co možná největším počtu. Jak konkrétně se tohoto cíle snaží vězni dosáhnout, záleží na nastavené úrovni inteligence. Obecně se vězni snaží najít východ z věznice, prozkoumat mapu a zhasnout všechny lampy.



Obrázek 5.1: Rozhodovací strom vězně.

Nespolupracující vězni

Vězni, kteří neumějí spolupracovat (na obrázku 5.1 označení zeleně), se snaží dostat se z věznice každý sám za sebe. Při prohledávání věznice se vězni řídí jednoduchými pravidly. Pokud vědí o východu a vědí o bezpečné cestě, jak se k němu dostat, jdou k východu. Za bezpečnou je považována taková cesta, o které si agent myslí, že se na ní nenacházejí žádní dozorcí. Pokud vězeň o žádném východu neví, snaží se jej najít. Pravidla hry zaručují, že existuje alespoň jeden východ a že se k němu dá dostat. Pokud vězeň o východu ví, ale neví o žádném způsobu, jak se k němu bezpečně dostat, pak pokračuje v prozkoumávání mapy v naději, že najde jiný východ a nebo že hrozba, která dříve nalezený cíl blokovala časem pomine.

Pokud agent vidí dozorce a ví, že dozorce vidí jeho, tak utíká. Pokud si vězeň myslí, že ho dozorce nevidí (například protože dozorce stojí u rozsvícené lampy a vězeň ne), pokračuje v prozkoumávání mapy. Pokud vězně nikdo nepronásleduje, schovávat se nemá význam. Hlavním cílem vězně je dostat se z věznice pryč dřív, než ho dozorcí stačí chytit. Vězeň při utíkání před dozorcem využívá zejména své vyšší rychlosti. Před přímým pronásledováním se dá skrýt jen těžko, nicméně pokud terén tuto možnost poskytne, vězeň ji využije.

Pokud vězeň při svém putování věznicí narazí na rozsvícenou lampu a není zrovna pronásledován žádným dozorcem, tak ji zhasne. Zvýšená viditelnost pomáhá dozorcům mnohem více než vězňům, kterým rozsvícené lampy ztěžují skrývání. Pokud by lampa osvětlovala nějaký východ, vězeň jej uvidí před tím, než lampu zhasne a bude si jeho pozici pamatovat i po tom, co již východ není osvětlen a nemá tedy důvod nezhasnout. Pokud vězeň uvidí rozsvícenou lampu ale je zrovna pronásledován, nezdržuje se zhasínáním a utíká, jak rychle jen může.

Mírně spolupracující vězni

Vězni, kteří mírně spolupracují, svým chováním vycházejí z chování nespolutracujících vězňů, které rozšiřují o prvky základní spolupráce (na obrázku 5.1 označeno žlutě). Spolupráce obsahuje sdílení informací. Vězni tak mají usnadněno prohledávání věznice a rychleji se dozví o lampách a východech. Vězni se také mohou navzájem varovat před blízcími se dozorcí.

Každý agent si kromě údajů samotných pamatuje i jak staré tyto údaje jsou. V případě neměnných objektů, jakými jsou zdi nebo východy uchovávání údajů o čase není potřebné, u aktivních objektů jakými jsou lampy, dozorcí a ostatní vězni, je však tato informace zcela kritická. Pokud se potkají dva vězni a oba vědí o jedné lampě, ale jeden z nich si ji pamatuje jako rozsvícenou a druhý jako zhasnutou, je důležité vědět, která z těchto dvou informací je aktuálnější. Agenti si o každém objektu pamatují vždy pouze tu nejaktuálnější informaci, uchovávání zastaralých údajů je zbytečné.

Sdílení informací umožňuje vězňům lépe se chránit před dozorcí. Pokud utíkající vězeň narazí na nic netušícího kolegu, varuje ho, aby se schoval. Dozorcí komunikaci vězňů neslyší, a varovaný vězeň se tak může schovat dříve, než ho dozorce uvidí. Když pak kolem poběží dozorce, o tom, že minul nějakého dalšího vězně, se nedozví.

Občas se stane, že je spatřeno více vězňů současně, například když dozorce rozsvítí lampu, v jejímž dosahu je několik vězňů, kteří dříve nebyli vidět. V takovém případě se vězni dohodnou na následujícím společném postupu. Ten z nich, který je k dozorcí nejbližší, bude utíkat a dozorce na sebe naláká. Ostatní vězni, kteří mají větší šanci uniknout, se zkusí schovat. Jeden z vězňů se tak obětuje pro dobro ostatních.

Intelligence jednoduše spolupracujících agentů je omezena tím, že netvoří dlouhodobé plány. Poté, co spolu vězni ztratí kontakt, jednají opět každý sám za sebe.

Komplexně spolupracující vězni

Vězni, kteří spolupracují komplexně, vycházejí svým chováním z chování nespolečně spolupracujících a mírně spolupracujících vězňů a jejich uvažování rozšiřují o další prvky spolupráce (na obrázku 5.1 označeno červeně). Komplexně spolupracující vězni se úmyslně sdružují do skupin a tvoří plány jak postupovat.

Prvním z plánů jak postupovat je plán prozkoumání. Skupina vězňů se spolu domluví, kdo z nich prozkoumá jakou část věznice. Poté, co se dohodnou, se skupinka rozdělí a každý vězeň pracuje samostatně. Pokud v průběhu prozkoumávání vězni narazí na východ, neodcházejí z věznice, ale pokračují v prozkoumávání. Po smluvené době se všichni vězni vrátí na shromaždiště, kde se poprvé setkali, a podělí se o informace, které zjistili. Aby tento plán fungoval, musejí se všichni vězni na shromaždiště vrátit ve stejnou dobu. Pokud se vězni nepodaří jemu přidělenou oblast prozkoumat celou (například proto, že byla členitější, než předpokládal), prozkoumávání vzdá a dá přednost včasnému návratu na shromaždiště. Po návratu na shromaždiště se agent podělí o všechny informace které získal. Pokud se nějaký vězeň na shromaždiště nevrátí, ostatní předpokládají, že byl při prozkoumávání věznice chycen dozorcí, a na jeho návrat nečekají. Už mu není pomoci.

Druhým plánem je plán únikový. Bezpečí je v počtu a pokud se skupinka vězňů dozví o nějakém východu, postupuje k němu společně. Snižuje se tak šance, že bude někdo z nich odhalen, a pokud potkají dozorce, jeden člen skupinky ho může odlákat, zatím co ostatní zůstanou v bezpečí, stejnějak by to udělali mírně spolupracující vězni. Vězni kteří se od skupinky oddělí, jsou ponecháni svému osudu, a až pomine bezprostřední nebezpečí, ostatní pokračují k východu bez nich. Není důvod riskovat život více vězňů, než je nezbytné.

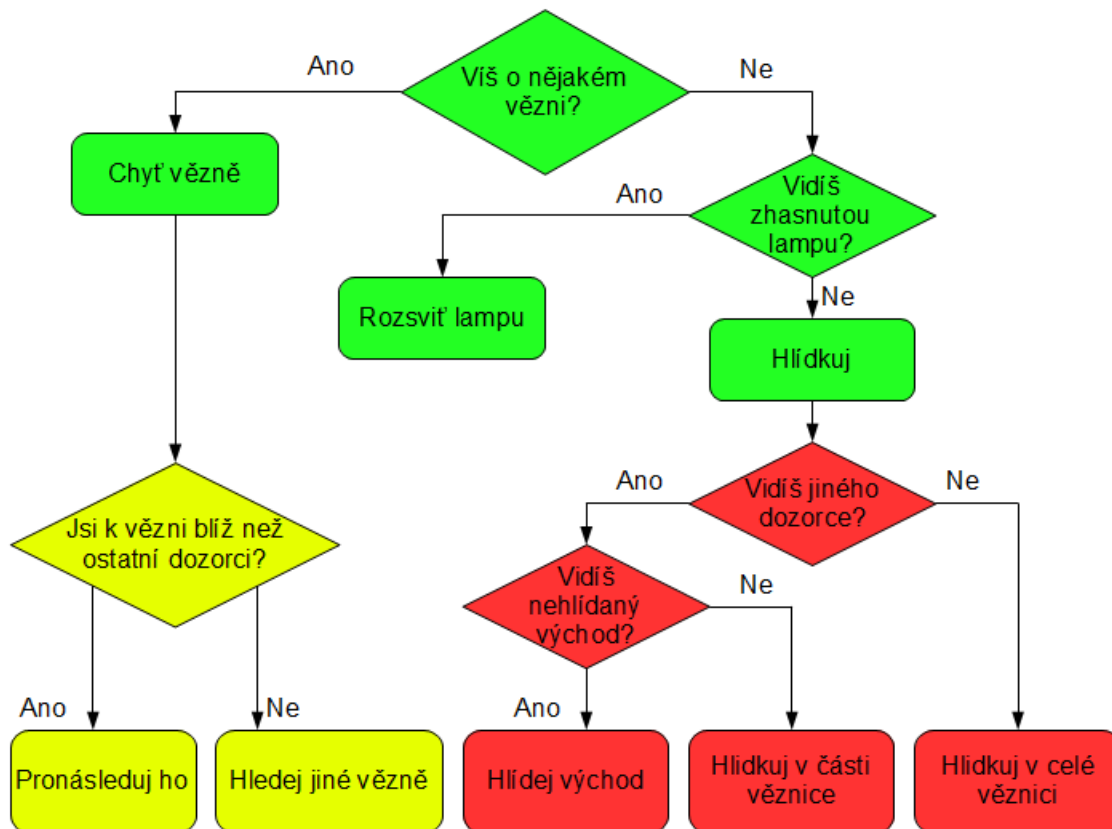
Skupinky vězňů nejsou statické. Pokud vězeň vykonává plán prozkoumávání a potká vězně, který není součástí jiné skupiny, přidá ho do té svojí. Určenou část mapy pak prozkoumají společně a společně se také vrátí na shromaždiště. Pokud vězeň potká jiného vězně, který se již v nějaké skupince nachází, pouze si spolu vymění informace. Oba vězni pak pokračují podle svého původního plánu. Aby se skupiny daly spojit, museli by být informováni všichni ostatní členové skupiny, což nelze udělat dříve, než se všichni agenti vrátí na shromaždiště. Pokud plán fungoval, obě skupinky již cíl našly a nemají důvod se srokovat kvůli dalšímu prohledávání. Scházet se, aby společně postupovali do cíle, by vězně pouze zdrželo.

Pokud vězeň vykonává plán prozkoumávání a je odhalen dozorcem, nevrací se na shromaždiště, aby neohrozil ostatní členy svojí skupinky. Podobně jako u mírně spolupracujících inteligence, jedinec se obětuje aby ostatním útěk usnadnil. Pokud se vězni podaří se dozorcí ztratit, k původnímu plánu se nevrací. Vězeň pak postupuje sám za sebe. Pokud dostane příležitost, tak se k nějaké jiné skupince připojí nebo s ostatními vězni, které potká, vytvoří skupinku zcela novou.

5.3 Dozorci

Cílem dozorců je pochyťat vězně dříve, než se jim podaří utéct z vězení. Na rozdíl od vězňů dozorcům ve věznici nehrozí žádné nebezpečí a jejich uvažování je tak radikálně odlišné. Všichni dozorcí, bez ohledu na nastavenou úroveň spolupráce, se snaží monitorovat co největší část mapy a odříznout vězně od možných východů. Prozkoumávání celé mapy

není pro dozorce zdaleka tak důležité, jako co se děje v té části, kterou zrovna vidí. K tomu mimo jiné využívají i lampy, které se snaží udržet v rozsvíceném stavu. Pokud by lampu chtěl nějaký vězeň zhasnout, musí se k ní nejdříve přiblížit, a usnadnit tak usnadňuje svoje odhalení.



Obrázek 5.2: Rozhodovací strom dozorce.

Nespolupracující dozorcí

Dozorci, kteří nespolupracují, se snaží vězně polapit svými vlastními silami, bez ohledu na akce svých kolegů (na obrázku 5.3 označeno zeleně). Základním plánem dozorců je pohledávání věznicí. Na rozdíl od vězňů, dozorcí nehledají žádný statický objekt, jako je východ, ale pohyblivé vězně. Nemá tedy smysl, aby se snažili prozkoumat celou mapu. Místo toho tak věznicí neustále náhodně procházejí, a doufají, že na nějakého vězně narazí.

Když dozorce spatří vězně, přestává prohledáváním mapy a začne s pronásledováním. Dozorci je sice o trochu pomalejší než vězeň, a na rovině tak vězně nikdy nedohoní, může se mu však podařit vězně zahnat do slepé uličky nebo do kouta. Dozorci se tak nemusí zajímat o to, kudy poběží, pokud místem mohl proběhnout vězeň, může i on. Pokud vězeň zaběhl kam neměl, má dozorce vyhráno. Pokud dozorce při honění se za vězněm narazí na dalšího vězně, tak se vždy se bude hnát za tím nejbližším. Všichni vězni mají stejnou hodnotu a čím je vězeň k dozorcí blíže, tím menší má prostor pro chyby a je snadněji polapen. U nespolupracující inteligence není důvod, proč by se dozorce měl upnout na

pronásledování jednoho konkrétního vězně.

Pokud se dozorcí pronásledovaný vězeň ztratí z dohledu, dozorce pokračuje na jeho poslední známou pozici. To znamená, že vězni ke schování nestačí zaběhnout za roh. Když dozorce dorazí na místo, kde vězně naposledy viděl a uvidí ho znovu, pokračuje v pronásledování. Pokud se vězni podařilo úspěšně se ztratit nebo schovat a dozorce nemá o jeho pozici žádné nové informace, dozorce pronásledování vzdá a pokračuje ve standardním prohledávání.

Pokud dozorce spatří nerozsvícenou lampu a zrovna nehoní žádného vězně, jde ji rozsvítit. Prozkoumávání mapy je náhodné a směr k lampě je tak stejně dobrý jako každý jiný. Rozsvícení lampy mu pak poskytne větší přehled o jeho okolí. Po rozsvícení lampy dozorce místo opouští a pokračuje v prohledávání. Zůstat u rozsvícené lampy nemá smysl, protože on sám je jejím světlem osvětlen také, a žádný vězeň se tak k němu nepřiblíží. Osvětlený dozorce je navíc vidět dříve než neosvětlený vězeň a dozorce by tak nikdy nikoho nechytí. V dozorcově zájmu tedy je se od rozsvícené lampy co nejrychleji vzdálit a případně počkat, až se jí nějaký vězeň pokusí zhasnout.

Na východ z věznice nespolupracující dozorcí nijak nereagují. Mohli by zde sice číhat na vězně snažící se východem utéct, ale jelikož se východů ve věznici může nacházet několik, čekání na pozici s východem by buď způsobilo nekonečnou hru, kdy se žádný vězeň nedostane z věznice ven, dozorce nikoho nenajde a tedy ani nechytí. Nebo se všem vězňům podaří najít a použít jiný východ. Čekání na pozici východu tedy pro nespolupracujícího dozorce vždy znamená špatný výsledek.

Mírně spolupracující dozorcí

Uvažování mírně spolupracujících dozorců vychází z uvažování dozorců nespolupracujících, které rozšiřuje o prvky základní spolupráce (na obrázku 5.3 označeno žlutě). Podobně, jako spolupracující vězni, i spolupracující dozorcí sdílejí informace, které o věznici mají a vždy se snaží si navzájem poskytnout co nejaktuálnější informace.

Protože stále platí, že dozorcí hledají ve věznici především vězně, jsou pozice vězňů tou nejdůležitější informací, kterou dozorcí mohou sdílet. Na druhou stranu, vězni se ve věznici neustále pohybují, a tak tyto informace rychle zastarávají. Znat, jakou pozici měl vězeň před padesáti koly, není o moc lepší, než jeho pozici neznat vůbec.

