

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

SOCIOLOGICKÝ SIMULÁTOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. PETR LUDWIG

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA INFORMAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV POČÍTAČOVÉ GRAFIKY A MULTIMÉDIÍ

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
DEPARTMENT OF COMPUTER GRAPHICS AND MULTIMEDIA

SOCIOLOGICKÝ SIMULÁTOR

SOCIOLOGICAL SIMULATOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. PETR LUDWIG

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MICHAL FAPŠO

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně - Fakulta informačních technologií

Ústav počítačové grafiky a multimédií

Akademický rok 2010/2011

Zadání diplomové práce

Řešitel: **Ludwig Petr, Bc.**

Obor: Inteligentní systémy

Téma: **Sociologický simulátor**
Sociological Simulator

Kategorie: Umělá inteligence

Pokyny:

1. Seznamte se s existujícími frameworky pro tvorbu sociologických simulátorů (např. NETLOGO).
2. Najděte vhodný sociologický výzkum určený k simulaci.
3. Implementujte simulátor a vyhodnoťte výsledky simulací.

Literatura:

- Podle pokynů vedoucího

Při obhajobě semestrální části diplomového projektu je požadováno:

- Bez požadavků.

Podrobné závazné pokyny pro vypracování diplomové práce naleznete na adrese

<http://www.fit.vutbr.cz/info/szz/>

Technická zpráva diplomové práce musí obsahovat formulaci cíle, charakteristiku současného stavu, teoretická a odborná východiska řešených problémů a specifikaci etap, které byly vyřešeny v rámci ročníkového a semestrálního projektu (30 až 40% celkového rozsahu technické zprávy).

Student odevzdá v jednom výtisku technickou zprávu a v elektronické podobě zdrojový text technické zprávy, úplnou programovou dokumentaci a zdrojové texty programů. Informace v elektronické podobě budou uloženy na standardním nepřepisovatelném paměťovém médiu (CD-R, DVD-R, apod.), které bude vloženo do písemné zprávy tak, aby nemohlo dojít k jeho ztrátě při běžné manipulaci.

Vedoucí: **Fapšo Michal, Ing.**, UPGM FIT VUT

Datum zadání: 20. září 2010

Datum odevzdání: 25. května 2011

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta informačních technologií
Ústav počítačové grafiky a multimédií
602 00 Brno, Božetěchova 2
L.S.



doc. Dr. Ing. Jan Černocký
vedoucí ústavu

Abstrakt

Tato práce obsahuje popis paradigmatu komplexních systémů a věnuje se možnostem jejich modelování a simulací. Práce ukazuje vhodnost využití multi-agentního modelování pro tvorbu abstrakce sociálního prostředí jako jednoho z významných komplexních systémů. Práce zahrnuje analýzu dostupných nástrojů pro tvorbu multi-agentních simulátorů. Jádrem práce jsou zpracované výzkumné podklady a ukázkový model sociálního fenoménu označovaného jako prokrastinace.

Abstract

This thesis describes the paradigm of complex systems and discusses possibilities of their modeling and simulations. The work shows the suitability of using multi-agent modeling for creating abstraction of social environment, that is one of the major complex systems. Thesis content includes an analysis of tools that are available for creating multi-agent simulators. The core of this thesis are processed research documents and a demonstrative model of social phenomenon known as procrastination.

Klíčová slova

Komplexní systémy, agentní a multi-agentní modelování, sociologická simulace, NetLogo, prokrastinace.

Keywords

Complex systems, agent and multi-agent modeling, sociological simulation, NetLogo, procrastination.

Citace

Petr Ludwig: Sociologický simulátor, diplomová práce, Brno, FIT VUT v Brně, 2011

Sociologický simulátor

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně pod vedením pana Ing. Michala Fapša.

.....

Petr Ludwig
24. května 2011

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu Michalovi Fapšovi za směrování, které dovedlo mou práci až k plánovanému cíli. Dále bych rád poděkoval Jakubu Lancovi, který mně poskytl rozsáhlé odborné sociologické a psychologické vhledy, a Radkovi Pelánkovi za to, že napsal a vydal v roce 2011 knihu Modelování a simulace komplexních systémů, jež mi byla inspirací nejen při psaní této práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat své rodině a blízkému okolí za rozsáhlou podporu během tvorby této práce a celého studia.

© Petr Ludwig, 2011.

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	4
1.1 Paradigma komplexních systémů	4
1.1.1 Pevné základy jako zdroj kvalitní teorie	4
1.1.2 Validita a koherence s objektivní realitou	5
1.1.3 Mezioborové vztahy, jednoduché vzory a pravidla	5
1.1.4 Entity a emergence	5
1.1.5 Komplexní věda jako meta-věda	6
1.1.6 Abstrakce v komplexních systémech	8
1.1.7 Zaměňování příčiny a následku, zpětná vazba	10
1.2 Shrnutí	10
2 Cíle práce	12
2.1 Modelování a simulace	12
2.2 Analýza nástrojů pro sociologické simulace	12
2.3 Mapování výzkumů jako podkladů pro modelování	13
2.3.1 Kritérium falzifikace vědní teorie	13
2.4 Konkrétní aplikace výzkumů při tvorbě modelu	13
3 Modelování a simulace	14
3.1 Modelování a model	14
3.1.1 Omezení modelu	14
3.2 Systém	15
3.2.1 Komplexní systém	15
3.3 Simulace	15
3.4 Tvorba modelu	15
3.4.1 Kde používat modely	16
3.5 Modelování komplexních systémů	16
3.5.1 Historie modelování	16
3.6 Multiagentní sociální simulace	16
3.6.1 Příklad ABM	17
3.6.2 Indukce a dedukce	17
3.6.3 Další rozšíření ABM	18
3.7 Shrnutí často používaných označení v oblasti modelování s agenty	19

4	Softwarové nástroje pro sociální simulaci postavenou na ABM	20
4.1	Detailní analýza nástrojů	20
4.1.1	Swarm	20
4.1.2	NetLogo	21
4.1.3	Repast a Repast Symphony	21
4.1.4	Mason	22
4.1.5	StarLogo a OpenStarLogo	22
4.2	Výběr nejvýhodnějšího nástroje	22
4.2.1	Jazyk prostředí	23
4.2.2	Efektivita	23
4.2.3	Instalace	23
5	Výzkumné podklady pro modelování	24
5.1	Zpracování výzkumů a jejich metodologie	25
5.2	Kognitivní zdroj a rozhodovací paralýza	26
5.2.1	Výzkum: Seberegulace a trpělivost při řešení hlavolamu	27
5.2.2	Výzkum: Počet spořících programů	27
5.2.3	Výzkum: Kyčle a doktoři	28
5.2.4	Výzkum: Fotografie a výběr	28
5.2.5	Vztah výzkumů k modelu	29
5.3	Naučená bezmocnost a flow stav	29
5.3.1	Výzkum: Psi a elektřina	30
5.3.2	Vztah výzkumů k modelu	30
5.4	Vztah AD/HD a prokrastinace, focus a snížená hladina motivace	31
5.4.1	Vztah výzkumů k modelu	31
5.5	Časové perspektivy – přítomná a budoucí orientace	31
5.5.1	Výzkum: Marshmallow experiment	32
5.5.2	Vztah výzkumů k modelu	32
5.6	Prokrastinace	33
5.6.1	Vzorce prokrastinace	33
5.7	Shrnutí a vztah podkladů k modelu	34
6	Návrh modelu a simulační prostředí	36
6.1	Návrh modelu	36
6.1.1	Popis entit	36
6.1.2	Běh simulace	41
6.2	Implementace	42
6.3	Ovládání a grafické rozhraní	42
6.4	Verifikace modelu	44
7	Experimenty a validace modelu	45
7.1	Výchozí nastavení a testovací běh simulace	45
7.2	Simulace 1 – Kognitivní zdroj	45
7.3	Simulace 2 – Vliv soustředěnosti na rozhodovací paralýzu	47
7.4	Simulace 3 – Impulzivita a AD/HD syndrom	48
7.5	Simulace 4 – Budoucí orientace	49
7.6	Simulace 5 – Optimismus proti pesimismu	51
7.7	Simulace 6 – Optimismus a pesimismus a překonání impulzivity	52

7.8 Simulace 7 – Syndrom vyhoření	53
7.9 Simulace 8 – Ukázka společnosti	55
8 Závěr	56
A Obsah CD	64

Kapitola 1

Úvod

První kapitola obsahuje zasazení tématu sociální simulace do kontextu vědních disciplín a jejich teorií. Hlavním cílem kapitoly je seznámit čtenáře s vědním paradigmatem označovaným jako věda komplexních systémů. V rámci kapitoly a napříč celou touto diplomovou prací jsou poskytnuty definice hlavních termínů používaných v kontextu komplexně systémických věd. Mezi hlavní tyto termíny patří: teorie, validita, entita, nadsystém, emergence či zpětnovazebné smyčky.

Tato diplomová práce přímo nenavazuje na semestrální projekt. V době tvorby semestrálního projektu nebyly ještě dostupné některé z použitých publikací (například Steel 2010b [71] a Pelánek 2011 [51]). V jejich světle bylo potřeba obsah a rozvržení diplomové práce výrazně upravit.

1.1 Paradigma komplexních systémů

1.1.1 Pevné základy jako zdroj kvalitní teorie

Mnoho dnešních poznatků z oblastí, které bývají označovány jako *soft science*, je podrobováno časté kritice ze strany technicky vzdělané veřejnosti a představitelů technických oborů. [87] [21] Oborům jako je sociologie, psychologie, behaviorální ekonomie, politologie či právní teorie, bývá vyčítána vágnost popisu jevů a nedostatečná rigoróznost *teorií*. [39] [88] Termín teorie můžeme definovat jako soubor charakteristik a tvrzení, které se snaží popsat a vysvětlit jevy vznikající v *objektivní realitě*. [97] Označení soft v sousloví soft science je v této práci použito ne z důvodu snižování důležitosti těchto věd, ale zejména proto, že tyto takzvané měkké vědy mají velmi těžké postavení, co se týče hledání pevných základů svých teorií.

Opakem soft science jsou vědy založené na stabilních základech v podobě exaktních numerických modelů a matematicky přesných popisech chování systému. Příkladem jsou diferenciální rovnice, které popisují mnohé fyzikální a chemické zákonitosti. Pevné základy jsou přesně to, o co by se v první řadě měly soft science společně s těmi technickými snažit a na čem své teorie stavět. [31] Tyto základy můžeme v oblasti soft science nalézt převážně v metodologicky kvalitně provedených výzkumech, za využití statisticky co možná nejpřesnější interpretace výsledků. [30]

1.1.2 Validita a koherence s objektivní realitou

Jako soft problémy jsou v této práci označovány jevy, které se snaží vědy z oblasti soft science pochopit a popsat. Řešení dnešních soft problémů, kterým netechnické vědní obory čelí v současnosti, vyžaduje aplikaci těch nejlepších postupů a metodik, které jsou dostupné všem vědám celkově. Spojení matematických a informačních věd s těmi měkkými přináší možnost více využívat robustních výpočetních nástrojů, rozsáhlých modelů a simulací. Díky tomu vzniká možnost zdokonalovat *validitu teorií*, tedy i jejich celkovou správnost a koherenci s realitou. Validitou teorie chápeme to, jak teorie odpovídá skutečné objektivní realitě. Co možná největší validita teorií by měla být vedle pevných základů druhým z cílů všech dnešních věd.

1.1.3 Mezioborové vztahy, jednoduché vzory a pravidla

„Dokonalost je nekonečná jednoduchost.“ (Leonardo da Vinci, renesanční polyhistor.)

Konec 20. století a začátek století 21. je ve znamení integrace poznatků z na první pohled nesouvisejících vědních disciplín. Tato integrace přináší možnost spojování a zpřesňování báze znalostí, nové prostory pro ověřování a falzifikaci teorií či místa pro vznik inovačních přístupů a nových struktur poznatků. Mezioborové vhledy a výměna informací společně přináší odhalování základních pravidel, která jsou platná ve všech zkoumaných systémech. Obory jako jsou bioinformatika, soft computing či generativní sociologie jsou toho důkazem.