Spolupráce dozorců se tak nejlépe projeví ve chvíli, kdy několik dozorců současně spatří vězně. Pokud se skupinka dvou dozorců dozví o jednom vězni, tak na rozdíl od nespolupracujících dozorců ho začne pronásledovat jenom jeden z nich, ten který je k vězni blíže. Pronásledovat jednoho vězně dvěma dozorcí nemá smysl, šance na chycení vězně se tím nijak nezvýší. Druhý dozorce tak pokračuje v prozkoumávání mapy a hledá jiné vězně. Cílem tohoto jednání je pokrýt ve věznici co největší plochu.

Pokud se skupince několika dozorců podaří najít skupinku několika vězňů, rozdělí si práci a každý začne pronásledovat jednoho z nich. Vězni nemusí utíkat stejným směrem, a pokud mají alespoň základní úroveň spolupráce, budou nepochybně každý utíkat jinudy nebo se snažit skrýt. Každý vězeň je tak vždy pronásledován pouze jedním dozorcem. Může se stát, že dva dozorcí budou pronásledovat jednoho vězně bez toho, aby o sobě navzájem věděli. Ve chvíli, kdy se o sobě takovíto dozorcí dozvědí, ten vzdálenější, který má menší šanci na úspěch, s pronásledováním přestane.

Další výhodou nepronásledování jednoho vězně několika dozorcí je, že pokud je pronásledování dostatečně dlouhé, může se stát, že utíkající vězeň si naběhne od cesty jinému dozorcí. Takovouto léčku bohužel není možné předem připravit. Dozorcí nevědí, kam bude

vězeň utíkat, a i kdyby to dokázali odhadnout, nikdy se na takovéto místo nemohou dostat včas, protože vězni jsou rychlejší. Pro plánování léček by bylo potřeba, aby spolu mohli dozorcí komunikovat na dlouhou vzdálenost, což pravidla hry neumožňují.

Pro úplnost dodám, že pokud jsou dozorcí ovládáni hráčem, tak spolu navzájem nekomunikují vůbec a veškeré zpracování informací je na hráči samotném. Při takovémto centrálním zpracovávání informací je nastražení léčky nejen možnou, ale i velice efektivní strategií.

Reakce jednoduše spolupracujících dozorců na lampy je podobná, jako jejich reakce na vězně, zhasnutou lampu jde vždy rozsvítit pouze jeden z nich. Reakce na východy z věznice je stejná, jako u nespolpracujících dozorců, protože jednoduše spolupracujících inteligence je omezena pouze na okamžitou spolupráci. Dozorcí tak netvoří žádné dlouhodobé plány a úvaha ohledně východů je tak stejná, jako u dozorců nespolpracujících.

Komplexně spolupracující dozorcí

Komplexní spolupráce rozšiřuje uvažování mírně spolupracujících a nespolpracujících dozorců o dlouhodobé plány, dělbu práce a domlouvání se na společném postupu (na obrázku 5.3 označeno červeně).

Prvním z plánů, které dozorcí tvoří, je rozdělení si věznice na úseky, pro účely prohledávání. Pokud se potkají dva nebo více dozorců, dohodnou se spolu na tom kdo, bude prozkoumávat jakou část věznice. Cílem tohoto jednání je pokrýt co největší plochu věznice a vězňům útěk co nejvíce ztížit. Pokud dozorce při prozkoumávání narazí na vězně, tak ho začne pronásledovat stejným způsobem, jak bylo popsáno u méně spolupracujících inteligencí. Dozorce v pronásledování pokračuje, i když se tím dostane ze své části věznice. Poté, co vězně chytí nebo ztratí, se pak dozorce do své části věznice opět vrátí. Rozdělení věznice není statické, více skupinek dozorců si může domluvit více různých plánů. Dozorcí se však vždy snaží o to, aby věznici pokryli co nejrovnoměrněji.

Druhým z plánů, které dozorcí tvoří, je hlídání východů. Protože dozorcí spolupracují dlouhodobě, mohou se na hlídání východů domluvit a si být jisti, že když jeden z nich začne hlídkovat u východu, pořád zbude alespoň jeden dozorce prohledávající věznici. Pokud se potkají dva dozorcí a vědí o nějakém východu, jeden z nich ho začne hlídat. Pokud dozorce zjistí, že východ je již hlídán jiným dozorcem, nechá hlídání východu na něm a vrací se k prozkoumávání věznice. Pokud je ve věznici méně východů, než dozorců, může takto dojít k zablokování všech východů z věznice. Pokud je východů více než dozorců, vězni budou mít únik z věznice alespoň ztížen. Nikdy však nedojde k patové situaci, protože vždy zbude alespoň jeden dozorce prohledávající věznici.

Pokud dozorce hlídající východ spatří vězně, snaží se jej chytit. Až se mu to povede, nebo se mu vězeň ztratí, vrací se k hlídání východu. Pokud u východu mezi tím začal hlídat někdo jiný, a vrátí se k prozkoumávání věznice. Každý východ je v jedné chvíli hlídán vždy maximálně jedním dozorcem. Dozorcí, kteří hlídají východy, se neúčastní prohledávání věznice a ostatní dozorcí na ně při jejím rozdělování na úseky neberou ohled.

Kapitola 6

Implementace

Tato kapitola popisuje jak byl návrh popsany v předchozí kapitole implementován, jak a proč se implementace odlišuje od návrhu, jaké problémy se při implementaci vyskytly a jak byly vyřešeny. K implementaci herního prostředí byl využit jazyk Java. Pro implementaci inteligentních agentů byl použit framework Jason, popsany v sekci 3.2.

6.1 Jádru hry

Jádru hry se nachází v balíčku *prison*.

PrisonEnv.java rozšiřuje třídu *TimeSteppedEnvironment* z frameworku Jason a implementuje pravidla hry. Mezi jeho nejvýznamnější funkce patří *executeAction*, která odchyťává a převádí akce agentů na příkazy pro změnu modelu herního prostředí. Funkce *updatePercepts* naopak agentům poskytuje informace o prostředí kolem nich. Na konci každého kola, po vykonání akcí, tato funkce přepočítá k jakým vjemům má který agent přístup a neprodleně jej informuje. Tento postup zaručuje, že na začátku příštího kola, před tím než se začnou rozhodovat co udělají, mají všichni agenti zcela aktuální informace. Poslední významnou funkcí je *stepFinished*, starající se o synchronizaci agentů. V závislosti na počtu vjemů a komplexnosti výpočtu se doba, kterou agent potřebuje pro svoje rozhodování, může výrazně lišit a rychle uvažujícím agentům nesmí být umožněno jednat rychleji, než těm ostatním. Funkce zaručuje, že všichni agenti si vybrali kterou akci chtějí provést před tím než začne další kolo. Pro pohodlí hráče je zde implementováno pauzování a krokování hry. Ostatní funkce vykonávají vedlejší práce, jako rozlišování, do kterého týmu agent patří, a vytvoření agentů na začátku hry.

Kromě funkcí se zde nachází také několik významných konstant, které nastavují parametry pravidel hry a omezují akce agentů tak, jak bylo popsáno v sekci 5.1.1. Všechny hodnoty jsou uvedeny v základních jednotkách hry a odpovídají počtu pixelů na obrazovce.

- *agent_speed* – Rychlost pohybu dozorců.
- *bonus_movement* – O kolik jsou vězni rychlejší než dozorci.
- *sight_range* – Dohled agentů.
- *lamp_range* – Dosvit zapnuté lampy.
- *agent_reach* – Vzdálenost, na jakou je agent schopen manipulovat s objekty.

PrisonModel.java uchovává model prostředí a všechny informace o aktuálním stavu hry. Všechny objekty ve hře jsou uchovávány v sérii tabulek příslušných datových typů, definovaných v souboru *classes.java*. Na začátku hry je model prázdný, k naplnění dojde až při načtení mapy. Přesun agentů je zajištěn funkcí *move_towards*, která dle potřeby volá ostatní funkce programu. Funkce *calc_new_pos* počítá, jak daleko se agent při rychlosti nastavené prostředím v jednom kole dostane. Funkce *line_of_sight* zjišťuje, jestli je spojnice mezi dvěma místy blokována nějakou zdí. Funkce *is_visible* kontroluje, jestli je objekt z agentovy pozice viditelný, přičemž bere v potaz nejen zdi, ale i dohled a osvětlení. Poslední výraznou funkcí se funkce *in_wall* která zajišťuje, aby se agenti nemohli dostat dovnitř zdi.

PrisonView.java rozšiřuje standardní třídu *JFrame* jazyka Java, zobrazuje model hry a zpracovává ovládání. Konstruktor této třídy vytváří panely pro vykreslování, načítá obrázky použité při vykreslování, naplňuje komponenty pro výběr map a inteligenci agentů. Funkce *draw_prison* provádí vykreslování mapy hry a všech objektů které se v ní nacházejí. Vykreslování probíhá v závislosti na tom, který z týmů hráč ovládá. Hráči jsou vždy zpřístupněny pouze ty informace, ke kterým mají přístup jeho agenti a zbytek mapy je překryt válečnou mlhou. Pokud hráč hru pouze sleduje, objekty se vykreslují všechny a válečná mlha se pro přehlednost nevykresluje vůbec. Pro aktualizaci informací v textových ukazatelích slouží funkce *update_labels*. Pro načtení mapy je určena funkce *set_map*, která využívá parseru popsaného dále a doplňuje jeho činnost o další potřeby, jako nastavení hodnot ukazatelů a požádání prostředí o vytvoření nových agentů. Ovládání je implementováno pomocí naslouchačů akcí, které jsou vytvořeny v rámci konstruktoru. Ovládání hry je popsáno v sekci 6.2.1. V současnosti stojí za zmínku pouze funkce *select_agent*, která při kliknutí na plochu bludiště označí nejbližšího agenta z hráčova týmu, nebo zruší označení, pokud hráč klikne vedle.

classes.java Obsahuje definice tříd použitých modelem pro popis mapy.

- *Coordinates* – Souřadnice používané objekty nacházejícími se na jednom místě.
- *Twin_Coordinates* – Dvojice souřadnic používaná objekty které se nacházejí na spojnici mezi dvěma body.
- *Exit* – Východ z vězení, obsahuje svoji pozici.
- *Lamp* – Lampa, obsahuje svoji pozici a informaci o tom, jestli je rozsvícená nebo zhasnutá.
- *Wall* – Zeď, obsahuje pozici zdi.
- *Prisoner* – Vězeň, obsahuje svoji pozici, pozici kam se snaží dojít a zda již opustil věznici.
- *Warden* – Dozorce, obsahuje svoji pozici a pozici kam se snaží dojít.
- *Node* – Uzel, obsahuje svůj identifikátor, souřadnice a proměnné použité při hledání cesty.
- *Path* – Cesta, obsahuje identifikátory uzlů které spojuje a svoji délku. Je použita v hledači cesty.

parser.java slouží k načtení mapy ze souboru. Soubor ke čtení je vybrán hráčem před začátkem hry ze seznamu map uložených ve složce *maps*. V mapě je uložena její velikost, počet, pozice a stav všech objektů, které se v ní nacházejí a informace nutné pro hledání cesty mezi dvěma body. Parser soubor sériově prochází a postupně nastavuje u modelu příslušné vlastnosti. Po přečtení celého souboru je hra dovoleno se spustit. Všechna data jsou uvedena v textové podobě pro snadnou úpravu.

pathfinder.java implementuje funkci pro hledání cesty bludištěm. Hledač cesty implementuje algoritmus A*. Jeho fungování je popsáno v sekci 6.2.3.

6.2 Řešené problémy

Při tvorbě projektu bylo nutno vyřešit řadu problémů, která nebyly součástí návrhu. Ta z řešení, která byla podstatná a nebo jinak zajímavá, jsou popsána zde.

6.2.1 Ovládání

Hra je ovládána myší. Po spuštění programu je hráči zobrazena úvodní obrazovka s pravidly hry. Předtím, než hráč stiskem tlačítka *Začít novou hru* načte mapu a spustí hru, jsou mu nabídnuty čtyři položky které může upravit.

- Za který tým bude hrát.
- Jakou inteligencí budou ovládání vězni. Pokud za vězně hraje hráč, tato volba nemá význam.
- Jakou inteligencí budou ovládání dozorcí. Pokud za dozorce hraje hráč, tato volba nemá význam.
- Na jaké mapě se bude hrát.

Hra je ovládána myší. Stisknutím prvního tlačítka myši hráč agenty vybírá. Stisknutím druhého tlačítka myši jim nastavuje kam mají jít. Označený agent je zvýrazněn zakroužkováním, označit se dají pouze agenti vlastního týmu a v jednom okamžiku může být označen pouze jeden agent.

Kromě udílení rozkazů agentům má hráč k dispozici ještě možnost řídit tok hry. Pomocí posuvníku lze hře nastavit rychlost. Každý agent po provedení své akce čeká na to, až svoje akce dokončí i ostatní agenti. Posuvníkem lze čas čekání navýšit a hru tím zpomalit. Pokud si hráč nepřeje hru ovládat v reálném čase, může ji pozastavit. Ovládání agentů je zcela funkční i když je hra zastavena. To se hodí především na začátku hry, kdy je potřeba přidělit rozkazy většímu množství agentů. Z tohoto důvodu hra také vždy začíná pozastavená. Hráč má ještě dispozici možnost hru krokovat a tahy provádět jednotlivě, bez ohledu na nastavenou rychlost. Kromě ovládacích prvků má hráč k dispozici ukazatele zobrazující tah, jméno a pozici vybraného agenta a celkový počet a stav agentů ve vězení.

6.2.2 Zobrazení

Všechny grafické prvky použité při vykreslování mapy se nacházejí ve složce *graphics*. Jedinou výjimkou je válečná mlha, která je vykreslena překrytím neviděných částí mapy tmavě

šedou barvou. Aby se zabránilo problikávání obrazu, je při vykreslování použita metoda dvojitého bufferování.

Všechny objekty v modelu mají svoji pozici určenou jedněmi souřadnicemi, nebo jejich dvojicí. Jeden bod herního prostředí pro potřeby zobrazování odpovídá jednomu pixelu obrazovky a z důvodu přehlednosti jsou tak objekty vykreslovány výrazně větší, než ve skutečnosti jsou. Při vykreslování jsou pak objekty vykreslovány přes sebe, v pořadí podle důležitosti. Nejprve pozadí, pak zdi, lampy, východy a nakonec agenti.

Z hlediska herních mechanik bylo potřeba zaručit, že hra bude snadno ovladatelná a intuitivní. Dosah agentů byl tedy zvolen tak, aby agenti byli schopni s objekty manipulovat ve chvíli, kdy to vypadá, že se jich dotýkají.

Všechny zdi mají šířku jednoho pixelu a jsou buď svislé, nebo vodorovné. Pokud se tedy agent ke zdi dostatečně přiblíží, může jeho část vykreslit na její druhé straně. Tento efekt je čistě grafický a nemá na herní mechaniky žádný vliv. K omezení tohoto grafického efektu byly uzly využitě při hledání cest umístěny v takové vzdálenosti od zdí aby to vypadalo, že se jim agenti vyhýbají. Alternativou k tomuto postupu by bylo v prostředí tvořit zdi jako ohraničené oblasti. To by ale vedlo k zhruba čtyřikrát většímu počtu zdí v modelu a u členitých map vedlo k nepřiměřeně velkému počtu výpočtů nutných pro hledání cesty a kontrole viditelnosti. Také by déle trvala tvorba takovýchto map.

6.2.3 Hledání cesty

Hledání cesty je implementováno algoritmem A*. Tento algoritmus se použije kdykoliv, kdy mezi agentem hledajícím cestu a jeho cílem neexistuje přímá spojnice. Součástí modelu mapy jsou uzly. Ty jsou vytvořeny při tvorbě souboru s mapou a jsou umístěny poblíž konců a rohů všech zdí. Uzly mapy, mezi kterými se nanchází žádná překážka, jsou spojeny cestami. Platí, že z libovolného místa na mapě je vždy vidět alespoň jeden uzel a všechny uzly tvoří jednu celistvou síť. Výjimkou je situace kdy se nachází několik bodů v jedné přímce, v tom případě jsou spojeny vždy pouze sousední body. Tím se snižuje počet cest a zvyšuje rychlost výpočtu, aniž by to snížilo možnosti agentů. To, které uzly na sebe navzájem vidí, a jaká je délka cest, je spočítáno předem při tvorbě mapy a uloženo v jejím modelu.

Pro hledání cesty modelem jsou kromě uzlů samotných zapotřebí ještě dva další body, pozice agenta a jeho cíl. Uzly jsou využívány pouze pro hledání cesty kolem zdí, a agent se může rozhodnout jít na libovolné souřadnice na mapě. Nejprve se určí, na které uzly agent ze své pozice vidí, z nich se stanou počáteční uzly s počáteční hodnotou rovnou jejich vzdálenosti od agentovy pozice. Místo toho, abychom do modelu mapy přidali další uzel s agentovou pozicí, tento virtuální uzel rovnou expandujeme. V druhém kroku pak provede to samé s agentovým cílem. Všechny uzly, ze kterých je vidět agentův cíl, si označíme jako koncové, a uložíme si u nich jejich vzdálenost od cíle. Ve třetím kroku všem uzlům spočítáme délku spojnice mezi nimi a cílovým uzlem, tuto hodnotu používáme při hledání cesty jako spodní odhad heuristiky. Ve čtvrtém kroku pak podle algoritmu A* expandujeme jednotlivé uzly tak dlouho, dokud nenajdeme cestu mezi agentovou pozicí a jeho cílem. Protože podle pravidel hry mapa musí tvořit jednu nepřerušovanou plochu a každý bod mapy je vidět z alespoň jednoho uzlu, cestu nalezneme vždy.

6.3 Inteligence

Návrh umělé inteligence je popsán v sekcích 5.2 a 5.3. Implementace byla provedena podle tohoto návrhu a zde se tak zaměřím pouze na věci, které se od něj nějak odlišují, nebo nebyly součástí návrhu. Všechny implementované inteligence se nacházejí ve složce *asl*.

Spolupracující agenti spolu komunikují. Protože je hra navržena tak, aby byla schopna běžet i v reálném čase, agent z časových důvodů nemůže v každém kole sdělovat ostatním agentům všechny svoje znalosti. Počet přenášených informací byl omezen dvěma způsoby. Za prvé, agent si pamatuje, komu sdělil jakou informaci a kdy. Agent pak vždy sděluje pouze nové informace. Za druhé, agent v každém kole sděluje pouze jednu informaci daného druhu. Pozici jedné lampy, jednoho východu a tak dále. Hra se tímto stává plynulejší a v rámci možností i reálnější.

Interní akce

Pro použití agenty bylo implementováno několik interních akcí sdružených do balíčku *prison_actions*. Interní akce jsou využity pro přístup ke konstantám prostředí a matematickým výpočtům, které by se v Jasonu obtížně implementovaly. Vytvořeny byly tyto interní akce:

- *getDistance* – Počítá vzdálenost mezi dvěma objekty.
- *getGameSpeed* – Zpřístupňuje agentům informaci o hráčem nastavené rychlosti hry.
- *getPrisonerSpeed* – Zpřístupňuje vězňům informaci o tom, jakou rychlostí se mohou hýbat.
- *getRandomNearPos* – Vrací dvojici náhodných čísel, představujících souřadnice. Rozsah hodnot je omezen na blízké okolí agenta.
- *getRandomX* – Vrací náhodné číslo od nuly do šířky mapy, použito při přesunu na náhodnou pozici.
- *getRandomY* – Vrací náhodné číslo od nuly do výšky mapy, použito při přesunu na náhodnou pozici.
- *getSafeSpot* – Vrací pozici je směrem od objektu, s ohledem na okraje mapy. Funkce je použita slepě utíkajícími vězni.
- *getSafeSpotShifted* – Vrací pozici, která je směrem od objektu, s ohledem na okraje mapy a směr, kterým se agent rozhodl vydat. Funkce je použita utíkajícími vězni.
- *inRange* – Počítá, jestli je objekt v agentově dosahu.
- *inSight* – Počítá, jestli je objekt v agentově dohledu.
- *splitPrison* – Vrací souřadnice úseku mapy. Funkce je použita agenty kteří si spolu rozdělují věznici na části.
- *splitPrisonPos* – Vrací náhodnou pozici v určeném úseku věznice.

6.3.1 Vězni

U vězňů byla implementována nultá úroveň inteligence použitá v situaci, kdy je tým vězňů ovládán hráčem. Tato inteligence nemá implementováno žádné uvažování a chová se zcela reaktivně. Vězeň se přesouvá na pozice určené hráčem, pokud se zastaví u rozsvícené lampy zhasne ji, pokud se vězeň zastaví u východu uteče z věznice. Pokud vězeň nemá žádné rozkazy a není v dosahu žádného objektu, který by mohl použít, tak čeká na rozkazy.

Inteligence nespolupracujících vězňů je implementována podle návrhu. Vězni prchají před dozorcí, utíkají z věznice, zhasínají lampy a prozkoumávají věznici. Nespolupracující vězni neberou na svoje kolegy žádný ohled.

U mírně a komplexně spolupracujících inteligence byla taktika schovávání se nahrazena taktikou rozprchnutí se. Schovávání bylo navrženo pro situace kdy skupinka více vězňů potká jednoho dozorce. Nejvíce ohrožený vězeň se měl obětovat a dozorce na sebe nalákat. Ostatní vězni by se zatím schovali a počkali až se dozorce vzdálí z dohledu. Ke změně došlo proto, že dozorcí si nemusejí za cíl svého pronásledování zvolit toho vězně, kterého vězni považují za nejbližšího. Skupinky vězňů a dozorců mají ve stejnou chvíli rozdílné informace o situaci. Dozorce nemusí vědět o některých vězních ve skupince a pokud je dozorců několik, můžou si jako cíl svého pronásledování zvolit několik vězňů zároveň. Schovávání tak bylo nahrazeno rozprchnutím se všech vězňů do různých směrů. Vězni, kteří zůstanou pronásledováni utíkají podle původního návrhu a vězni, kteří pronásledováni nejsou se po krátkém útěku dostanou z dohledu dozorců a jsou v bezpečí tak, jak bylo původně zamýšleno.

U komplexně spolupracujících vězňů nebylo implementováno vytváření únikových skupin. Podle původního návrhu skupinky agentů, kteří vědí o cíli, měli vytvořit skupinu a společně postupovat směrem k východu, aby tím zvýšili šance, že se alespoň někteří z nich z věznice dostanou. Při testech prováděných při tvorbě komplexní inteligence se ale ukázaly dvě věci. Za prvé, když se skupinka vrátí z průzkumu, všichni agenti jsou na stejné pozici a vědí o stejných východech, takže si vždy vyberou stejný východ, ke kterému chtějí jít, a půjdou stejnou cestou. Za druhé, taktika obětování jednoho agenta nefunguje z důvodů popsaných v předchozím odstavci. Všichni agenti se musejí rozprchnout do různých směrů a nevědí při tom, kdo z nich bude pronásledován. Pokoušet se v takovéto situaci znovu obnovit skupinu by nemělo smysl, protože se při útěku mohli vězni přiblížit k jiným cílům nebo se dostat do pozice, ze které k jim zvolenému cíli existuje bližší cesta. Vracet se na místo, odkud vězeň utekl, by tak bylo kontraproduktivní.

6.3.2 Dozorcí

Obdobně jako u vězňů, i u dozorců byla implementována nultá úroveň inteligence. Její účel i chování jsou obdobné, dozorce rozsvěcuje lampy a chytá vězně, ke kterým se přiblíží, chodí kam mu hráč určí, a pokud nemá kam jít, tak čeká na rozkazy.

Inteligence nespolupracujících dozorců je implementována podle návrhu. Dozorcí pronásledují vězně a pokud se jim podaří se dostatečně přiblížit, tak je i polapí. Protože jsou dozorcí pomalejší než vězni, k polapení dochází ve třech případech.

- Dozorcí schovanému za zdí se podaří vězně překvapit a ve chvíli, kdy jej vězeň poprvé spatří, je již příliš pozdě utíkat.
- Vězeň při útěku narazí na jiného dozorce, je sevřen do kleští a nemá kam utéct.
- Vězeň se při útěku dostane do slepé uličky.

U mírně a komplexně spolupracujících dozorců bylo rozdělování vězňů implementováno následujícím způsobem. Každý dozorce si vězně, kterého pronásleduje, označí jako pronásledovaného. Pokud se dva dozorcí potkají a mají označeného stejného vězně, ten z nich, který to má k němu dál, svoje pronásledování vzdá a dozorce, který je k vězni blíže, v pronásledování pokračuje. Pokud jsou v dohledu další vězni, dozorce, který s pronásledováním přestal, si vybere nový cíl. Jakmile má každý dozorce zvolenu svoji oběť, tak již nedochází k dalšímu přerozdělování. Vězeň je poté pronásledován stále stejným dozorcem, bez ohledu na to, ke kterému z nich se nejvíce přiblíží. Vězeň může být polapen libovolným dozorcem bez ohledu na to, kým je pronásledován, a všichni dozorcí vždy využijí příležitosti polapit vězně bez ohledu na to, jestli jej pronásledují, nebo nikoliv.

Rozdělování věznice a hlídání východů bylo u komplexně spolupracujících dozorců implementováno tak, že pokud dozorce spatří nehlídaný východ z věznice, přestává s jejím prozkoumáváním a začíná s hlídáním východu. Oproti návrhu dozorce nečeká na to až bude v blízkosti jiný dozorce. Tato změna byla provedena protože v testech provedených při implementaci komplexní inteligence se ukázalo, že se vězni nemohou těmto východům úmyslně vyhnout. Vězni i dozorcí mají stejný dohled, a ve chvíli, kdy vězeň zjistí, že je východ hlídán, dozorce ho vidí taky a bude ho pronásledovat. Nemůže se tedy stát, že by se vězni dozorcům úmyslně zcela vyhnuli a věznici opustili nehlídaným východem. Rozdělování věznice na úseky pro účely hlídkování bylo omezeno na dvojice. Z důvodu změny v hlídání východů dozorcí s hlídkováním přestávají mnohem častěji, než se předpokládalo. Dělit tak věznici mezi velké skupiny dozorců nemá smysl, protože velké skupiny se velice rychle rozpadnou.

6.4 Známé chyby

Při testování hry bylo objeveno několik chyb. Chyby se vyskytují zdánlivě náhodně a všechny jsou řešitelné restartem hry.

- Dozorce s mírně nebo komplexně spolupracující inteligencí se občas zasekne na pozici rozsvícené lampy, následkem je nehybný dozorce a velice zpomalená hra. Dozorce se odsekne ve chvíli kdy spatří vězně.
- Vězeň se při útěku může zaseknout na kraji zdi. Tato chyba se neprojevuje příliš často, protože vězeň je většinou záhy chycen pronásledujícím dozorcem. Pokud se vězni podaří přežít, odsekne se ve chvíli kdy spatří dozorce.
- Ve chvíli, kdy dozorce chytá vězně, hra se může na chvíli zpomalit.
- Spolupracující vězni se občas pokoušejí komunikovat s již odstraněnými kolegy. Jelikož odstraněný vězeň nemůže vykonávat žádné akce, tato chyba na hru samotnou nemá žádný vliv.

Kapitola 7

Testy

Tato kapitola popisuje, jak byla implementace otestována. Definice map použitých při testech jsou součástí přílohy. Při testech se měnily mapy a použité inteligence. Výsledky všech testů jsou uvedeny ve formátu počet vězňů kteří z vězení utekli, pomlčka, počet vězňů kteří byli chyceni. K testování byl použit notebook značky Hewlett-Packard model HP 635, s dvoujádrovým procesorem 2.3GHz, 4GB RAM, OS Windows 7 64bit. Testy proběhly v několika fázích. Nastavení konstant programu popsanych v sekci 6.1, bylo při všech testech následující.

- *agent_speed* – 10
- *bonus_movement* – 1
- *sight_range* – 80
- *lamp_range* – 120
- *agent_reach* – 20

7.1 Rozestavení agentů

Protože jsou týmy vězňů a dozorců asymetrické, navrhnout mapu, která by oběma týmům poskytovala stejnou šanci na vítězství, není triviální záležitost. Cílem první fáze testování je tedy vytvoření takových map, ze kterých se i při opakovaných testech podaří utéct zhruba polovině vězňů. Protože příprava mapy je výrazně náročnější, než změna počtu a pozic agentů, bude rozestavení zdí, lamp a východů vždy stejné, a měnit se bude rozestavení agentů. Při všech testech v této sekci byly použity pouze nespolupracující inteligence, které bereme jako základ. Ostatní inteligence budou vůči nespolupracujícím inteligencím porovnány v následující sekci.

Bylo navrženo šest testovacích map. Každá má svoje specifika, klade důraz na jiné schopnosti a poskytuje různé možnosti, jak mohou agenti využít schopnosti spolupracovat. Agenti jsou rozestaveni tak, aby se při použití nespolupracujících inteligencí podařilo uniknout polovině vězňů a vliv spolupráce tak byl dobře pozorovatelný. Použité mapy jsou vyobrazeny v příloze A, detailní soupis všech testů provedených v této sekci je v příloze B. Zde jsou popsána specifika map a jejich výrazné vlastnosti.

Na každé mapě bylo provedeno pět testů. Počet vězňů kterým se v rámci všech pěti testů podařilo uniknout byl sečten. Pokud se počet vězňů, kterým se v rámci všech pěti testů

podařilo uniknout, lišil od požadovaného stavu o jedna nebo vůbec, byla mapa schválena jako spravedlivá. Pokud se počet uniklých vězňů lišil o více jak jednoho vězně, bylo změněno rozestavení a počet agentů. Pokud se zvětší počet vězňů, zvýší se i poměr těch, kterým se podařilo utéct, protože dozorcí nemohou honit více vězňů současně. Zvýšení počtu dozorců pak samozřejmě vede ke zvýšenému počtu chycených vězňů.

Labyrint

Velké množství slepých uliček poskytuje dozorcům příležitost, jak vězně snadno polapit. Vězni na druhou stranu mají k dispozici okruh obepínající celou mapu, kde mohou naplno využít svoji vyšší rychlost a utéct pronásledujícím dozorcům. Okraj mapy je tedy pro vězně relativně bezpečným místem kam utéct, když potkají dozorce v nebezpečném středu.

Počet vězňů a dozorců byl přizpůsoben designu mapy. Nízký počet dozorců nutí hráče používat dozorce jednotlivě a k chycení vězňů využít vlastnosti prostředí. Protože jediný východ z mapy se nachází v jejím středu, budou se zde dozorcí koncentrovat, dělajíce střed mapy ještě nebezpečnějším. Protože počet východů z mapy není hráči na začátku hry znám, nemůže zde však se svými dozorcí čekat, a riskovat, že vězni uniknou jiným východem, o kterém na začátku hry neví. Počet vězňů byl nastaven, tak aby odpovídal počtu dozorců. Všichni agenti jsou rozestaveni do skupin, aby se schopnosti spolupracujících agentů mohly snadno projevit.

Testy ukázaly, že tato mapa je s průměrnou délkou hry 364,4 kol ze všech map tou nejpomalejší. Příčinou je to, že vězni zde mohou hrát velice opatrně. Pokud vězni narazí na nebezpečí, stahují se na vnější okruh, kde mohou strávit desítky kol utíkaním před pronásledujícími dozorcí, než se znovu odhodlají vrátit se k prozkoumávání středu mapy.