Cílem vědní spolupráce by tedy mělo být hledání těchto společných vzorů a co nej-jednodušších pravidel, na kterých je fungování odlišných systémů postaveno. Informační věda ukázala, že i několik jednoduchých pravidel může přinášet velmi složité chování. [7] Příkladem mohou být *celulární automaty* Wolframovy třídy IV. (například pravidlo 30 jednorozměrného celulárního automatu), Conwayova hra Life nebo hledání řešení logistické funkce pomocí simulace modelu s lovcem a kořistí. [13] [80] [101] [102]

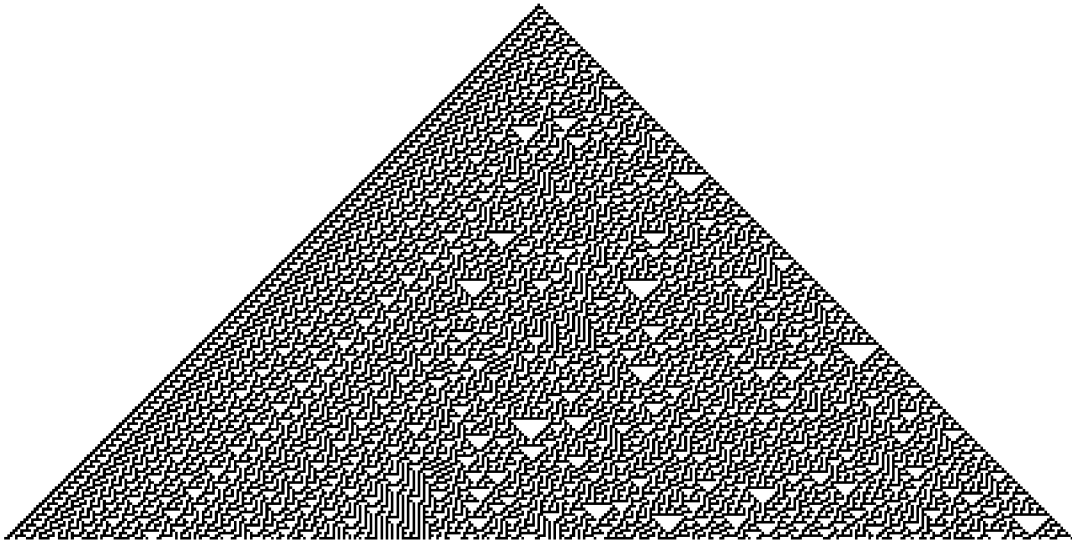
Hledání základních obecně platných pravidel by mělo být třetím pilířem snahy dnešních vědních disciplín. Jejich následné modelování a simulace mohou přinést přesnější popisy toho, jak procesy v reálném světě fungují. Pokus o to byl již v době renesance, jejímž jedním z hlavních mott a filosofickou vizí byl princip *ad fontes* (neboli *k pramenům*). [77] Až dnešní technologie, umožňující sílení informací a výzkumů, dovoluje se v mnohém k těmto pramenům skutečně dostat.

1.1.4 Entity a emergence

„Z fyzikálního hlediska je zvlášť zábavné mluvit o životě, protože představuje extrémní příklad emergence zákonitostí.“ (Robert B. Laughlin, teoretický fyzik a laureát Nobelovy ceny.)

„Jednotlivý atom zlata není ani žlutý ani lesklý.“ (Philip W. Anderson, teoretický fyzik a laureát Nobelovy ceny.)

Vědní obory často zkoumají složité systémy, v rámci nichž je možné rozeznávat relativně nezávislé součásti neboli *entity*. Entity bývají základním stavebním kamenem systémů a pomáhají s určitou mírou abstrakce k jejich teoretickému popisu. V rámci společnosti je možné za entity považovat lidské bytosti, v rámci systému ekonomiky lze entity spatřovat



Obrázek 1.1: Chování pravidla 30 jednorozměrného celulárního automatu. [80]

ve firmách nebo státech, v oblasti regulačních procesů v lidském organismu mohou být jako entity abstrahovány enzymy nebo jednotlivé buňky.

Mnoho entit řídicích se jednoduchými pravidly často vytváří ve výsledku jevy a chování, které nelze jednoduše odvodit ze základních pravidel, lze je však popsat dalšími jednoduchými pravidly. Vzniká jev zvaný *emergence*. Slovo *emergence* je odvozeno z latinského slova „emergere“, které znamená: vynořit se či vymanit se. Rozlišování základních a emergentních pravidel a vzorů je klíčové pro správné modelování a pro co možná nejpřesnější popis reality v rámci modelu. Ukázkou fenoménu *emergence* může být například zvuk. Vzájemnou interakci molekul lze popsat jednoduchými pravidly. Pokud vezmeme mnoho molekul, necháme je na sebe působit a na určitém místě některé z nich rozkmitáme, začnou spolu interagovat a postupně se začne šířit zvuk. Šíření zvuku je emergentní jev, protože ho opět můžeme popsat jednoduchými pravidly. *Emergence* přináší výstup nového řádu a pravidel ze zdánlivě chaotického uspořádání, u kterého by na první pohled pravděpodobně nikdo výslednou *emergenci* nečekal. [48] [83] [35]

Předmětem zkoumání *soft science* jsou právě tyto složité systémy, složené z entit se vzájemnými vazbami a relativně jednoduchými základními pravidly chování, které se dynamicky mění a vykazují emergentní jevy. Takovéto systémy jsou označovány jako *komplexní systémy* (angl.: complex systems) a obor, který se jimi obecně zabývá, je nazýván *komplexní věda* (angl.: complex science). Blíže budou komplexní systémy definovány a popsány v kapitole 3.

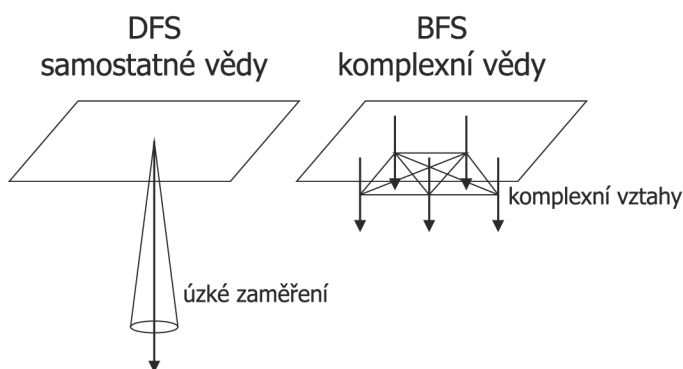
1.1.5 Komplexní věda jako meta-věda

Porovnáme-li mezioborové poznávání v podobě komplexní vědy s vědami relativně úzce oborově zaměřenými, nabízí se paralela mezi algoritmem prohledávání stavového prostoru *do šířky* (angl.: Breadth-first search, zkratkou BFS) a jeho konfrontace s algoritmem procházející stavový prostor *do hloubky* (angl.: Depth-first search, zkratkou DFS). [94] [93] [42]

Do nedávné doby se mnoho vědních disciplín snažilo nezávisle na sobě jít k jádru svých oborových věcí a informační prostor prohledávat více a více do hloubky. Rozvojem Internetu a elektronických vědeckých databází bylo umožněno více integrovat znalosti a teoretické modely odlišných věd. Tato integrace přinesla vznik jakési *meta-vědy* v podobě komplexního přístupu. Tato meta-věda popisuje pravidla, vzory a efekty, které se objevují v téměř všech vědních oblastech, jež zkoumají komplexní systémy. [82]

Termíny jako body zlomu, emergence, pozitivní a negativní zpětnovazebné smyčky, efekt *slabých vazeb* (angl.: weak-links) nalezneme jak v mraveništi, v tržní ekonomice, na úrovni kvantové fyziky, v oblastech neurověd (které zkoumají lidský mozek na úrovni jednotlivých neuronů), v sociální interakci prostřednictvím nových médií v podobě sociálních sítí, při zkoumání dopravní situace na ucpaných dálnicích, v šíření názorů či módních trendů v lidské společnosti. [59] [14]

Rozvoj nadoborové meta-vědy by se spíše dal přirovnat k prohledávání do šířky. Výhodou tohoto přístupu je to, že každé algoritmem procházené pomyslné patro stavového prostoru přináší komplexnější nahléd, který prohledávání výrazně zefektivňuje. Dokáže předem odhalit slepé cesty, pomáhá lépe pochopit dynamiku systémů a přináší nové souvislosti.



Obrázek 1.2: Prohledávání do hloubky vs. prohledávání do šířky.

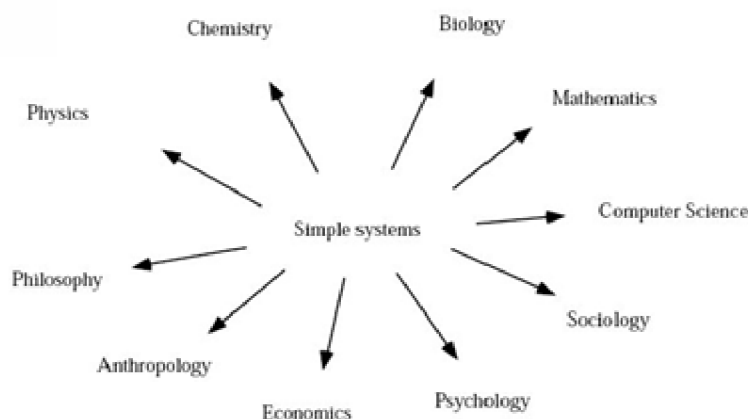
Z tohoto důvodu by mělo být dalším z cílů dnešních věd odhalování komplexních pravidel. Vědecké paradigma, akcentující tento přístup, bývá označováno jako paradigma teorie komplexních systémů. Toto paradigma je velmi mladé a vyvinulo se z teorie nelineárních systémů, neuronových sítí a teorie distributivních a samo-organizujících systémů. [82] [49]

Příklad: Blue Brain

”Není nemožné simulovat lidský mozek a jsme toho schopni do deseti let.”

(Henry Markram, vedoucí projektu Blue Brain, TED konference 2009, Oxford.) [32]

Jedním z nadějných příkladů komplexního přístupu a spojení neurověd, fyziky, chemie, biologie a informatiky je to, co se nedávno podařilo skupině vědců z univerzity v Lausanne ve Švýcarsku. Výzkumná skupina se v projektu Blue Brain snaží pomocí reversního inženýrství o modelování části mozku (jednoho neokortexového sloupce) krysy. Modelovaná část mozku



Obrázek 1.3: Úzce zaměřené vědní pohledy. [51]

je velká asi jako špendlíková hlavička. Extrémně rozsáhlý model se v sobě snaží zachytit realitu s přesností až na molekuly. [16] [79]

Takto vytvořený model je podroben následné počítačové simulaci. Slouží k tomu více než 8.000 výkonných mikročipů dohromady s výpočetní kapacitou desítek trilionů operací za vteřinu (přes 22 *TeraFLOPS*; TeraFLOPS = 10^{12} operací za sekundu [85]). Systém detailně modeluje 10.000 reálných neuronů a 10^8 synaptických spojení. Neurony jsou modelovány se všemi fyzikálními, chemickými a biologickými vlastnostmi. Jedná se o první model mozku, který byl navržen co možná nejpřesnějším přístupem zdola-nahoru. Ostatní modely, například neuronové sítě používané hojně v současné informatice, mají oproti tomuto modelu velmi vysokou míru abstrakce.