Pacman

Design této mapy je inspirován hrou Pacman. Jde o nejmenší mapu s největší hustotou agentů a s největší početní převahou vězňů. Velký počet krátkých zdí poskytuje spoustu možností pro skrývání. Dobře osvětlené a snadno naležitelné východy pak poskytují snadno dosažitelnou cestu ven. Pronásledování je na této mapě vždy velice krátké, vězeň se buď snadno ztratí, nebo narazí na do poslední chvíle neviděného dozorce.

V souladu s originální hrou Pacman jsem se snažil mít na mapě čtyři dozorce, ale testy prokázaly, že čtyři dozorcí jsou na takto malé mapě příliš mnoho a i při velmi vysoké početní převaze vězňů se jich dozorcům pochyťat příliš mnoho. Počet dozorců tak byl snížen na tři. I tak je však mapa velice akční a chytání vězňů poměrně snadné.

Pyramida

Tato mapa obsahuje velké množství dlouhých rovných koridorů a špatnou viditelnost. Agenti začínají ve dvojicích, aby se dobře projevil vliv spolupráce. Dalším výrazným rysem této mapy je, že východy umístěné v rozích se dají špatně najít a ani vězni, ani dozorcí na začátku neznají jejich polohu. Vliv spolupráce, především při prohledávání, by tak na této mapě měl být velice výrazný.

Testy ukázaly, že dlouho trvá, než se spolu oba týmy poprvé potkají. Malý počet křižovatek pak způsobuje snadné nahánění vězňů do kleští mezi dva dozorce a to i když spolu tito nijak přímo nespolupracují. Pokud se vězňům podaří dostat se z pyramidy ven, na východ z mapy většinou narazí náhodou, v rámci úniku před pronásledujícími dozorcí.

Ruiny

Výrazně asymetrická mapa s velkým množstvím volných prostranství a východů, které se dají snadno najít. Zároveň jde o mapu s největším počtem dozorců, který kompenzuje nízký počet překážek v prostředí. Vysoký počet dozorců a nízký počet překážek mezi vězni a východy by měl mít za následek, že mapa bude velice rychlá. Důsledkem čehož by mělo být i omezení vlivu spolupráce agentů.

Testy prokazují, že skutečně jde o nejrychlejší mapu, s průměrnou délkou hry 140,2 kol. Kromě nízké členitosti je to způsobeno i rozestavením vězňů mezi dvě linie dozorců. Zatím co dozorcí obkličují jednu část vězňů, druhé se zpravidla podaří proklouznout k východu.

Ulice

Tato mapa poskytuje hodně možností k pohybu, ale na rozdíl od mapy *Labyrinth* neposkytuje možnost nekonečného utíkání. Dozorcí a vězni zde začínají daleko od sebe. Špatná průchodnost a dobré osvětlení předělu mezi pravou a levou částí mapy výrazně omezuje pohyblivost vězňů v pozdních fázích hry. Mezi vězni a dozorcí je však na začátku hry velká mezera a mají tak možnost se na začátku hry přesunout.

Vězni v levé části mapy mají k dispozici jediný východ hlídaný jediným dozorcem, a jsou v oblasti s podmínkami špatnými pro manévrování. Potřebují se k východu dostat rychle, dříve než dorazí více dozorců a oblast se tak stane velice nebezpečnou. Vězni v pravé části mají k dispozici hodně prostoru, ale budou mít potíže s hledáním východu.

Zahrada

Velice členitá mapa s velkým množstvím východů. Osvětlené prostory, které nikam nevedou vězňům efektivně blokují výraznou část mapy. Dalším výrazným znakem je, že mapa teoreticky umožňuje všem vězňům uniknout dříve, než se je dozorcům vůbec podaří vypátrat. To by však od vězňů vyžadovalo, aby od začátku znali rozestavení mapy. Nárok je zde tak kladen především na schopnost dozorců rozdělit si práci a jednat dříve, než vězni na mapě zorientují.

7.2 Porovnání inteligencí

Na mapách připravených v předchozí sekci proti sobě obě byly zkoušeny různě spolupracující inteligence. Předpokladem je, že více spolupracující agenti dosahují lepších výsledků, a že čím větší je počet agentů v týmu, tím větší má míra spolupráce na výsledek vliv. To, do jaké míry se vliv spolupráce projeví, by mělo záviset i na použité mapě a inteligence tak budou hodnoceny podle souhrnného výsledku ze všech map.

Na šesti mapách bylo vyzkoušeno 9 možných kombinací inteligencí vězňů a dozorců. Každá dvojice byla na každé mapě zkoušena pětkrát. Kombinace nespolečných vězňů proti nespolečným dozorcům již byla otestována v předchozí fázi. Výsledky jsou pro potřeby této fáze testování převzaty. Detailní popis výsledků jednotlivých testů je součástí přílohy C. Zde je umístěna pouze tabulka s celkovými výsledky.

Testy uvedené v tabulce 7.1 ukázaly, že na různých mapách se vliv spolupráce projevuje různě výrazně. Mapa *Labyrinth* v souladu s očekáváním, nedala spolupracujícím agentům příliš možností se projevit, nízký počet agentů rozprostřený na velké mapě a vysoký počet slepých uliček kladly důraz spíše na individuální schopnosti agentů, než na jejich komunikaci. Na mapě *Pacman* se i přes malý počet dozorců inteligenci podařilo využít nízkého

| nespolupracující vězni | | | |
|------------------------|--------------------|---------|-----------|
| použitá mapa | spolupráce dozorců | | |
| | žádná | mírná | komplexní |
| Labyrint | 14–16 | 7–23 | 15–15 |
| Pacman | 25–25 | 28–22 | 13–37 |
| Pyramida | 20–20 | 14–26 | 17–23 |
| Ruiny | 25–25 | 26–24 | 25–25 |
| Ulice | 26–24 | 25–25 | 12–38 |
| Zahrada | 20–20 | 20–20 | 16–24 |
| celkem | 130–130 | 120–140 | 98–162 |

| mírně spolupracující vězni | | | |
|----------------------------|--------------------|---------|-----------|
| použitá mapa | spolupráce dozorců | | |
| | žádná | mírná | komplexní |
| Labyrint | 13–17 | 16–14 | 14–16 |
| Pacman | 32–18 | 27–23 | 15–35 |
| Pyramida | 8–32 | 7–33 | 13–27 |
| Ruiny | 23–27 | 31–19 | 29–21 |
| Ulice | 28–22 | 20–30 | 25–25 |
| Zahrada | 14–26 | 9–31 | 17–23 |
| celkem | 118–142 | 110–150 | 113–147 |

| komplexně vězni | | | |
|-----------------|--------------------|---------|-----------|
| použitá mapa | spolupráce dozorců | | |
| | žádná | mírná | komplexní |
| Labyrint | 9–21 | 14–16 | 9–21 |
| Pacman | 28–22 | 26–24 | 20–30 |
| Pyramida | 7–33 | 9–31 | 7–33 |
| Ruiny | 28–22 | 18–32 | 22–28 |
| Ulice | 23–27 | 20–30 | 18–32 |
| Zahrada | 8–32 | 19–21 | 21–19 |
| celkem | 103–157 | 106–154 | 97–163 |

Tabulka 7.1: Porovnání inteligencí - Shrnutí.

počtu těžko přístupných východů a výhoda spolupráce projevila velice silně. Na mapě *Pyramida* se schopnost spolupráce projevila u vězňů a dozorců velice odlišně. Vliv spolupráce dozorců byl velmi malý, vliv spolupráce vězňů naopak velmi velký. Předpokládám, že tato asymetričnost je způsobena rozestavením startovních pozic. Vězni umístění ve středu ke svému úspěchu spolupráci potřebují, dozorcí umístění na krajích však ne. Na mapě *Ruiny* byl vliv spolupráce i přes velkou počet dozorců mizivý, mapa byla příliš rychlá na to, aby se výhoda spolupráce stačila projevit. Mapa *Ulice* ukázala významný rozdíl mezi mírně a komplexně spolupracujícími inteligencemi dozorců, pravděpodobnou příčinou tohoto jevu je schopnost komplexní inteligence ohlídat významný východ v levé části mapy dostatečně dlouho na to, aby z pravé části mapy dorazily posily. Mapa *Zahrada*, vykazuje velké rozdíly především mezi inteligencemi vězňů, Pravděpodobnou příčinou je velká skupinka vězňů ve středu mapy, která umožňuje spolupráci se snadno projevit. Z těchto výsledků usuzuji, že rozestavení mapy a počáteční pozice agentů mají na význam spolupráce větší vliv, než počet agentů v týmu.

Inteligence dozorců se chová podle očekávání a více spolupracující dozorcí mají v průměru lepší výsledky než nespolečující. Celkový počet chycených vězňů napříč všemi mapami a všemi inteligencemi vězňů je 429 pro nespolečující, 444 pro mírně spolupracující a 472 pro komplexně spolupracující dozorce. Dozorcí se tak chovají podle očekávání a prokazují, že spolupráce poskytuje kladné výsledky.

Překvapením je chování inteligence vězňů. Celkový počet uniklých vězňů, napříč všemi mapami a všemi inteligencemi dozorců je 348 pro nespolečující, 341 pro mírně spolupracující a 306 pro komplexně spolupracující vězně. Oproti všem předpokladům tedy více spolupracující vězni mají horší výsledky než vězni nespolečující.

Tento zdánlivě paradoxní výsledek je pravděpodobně způsoben omezeními v komunikaci agentů. Aby spolu mohli vězni komunikovat a spolupracovat, musí se nacházet blízko u sebe. Pokud na ně pak narazí dozorce, má šanci chytit oba vězně zároveň. Tento efekt je ještě umocněn u komplexně spolupracujících vězňů, kteří se scházejí i úmyslně. Výhody spolupráce jsou tak zastíněny nevýhodami vzešlymi ze vztahu mezi vězni a dozorcí.

7.3 Hra proti člověku

Poté, co jsme se ujistili, že počítačem řízení agenti dokáží plnit svůj účel, ověříme jejich schopnost v porovnání s živým protivníkem. Hráčům byla vysvětlena pravidla a měli možnost si zahrát hru na několika zkušebních mapách, které v tomto testu nebudou použity. Při testu budou hráči soupeřit s počítačem v rámci dříve vytvořených spravedlivých map. Protože průzkum mapy je významnou součástí celé hry, bude každý z hráčů na každé mapě hrát pouze jednou. Očekáváme, že bez ohledu na typ mapy a protivníka si někteří hráči kvůli svým zkušenostem s počítačovými hrami povedou lépe než ostatní. Aby byl vliv rozdílu mezi schopnostmi hráčů co nejvíce omezen, bude každý z hráčů hrát proti každému protivníkovi právě jednou.

Předpokládáme, že výsledky budou obdobné jako při hře počítače proti počítači. Při hře za vězně předpokládáme u hráčů tím horší výsledky, čím více spolu budou dozorcí spolupracovat. V souladu s testy provedenými v předchozí sekci pak předpokládáme, že při hře za dozorce budou hráči mít tím lepší výsledky, čím více spolu budou vězni v týmu počítače spolupracovat. Pamatovat musíme také na to, že hráči mají vůči počítači výhodu centrálního řízení a informace, které se dozví jeden agent, mohou okamžitě použít i ostatní. Předpokládáme tak, že si hráči povedou výrazně lépe než počítač.

| hráč | úroveň spolupráce | | | | | |
|--------|-------------------|-------|--------|---------|-------|--------|
| | vězni | | | dozorci | | |
| | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| hráč 1 | 0–6 | 0–10 | 2–6 | 10–0 | 10–0 | 7–1 |
| hráč 2 | 1–7 | 1–5 | 2–8 | 8–0 | 7–3 | 6–4 |
| hráč 3 | 2–8 | 0–8 | 1–5 | 7–3 | 7–1 | 8–2 |
| hráč 4 | 4–6 | 2–8 | 1–7 | 5–1 | 7–3 | 6–2 |
| hráč 5 | 1–7 | 2–8 | 1–9 | 7–1 | 6–0 | 8–2 |
| hráč 6 | 1–9 | 0–8 | 0–10 | 10–0 | 7–1 | 4–2 |
| celkem | 9–43 | 5–47 | 7–45 | 47–5 | 44–8 | 39–13 |

| hráč | mapa na které se hráč s inteligencí utkal | | | | | |
|--------|---|----------|----------|----------|----------|----------|
| hráč 1 | Labyrint | Pacman | Pyramida | Ruiny | Ulice | Zahrada |
| hráč 2 | Zahrada | Labyrint | Pacman | Pyramida | Ruiny | Ulice |
| hráč 3 | Ulice | Zahrada | Labyrint | Pacman | Pyramida | Ruiny |
| hráč 4 | Ruiny | Ulice | Zahrada | Labyrint | Pacman | Pyramida |
| hráč 5 | Pyramida | Ruiny | Ulice | Zahrada | Labyrint | Pacman |
| hráč 6 | Pacman | Pyramida | Ruiny | Ulice | Zahrada | Labyrint |

Tabulka 7.2: Výsledky souboje člověka s počítačem.

V souladu s předpoklady testy uvedené v tabulce 7.2 ukázaly, že bez ohledu na protivníka má zkušenost hráče na výsledek velký vliv. Při hře proti vězňům se vliv spolupráce nijak významně neprojevil. Při hře proti dozorcům se význam spolupráce projevila a v souladu s předpoklady hráči hrající proti více spolupracujícímu protivníkovi dosahují horších výsledků. Komplexně spolupracující dozorců jsou jedinou inteligencí proti které se žádnému z hráčů na žádné mapě nepodařilo uniknout se všemi vězni.

Ani v jedné z odehraných her se žádné inteligenci nepodařilo zvítězit ani remizovat. To, že si hráči povedou lépe než počítač, se očekávalo. Takto drtivé vítězství ale nikoliv. Centrální zpracování informací tak má ještě větší význam, než se čekalo. Počítač je tak vůči člověku příliš znevýhodněn na to, aby mu mohl být rovným soupeřem.

7.4 Výkonnost

V poslední sérii testů budeme sledovat časovou náročnost uvažování agentů. Spolupráce agentů vyžaduje, aby spolu mohli komunikovat. To vyžaduje, aby na sebe vzájemně dohlédli. Časovou náročnost tedy na standardních mapách nejde spolehlivě otestovat. Pro testy výkonnosti bude použita speciální mapa o rozměru 200 na 200 jednotek, která neobsahuje žádné prvky prostředí, které by mohly komunikaci blokovat. Všichni agenti začínají v jejím středu a nejsou ve svojí komunikaci nijak omezeni vzdáleností. Aby se snížil počet vedlejších faktorů ovlivňujících délku výpočtu, bude v průběhu testů vypnuto vykreslování.

Testováno bude jedna až deset vězňů a dozorců všech úrovní spolupráce. Vězni i dozorců budou testováni samostatně. Hra bude puštěna po dobu jednoho tisíce tahů, měřenou veličinou je průměrná doba výpočtu jednoho kola. Předpokládaným výsledkem je, že u nespolečupracujících agentů poroste doba výpočtu lineárně. U spolupracujících agentů se z důvodu komunikace každý s každým očekává nárůst kvadratický. Dále se očekává, že komplexně spolupracující agenti budou kvůli svému složitějšímu rozhodování pomalejší, než agenti

spolupracující pouze mírně. Tabulka s naměřenými hodnotami je umístěna v příloze D.1.

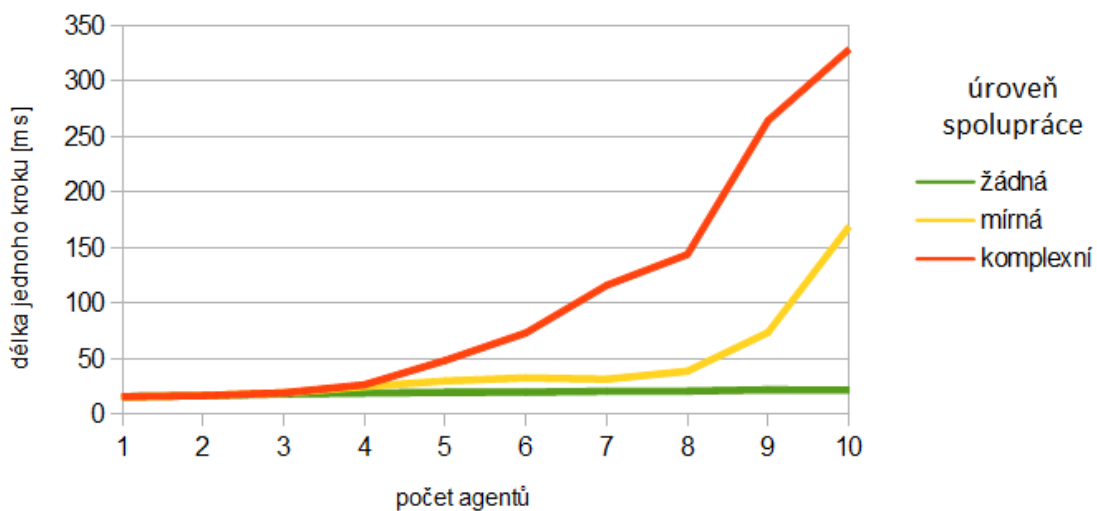
Provedené testy vynesené v grafech 7.1 a 7.2 ukazují, že základní doba tahu je na použití stroji zhruba 15ms. S rostoucím počtem agentů pak roste i množství času, který agenti potřebují na rozhodnutí. V souladu s předpoklady je u nespolupracujících vězňů i dozorců pozorován lineární nárůst potřebného času. U spolupracujících dozorců je nárůst potřebného času kvadratický a komplexněji uvažující agenti se rozhodují pomaleji. U spolupracujících vězňů je nárůst potřebného času mnohem výraznější, než u dozorců a má kvadratický charakter. Liší se tak od předpokládaného výsledku.

Pravděpodobnou příčinou tohoto chování je množství dat, které si vězni a dozorcí o prostředí uchovávají. Dozorcí se nesnaží prohledat celé vězení a nepamatují si tak navštívená prázdná místa. Při spolupráci tak spolu dozorcí sdílejí méně informací. Pro ověření této hypotézy bude provedena další sérii testů. Skupina pěti různě spolupracujících agentů bude testována na rozdílně velkých mapách. Předpokladem je, že u dozorců nebude mít změna velikosti mapy žádný vliv. U nespolupracujících vězňů se u větších map očekává mírný nárůst. U spolupracujících vězňů se s nárůstem velikosti mapy očekává výrazný nárůst. Na všech mapách budou použity týmy pěti agentů. Tabulka s naměřenými hodnotami je umístěna v příloze D.2. Pro testy je použit stejný notebook jako dříve.

Testy vynesené v grafech 7.3 a 7.4 ukázaly, že velikost mapy nemá na rychlost rozhodování dozorců žádný pozorovatelný vliv. Stejně tak ani rychlost rozhodování nespolupracujících vězňů není velikostí mapy nijak ovlivněna. U spolupracujících vězňů je dle očekávání vliv velikosti mapy velice výrazný. Je tedy dokázáno, že množství informací které agenti uchovávají a vzájemně sdílejí ovlivňuje rychlost rozhodování.

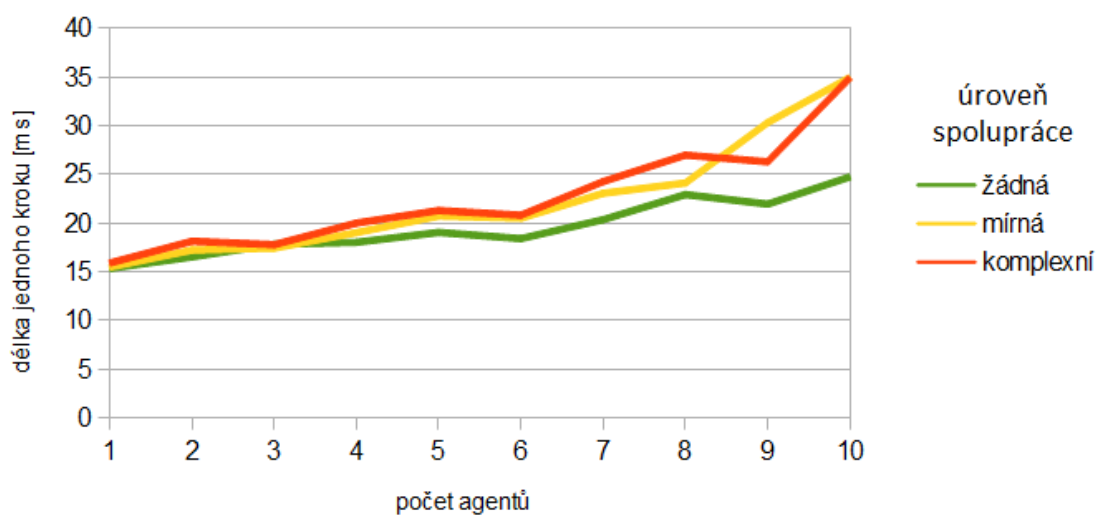
Pro úplnost je třeba dodat, že standardně je komunikace omezena členitostí mapy a dohledem. Na mapě se tak může nacházet velké množství vězňů bez toho, aby docházelo k nepříjemně dlouhému čekání, než se agenti rozhodnou, co dělat.

Časová náročnost - Vězni

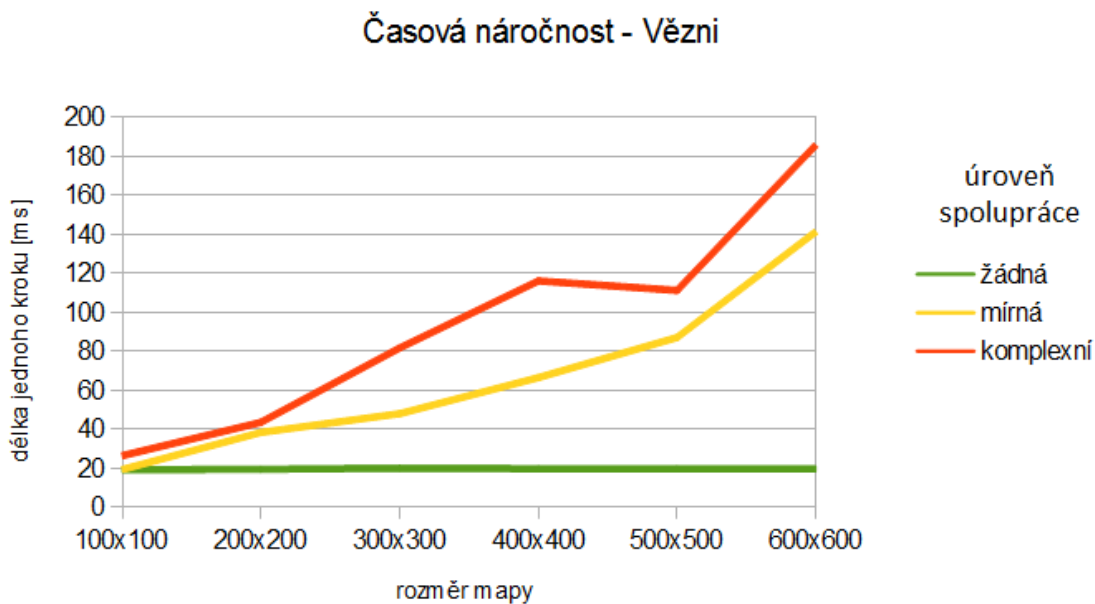


Obrázek 7.1: Časová náročnost rozhodování vězňů v závislosti na počtu agentů.

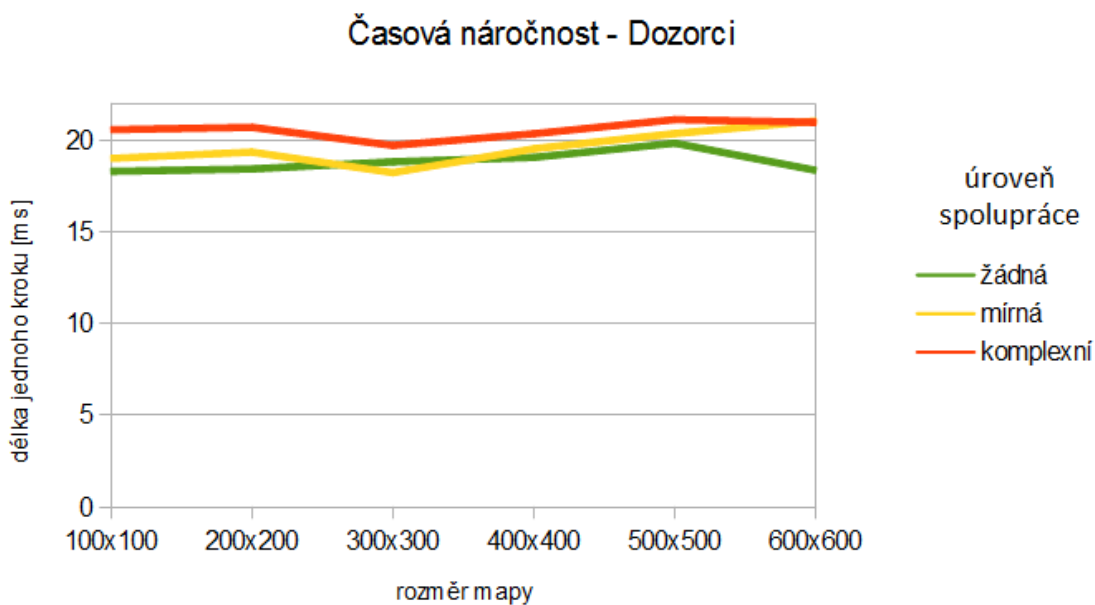
Časová náročnost - Dozorci



Obrázek 7.2: Časová náročnost rozhodování dozorců v závislosti na počtu agentů.



Obrázek 7.3: Časová náročnost rozhodování vězňů v závislosti na velikosti mapy.



Obrázek 7.4: Časová náročnost rozhodování dozorců v závislosti na velikosti mapy.

Kapitola 8

Závěr

Cílem této práce bylo vytvořit kooperativní hru, ve které by mohl hrát člověk proti počítači, nebo dva počítače proti sobě. Součástí tvorby hry bylo navržení multi-agentního systému s inteligentními agenty schopnými několika úrovní spolupráce, jejich důkladné otestování a porovnání jejich úspěšnosti.

V rámci práce byla vytvořena hra *Útěk z vězení*, která proti sobě staví dva asymetrické týmy vězňů a dozorců. Hra je situována do podoby věznice a je silně takticky zaměřena. Zatím co vězni se snaží z věznice dostat, dozorcí se jim v tom snaží zabránit. Od hráče vyžaduje prozkoumávání herního prostředí a využití dostupných jednotek bez možnosti jejich obnovy. Hra poskytuje možnost volného pohybu agentů a implementuje systém viditelnosti založený na skrývání se za překážkami prostředí a osvětlení.

Pro oba týmy byly vytvořeny tři režimy inteligentního chování lišící se mírou své spolupráce a čtvrtý režim použitý pro ovládání člověkem. V prvním režimu spolu agenti nespolupracují vůbec a snaží se svého cíle dosáhnout každý sám za sebe. V druhém režimu spolu sdílejí informace a ve chvíli, kdy mohou komunikovat, spolu spolupracují. V třetím režimu agenti tvoří dlouhodobé plány a spolupracují tak spolu i ve chvíli, kdy spolu nemohou komunikovat.

Pro hru bylo vytvořeno a otestováno šest map poskytujících oběma týmům rovnou šanci na úspěch. Na těchto mapách pak proti sobě bylo otestováno šest implementovaných inteligencí, a bylo vyvozeno několik skutečností. Vliv spolupráce agentů je silně ovlivněn rozestavením mapy, čím větší je členitost mapy a průměrná délka hry, tím má spolupráce agentů větší vliv. Počet agentů má na význam spolupráce pouze minimální vliv. U spolupracujících inteligencí roste s počtem agentů kvadraticky i množství času potřebné na jejich rozhodování. Projevuje se pouze ve chvílích, kdy jsou agenti schopni spolu komunikovat.

U týmu dozorců je vliv spolupráce kladný. Ve shodě s předpoklady platí, že čím více dozorcí spolupracují, tím lepších dosahují výsledků. V závislosti na použité mapě se komplexně spolupracujícím dozorcům daří pochyťat až tři čtvrtiny vězňů v porovnání s jednou polovinou běžnou u dozorců nespolupracujících. Napříč všemi mapami jde pak o desetiprocentní nárůst.

U týmu vězňů je vliv spolupráce záporný. Navzdory předpokladu platí, že čím více vězni spolupracují, tím horších jsou jejich výsledky. Komplexně spolupracující inteligenci se daří z věznice dostat o dvanáct procent méně vězňů než inteligenci nespolupracující. Tento efekt je pravděpodobně způsoben tím, že aby mohli vězni spolupracovat, musejí se nacházet ve stejné oblasti a dozorcí je tak mohou snadněji pochyťat. Předpokládaný pozitivní vliv spolupráce je tak zastíněn.

Při hře člověka proti počítači se ukázalo, že počítačový protivník se skutečným hráčem

nemůže měřit a všechny testy skončily pro počítač drtivou porážkou. Je však potřeba brát v potaz fakt, že na rozdíl od počítače, hráč ovládá agenty centrálně. Informace získané jedním agentem hráč může použít pro řízení všech agentů a je tedy oproti počítači nespravedlivě zvýhodněn.

Hra je navržena tak, aby její principy byly snadno pochopitelné, a hráč nemusel strávit mnoho času učení se jejích pravidel. Díky této jednoduchosti by hra šla použít jako základ pro vývoj mnoha dalších her. Zde je několik způsobů jak by pravidla jak by ji šlo do budoucna rozvinout.

- *Nové herní prvky* – Prostředí věznice by šlo rozšířit o prvky jako zamykatelné dveře, okna blokující pohyb ale ne dohled, nebo přemístitelné barikády které by umožňovaly změnit rozestavení věznice v průběhu hry.
- *Hra více hráčů* – Přidání možnosti hry po síti by hráčům umožnilo hrát proti sobě navzájem a výrazně zlepšilo herní zážitek.
- *Uživatelské rozhraní* – Uživatelské pohodlí by šlo zvýšit přidáním možnosti udělovat rozkazy více agentům najednou.
- *Editor map* – Hra v současnosti hráčům umožňuje tvořit si vlastní mapy pomocí editace textových souborů ve kterých jsou mapy uloženy. Grafický editor by tvorbu nových map hráči velice zpříjemnil i usnadnil.
- *Rozšíření komunikace agentů* – Jak se ukázalo na výsledcích testů inteligence vězňů, výhody spolupráce jsou omezeny požadavky kladenými na to, aby spolu agenti mohli komunikovat. Odstranění těchto omezení by znamenalo velký zásah do pravidel hry, ale umožnilo vytvořit mnohem efektivnější systém spolupráce.
- *Nastavitelnost pravidel hry* – Hra by hráči mohla umožňovat upravit si pravidla hry, jako například rychlost nebo dohled agentů, a vytvořit si tak vlastní herní zážitek.