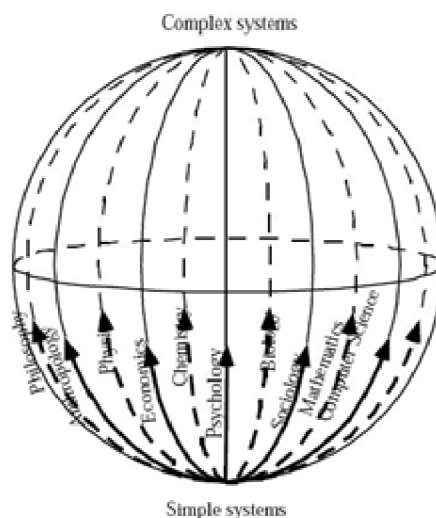
Simulace projektu Blue Brain má za cíl v reálném čase odhalit stejné emergentní chování, jaké bylo zjištěno 15 lety zkoumáním biologického materiálu. Výsledky prvních simulací tohoto velmi přesného modelu ukazují, že se chování modelovaného systému velmi přibližuje reálnému chování, a to i včetně emergentních jevů.

Mnoho z tohoto složitého chování však bylo postaveno na relativně jednoduchých pravidlech. Potřebný výkon pro realistické modelování celého mozku krysy přitom odpovídá veličině kolem 1 až 10 *PetaFLOPS* (PetaFLOPS = 10^{15} operací za sekundu [85]). Takový výpočetní výkon může být dostupný do roku 2015. Pokud bude zachován *Moorův zákon*, který říká, že se výkony procesorů každých 18 měsíců zhruba zdvojnásobují, budeme skutečně schopni simulovat celý lidský mozek (jeho 10^{11} neuronů a 10^{14} synaptických spojení) v řádu několika let. [89]

1.1.6 Abstrakce v komplexních systémech

„Informatika je věda abstrakce, zabývající se vytvořením vhodného modelu problému a navržením techniky k jeho řešení.“ (A. Aho a J. Ullman, významní informatici.)

Rozlišování soft věd a těch technických není tedy z pohledu teorie komplexních systémů přesné. Dokonalejším modelem rozdělení vědeckých oblastí je dělení na vědy komplexní,



Obrázek 1.4: Komplexně systemický vědní pohled. [51]

tedy ty, které zkoumají dynamické systémy obsahující entity a jejich interakce. Za druhou a odlišnou skupinu můžeme brát vědy, které zkoumají výpočetní pravidla platná ve všech komplexních systémech.

V rámci tvorby teorií a vytváření modelů je nejprve nutné určit, jaké jevy vezmeme za entity zkoumaného systému. Dalším krokem je požadavek na oddělení základních a emergentních pravidel chování. Musíme tedy správně abstrahovat realitu. A právě míra abstrakce je základem nepřesnosti teorií v rámci všech komplexních věd. Každý model a každá komplexní vědní teorie je tak vždy chybná. Některé se však mohou blížit k užitečnému popisu abstrahované objektivní reality.

Implikaci využívající Gödlovy věty o neúplnosti používá ve svých přednáškách profesor Heikki Hyötyniemi z Aalto University. Říká, že každý nelineární mnoho-dimensionální systém může implementovat jakýkoliv představitelný algoritmus. Při aplikaci Gödlova teorému neúplnosti z toho vyplývá, že nikdy nebude existovat obecná teorie popisující všechny nelineární systémy. [35]

To, co je v rámci jednoho popisu entita, může být v rámci jiného nadsystémem. Co popisujeme jako základní pravidlo v jedné teorii, může být v jiné popsáno jako emergentní jev. Mnoho na první pohled technických věd (jako je například chemie a fyzika) má tedy velmi blízko k těm, které byly výše označovány jako soft. Dokonce více než by se mohlo na první pohled zdát. Proto ani dělení věd na přírodní a společenské není velice přesné.

Příklad: *V rámci oblasti chemie lze vzít za základní entitu chemické prvky, jejich vlastnosti (například elektronegativitu) a základní pravidla interakce mezi těmito prvky jako jsou chemické vazby. Zpětnovazebné smyčky a následná samoorganizace vytvoří ze základních pravidel složité vzory chování a nadsystémy (sloučeniny, slabé mezi-molekulové interakce, doprovodné energetické jevy). Nadsystém by se dal definovat jako skupina vzájemně provázaných entit. Výsledný popis modelu v podobě chemické rovnice je pak popisem emergentního chování a abstraktním popisem dynamiky celého systému.*

Větší nepřesnost a častá vágnost popisů v oblasti soft věd je způsobena větší složitostí entit a výrazně širší paletou jejich vlastností (takzvaná diverzita). Složitost je možné odvodit z hierarchie nadsystémů. Čím hierarchicky vyšší nadsystém chceme modelovat jako entitu (například člověk), tím je abstrakce nepřesnější, protože se počítají nepřesnosti v modelování systémů, ze kterých je entita složena (buňky, molekuly chemických sloučenin, atomy, ...).

Základem kvalitního modelu z oblasti kterékoliv z věd zkoumající komplexní systém je správná definice entit a základních pravidel. Model by pak měl vykazovat emergentní chování obdobné, jako se objevuje v objektivní realitě. Jak již bylo zmíněno výše a jak říká známý citát:

„Všechny modely jsou špatně, některé jsou však užitečné.“ (George E. P. Box, významný statistik.)

Užitečnost je možné spatřovat v odhalení vztahu základních pravidel a těch emergentních v kontextu dané abstrakce.

1.1.7 Zaměňování příčiny a následku, zpětná vazba

Častým problémem v rámci zkoumání systémů je požadavek na jasné určení příčiny a následku. Tento vztah je označován jako *kauzalita* a je definován tak, že nastalo A proto, že předcházelo B. Lidé mají tendenci kauzalitu zaměňovat s *konsekvencí*. Tu můžeme definovat tak, že nastalo A, potom nastalo B. Příkladem konsekvence je tanec šamana a následný déšť. [51]

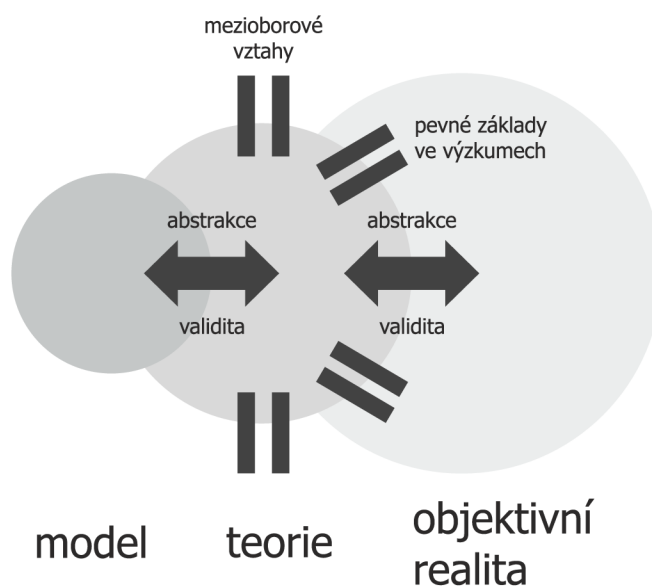
Druhou častou chybou, kterou lidé při uvažování o systémech dělají, je zaměňování kauzality s *korelací*. Korelace je závislost dvou proměnných při vynesení do grafu. Korelace však neznamená, že jedna proměnná ovlivňuje druhou. Ukázkou této záměny uvádí Pelánek 2011 [51] na příkladu počtu zapalovačů v domácnosti a výskytu rakoviny plic. Při vynesení do grafu mají obě proměnné korelaci. Proměnné však nemají vzájemný vztah kauzality. Záměna korelace s kauzalitou však může vést k tomu, že proti rakovině plic začneme bojovat vyhazováním zapalovačů.

V rámci komplexních systémů je těžké mluvit o kauzalitě, protože mnoho jevů je vzájemně složitě provázáno. Díky tomu, že jsou komplexní systémy ovládány *zpětnovazebnými smyčkami*, nelze přesně říci, co je příčina a co následek. Zpětnovazebná smyčka je jev, kdy část výstupu systému je současně vstupem pro další činnost tohoto systému. Zpětnovazebné smyčky se dají rozlišit na dva typy. První je označována jako pozitivní a má tendenci vyvádět systém z rovnováhy. Příkladem pozitivní zpětnovazebné smyčky může být šíření epidemie. Čím více je nemocných, tím větší šance nákazy. Naopak druhá, označovaná jako negativní, se snaží systém stabilizovat v rovnováze. Může jí být v rámci epidemie umírání nemocných.

1.2 Shrnutí

- Kvalitní teorie z oblasti komplexních věd by měly mít základy v metodologicky kvalitních výzkumech.
- Teorie by měly být co nejvíce validní a odpovídající objektivní realitě.
- Teorie je možné za použití další abstrakce modelovat.

- Pro správné modelování dynamiky komplexního systému je nutné správně definovat, co je v rámci teorie entita a jaké může nabývat charakteristiky.
- V rámci modelování je třeba odlišovat základní vzory a pravidla od těch emergentních, které by měla ukázat až simulace systému.
- Jedním z cílů paradigmatu komplexních systémů je to, aby komplexní teorie byly co nejvíce popisovány základními pravidly platnými napříč odlišnými obory a rozdílnými systémy.
- Neustále je třeba udržovat povědomí o tom, že každá teorie popisující komplexní jev je nepřesná a každý model z ní vycházející je pravděpodobně ještě nepřesnější.
- Modelování a simulace může být cestou, jak pochopit objektivní realitu a jak ji s určitou mírou abstrakce částečně popsat.
- Soft science zkoumají komplexní systémy, proto i sociologický simulátor je podmnožinou simulátoru komplexního systému.



Obrázek 1.5: Základní vztahy mezi používanými termíny.

Kapitola 2

Cíle práce

Jak název této práce napovídá, předmětem hlavního zájmu je modelování a simulace sociální dynamiky pomocí sociologického simulátoru. Takový simulátor, aby poskytoval hodnotné výstupy, by měl především vycházet z metodologicky kvalitních sociologických výzkumů.

Sociologie je jeden z představitelů soft science zkoumající chování jednotlivců v rámci sociálních skupin a celé společnosti. Slovo sociologie pochází z řečtiny (*socius* = společnost, *logos* = věda) a poprvé bylo použito roku 1839 francouzským sociologem Augustem Comtem v díle Kurs pozitivní sociologie. [22] Pokud bychom k definici sociologie použili názvosloví z první kapitoly, mohli bychom tento obor definovat jako komplexní vědu, která se snaží vytvářet teorie popisující chování entit (lidských bytostí) v rámci komplexního systému (sociální skupiny, společnosti). [95]

Jedním z obecných cílů této práce je přinést větší povědomí o paradigmatu komplexních systémů a ukázat možnosti jeho praktického užití. Komplexně systematické uvažování je jedním z nástrojů rozvoje nového způsobu myšlení. Toto myšlení přináší díky postupu od obecných vlastností ke specifitějším větší nadhled. Umožňuje pochopit vztahy, souvislosti a interakce. Tento způsob překonává redukcionistický názor, že systému jako celku můžeme porozumět na základě detailního porozumění jednotlivých oddělených částí.

2.1 Modelování a simulace

Obsah této diplomové práce se zaměřuje na modelování pomocí *agentů*. Tento přístup je pro modelování komplexního systému jedním z nejvhodnějších. Kapitola 3 z tohoto důvodu obsahuje popisy termínů z oblasti modelování a simulace, které jsou vztaženy ke komplexním systémům.

2.2 Analýza nástrojů pro sociologické simulace

Prvním bodem zadání této práce je požadavek na seznámení se s existujícími frameworky pro tvorbu sociologických simulátorů. Této problematice je věnována kapitola 4. Obsah analýzy stručně popisuje základní charakteristiky existujících nástrojů, jejich možnosti, výhody a nevýhody. Tato analýza poskytuje také kritéria, díky nimž bylo vybráno prostředí pro modelování ukázkového modelu této práce.

2.3 Mapování výzkumů jako podkladů pro modelování

Pro vytvoření kvalitního modelu je potřeba stavět na kvalitních teoriích a výzkumech. Kapitola 5 jednoduchým způsobem popisuje použité výzkumy a zkráceně charakterizuje jejich metodologie. Výsledný model prezentovaný v kapitole 6 ukazuje teorii integrující výsledky použitých experimentů.