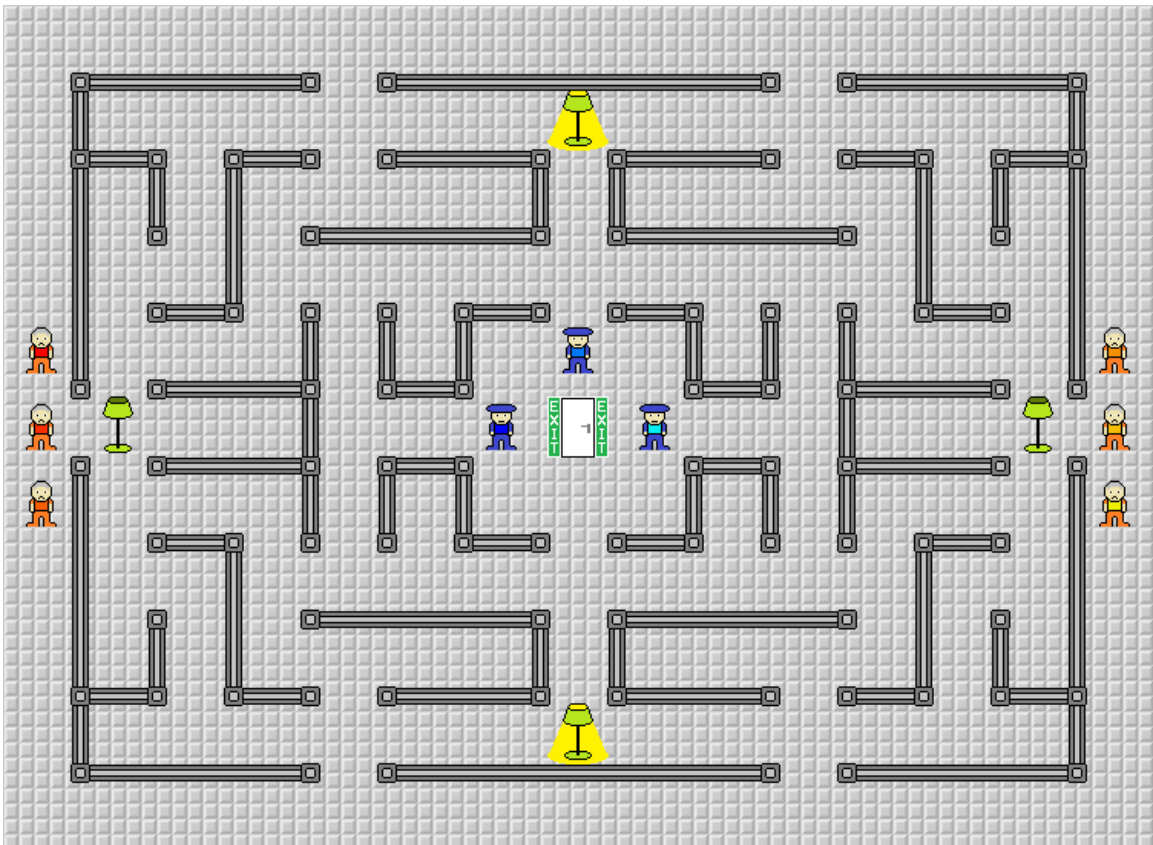
Literatura

- [1] Strategy video game. 2014, cit. 2014-04-29.
URL http://en.wikipedia.org/wiki/Strategy_video_game
- [2] BORDINI, R. H.; HÜBNER, J. F.: Jason A Java-based interpreter for an extended version of AgentSpeak. 2007, verze 0.9.5, cit. 2014-04-24.
URL <http://jason.sourceforge.net/Jason.pdf>
- [3] BORDINI, R. H.; HÜBNER, J. F.; WOOLDRIDGE, M. J.: *Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason*. John Wiley & Sons, Ltd., 2007, ISBN 978-0-470-02900-8.
- [4] Piccione, P. A.: In Search of the Meaning of Senet. 1980, cit. 2014-03-11.
URL <http://www.gamesmuseum.uwaterloo.ca/Archives/Piccione/index.html>
- [5] RAO, A. S.: AgentSpeak(L): BDI Agents Speak Out in a Logical Computable Language. In *MAAMAW*, New York USA, 1996, ISBN 3-540-60852-4, s. 42–55.
- [6] RUSSELL, S. J.; NORVIG, P.: *Artificial Intelligence A modern Approach*. Pearson Education Inc., druhé vydání, 2003, ISBN 0-13-080302-2.
- [7] SCHREIBNER, I.: Game Design Concepts An experiment in game design and teaching. 2009, cit. 2014-04-14.
URL <http://gamedesignconcepts.wordpress.com/>
- [8] WOOLDRIDGE, M. J.: *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons Ltd., 2002, ISBN 978-0-471-49691-5.

Dodatek A

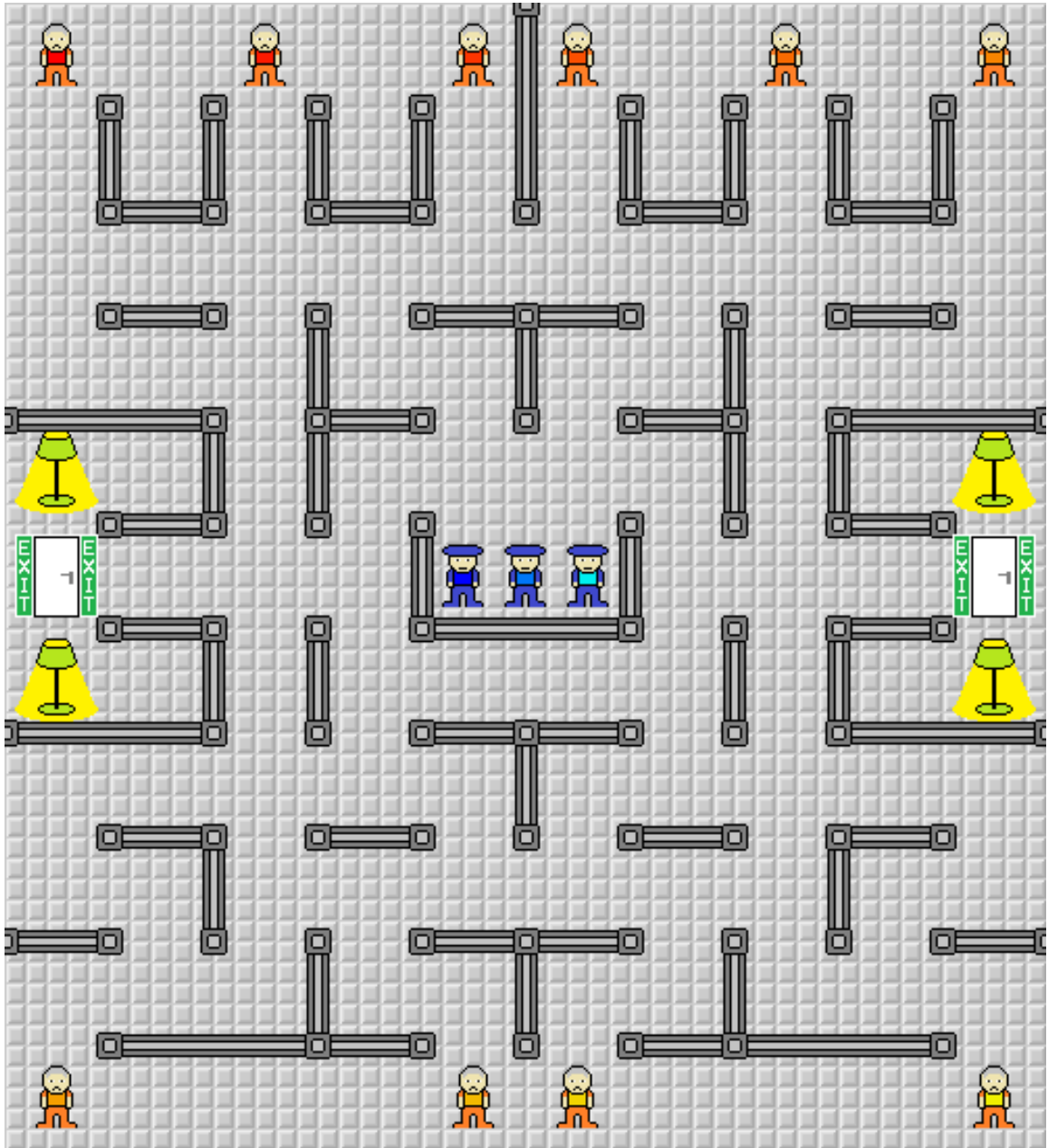
Použité mapy

Zde jsou zobrazeny mapy použité pro testování projektu. Mapy jsou zobrazeny ve svém počátečním stavu, s agenty rozestavenými tím způsobem, jaký byl určen v první fázi testů.



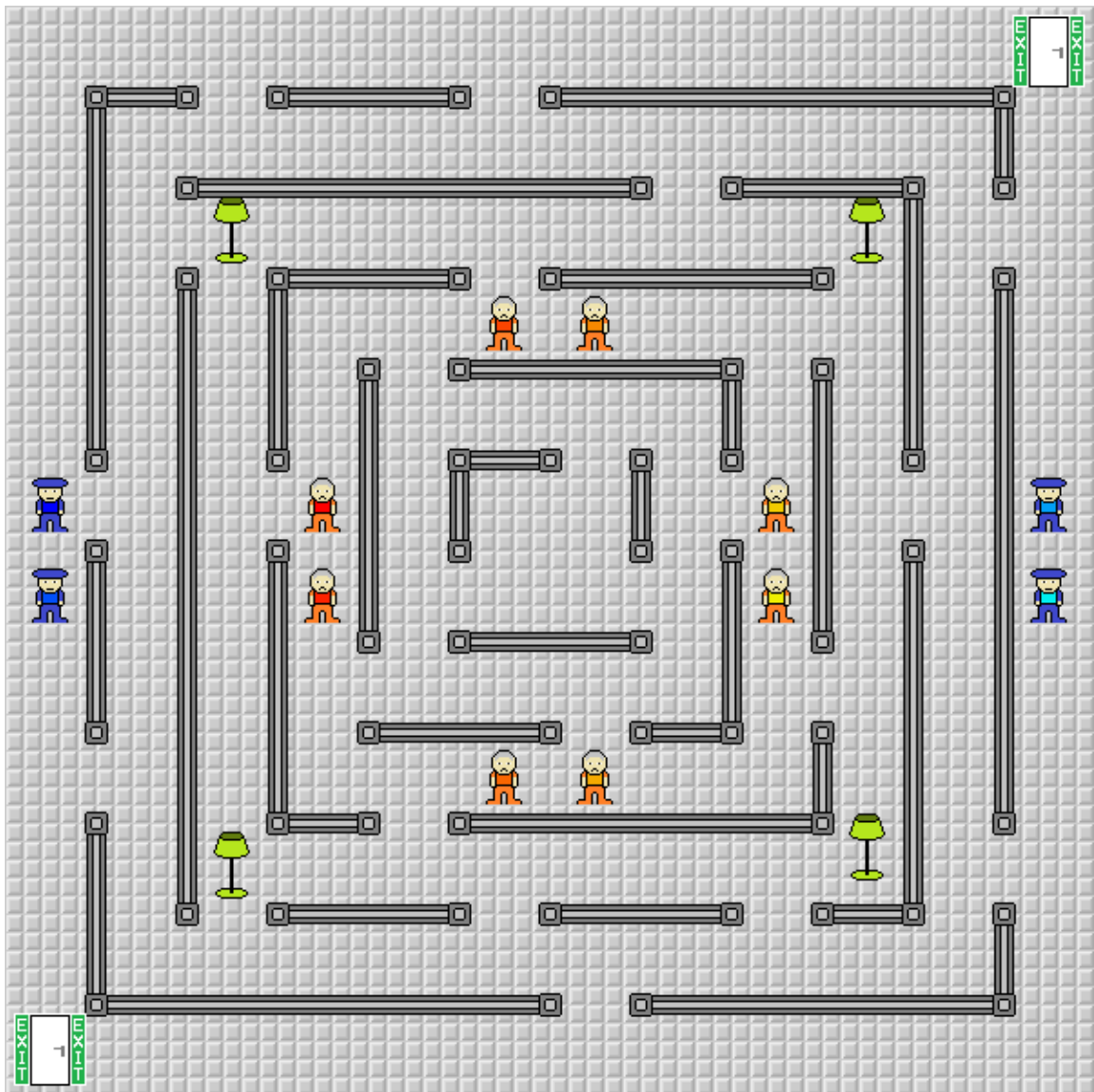
Obrázek A.1: Mapa Labyrint.

| šířka | výška | východy | lampy | zdi | vězni | dozorci | uzly | cesty |
|-------|-------|---------|-------|-----|-------|---------|------|-------|
| 750 | 550 | 1 | 4 | 64 | 6 | 3 | 66 | 88 |



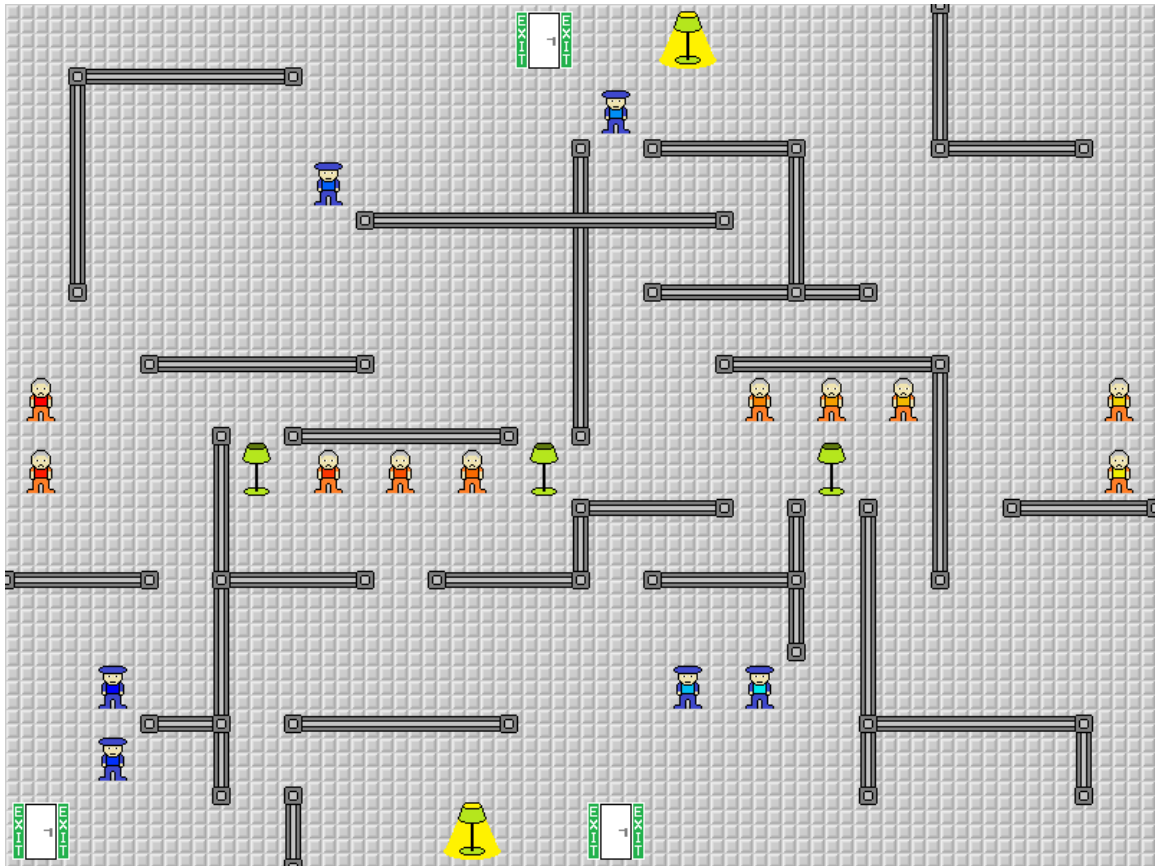
Obrázek A.2: Mapa Pacman.

| šířka | výška | východy | lampy | zdi | vězni | dozorci | uzly | cesty |
|-------|-------|---------|-------|-----|-------|---------|------|-------|
| 500 | 550 | 2 | 4 | 54 | 10 | 3 | 74 | 92 |



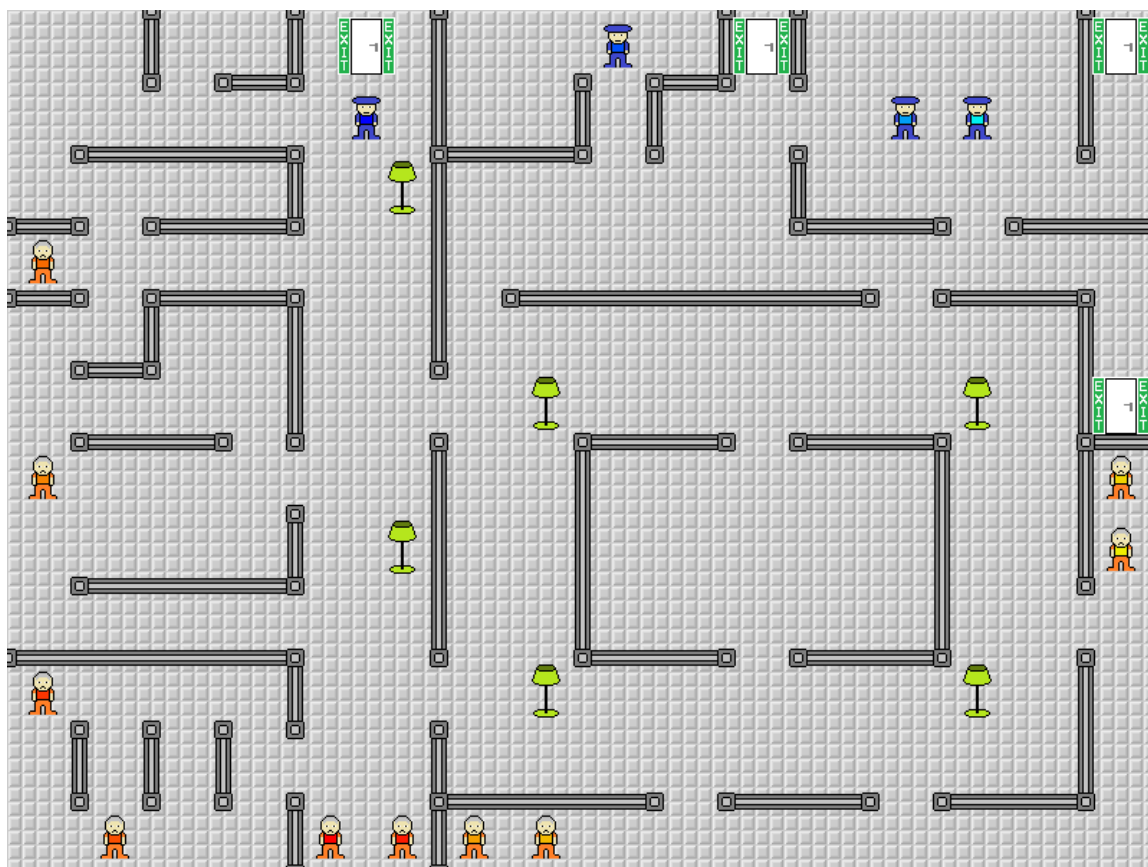
Obrázek A.3: Mapa Pyramida.

| šířka | výška | východy | lampy | zdi | vězni | dozorci | uzly | cesty |
|-------|-------|---------|-------|-----|-------|---------|------|-------|
| 600 | 600 | 2 | 4 | 37 | 8 | 4 | 65 | 90 |



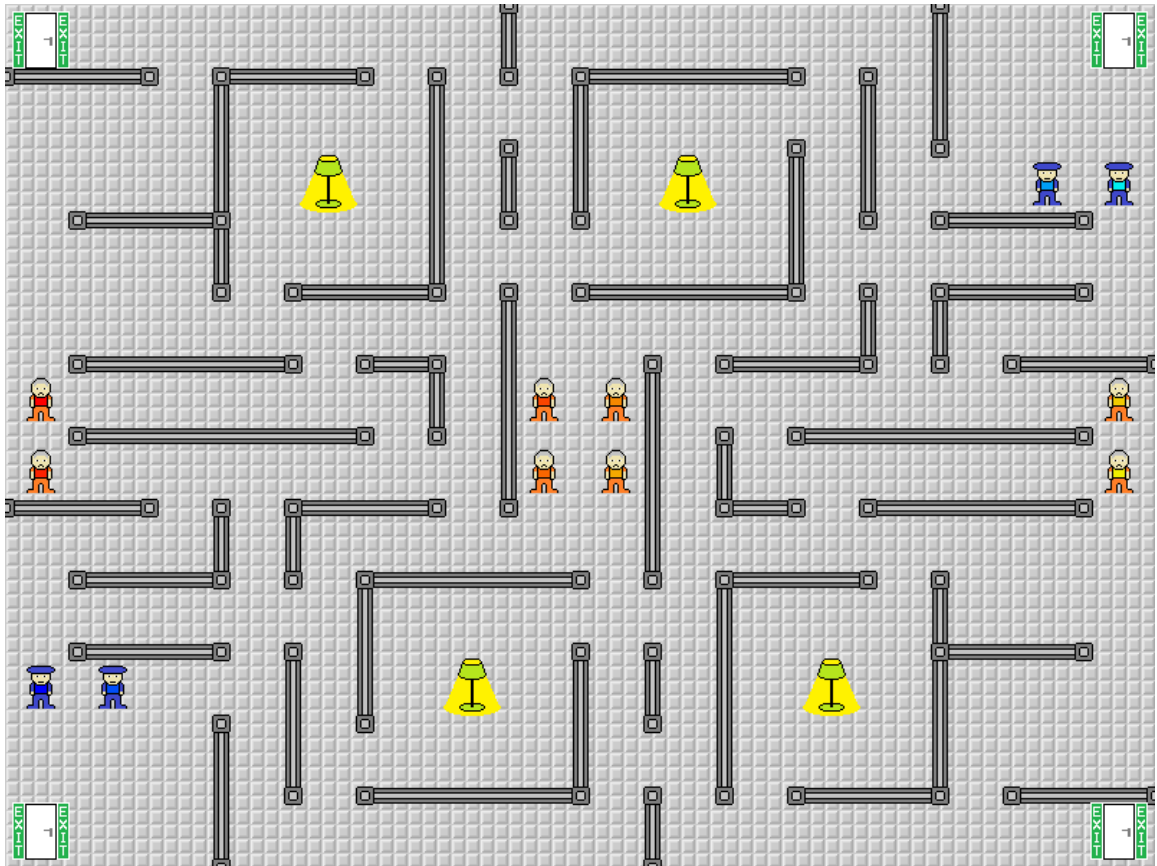
Obrázek A.4: Mapa Ruiny.

| šířka | výška | východy | lampy | zdi | vězni | dozorci | uzly | cesty |
|-------|-------|---------|-------|-----|-------|---------|------|-------|
| 800 | 600 | 3 | 5 | 28 | 10 | 6 | 62 | 114 |



Obrázek A.5: Mapa Ulice.

| šířka | výška | východy | lampy | zdi | vězni | dozorci | uzly | cesty |
|-------|-------|---------|-------|-----|-------|---------|------|-------|
| 800 | 600 | 4 | 6 | 48 | 10 | 4 | 65 | 112 |



Obrázek A.6: Mapa Zahrada.

| šířka | výška | východy | lampy | zdi | vězni | dozorci | uzly | cesty |
|-------|-------|---------|-------|-----|-------|---------|------|-------|
| 800 | 600 | 4 | 4 | 50 | 8 | 4 | 86 | 115 |

Dodatek B

Testy rozestavení agentů

V této příloze jsou uvedeny výsledky testů provedených při hledání vhodného umístění agentů, tak jak byly popsány v sekci 7.1. Výsledky jsou uvedeny ve formátu počet vězňů kteří z vězení utekli, pomlčka, počet vězňů kteří byli chyceni.

| vězni | souřadnice | | dozorci | souřadnice | | testy | tahy | výsledek |
|---------|------------|-----|-----------|------------|-----|---------|-------|----------|
| | X | Y | | X | Y | | | |
| vězeň 1 | 25 | 225 | dozorce 1 | 325 | 275 | test 1 | 162 | 3-3 |
| vězeň 2 | 25 | 275 | dozorce 2 | 375 | 225 | test 2 | 446 | 3-3 |
| vězeň 3 | 25 | 325 | dozorce 3 | 425 | 275 | test 3 | 341 | 2-4 |
| vězeň 4 | 725 | 225 | | | | test 4 | 508 | 3-3 |
| vězeň 5 | 725 | 275 | | | | test 5 | 365 | 4-2 |
| vězeň 6 | 725 | 325 | | | | shrnutí | 364,4 | 15-15 |

Tabulka B.1: Rozestavení agentů - Labyrint - test 1.

| vězni | souřadnice | | dozorci | souřadnice | | testy | tahy | výsledek |
|---------|------------|-----|-----------|------------|-----|---------|-------|----------|
| | X | Y | | X | Y | | | |
| vězeň 1 | 25 | 25 | dozorce 1 | 220 | 275 | test 1 | 378 | 2-6 |
| vězeň 2 | 225 | 25 | dozorce 2 | 240 | 275 | test 2 | 223 | 1-7 |
| vězeň 3 | 275 | 25 | dozorce 3 | 260 | 275 | test 3 | 264 | 3-5 |
| vězeň 4 | 475 | 25 | dozorce 4 | 280 | 275 | test 4 | 197 | 2-6 |
| vězeň 5 | 25 | 525 | | | | test 5 | 256 | 4-4 |
| vězeň 6 | 225 | 525 | | | | shrnutí | 263,6 | 12-28 |
| vězeň 7 | 275 | 525 | | | | | | |
| vězeň 8 | 475 | 525 | | | | | | |

Tabulka B.2: Rozestavení agentů - Pacman - test 1.

| vězni | souřadnice | | dozorci | souřadnice | | testy | tahy | výsledek |
|----------|------------|-----|-----------|------------|-----|---------|-------|----------|
| | X | Y | | X | Y | | | |
| vězeň 1 | 25 | 25 | dozorce 1 | 220 | 275 | test 1 | 198 | 5-5 |
| vězeň 2 | 125 | 25 | dozorce 2 | 240 | 275 | test 2 | 116 | 3-7 |
| vězeň 3 | 225 | 25 | dozorce 3 | 260 | 275 | test 3 | 188 | 3-7 |
| vězeň 4 | 275 | 25 | dozorce 4 | 280 | 275 | test 4 | 104 | 5-5 |
| vězeň 5 | 375 | 25 | | | | test 5 | 152 | 3-7 |
| vězeň 6 | 475 | 25 | | | | shrnutí | 151,6 | 19-31 |
| vězeň 7 | 25 | 525 | | | | | | |
| vězeň 8 | 225 | 525 | | | | | | |
| vězeň 9 | 275 | 525 | | | | | | |
| vězeň 10 | 475 | 525 | | | | | | |

Tabulka B.3: Rozestavení agentů - Pacman - test 2.

| vězni | souřadnice | | dozorci | souřadnice | | testy | tahy | výsledek |
|----------|------------|-----|-----------|------------|-----|---------|-------|----------|
| | X | Y | | X | Y | | | |
| vězeň 1 | 25 | 25 | dozorce 1 | 220 | 275 | test 1 | 224 | 5-7 |
| vězeň 2 | 125 | 25 | dozorce 2 | 240 | 275 | test 2 | 434 | 4-8 |
| vězeň 3 | 225 | 25 | dozorce 3 | 260 | 275 | test 3 | 168 | 3-9 |
| vězeň 4 | 275 | 25 | dozorce 4 | 280 | 275 | test 4 | 218 | 6-6 |
| vězeň 5 | 375 | 25 | | | | test 5 | 125 | 5-7 |
| vězeň 6 | 475 | 25 | | | | shrnutí | 233,8 | 23-37 |
| vězeň 7 | 25 | 525 | | | | | | |
| vězeň 8 | 125 | 525 | | | | | | |
| vězeň 9 | 225 | 525 | | | | | | |
| vězeň 10 | 275 | 525 | | | | | | |
| vězeň 11 | 375 | 525 | | | | | | |
| vězeň 12 | 475 | 525 | | | | | | |

Tabulka B.4: Rozestavení agentů - Pacman - test 3.

| vězni | souřadnice | | dozorci | souřadnice | | testy | tahy | výsledek |
|---------|------------|-----|-----------|------------|-----|---------|-------|----------|
| | X | Y | | X | Y | | | |
| vězeň 1 | 25 | 25 | dozorce 1 | 220 | 275 | test 1 | 233 | 3-5 |
| vězeň 2 | 225 | 25 | dozorce 2 | 250 | 275 | test 2 | 140 | 3-5 |
| vězeň 3 | 275 | 25 | dozorce 3 | 280 | 275 | test 3 | 149 | 2-6 |
| vězeň 4 | 475 | 25 | | | | test 4 | 261 | 2-6 |
| vězeň 5 | 25 | 525 | | | | test 5 | 152 | 4-4 |
| vězeň 6 | 225 | 525 | | | | shrnutí | 187,0 | 14-26 |
| vězeň 7 | 275 | 525 | | | | | | |
| vězeň 8 | 475 | 525 | | | | | | |

Tabulka B.5: Rozestavení agentů - Pacman - test 4.

| vězni | souřadnice | |
|----------|------------|-----|
| | X | Y |
| vězeň 1 | 25 | 25 |
| vězeň 2 | 125 | 25 |
| vězeň 3 | 225 | 25 |
| vězeň 4 | 275 | 25 |
| vězeň 5 | 375 | 25 |
| vězeň 6 | 475 | 25 |
| vězeň 7 | 25 | 525 |
| vězeň 8 | 225 | 525 |
| vězeň 9 | 275 | 525 |
| vězeň 10 | 475 | 525 |

| dozorci | souřadnice | |
|-----------|------------|-----|
| | X | Y |
| dozorce 1 | 220 | 275 |
| dozorce 2 | 250 | 275 |
| dozorce 3 | 280 | 275 |

| testy | tahy | výsledek |
|---------|-------|----------|
| test 1 | 182 | 4-6 |
| test 2 | 206 | 6-4 |
| test 3 | 225 | 6-4 |
| test 4 | 182 | 4-6 |
| test 5 | 265 | 5-5 |
| shrnutí | 212,0 | 25-25 |

Tabulka B.6: Rozestavení agentů - Pacman - test 5.

| vězni | souřadnice | |
|---------|------------|-----|
| | X | Y |
| vězeň 1 | 175 | 275 |
| vězeň 2 | 175 | 325 |
| vězeň 3 | 275 | 175 |
| vězeň 4 | 275 | 425 |
| vězeň 5 | 325 | 175 |
| vězeň 6 | 325 | 425 |
| vězeň 7 | 425 | 275 |
| vězeň 8 | 425 | 325 |

| dozorci | souřadnice | |
|-----------|------------|-----|
| | X | Y |
| dozorce 1 | 25 | 275 |
| dozorce 2 | 25 | 325 |
| dozorce 3 | 575 | 275 |
| dozorce 4 | 575 | 325 |

| testy | tahy | výsledek |
|---------|-------|----------|
| test 1 | 289 | 2-6 |
| test 2 | 243 | 6-2 |
| test 3 | 285 | 5-3 |
| test 4 | 302 | 2-6 |
| test 5 | 369 | 5-3 |
| shrnutí | 297,6 | 20-20 |

Tabulka B.7: Rozestavení agentů - Pyramida - test 1.