2.3.1 Kritérium falzifikace vědní teorie

Kritérium falzifikace je používáné pro vyvracení vědních teorií. S kritériem falzifikace přišel Karl Popper (1902–1994). Teorie nevyhovuje požadavku falzifikace, pokud je možné její základní tvrzení zpochybnit pomocí empirických dat. Základním požadavkem na tvorbu experimentů je tedy to, abychom nehledali pouze data a jevy, které jsou v souladu s posuzovanou teorií. Cílem je hledat takzvanou negativní evidenci, přinášející taková data a experimenty, které jsou s posuzovanou teorií v rozporu. [84]

Právě ověřování sociálních teorií a hledání falzifikace je z tohoto pohledu komplikovanější než například ve fyzice či v chemii. V těchto oblastech můžeme velmi rychle teorii podrobit experimentu. Experimentálně ověřit chování celé společnosti je technicky neproveditelné. Důsledkem omezených možností falzifikace sociálních teorií je to, že v těchto vědách vedle sebe existují vzájemně nekompatibilní teorie. Cestou, jak teorie ověřovat či falzifikovat, je použití modelování a simulace. [51]

„Pokud to neumíš vypěstovat, pak to neumíš ani vysvětlit.“ (Joshua Epstein, profesor MIT, průkopník agentově-orientovaného modelování.)

Epstein v tomto svém výroku naráží na to, že pokud má být sociologická teorie kvalitní, musí existovat model, který se podle daných předpokladů chová. Takový model generuje emergentní jevy, jaké vykazuje chování entit v rámci objektivní reality. Modely pomocí kterých se „pěstují“ sociologické fenomény Epstein označuje jako *umělé společnosti* (angl.: artificial society). [17] [51]

2.4 Konkrétní aplikace výzkumů při tvorbě modelu

Jedním z konkrétních praktických cílů této práce je využít metodologicky kvalitní výzkumy z oblasti lidského rozhodování a motivace k modelování a simulování jevu zvaného *prokrastinace*. Prokrastinace je definována jako odkládání důležitých činností a jejich nahrazování nedůležitými nebo žádnými činnostmi. Blíže je tento fenomén definován a popsán v kapitole 5.

Model v sobě integruje chování entit podle jednotlivých experimentů. Pokud použijeme takto zhotovený model a začneme simulovat, pokoušíme se právě o to, co Epstein označuje jako pěstování sociologického fenoménu. Jestliže výsledné emergentní chování bude odpovídat pozorování reálného světa, podařilo se alespoň částečně jev vysvětlit.

Kapitola 3

Modelování a simulace

V rámci sjednocení chápání užívaných výrazů a jejich správného vymezení je potřeba hned na počátku kapitoly používané základní termíny přesně definovat. V rámci celého obsahu práce jsou často uváděny termíny jako: modelování, model, systém, simulace či komplexní systém.

3.1 Modelování a model

Modelování je možno definovat jako soubor technik a postupů pro navrhování modelů. Model je zjednodušený obraz skutečnosti, která se odehrává v objektivní realitě. Formálně řečeno, modelování je proces tvorby systému modelujícího ze systému modelovaného na základě vhodně stanovené relace. Modelovat můžeme jak objektivní realitu, tak i její abstrakce ve formě vědeckých teorií. V rámci této práce se budeme dále zabývat pouze modely výpočetními. To jsou ty modely, které je možné provádět a vyhodnocovat na počítači. Zkoumání ostatních typů modelů, jako například modelů fyzických (mapa, model auta), není k pochopení problematiky nutné. [37]

Cílem modelování je tedy vytvořit abstrakci reality, která pomáhá pochopit pozorované jevy, napodobit chování reálného systému. Cílem následné simulace je predikovat, jak se systém bude vyvíjet v čase a jak bude reagovat na změny. Model je třeba postavit na kvalitních experimentech, které realitu zkoumají a přinášejí tak podklady pro smysluplné modelování. [37] [28]

3.1.1 Omezení modelu

Jelikož je model zpravidla jednodušší než teorie či realita sama, mají modely zvýrazněné pouze některé klíčové aspekty. Model je tedy umělá náhrada skutečného dynamického systému, mající zachovány pouze ty vlastnosti, které jsou považovány za důležité. Ostatní vlastnosti jsou zanedbány nebo velmi zjednodušeny. Díky tomu je model vždy pouze přiblížením k realitě a je ho třeba brát s rezervou. [37] [51]

Příklad: *V modelu šíření epidemie HIV mohou být lidé modelováni jako tečky pohybující se náhodně po dvojrozměrné scéně modelující svět. Znak nemoci může být v rámci modelu označen červenou barvou. Zdravý člověk může být označen například barvou šedou. I takováto míra abstrakce a zjednodušení však může sloužit k pochopení šíření epidemie populací a může pomoci proti epidemii účinně bojovat.*

3.2 Systém

V obsahu textu již několikrát zaznělo slovo systém. Systémem v oblasti modelování rozumíme objekt reálného světa, který je souhrnem souvisejících entit a jejich vazeb. Prvky systému jsou společně sdružené do smysluplného celku. Systémy je možné rozdělit na statické a dynamické. Statický je takový systém, u kterého je možno zanedbat čas. Tento systém se tedy nevyvíjí, a proto nebývá obvyklé ho počítačově modelovat. Naproti tomu dynamický systém je takový, který se v čase mění. Modelování a simulace se jinými než dynamickými systémy mnoho nezabývá. Dynamický systém se v rámci své existence nachází v určitém stavu. Stav systému je možno vhodným způsobem zobrazovat. [96]

3.2.1 Komplexní systém

Předmětem sociologického zkoumání jsou systémy označované jako komplexní. Jak již bylo zmíněno v úvodu, komplexní systém je dynamický systém složený ze vzájemně propojených entit, které jako celek vykazují emergentní vlastnosti na první pohled neodvoditelné z vlastností jednotlivých částí. Komplexní systém je charakteristický velkým počtem komponent, jejichž interakce nejsou úplně náhodné. Není tedy možné nahradit entity malým počtem komponent, ani jejich průměrem. Příkladem takového systému je například lidská společnost, imunitní systém, neuronová síť mozku, ekonomika, počasí nebo Internet. [82]

3.3 Simulace

Simulace umožňuje zkoumání modelu a jeho parametrů. Tím nám simulace zprostředkovaně umožňuje poznávat realitu. Pokud nás modely vedou k přesnému popisu a konstrukci naší představy o fungování systému, simulace nás konfrontuje s praktickými výsledky těchto představ. Díky běhu simulace je tedy možné testování hypotézy o tom, jak systém funguje. Simulace pomáhá navrhnout úpravy modelu, které mohou vést k systémům odolnějším vůči chybám a nečekaným změnám.

Základním cílem simulace je předvídaní budoucích stavů systémů, předvídaní vlivů zásahů do systémů, demonstrace určitého fungování systému nebo ověření či vyvrácení modelované teorie. Celkově by se dalo říci, že simulace otevírá člověku oči, ukazuje nečekané spojitosti a nutí člověka více systémově myslet. [51]

3.4 Tvorba modelu

Při tvorbě modelu musí autor v první řadě přemýšlet, zda bude modelovat principem shora či zdola. Tyto principy budou detailněji popsány níže. Na počátku tvorby modelu je třeba určit, co do modelu zahrneme a co ne. Dále se stanoví základní modelované entity, jejich charakteristiky, možné vzájemné vazby a interakce. Detailně je potřeba popsat, jak se formulují vztahy mezi entitami a jaké budou vlastnosti součástí i celého systému. Modelování vyžaduje přesně určené cíle a kvalitní zdrojová data. Jelikož neexistuje žádný přesný návod, jak modelování provádět, bývá tato činnost přirovnávána spíše k umění. Jedno pravidlo však platí pro každý model: čím dokonalejší je analýza reálného systému, tím dokonalejší je možné vytvářet modely. [37]

3.4.1 Kde používat modely

Modelování je vhodné použít tam, kde by bylo obtížné pozorovat nebo měnit realitu. Důvody k obtížnosti můžeme spatřovat například v hlediscích ekonomických (model stavby dálničního obchvatu), etických (šíření epidemie HIV) či v nemožnosti s entitami pracovat (například srážka galaxií či ohřev zemské atmosféry a tání ledovců). Sociologie je přesně ta oblast, kde se bez modelů často neobejdeme. Experimentování s celou společností nebo testování vývoje v horizontu desetiletí není jinak než pomocí modelů efektivně možné. [51]

3.5 Modelování komplexních systémů

Jelikož jsme již definovali všechny potřebné termíny, můžeme říci, že další obsah práce se věnuje převážně modelování komplexních systémů. Toto modelování má svá specifika, a jelikož je to odvětví relativně mladé, obsahuje i řadu výzev.

3.5.1 Historie modelování

Rozmach výpočetního modelování přichází v důsledku rozvoje počítačů. Nejprve byly zhotovovány modely v podobě diferenčních a diferenciálních rovnic. Tento způsob modelování využívá přístupu shora dolů a bývá v literatuře označován jako systémové modelování. Tento modelovací přístup spočívá v tvorbě rovnic popisujících chování systému jako celku. Využívá průměrování chování entit. Z toho vyplývá jeho největší slabina při použití v rámci zkoumání komplexních systémů. Model neumožňuje sledovat lokální interakce a není možné u něho pozorovat emergentní chování. Simulací takového modelu získáváme výsledky ve formě řešení daných rovnic, grafů a konkrétních čísel. Čím přesnější jsou použité rovnice, tím lepší je i výsledný model. Nástrojem pro systémové simulace je například prostředí Stella. Protože tento typ modelování není pro komplexní systémy nejvhodnější, nebudeme se jím již dále zabývat. [37]

Později se v rámci modelování vyvinulo takzvané „modelování s agenty“. Jedná se využití principu zdola nahoru (angl.: bottom-up). Agent v rámci abstrakce reality umožňuje zapouzdření určitého chování. Duchovním otcem tohoto přístupu je Thomas Schelling, který v roce 1971 vytvořil jednoduchý model s názvem Segregace. Tento model ukazuje sociologický fenomén seskupování lidí stejné barvy pleti. Schelling pro simulaci modelu použil papír a na něm umístěné dva druhy mincí. Rozvoj výpočetní techniky umožnil přenést modelování a simulaci z papíru do počítačů. Od této doby důležitost modelování pomocí agentů roste a začíná prostupovat všechny vědy, které se komplexních systémů dotýkají. [37]

Přístup založený na modelování s agenty umožňuje analyzovat výrazně složitější systémy, než které umožňuje zkoumat přístup čistě matematického systémového modelování. Metody zdola jsou důležité pro řešení problémů, které nelze řešit redukcionisticky. Tedy pouze rozdělením na dílčí části a následnou analýzou těchto částí. Těžko lze studovat imunitní systém člověka pouze v jedné oddělené končetině či buňce. Jak z tohoto odstavce vyplývá, použití tohoto přístupu je velmi vhodné právě pro modelování a simulaci komplexních systémů. Tedy i pro sociologickou simulaci, jež je cílem této práce. [56] [27]

3.6 Multiagentní sociální simulace

Modelování pomocí nezávislých agentů (angl.: Agent Based Modeling – dále jen „ABM“) je jednou z významných větví současného počítačového modelování a simulace. Přístup pomocí

ABM je vhodný pro modelování většiny komplexních systémů a komplexních fenoménů. Jako příklad můžeme uvést modelování jevů v oblasti ekonomie, ekologie, počasí, biologie, chemie či sociálních věd. Zkoumání komplexních systémů bez modelu je jinak velmi těžko uchopitelné. [90]

Podle Epsteina 2006 [17] modelování pomocí agentů mění možnosti ověřování teorií v rámci sociálních věd. Tento relativně nový a robustní přístup umožňuje sociálním vědám přinášet nové standardy pro vysvětlování sociálních jevů a pro tvorbu nových teorií. Gilbert a Troitzsch [27] ukazují, že právě simulace sociologických jevů pomocí agentů může poskytnout data, která při srovnání s daty reálnými mohou pomoci při falzifikaci modelované teorie.