| vězni | souřadnice | |
|----------|------------|-----|
| | X | Y |
| vězeň 1 | 25 | 275 |
| vězeň 2 | 25 | 325 |
| vězeň 3 | 225 | 325 |
| vězeň 4 | 275 | 325 |
| vězeň 5 | 325 | 325 |
| vězeň 6 | 525 | 275 |
| vězeň 7 | 575 | 275 |
| vězeň 8 | 625 | 275 |
| vězeň 9 | 775 | 275 |
| vězeň 10 | 775 | 325 |

| dozorci | souřadnice | |
|-----------|------------|-----|
| | X | Y |
| dozorce 1 | 75 | 475 |
| dozorce 2 | 375 | 75 |
| dozorce 3 | 425 | 75 |
| dozorce 4 | 475 | 475 |

| testy | tahy | výsledek |
|---------|-------|----------|
| test 1 | 183 | 7-3 |
| test 2 | 184 | 10-0 |
| test 3 | 233 | 7-3 |
| test 4 | 197 | 9-1 |
| test 5 | 211 | 7-3 |
| shrnutí | 201,6 | 40-10 |

Tabulka B.8: Rozestavení agentů - Ruiny - test 1.

| vězňi | souřadnice | | dozorci | souřadnice | | testy | tahy | výsledek |
|----------|------------|-----|-----------|------------|-----|---------|-------|----------|
| | X | Y | | X | Y | | | |
| vězeň 1 | 25 | 275 | dozorce 1 | 75 | 475 | test 1 | 134 | 4-6 |
| vězeň 2 | 25 | 325 | dozorce 2 | 75 | 525 | test 2 | 155 | 5-5 |
| vězeň 3 | 225 | 325 | dozorce 3 | 225 | 125 | test 3 | 102 | 4-6 |
| vězeň 4 | 275 | 325 | dozorce 4 | 375 | 75 | test 4 | 82 | 5-5 |
| vězeň 5 | 325 | 325 | dozorce 5 | 425 | 75 | test 5 | 97 | 1-9 |
| vězeň 6 | 525 | 275 | dozorce 6 | 475 | 475 | shrnutí | 114,0 | 19-31 |
| vězeň 7 | 575 | 275 | dozorce 7 | 525 | 475 | | | |
| vězeň 8 | 625 | 275 | | | | | | |
| vězeň 9 | 775 | 275 | | | | | | |
| vězeň 10 | 775 | 325 | | | | | | |

Tabulka B.9: Rozestavení agentů - Ruiny - test 2.

| vězňi | souřadnice | | dozorci | souřadnice | | testy | tahy | výsledek |
|----------|------------|-----|-----------|------------|-----|---------|-------|----------|
| | X | Y | | X | Y | | | |
| vězeň 1 | 25 | 275 | dozorce 1 | 75 | 475 | test 1 | 81 | 7-3 |
| vězeň 2 | 25 | 325 | dozorce 2 | 75 | 525 | test 2 | 185 | 6-4 |
| vězeň 3 | 225 | 325 | dozorce 3 | 225 | 125 | test 3 | 152 | 3-7 |
| vězeň 4 | 275 | 325 | dozorce 4 | 425 | 75 | test 4 | 136 | 4-6 |
| vězeň 5 | 325 | 325 | dozorce 5 | 475 | 475 | test 5 | 147 | 5-5 |
| vězeň 6 | 525 | 275 | dozorce 6 | 525 | 475 | shrnutí | 140,2 | 25-25 |
| vězeň 7 | 575 | 275 | | | | | | |
| vězeň 8 | 625 | 275 | | | | | | |
| vězeň 9 | 775 | 275 | | | | | | |
| vězeň 10 | 775 | 325 | | | | | | |

Tabulka B.10: Rozestavení agentů - Ruiny - test 3.

| vězňi | souřadnice | | dozorci | souřadnice | | testy | tahy | výsledek |
|----------|------------|-----|-----------|------------|----|---------|-------|----------|
| | X | Y | | X | Y | | | |
| vězeň 1 | 225 | 575 | dozorce 1 | 250 | 75 | test 1 | 301 | 6-4 |
| vězeň 2 | 275 | 575 | dozorce 2 | 425 | 25 | test 2 | 198 | 6-4 |
| vězeň 3 | 25 | 475 | dozorce 3 | 625 | 75 | test 3 | 183 | 4-6 |
| vězeň 4 | 75 | 575 | dozorce 4 | 625 | 75 | test 4 | 243 | 5-5 |
| vězeň 5 | 25 | 175 | | | | test 5 | 217 | 5-5 |
| vězeň 6 | 25 | 325 | | | | shrnutí | 228,4 | 25-25 |
| vězeň 7 | 325 | 575 | | | | | | |
| vězeň 8 | 375 | 575 | | | | | | |
| vězeň 9 | 775 | 325 | | | | | | |
| vězeň 10 | 775 | 375 | | | | | | |

Tabulka B.11: Rozestavení agentů - Ulice - test 1.

| vězni | souřadnice | | dozorci | souřadnice | | testy | tahy | výsledek |
|---------|------------|-----|-----------|------------|-----|---------|-------|----------|
| | X | Y | | X | Y | test 1 | 246 | 1-3 |
| vězeň 1 | 375 | 275 | dozorce 1 | 25 | 475 | test 2 | 157 | 2-2 |
| vězeň 2 | 375 | 325 | dozorce 2 | 75 | 475 | test 3 | 181 | 1-3 |
| vězeň 3 | 425 | 275 | dozorce 3 | 725 | 125 | test 4 | 223 | 1-3 |
| vězeň 4 | 425 | 325 | dozorce 4 | 775 | 125 | test 5 | 170 | 2-2 |
| | | | | | | shrnutí | 195,4 | 7-13 |

Tabulka B.12: Rozestavení agentů - Zahrada - test 1.

| vězni | souřadnice | | dozorci | souřadnice | | testy | tahy | výsledek |
|---------|------------|-----|-----------|------------|-----|---------|-------|----------|
| | X | Y | | X | Y | test 1 | 213 | 4-4 |
| vězeň 1 | 25 | 275 | dozorce 1 | 25 | 475 | test 2 | 364 | 4-4 |
| vězeň 2 | 25 | 325 | dozorce 2 | 75 | 475 | test 3 | 240 | 4-4 |
| vězeň 3 | 375 | 275 | dozorce 3 | 725 | 125 | test 4 | 205 | 5-3 |
| vězeň 4 | 375 | 325 | dozorce 4 | 775 | 125 | test 5 | 188 | 3-5 |
| vězeň 5 | 425 | 275 | | | | | | |
| vězeň 6 | 425 | 325 | | | | | | |
| vězeň 7 | 775 | 275 | | | | | | |
| vězeň 8 | 775 | 325 | | | | | | |
| | | | | | | shrnutí | 242,0 | 20-20 |

Tabulka B.13: Rozestavení agentů - Zahrada - test 2.

Dodatek C

Testy porovnání inteligencí

V této příloze jsou uvedeny výsledky testů provedených při porovnávání jednotlivých inteligencí. Popis těchto testů je uveden v sekci 7.2. Výsledky jsou uvedeny ve formátu počet vězňů kteří z vězení utekli, pomlčka, počet vězňů kteří byli chyceni.

| vězni | žádná | | | mírná | | | kompl. | | |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| dozorci | 3-3 | 2-4 | 2-4 | 1-5 | 4-2 | 4-2 | 4-2 | 0-6 | 2-4 |
| test 1 | 3-3 | 2-4 | 2-4 | 1-5 | 4-2 | 4-2 | 4-2 | 0-6 | 2-4 |
| test 2 | 3-3 | 2-4 | 4-2 | 1-5 | 3-3 | 3-3 | 2-4 | 4-2 | 3-3 |
| test 3 | 2-4 | 3-3 | 3-3 | 5-1 | 5-1 | 2-4 | 1-5 | 3-3 | 1-5 |
| test 4 | 3-3 | 0-6 | 3-3 | 3-3 | 2-4 | 2-4 | 2-4 | 3-3 | 2-4 |
| test 5 | 3-3 | 0-6 | 3-3 | 3-3 | 2-4 | 3-3 | 0-6 | 4-2 | 1-5 |
| celkem | 14-16 | 7-23 | 15-15 | 13-17 | 16-14 | 14-16 | 9-21 | 14-16 | 9-21 |

Tabulka C.1: Porovnání inteligencí - Labyrint.

| vězni | žádná | | | mírná | | | kompl. | | |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| dozorci | 4-6 | 6-4 | 1-9 | 6-4 | 6-4 | 0-10 | 5-5 | 3-7 | 2-8 |
| test 1 | 4-6 | 6-4 | 1-9 | 6-4 | 6-4 | 0-10 | 5-5 | 3-7 | 2-8 |
| test 2 | 6-4 | 6-4 | 2-8 | 5-5 | 6-4 | 5-5 | 3-7 | 7-3 | 3-7 |
| test 3 | 6-4 | 4-6 | 4-6 | 7-3 | 5-5 | 3-7 | 7-3 | 6-4 | 4-6 |
| test 4 | 4-6 | 5-5 | 4-6 | 8-2 | 7-3 | 5-5 | 6-4 | 5-5 | 5-5 |
| test 5 | 5-5 | 7-3 | 2-8 | 6-4 | 3-7 | 2-8 | 7-3 | 5-5 | 6-4 |
| celkem | 25-25 | 28-22 | 13-37 | 32-18 | 27-23 | 15-35 | 28-22 | 26-24 | 20-30 |

Tabulka C.2: Porovnání inteligencí - Pacman.

| vězni | žádná | | | mírná | | | kompl. | | |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| dozorci | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| test 1 | 2-6 | 2-6 | 4-4 | 1-7 | 2-6 | 4-4 | 1-7 | 2-6 | 0-8 |
| test 2 | 6-2 | 2-6 | 3-5 | 1-7 | 0-8 | 2-6 | 3-5 | 2-6 | 3-5 |
| test 3 | 5-3 | 2-6 | 2-6 | 2-6 | 2-6 | 1-7 | 1-7 | 2-6 | 2-6 |
| test 4 | 2-6 | 5-3 | 3-5 | 1-7 | 2-6 | 2-6 | 1-7 | 0-8 | 1-7 |
| test 5 | 5-3 | 3-5 | 5-3 | 3-5 | 1-7 | 4-4 | 1-7 | 3-5 | 1-7 |
| celkem | 20-20 | 14-26 | 17-23 | 8-32 | 7-33 | 13-27 | 7-33 | 9-31 | 7-33 |

Tabulka C.3: Porovnání inteligencí - Pyramida.

| vězni | žádná | | | mírná | | | kompl. | | |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| dozorci | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| test 1 | 7-3 | 7-3 | 5-5 | 3-7 | 8-2 | 5-5 | 5-5 | 3-7 | 5-5 |
| test 2 | 6-4 | 4-6 | 7-3 | 6-4 | 5-5 | 6-4 | 5-5 | 4-6 | 4-6 |
| test 3 | 3-7 | 5-5 | 3-7 | 4-6 | 6-4 | 6-4 | 7-3 | 4-6 | 5-5 |
| test 4 | 4-6 | 4-6 | 9-1 | 6-4 | 6-4 | 6-4 | 5-5 | 3-7 | 2-8 |
| test 5 | 5-5 | 6-4 | 1-9 | 4-6 | 6-4 | 6-4 | 6-4 | 4-6 | 6-4 |
| celkem | 25-25 | 26-24 | 25-25 | 23-27 | 31-19 | 29-21 | 28-22 | 18-32 | 22-28 |

Tabulka C.4: Porovnání inteligencí - Ruiny.

| vězni | žádná | | | mírná | | | kompl. | | |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| dozorci | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| test 1 | 6-4 | 7-3 | 5-5 | 7-3 | 4-6 | 5-5 | 4-6 | 5-5 | 2-8 |
| test 2 | 6-4 | 4-6 | 1-9 | 6-4 | 5-5 | 6-4 | 3-7 | 3-7 | 4-6 |
| test 3 | 4-6 | 5-5 | 1-9 | 3-7 | 7-3 | 6-4 | 4-6 | 6-4 | 1-9 |
| test 4 | 5-5 | 3-7 | 3-7 | 7-3 | 2-8 | 2-8 | 6-4 | 2-8 | 6-4 |
| test 5 | 5-5 | 6-4 | 2-8 | 5-5 | 2-8 | 6-4 | 6-4 | 4-6 | 5-5 |
| celkem | 26-24 | 25-25 | 12-38 | 28-22 | 20-30 | 25-25 | 23-27 | 20-30 | 18-32 |

Tabulka C.5: Porovnání inteligencí - Ulice.

| vězni | žádná | | | mírná | | | kompl. | | |
|---------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|-------|--------|
| | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| dozorci | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| test 1 | 4-4 | 4-4 | 3-5 | 4-4 | 2-6 | 2-6 | 1-7 | 4-4 | 4-4 |
| test 2 | 4-4 | 5-3 | 3-5 | 2-6 | 3-5 | 4-4 | 1-7 | 3-5 | 4-4 |
| test 3 | 4-4 | 5-3 | 5-3 | 4-4 | 1-7 | 6-2 | 2-6 | 6-2 | 3-5 |
| test 4 | 5-3 | 3-5 | 2-6 | 3-5 | 2-6 | 2-6 | 1-7 | 3-5 | 5-3 |
| test 5 | 3-5 | 3-5 | 3-5 | 1-7 | 1-7 | 3-5 | 2-6 | 3-5 | 5-3 |
| celkem | 20-20 | 20-20 | 16-24 | 14-26 | 9-31 | 17-23 | 8-32 | 19-21 | 21-19 |

Tabulka C.6: Porovnání inteligencí - Zahrada.

Dodatek D

Testy výkonnosti

V této příloze jsou uvedeny výsledky testů časové náročnosti rozhodování agentů. Popis těchto testů je uveden v sekci 7.4. Výsledky jsou v milisekundách.

| počet agentů | úroveň spolupráce | | | | | |
|--------------|-------------------|---------|---------|---------|--------|--------|
| | vězni | | | dozorci | | |
| | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| 1 | 15,833 | 15,648 | 15,675 | 15,337 | 15,468 | 15,895 |
| 2 | 16,611 | 16,860 | 16,618 | 16,523 | 17,220 | 18,139 |
| 3 | 18,124 | 19,092 | 19,127 | 17,818 | 17,425 | 17,784 |
| 4 | 18,952 | 24,826 | 26,508 | 18,019 | 19,021 | 19,999 |
| 5 | 19,606 | 29,893 | 48,380 | 19,043 | 20,714 | 21,293 |
| 6 | 19,828 | 32,675 | 73,164 | 18,403 | 20,495 | 20,815 |
| 7 | 20,531 | 31,480 | 116,052 | 20,344 | 23,056 | 24,262 |
| 8 | 20,734 | 38,641 | 143,746 | 22,932 | 24,113 | 26,982 |
| 9 | 21,967 | 73,673 | 264,490 | 21,948 | 30,322 | 26,295 |
| 10 | 21,602 | 168,723 | 328,496 | 24,745 | 34,961 | 34,933 |

Tabulka D.1: Časová náročnost rozhodování agentů v závislosti na počtu agentů.

| rozměr mapy | úroveň spolupráce | | | | | |
|-------------|-------------------|---------|---------|---------|--------|--------|
| | vězni | | | dozorci | | |
| | žádná | mírná | kompl. | žádná | mírná | kompl. |
| 100x100 | 19,120 | 19,237 | 26,309 | 18,291 | 18,996 | 20,565 |
| 200x200 | 19,344 | 38,240 | 43,462 | 18,423 | 19,341 | 20,693 |
| 300x300 | 19,869 | 47,877 | 81,644 | 18,812 | 18,222 | 19,706 |
| 400x400 | 19,626 | 66,408 | 116,085 | 19,053 | 19,524 | 20,343 |
| 500x500 | 19,529 | 87,022 | 111,200 | 19,828 | 20,349 | 21,114 |
| 600x600 | 19,494 | 141,345 | 185,883 | 18,347 | 21,039 | 20,965 |

Tabulka D.2: Časová náročnost rozhodování agentů v závislosti na velikosti mapy.