ABM je typickým zástupcem modelování zdola nahoru, což znamená, že se primárně zaměřuje na pochopení a konstrukci pravidel chování na mikroúrovni. Tato jednoduchá pravidla mají při simulaci modelu ukázat emergentní chování, jež vede k pochopení chování systému na makroúrovni. ABM se může zaměřovat na modelování agentů v podobě entit či celých nadsystémů. [56]

Agenti jsou heterogenní autonomní entity s relativně jednoduchými pravidly chování. Právě agent odpovídá entitě reálného systému. Agenti se nacházejí v určitém prostředí, skrze které spolu reagují. Agentní modelování je charakteristické vývojem agentů v čase. Jelikož se agenti mohou mezi sebou ovlivňovat a měnit svoje charakteristiky, dochází ke vzniku různých zpětnovazebných smyček a vzniku emergentního chování. Agenti nepodléhají žádnému centrálnímu řízení, jejich dynamika je ponechána samoorganizaci. Každý agent má nekompletní informaci o modelu a disponuje jen limitovaným úhlem pohledu na simulační prostředí. [52] [1]

3.6.1 Příklad ABM

Velmi častým příkladem pro ABM je modelování chování sociálního hmyzu, například chování mravenců. Mravenec je základní entitou modelu. Stačí několik jednoduchých pravidel a mnoho agentů řídicích se těmito pravidly vytvoří zdánlivě inteligentní chování nadsystému. Jako konkrétní příklad můžeme uvést model hledání potravy mravenci. V rámci modelu se agenti pohybují náhodně po scéně. Pokud naleznou potravu, vezmou její kousek a začnou se pohybovat směrem k mraveništi. Agent nesoucí potravu uvolňuje feromon. Ten ovlivňuje ostatní agenty tak, že upřednostňují pohyb po místech s feromonem. Takto nastavená jednoduchá pravidla způsobí to, že mravenci nejenom že naleznou místo s potravou, ale systematicky přenesou jeho obsah do mraveniště. Sběr začíná od nejbližšího zdroje potravy a díky feromonům se vytvoří mezi zdrojem potravy a mraveništem stabilní cesta. Agenti jsou schopni řešit problémy, které přesahují možnosti a znalosti každého z nich. [59] [56] [28]

3.6.2 Indukce a dedukce

Pomocí deduktivního přístupu můžeme z chování modelu vyvozovat určité zákonitosti a vytvářet teorie. Zajímavější je však induktivní potenciál modelování s agenty. Ten má za cíl vytváření modelu, který během simulace generuje období reálných dat a demonstruje chování obdobné pozorování reálného chování. Tento typ induktivních modelů často osvětluje příčiny vzniku emergentního chování. Jak bylo již uvedeno v úvodu, každý model je ale nepřesný, některé modely nám však mohou být částečně užitečné. [51]

3.6.3 Další rozšíření ABM

ABM modely bývají rozšiřovány dalšími přístupy z oblasti umělé inteligence, převážně z její sub-disciplíny zvané jako soft computing.

Teorie her

Racionální chování agentů je často modelováno principy vycházejícími z teorie her. Agenti mohou používat jednoduchá rozhodovací pravidla či složité heuristiky za použití paměti. Teorie her je disciplína aplikované matematiky, která analyzuje široké spektrum konfliktních rozhodovacích situací, které mohou nastat kdekoliv, kde dochází ke střetu zájmů. Herně-teoretické modely se snaží tyto konfliktní situace nejen analyzovat, ale sestavením matematického modelu daného konfliktu a pomocí výpočtů se snaží nalézt co nejlepší strategie pro konkrétní účastníky takových konfliktů. Teorie her se uplatňuje v mnoha komplexních systémech od ekonomie, přes politologii až po sociologii a biologii. Herní teorie dává modelované realitě matematický základ a popisuje matematicky odvozené chování agentů systému. Zahrnuje v sobě kooperační i nekooperační přístupy, které jsou velmi přínosné pro modelování společenské reality. [98] [58] [42]

Fuzzy logika

Častým jevem je také využívání fuzzy logiky pro rozhodování, které může implementovat kognitivní disonanci (napětí mezi dvěma protikladnými, navzájem se vylučujícími obsahy vědomí). Fuzzy logika je podobor matematiky odvozený od teorie fuzzy množin, ve kterém se logické výroky ohodnocují stupněm příslušnosti (také index vágnosti), jehož hodnoty jsou v intervalu od 0 do 1. Liší se tak od klasické výrokové a predikátové logiky, v nichž se výroky ohodnocují buď jako pravdivé, nebo nepravdivé. V binárním vyjádření jako 1, nebo 0. Fuzzy logika je mnohem vhodnější pro řadu reálných rozhodovacích úloh. Používá se například v myčkách na nádobí, pračkách, autopilotech, parkovacích senzorech atd. Fuzzy logika bývá využívána jako základ logických proměnných simulovaného světa a charakteristik agentů. Užití této odlišné logiky přináší reálnější výsledky, snadnější vyjádření nejistot a tím celkové zvýšení kvality výstupních výsledků simulací. [86] [58] [42]

Umělé neuronové sítě

Umělé neuronové sítě jsou v současné době často používaným výpočetním modelem v oblasti pokročilé umělé inteligence. Její struktura je odvozena od fungování biologického neuronu v mozku. Agenti jsou schopni využívat umělých neuronových sítí ke svému učení. [58] [42]

Genetické algoritmy

Genetické algoritmy mohou pomáhat agentům se adaptovat či se reprodukovat. Takováto koevoluce může přinášet vývoj nových znaků a tím i nového chování agentů (kooperativita, parazitismus a mnohé další). Modely mohou tímto způsobem implementovat přirozený výběr kvalitních agentů. Ti mohou předávat úspěšné znaky pro další generace a zajistit tak adaptabilní vývoj druhu. Jak z obsahu tohoto odstavce vyplývá, vývoj v oblasti ABM se snaží přiblížit principům, na kterých funguje vývoj a vývin v reálném biologickém světě. [58] [42]

3.7 Shrnutí často používaných označení v oblasti modelování s agenty

MAS (Multiagentní systém) Jde o obecný systém obsahující agenty, kteří interagují s okolím a sami mezi sebou. Tito nezávislí a autonomní agenti plní stanovené cíle, spolupracují, samoorganizují se a často vykazují z makro pohledu emergentní jevy. Takovýto systém může být i fyzický model obsahující agenty ve formě robotů. [1] [91]

Agent Jedná se o zapouzdřenou výpočetní entitu, zkonstruovanou za účelem kontinuálně a do jisté míry autonomně plnit své cíle v adekvátním prostředí na základě vnímání prostřednictvím svých senzorů a prováděním akcí prostřednictvím takzvaných aktuátorů. Agent přitom ovlivňuje podmínky v prostředí tak, aby se přibližoval k plnění cílů. Mezi základní rozdělení agentů patří dělení na agenty reaktivní a proaktivní. Reaktivní agent je schopen reagovat na změny prostředí, kdežto proaktivní iniciativně sám ovlivňuje okolí za účelem dosažení svých cílů. Jiná definice agenta uvádí, že agent je cokoliv, co sleduje okolí a nějak na něho reaguje. [52] [37] [1]

Prostředí Jedná se o obdobu světa, ve kterém se agenti pohybují. Prostředí se dají rozdělit na přístupné, nepřístupné, statické, dynamické, nedeterministické, deterministické, spojité, diskrétní. Přístupné je takové prostředí, ve kterém agent zná kompletní informace o prostředí, v nepřístupném prostředí je agent odkázán na své senzory a takový agent nemá veškeré potřebné informace o prostředí. Dynamické prostředí se mění během času, aniž by agenti provedli nějakou změnu, oproti tomu statické se mění pouze na základě chování agentů. Deterministické prostředí umožňuje předvídatelnost výsledku akce agenta, v nedeterministickém jsou výsledky akcí agentů nepředvídatelné. Diskrétní prostředí limituje agenta počtem stavů, ve kterých se v rámci prostředí a v rámci svých vnitřních stavů může nacházet. Spojité prostředí umožňuje nekonečný počet těchto stavů. [37]

Kapitola 4

Softwarové nástroje pro sociální simulaci postavenou na ABM

Počítačová sociální simulace, za použití modelování a simulace pomocí agentů (ABM), není efektivně možná bez využití již vytvořené knihovny, frameworku či kompletní softwarové podpory ve formě modelačního a simulačního prostředí. Tvořit model pomocí programu postaveného takzvaně na zelené louce, tedy bez použití již vytvořených komponent, může být zbytečnou ztrátou času. Tohoto postupu je možné využít pouze za dobře odůvodněných podmínek. V rámci této práce je použití softwarového nástroje pro tvorbu modelu více než vhodné.

Cílem této kapitoly je analyzovat nejznámější a nejdostupnější nástroje vhodné právě pro sociální simulaci. Jelikož je těchto nástrojů dostupných více než sto (viz. [74] nebo [73]), zaměřuje se tato analýza pouze na ty nástroje, které bývají často využívány pro demonstrační ukázkové úlohy a na ty nástroje, které jsou uváděny v literatuře zabývající se ABM (například doporučené v Pelánek 2011 [51]).

4.1 Detailní analýza nástrojů

Mezi detailněji analyzované nástroje v této práci patří Swarm, NetLogo, Repast a Repast Symphony, Mason a StarLogo. Existuje několik publikací, které se snaží tyto nástroje vzájemně porovnat. Srovnání prostředí NetLogo, Swarm a Repast, včetně základní analýzy těchto nástrojů, je uvedeno v [57]. Mezi další známé a v praxi využívané nástroje pro multi-agentní modelování patří Ascape, AnyLogic, Breve, Jade, SeSAM či Zeus. Podrobný seznam nástrojů, včetně popisu a porovnání, je možné nalézt v [2], stručný popis pak poskytuje [74], [73] či [34]. Základní tabulkové porovnání nástrojů je uvedeno v [81].

4.1.1 Swarm

Pod názvem Swarm (česky: hejno, roj) se nachází simulační platforma založená na principu skupiny vzájemně interagujících agentů. Tato platforma byla jednou z prvních věnujících se ABM a vznikla již v roce 1994. Autory původního návrhu jsou členové Sanfa Fe institutu, který je jedním z nejvýznamnějších světových center zabývajících se komplexními systémy. Nyní je projekt Swarm vyvíjen a spravován Swarm Development Group. [72]

Modelování a simulace komplexních systémů je pro zkoumání a poznání komplexních systémů zásadní. Tento důvod byl jednou z hlavních příčin vzniku prostředí Swarm. Jelikož v té době podobný nástroj na tvorbu multiagentních simulací neexistoval, byli vědci ze

Santa Fe institutu nuceni vyvinout nástroj vlastní. Jádrem platformy Swarm je koncept, že multiagentní simulační software musí na jedné straně implementovat model, ale zároveň odděleně poskytovat virtuální laboratoř pro děláni experimentů s tímto modelem. [2]

Platforma Swarm obsahuje soubor knihoven pro vývoj umělých světů na bázi distribuované umělé inteligence a má svůj základ v jazyce Objective-C. Později byl předělán jeho základ do jazyka Java s možností volat vytvořené balíčky v Objective-C. Toto prostředí slouží pro modelování jednoduchých modelů, ale i pro navrhování poměrně rozsáhlých multiagentních systémů. Vzhled agentů i simulačního světa je čistě v rukou programátora. [2] [57]

Základní omezení tohoto prostředí bývají spatřována v tom, že je jím možné modelovat pouze skupinu agentů označovanou jako roj (swarm). Tato skupina obsahuje pouze jednu společnou paměť a plánovač událostí. Nevýhodou tohoto prostředí je poměrně složitá instalace a dlouhá doba nutná k pochopení celého systému. Přes všechny popsane nevhody je Swarm stále označován jako jedna z nejflexibilnějších multiagentních platform. [2] [57]

4.1.2 NetLogo

NetLogo je vývojové prostředí pro jednoduché multiagentní modelování a simulace. Toto prostředí je implementováno pro více platform, a proto jsou modely pro NetLogo velmi dobře přenositelné. NetLogo vzniklo v roce 1999 a jeho autorem je Uri Wilensky, profesor z Northwestern University, který je zároveň zakládající člen NICO (the Northwestern Institute on Complex Systems). [99]

Základem NetLoga je opět programovací jazyk Java. Výhodou NetLoga je rozsáhlá knihovna ukázkových modelů (převážně právě od Uri Wilenského) a poměrně intuitivní programovací jazyk, který má svůj základ v jazyce Logo. Prostředí NetLoga umožňuje exportovat výsledné modely ve formě Java appletu a tak je jednoduše sdílet v prostředí Internetu. NetLogo umožňuje export video sekvencí pro snadnou prezentaci a archivování běhů simulace. NetLogo má i svou 3D verzi a má rozsáhlé možnosti v rámci decentralizované distribuované simulace (označováno jako platforma HubNet). Výhodou NetLoga je i rozsáhlá dokumentace dostupná i v českém jazyce. [6] [2] [57]

Základem NetLoga je svět, který je tvořen agenty. Agenti jsou tvorové, kteří se řídí instrukcemi. Každý agent provádí vlastní činnost zároveň s ostatními. V NetLogu existují čtyři druhy agentů: želvy, políčka, spoje a pozorovatel. Želvy jsou agenti pohybující se po světě. Svět je dvourozměrný nebo třírozměrný prostor, který je rozdělen do mřížky s políčky (nebo v případě 3D je síť rozdělena na kostičky). Každé políčko je čtverec země, po kterém se pohybují želvy. Spoje jsou agenti spojující dva agenty. Právě spoje jsou vhodné pro modelování komplexních sítí. Pozorovatel je entita, která se dívá na svět želv, spojů a políček. [6] [99]

4.1.3 Repast a Repast Symphony

Význam projektu Repast (Recursive Porus Agent Simulation Toolkit) spočívá v tom, že se jedná o open-source projekt postavený v první řadě na jazyce Java. Již se však objevilo i mnoho jiných implementací (například C#). Od roku 2006 byly některé implementace Repast nahrazeny novým nástrojem, označeným jako Repast Symphony. Tento nástroj vycházející z Repast3 obsahuje řadu vylepšení, jako například rozpracované GUI či výpočty pomocí počítačových clusterů. [55]

Repast vznikl na University Of Chicago (konkrétně v její laboratoři Social Science Research Computing Lab) a vychází vizuálně i konceptuálně ze staršího Swarm. Srovnání

Swarm a Repast je uvedeno v [76]. Díky otevřenému zdrojovému kódu je možné vidět základní softwarové koncepční přístupy pro tvorbu knihovny umožňující multiagentní simulace. Repast bývá označován jako Javové přetvoření platformy Swarm. Repast se na rozdíl od Swarm zaměřuje převážně na modelování a simulace v oblasti sociálních věd a z tohoto důvodu obsahuje mnoho nástrojů určených právě pro sociální vědy. [2]

Knihovna obsahuje možnost napojení na prostředí MatLab, umožňuje 2D a 3D zobrazení, implementuje možnost přímo využívat genetické algoritmy, nabízí regresivní analýzu nebo síťové modelování pomocí komponenty označované jako Evolver. Nevýhodou prostředí Repast je málo dostupných ukázkových modelů v prostředí Internetu. V základu sice prostředí obsahuje několik ukázkových příkladů, tyto ukázkové modely jsou však vhodné pouze pro seznámení se s filozofií celé knihovny. Další nevýhodou knihovny Repast je poměrně vysoká počáteční složitost a nutnost pokročilé znalosti OOP, a to již u nejjednodušších modelů. Repast může být vhodný pro rozsáhlé modely vyžadující důraz na optimalizace výkonu celé simulace. [2]

4.1.4 Mason

Pod označením Mason se skrývá open-source multiagentní knihovna pro jazyk Java vyvíjená v George Mason University Center for Social Complexity. Knihovna Mason byla navržena jako rychlejší a jednodušší alternativa ke knihovně Repast. Aplikace vytvářené prostřednictvím knihovny Mason jsou plně implementované v jazyce Java. Vývojáři Masonu se zaměřili na implementaci obecných nástrojů vhodných pro většinu typů multiagentních simulací. Na rozdíl od Repast se tedy Mason nevyhraňuje primárně na sociální vědy. [41] [2]

Celá knihovna díky své konstrukci počítá se svým uplatněním v rozsáhlých simulacích, a to i bez možnosti grafického zobrazení. V rámci knihovny je právě grafické zobrazení a modelovací jádro striktně oddělováno. Podobně jako Swarm využívá Mason základní přístup k modelování skupiny agentů pomocí roje. Výsledné zobrazení je možné jak v 2D, tak i ve 3D, za použití knihovny Java3D. [2] [34]

4.1.5 StarLogo a OpenStarLogo

Jedná se o modelovací a simulační prostředí vyvíjené na půdě MIT. StarLogo vzniklo jako nástroj pro zkoumání decentralizovaných systémů prostřednictvím jejich simulace. Podobně jako NetLogo obsahuje i StarLogo dva základní druhy agentů, a to „želvy“ (angl.: turtles) a „oblasti“ (angl.: patches). Želvy jsou agenti schopní pohybu, mají tedy svůj směr, pozici, tvar, barvu a rozsáhlou paletu jiných vlastností. Oblasti jsou části světa (jakési dlaždice), na kterých agenti žijí. Každá oblast může mít opět rozličné charakteristiky a může interagovat s agentem, který se na ní vyskytne. [44] [45]

StarLogo je dostupné pro platformu Mac a PC, bohužel však modely vytvořené na jedné platformě nejsou přenositelné na platformu druhou. Zdrojové kódy StarLoga byly uvolněny pod označením OpenStarLogo. [2]

4.2 Výběr nejvhodnějšího nástroje

Základním kritériem pro výběr nástroje, ve kterém bude implementován výsledný model této práce, je to, aby vybraný nástroj byl co možná nejvíce intuitivní pro tvorbu sociálních modelů. Jelikož bude v rámci modelování nutné vytvořit a otestovat mnoho konfigurací a modelů, měl by vybraný nástroj umožnit rychlou úpravu charakteristik modelu. Dle

srovnání v [57] a v [34] bylo vybráno prostředí NetLogo. Konkrétní důvody tohoto výběru jsou uvedeny v následujících podkapitolách.

4.2.1 Jazyk prostředí

Jednoduchý model v prostředí NetLogo obsahuje přibližně 50 řádků kódu ve speciálním skriptovacím jazyce, který vychází z velmi intuitivního jazyka Logo. Obdobný model popsaný například v jazyce Java za použití knihovny Repast obsahuje řádků 950. Programování a tvorba modelů v jazyce NetLogo je velmi snadné a umožňuje poměrně rychle vyrobit efektivní model. Tento jazyk je na pomezí paradigmatu funkcionálního a objektového programování. Konkrétní procedury (metody) jsou zapouzdřeny v rámci jednotlivých objektů (agentů). V rámci volání metod je však možné volat i konkrétní metodu konkrétního agenta. [57] [34]

Výsledný kód za použití knihovny Repast či Swarm je více komplikovaný a náchylnější k chybám. Čas potřebný k pochopení a vytvoření prvního modelu je v Netlogu v řádu hodin, v Repastu v řádu dnů a ve Swarmu v řádu týdnů (toto srovnání vychází z tabulky uvedené v [57]). Z důvodu větší efektivity práce je tedy vhodné vybrat pro implementaci modelu uvedeného v kapitole 6 právě prostředí NetLogo.

4.2.2 Efektivita

Druhým z kritérií výběru prostředí je jeho efektivita. Porovnání efektivity NetLoga s prostředím Mason vychází z analýzy dostupné v [34]. Z této analýzy vyplývá, že ač NetLogo používá relativně vysoké abstrakce při tvorbě zdrojového kódu, nemá tato abstrakce významný vliv na efektivitu běhu modelu. NetLogo je ve srovnání pouze o něco málo pomalejší než model vytvořený pomocí knihovny jazyka Java jako je například Mason. Pro velmi rozsáhlé simulace je z důvodu efektivity vhodné vybrat některou z robustních knihoven, jako například Jade, Mason či Repast.

4.2.3 Instalace

Simulace vytvořené prostřednictvím NetLoga se vytváří přímo v tomto prostředí. Je možné je tedy spouštět a ladit přímo v modelačním prostředí za souběžného programování. Další výhodou NetLoga je možnost exportu modelu pomocí Java appletu, což umožňuje snadné šíření modelu pomocí Internetu. Instalace NetLoga je velmi intuitivní a je možné využít implementaci pro více platforem. Dostupná je jak verze v prostředí Windows, tak verze pro prostředí Macového či Unixového typu. Další výhodou prostředí NetLogo je rozsáhlá databáze ukázkových modelů a silná podpora on-line komunity. [6] [99]

V době tvorby práce vyšla nová verze NetLoga, obsahující řadu vylepšení a oprav (verze 4.1.3 z března 2011). NetLogo prochází neustálým vývojem, jehož výsledkem je to, že se v době vzniku této práce objevila i beta verze NetLoga 5.0. Z důvodu reportovaných chyb však nebyla beta verze k tvorbě modelu použita. [99]

Kapitola 5

Výzkumné podklady pro modelování

*„Na zítřek se nespolehej,
na pozítří neodkládej;
Neboť člověk zameškalý
stodoly nenaplní,
Ani člověk-odkládavec;
Zato púle množí dílo;
Ale člověk-nedodělka
Bude tříti bídu s nouzí.”*

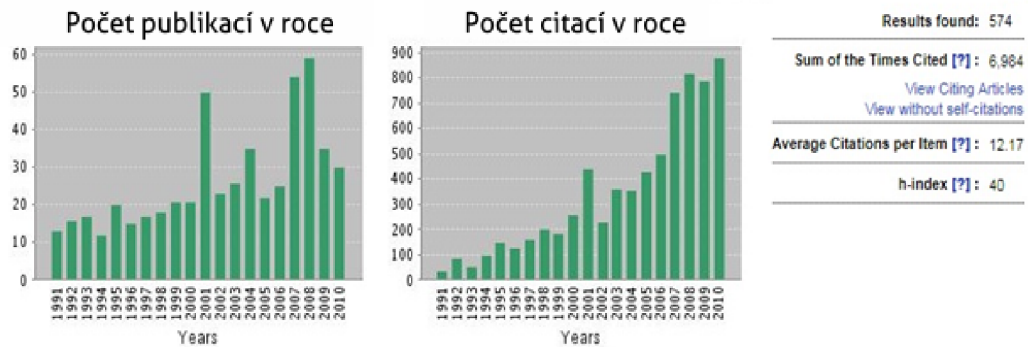
(Hesiodos, antický řecký básník poloviny 7. století př. n. l., Práce a dni.)

V této kapitole budou popsány výzkumné základy, které jsou podkladem pro model uvedený v kapitole 6. Cílem modelování a simulací demonstračního modelu této práce je ukázka a praktické osvětlení společenského jevu označovaného poměrně novým českým slovem *prokrastinace* (angl.: *procrastination*). Z tohoto označení je odvozen i pracovní název modelu: *World Of Procrastination* (dále v textu jako „WoP“ model).

Prokrastinace je konstrukt označující sociální fenomén, který je možné definovat jako iracionální a chorobné odkládání důležitých povinností na později a jejich nahrazování činnostmi nedůležitými nebo činnostmi žádnými. Jelikož v současné době není mezi odbornou veřejností ustálená definice termínu prokrastinace, tato práce vychází z definic uvedených v Boice 1996 [11] a Steel 2007 [69]. Původ pojmu prokrastinace leží v latinském slovním spojení *pro-crastinus*, které by se dalo přeložit jako patřící zítřku.

Jak uvádí Steel 2010b [71], prokrastinace je v současnosti stále závažnějším jevem, který snižuje efektivitu práce a má neblahý vliv na lidskou psychiku, přináší frustraci a pocit selhání. Meta-analýza mnoha výzkumů, uvedená v Steel 2007 [69], ukazuje, že prokrastinací trpí 80 až 95 procent studentů vysokých škol. Tato meta-analýza využívá 691 korelací a odhaluje mnoho vztahů prokrastinace a jiných sociálních konstruktů. Fenoménu akademické prokrastinace se hlouběji věnuje Schraw et al. 2007 [60] nebo O'Brien 2002 [47].

Ač je efekt prokrastinace popisován v literatuře napříč historií, dostává se mu zasloužené vědecké pozornosti až v posledních několika letech. Jak ukazuje graf četnosti publikací a citací s klíčovým slovem *procrastination*, je tento sociální jev ve stále větším zájmu vědecké veřejnosti. Detailnímu popisu fenoménu prokrastinace, včetně konkrétních příkladů, je věnována část 5.6.



Obrázek 5.1: Četnost publikací a citací s klíčovým slovem *procrastination* dle [75].

Simulování modelu WoP, postaveném na multi-agentním principu, by mělo pomoci v odhalení celkové dynamiky a jednotlivých faktorů vzniku prokrastinace a ukázat její možné důsledky. Opět na tomto místě uvedeme velmi důležitou myšlenku Joshua Epsteina, jednoho z hlavních tvůrců paradigmatu agentního modelování v sociálních vědách: „*Pokud to umíte vypěstovat, umíte to i vysvětlit.*“¹ Právě vypěstování je v tomto citátu alegorií pro modelování a následné simulace, které pomocí vzájemné interakce agentů vytváří na makroskopické úrovni požadovaný emergentní jev. V tomto případě je požadován vznik emergentního jevu simulace v podobě prokrastinace a jejích doprovodných jevů.

5.1 Zpracování výzkumů a jejich metodologie

Jak bylo zmíněno v úvodní kapitole této práce, kvalitní model je potřeba stavět na metodologicky kvalitních a aktuálních výzkumech. Tyto výzkumy je potřeba také správně interpretovat a uchopit. Demonstrační model WoP vychází ze tří oblastí sociologických, psychologických a neurovědních výzkumů a integruje jejich výsledky a principy do jednoho výsledného modelu. Simulace modelu WoP by měly odpovídat nezávisle efektům, které odhalují jednotlivé výzkumy ze zmíněných oblastí zvlášť. Jako celek by měla simulace modelu WoP vytvářet emergenci v podobě chování agentů, které bude naplňovat definice prokrastinace a jejích doprovodných jevů.

Pro účely pochopení hlavní filosofie modelu WoP není nutný detailní popis a metodologický rozbor všech uvedených výzkumů. V obsahu této práce se spokojíme pouze s jejich krátkým popisem, jež má za cíl vystihnout hlavní efekty a jevy, které experimenty odhalují. Jelikož je každý model pouze abstrakcí světa a je tedy díky své podstatě vždy špatný, jsou výzkumy pouze určitým vodítkem pro tvorbu kvalitního modelu. V zájmu větší přesnosti modelu byly jednotlivé výzkumy nastudovány v originálním znění a jsou v této práci s maximální důsledností citovány. Pro zájemce o hlubší pochopení jednotlivých výzkumů a pro popis jejich metodologie jsou v práci uváděny vždy odkazy na původní vědecké zdroje. Tyto zdroje jsou dále doplněny o odkazy na diskursní a populárně-naučné práce.

Všechny uvedené výzkumy souhrnně popisují vznik a dynamiku různých sociálních efektů. Aby bylo možné si představit širší jejich záběr, jsou výzkumy doplňovány o další intuitivní příklady dané problematiky. Čtenáři jsou tyto příklady poskytovány jako vodítko k hlubšímu osvojení modelované problematiky a k prohloubení komplexně systémového

¹Český překlad tohoto citátu uvedeného v Epstein 2006 [17] převzat z Pelánek 2011 [51].

pohledu na svět.

Studie a výzkumy, které jsou základem pro WoP model v této práci, se týkají čtyř hlavních oblastí:

- kognitivní zdroj a rozhodovací paralýza,
- naučená bezmocnost a flow stav,
- vztah AD/HD a prokrastinace, focus a snížená hladina motivace,
- časové perspektivy – přítomná a budoucí orientace.

5.2 Kognitivní zdroj a rozhodovací paralýza

„Čím více možností máme, tím více litujeme výběru.“ (Berry Schwartz, profesor psychologie, autor Schwartz 2005b [62].)

„Čím více je rozhodovací problém složitější, tím více máme tendenci vybírat výchozí variantu.“ (Dan Ariely, profesor psychologie a behaviorální ekonomie MIT, autor Ariely 2008a [4].)

Koncepce *kognitivního zdroje* (angl.: cognitive resource či self-control resource) je teoretický model z oblasti psychologie a neurověd, ukazující omezené možnosti lidského mozku aktivně vědomě regulovat emoce a jimi následně motivované chování. Tato vlastnost bývá označována jako schopnost takzvané *seberegulace* (angl.: selfregulation). Hluběji je tato problematika analyzována v Baumeister et al. 1998 [8].

Kognitivní zdroj je jakýsi rezervoár duševní energie, který nám umožňuje dělat konkrétní rozhodnutí a vykonávat vědomě cílené akce. Rozsáhlou meta-analýzu 83 výzkumů této problematiky přináší Hagger et al. 2010 [29].

Při vyčerpání kognitivních zdrojů dochází k selhávání seberegulace. Příčina prokrastinace, jakožto selhání seberegulace, je jednou ze současně nejvyužívanějších teorií, jež je uváděna především v Steel 2007 [69] a Steel 2010b [71]. Dle Lanc 2011 [38], selhání seberegulace souvisí i s jinými problémy a maladaptivními vzorci chování. Tímto problémem může být i například chorobné přejídání ve formě, jež může dospět do chronického stavu v podobě bulimie, neuvážené utrácení peněz a zvýšená konzumace alkoholu či drogové a jiné závislosti.

Vlastnosti kognitivního zdroje jsou často v rámci určité abstrakce přirovnány k vlastnostem svalu. Kognitivní zdroj lze podobně jako svaly posilovat, ale také podobně jako svaly strhat, vyčerpávat a oslabovat. Kognitivní zdroj je jako sval závislý na odpočinku a nutriitech. Výzkum Fairclough et al. 2004 [18] prokázal vliv hladiny glukózy na schopnost dělat složité rozhodování a kognitivně náročné akce. Emergentním projevem velkého kognitivního zdroje může být chápána vlastnost člověka běžně označovaná jako silná vůle.

Mnoho současných politických a ekonomických názorů je ovlivněno paradigmatem, které říká, že čím více možností lidé mají, tím více je jim dopřáváno svobody volby. Čím více svobody, tím více se lidé cítí lépe. Problematika kognitivního zdroje však odhaluje soubor jevů označovaných jako *paralýza z rozhodování* (angl.: decision paralysis, paralysis of analysis či paradox of choice). Tuto problematiku diskursním způsobem shrnuje ve své TED přednášce Berry Schwartz [61]. [62]

Lidé, kteří mají příliš mnoho možností volby, mají nejen velmi těžký výběr jedné varianty, ale jsou většinou méně spokojeni se svým konečným rozhodnutím. Jak výběr, tak i

přemýšlení nad kvalitou vybrané varianty způsobuje spotřebovávání kognitivního zdroje a tím přináší méně energie a více negativních emocí. [62]

Vyčerpaný kognitivní zdroj a následná negativní emoce se zdají být přímou příčinou prokrastinace. Prokrastinující člověk již nemá sílu aktivně dělat akce či dále přemýšlet nad výběrem té správné akce. Takovýto člověk často odkládá i akci, která by mu kognitivní zdroj obnovila (spánek, jídlo bohaté na nutriety nebo sport). Soubor výše zmíněných vlivů může vytvářet zpětnovazebnou smyčku ve formě *naučené bezmocnosti*, popsané v části 5.3. [29] [71]

Výzkumy zabývající se touto problematikou:

- Seberegulace a trpělivost při řešení hlavolamu.
- Počet spořících programů.
- Kyčle a doktoři.
- Fotografie a výběr.

5.2.1 Výzkum: Seberegulace a trpělivost při řešení hlavolamu

Výzkum Baumeister et al. 1998 [8] zkoumal vyčerpávání schopnosti seberegulace. Lidem v experimentu byla dána čokoláda a současně ředkvičky. První experimentální skupině bylo přikázáno odolat pokušení ve formě čokolády. Tito účastníci experimentu museli jíst pouze ředkvičky. V druhé kontrolní skupině byli lidé vyzváni ke konzumaci ředkviček a čokolády dle libosti. Obě skupiny byly poté podrobeny testům v podobě geometrických hlavolamů. Během experimentu byla měřena doba, jak dlouho vydrží lidé problémy řešit. Závěr studie ukazuje, že schopnost vytrvat při řešení hlavolamů byla u skupiny, která musela využít seberegulace při ovládnání pokušení sníst čokoládu, výrazně nižší.

Podle *svalového modelu* (angl.: strength model) byl seberegulací pomyslný seberegulační sval unaven již při ovládnání nutkání jíst čokoládu. Lidé nuceni odolávat pokušení šli řešit hlavolamy již s oslabeným kognitivním zdrojem a z tohoto důvodu měli i zeslabenou míru trpělivosti, díky čemuž nevydrželi řešit hlavolam tak dlouho jako lidé, kteří šli řešit hlavolamy s neoslabeným kognitivním zdrojem.

Výsledky jiných výzkumů například Baumeister & Vohs 2007 [9] či Martijn et al. 2007 [40] podporují koncepci jednoho globálního kognitivního zdroje u člověka. Vyčerpaný kognitivní zdroj při jedné aktivitě má za následek nižší schopnost vydržet u jiné, naprosto odlišné a nezávislé aktivitě. Například tvorba diplomové práce je velmi náročná na kognitivní zdroj a proto mnoho studentů v době práce na ní prokrastinuje – uklízí, sleduje seriály a filmy, přejídá se či jinými aktivitami odkládá tuto důležitou povinnost.

5.2.2 Výzkum: Počet spořících programů

Výzkumníci z Columbia University ve výzkumu Iyengar et al. 2007 [33] zjistili analýzou chování 793 794 klientů investiční skupiny Vanguard, že vyšší počet možností různých scénářů důchodového spoření snižuje počet lidí, kteří začnou na důchod skutečně spořit. Čím více možností spořit zaměstnanci dostali, tím menší procento z nich se pro důchodové spoření skutečně rozhodlo. Každých nových 10 možností snížilo počet lidí, kteří si z nabídky vybrali, přibližně o 2 %. Z 5 možností si dokázalo vybrat 70.1 % lidí, z 15 možností již pouze

67.7 % a z 35 možností jen 63.0 % zaměstnanců. Diskursním způsobem o svých výzkumech mluví Sheena Iyengar v TED přednášce [36] a dále jsou zmiňovány v [61].

Obecný trend trhu je však takový, že se od roku 1998 do roku 2002 počet možností důchodového spoření v průměru zdvojnásobil. Tento trend tedy vede zaměstnance k odkládání rozhodnutí výběru důchodového spoření a vzniká jev prokrastinace rozhodnutí o důchodovém spoření. [33]

5.2.3 Výzkum: Kyčle a doktoři

V dalším výzkumu ohledně lidského rozhodování, uvedeném v Redelmeier & Shafir 1998 [54], byl skupině 287 lékařů představen případ pacienta, který měl problém s kyčlí (konkrétně onemocnění osteoartróza). Pacientovi byla doporučena operace, úplná náhrada kyčle formou endoprotézy.

V prvním scénáři výzkumu bylo lékařům těsně před operací oznámeno, že existuje na problém s kyčlí ještě jeden lék, který na pacientovi nebyl vyzkoušen. Lékaři byli dotázáni, jaký postup zvolí. V tomto případě pacienta z operace odvolali a lék vyzkoušeli. Konkrétně v 72 % případech lékaři využili doposud nevyzkoušený lék.

V druhém případě bylo lékařům opět těsně před operací řečeno, že existuje jiná cesta než operace. Tentokrát však v podobě dvou odlišných léků, které problém s kyčlí mohou řešit. V tomto druhém případě však lékaři mnohem častěji nechali pacienta na fiktivní operaci jít. Pro využití dalšího léčení se rozhodlo pouze 53 % lékařů.

Možná volba jednoho léku navíc tedy zvýšila počet rozhodnutí pro operativní cestu o 19 %. Diskursní komentář k výzkumu nabízí Ariely 2008a [4] nebo ve své diskursní TED přednášce Ariely 2008b [3]. Tento výzkum ukazuje, že častou příčinou růstu míry prokrastinace je ztížení rozhodovacího procesu.

5.2.4 Výzkum: Fotografie a výběr

Dan Gilbert z Harvard University a Jane Erbert z MIT provedli výzkum ohledně míry, s jakou lidé litují svých rozhodnutí. Výzkum Gilbert & Ebert 2002 [26] probíhal tak, že experimentátoři vypsalí na Harvardu kurz fotografování. Studenti nafotili během kurzu mnoho fotografií a na konci kurzu jim bylo umožněno vyvolat a zarámovat dvě nejoblíbenější fotografie.

Jádro experimentu spočívalo v tom, že studenti byli postaveni před rozhodnutí výběru jedné z těchto dvou fotografií. Část z nich si musela vybrat hned, bez možnosti pozdější změny. Fotografie měly být v tomto případě fiktivně odeslány pryč ze země. Druhá skupina si opět měla vybrat pouze jednu fotografii, ale byla jim nabídnuta možnost své rozhodnutí později změnit. V průběhu experimentu bylo napříč oběma skupinami měřeno, jak jsou studenti s vybranou fotografií spokojeni.

Závěr studie byl takový, že pokud studenti měli možnost změnit své rozhodnutí, byli s vybranou fotografií výrazně méně spokojeni. Ti, kteří rozhodnutí nemohli změnit, byli naopak později s výběrem ještě více spokojeni, než bezprostředně po výběru.

Druhá část experimentu prováděla testování, jak lidé umí předpovídat svou budoucí spokojenost. Jiná skupina studentů si měla vybrat, do kterého kurzu by chtěli chodit. První varianta byl kurz, který umožňoval změnit rozhodnutí ohledně výběru finální fotografie, druhý kurz nabízel výběr nevratný. Více studentů si v tomto případě vybralo kurz, který změnu výběru umožňoval. Jedná se o takzvaný efekt zadních vrátek blíže dokázaný v experimentu Ariely & Shin 2004 [65], který je diskusně popsán v Ariely 2008a [4]. Volbou se tedy studenti rozhodli vybrat si scénář, na konci kterého budou se svou fotografií méně

spokojení. Tento jev neschopnosti odhadovat spokojenost se svými rozhodnutími je označován jako impact bias. O výzkumu Gilbert & Ebert 2002 [26] mluví diskursivním způsobem Dan Gilbert ve svých TED přednáškách [24] a [23] nebo ve své knize [25].

Vztah tohoto výzkumu k prokrastinaci je takový, že pokud člověk může svá rozhodnutí často měnit, nejen že mu každé rozhodování spotřebovává kognitivní zdroj, ale také je v konečném důsledku s rozhodnutím méně spokojený. Negativní emoce zvyšuje averzivní vztah k činnosti a snižuje motivaci k výsledné akci.

5.2.5 Vztah výzkumů k modelu

Každý agent v rámci modelu bude mít odlišnou velikost kognitivního zdroje implementovaného ve formě rozdílné číselné hodnoty agentní proměnné `cognitiveResource`. Každé rozhodování a akce toto číslo sníží. Čím více bude možností volby, tím složitější rozhodování bude a tím více bude kognitivní zdroj snížen. Agent se sníženým kognitivním zdrojem nebude schopný dělat žádná rozhodnutí a akce. Kognitivní zdroj bude také agentům pravidelně obnovován. Tato obnova je implementací spánku jako formy pravidelného odpočinku.

5.3 Naučená bezmocnost a flow stav

Koncepce *naučené bezmocnosti* a *flow stavu* je vyjádření dvou zpětnovazebných smyček. Naučená bezmocnost (angl.: learned helplessness) je definována v Nakonečný 1999 [46] jako: „*očekávání, že konsekvence je nezávislá na vlastní volní reakci, což a) snižuje motivaci chtít tuto sekvenci kontrolovat, b) interferuje ve schopnosti naučit se, že vlastní reakce konsekvenci skutečně kontrolují.*“ Naučená bezmocnost demonstruje reakci jedince na selhání. Jedinec na selhání reaguje snížením sebedůvěry v úspěšnost budoucí akce a částečným vyčerpáním kognitivního zdroje.

Snížená sebedůvěra a nižší hladina kognitivního zdroje zvyšuje riziko opětovného selhání. Pokud tedy jedinec opět selže, objeví se efekt naplněného proroctví a snížení sebedůvěry, které opět šanci na úspěch ještě více sníží. Jedinec končí se sebedůvěrou pod hranicí, která by mu umožnila se opět o věc pokusit.

Flow stav je přesně opačný efekt k naučené bezmoci. Úspěch akce přináší zvýšení sebedůvěry a často i zvýšení hladiny kognitivního zdroje. S větší sebedůvěrou a větší hladinou kognitivního zdroje je šance na další úspěch větší. Po dalším úspěchu se šance na další úspěch opět zvyšuje. Vzniká tak pozitivní zpětná vazba.

Zimbardo & Boyd 2008 [104] uvádí v teorii časových perspektiv (anglicky: Time Perspective) rozdělení vnímání minulosti na negativní a pozitivní (past negative a past positive). Vysoká past negative má za následek, že lidé mají tendenci pamatovat si více negativní minulost, což ovlivňuje jejich rozpoložení v přítomnosti. Zimbardo & Boyd 2008 [104] uvádí příklad válečných veteránů. Tito lidé jsou více pesimističtí a častěji se dostávají do zpětnovazebné smyčky naučené bezmocnosti. Naopak lidé s vysokou past positive dokážou překonávat selhání a problémy a jsou často více optimističtí. Pro rychlé pochopení problematiky je opět dostupná TED přednáška profesora Zimbarda [103].

Výzkumy a studie zabývající se touto problematikou:

- Psi a elektřina.

5.3.1 Výzkum: Psi a elektřina

Martin Seligman z University of Pennsylvania v sedmdesátých letech vytvořil experiment týkající se naučené bezmocnosti. Tento výzkum je dokumentovaný v Seligman 1975 [64]. Tento výzkum pracoval se psy, kteří dostávali elektrické šoky.

První skupina psů mohla kontrolovat dobu elektrického šoku tím, že jim bylo umožněno uskočit na izolovanou část podlahy experimentální komory. Seligman popisuje chování psů z první skupiny následovně: „*Jestliže normální necvičený pes projde tréninkem v kyvadlové komoře, projeví se u něj následující chování: při zapnutí elektrického proudu začne pes pobíhat sem a tam, vyje, než se mu podaří vyškrábat se přes přepážku a uniknout tak šoku. Při každém dalším spuštění pes překoná přepážku ještě rychleji, až se nakonec naučí elektrickému šoku vyhnout.*“ [68] [64]

Druhá skupina psů neměla před elektrickým šokem možnost úniku. Psi z druhé skupiny se z počátku snažili běhat a hledat únik od elektrického šoku, podobně jako psi z první skupiny. Později se však přestali pokoušet o únik a naučili se bezmocně stát na místě. Experimentátoři v další části experimentu umístili psy z druhé skupiny do první komory. Tato komora umožňovala před šoky únik. U těchto psů se objevil dramatický kontrast, na rozdíl od necvičených psů se většina brzo uklidnila, dokud šok neustal. Psi z druhé skupiny se tedy často ani nesnažili přeskočit překážku a vyhnout se tak šoku. Ani při dalších pokusech v budoucnu se pes s naučenou bezmocností nepokouší o únik. [64]

Psi z druhé skupiny vykazovali obdobné chování jako lidé trpící hlubokými depresemi. Jak uvádí Seligman et al. 1993 [53], u lidí se naučená bezmocnost projevuje rezignací, jež zabraňuje člověku změnit dlouhodobě nepříznivý stav. Několik selhání vytváří dlouhodobou frustraci v podobě negativních emocí, které mohou člověka vést k totální pasivitě – neschopnosti dělat akce.

Ne všichni psi ze Seligmanova experimentu však podlehlí naučené bezmocnosti, celá jedna třetina psů z druhé skupiny uniknout dokázala. Tento jev koreluje se silným optimismem u některých lidí, kteří jsou vůči naučené bezmocnosti více resistantní. Lidé označovaní jako pesimisté mají větší sklon k naučené bezmocnosti a také k depresím. [64]

Vztah tohoto výzkumu k prokrastinaci je takový, že člověk trpící prokrastinací si z prokrastinace udělá návyk, jež se stane součástí jeho života. Často se, podobně jako psi z druhé komory, již díky naučené bezmocnosti s tímto špatným návykem nesnaží nic dělat. Tato zpětnovazebná smyčka může vést až k chronickým podobám prokrastinace, hlubokým frustracím a depresím. Další Seligmanovy výzkumy jsou popsány v jeho TED přednášce [63].

5.3.2 Vztah výzkumů k modelu

Každá akce agenta k danému typu cíle bude mít určitou pravděpodobnost selhání. Agent bude na každé selhání reagovat snížením proměnné **expectancy**. S každou úspěšnou akcí se naopak proměnná **expectancy** zvýší. Proměnná **pastPositive** bude určovat, jak jsou agenti senzitivní na úspěchy v podobě dosažení cíle. Proměnná **pastNegative** bude vyjadřovat, jak moc agenti snižují hodnotu **expectancy** při selhání.

Očekávaný emergentní jev je vznik zpětnovazebné smyčky v podobě naučené bezmoci a flow stavu u některých agentů. Očekáváme, že někteří agenti budou určité typy cílů naprosto ignorovat. U některých agentů očekáváme, že se naučí dosahovat všech typů cílů. Tito agenti zvládnou překonat počáteční selhávání a dostanou se za pomyslný bod zlomu odolnosti vůči selhání.

5.4 Vztah AD/HD a prokrastinace, focus a snížená hladina motivace

AD/HD (angl.: Attention Deficit Hyperactivity Disorders), neboli hyperaktivita s poruchou pozornosti, je skupina hyperkinetických poruch. Tyto vady patří mezi lidské neurovývojové poruchy a jsou charakteristické poruchou pozornosti, přinášející nesoustředěnost, nepozornost a vysokou impulzivitou. Porucha se projevuje již od raného dětství, nejvíce však ve školním věku, kdy postihuje 5-7 % dětí, převážně chlapců. V 50 % případů přetrvává do dospělosti. [78]

Jak uvádí Ferrari & Sanders 2006 [19] a Miller 2007 [43], existuje korelace mezi tendencí prokrastinovat a AD/HD. Aktuální pohled na tuto problematiku Arnsten 2009 [5] ukazuje vztah oslabené funkce prefrontálního kortexu a AD/HD. Prefrontální kortex je část mozku odpovědná za plánování, tvorbu budoucích představ, jež ovlivňují rozhodování. [92] Prefrontální kortex je také nástroj, který lidem umožňuje snít a tvořit imaginace. Moderní léčba AD/HD probíhá paradoxně podáváním stimulantů, uvedeno v Arnsten 2006 [5] a Sikström et al. 2007 [67]. Jak se zdá, lidé s AD/HD mají zvýšenou hladinu pro aktivaci prefrontálního kortexu, jež přeneseně přináší aktivaci motivace. Stimulanty tuto hladinu snižují a pacient trpící AD/HD má pak standardní motivační odezvu. Přestává být nepozorný a rozptýlený, což může vést k tomu, že přestane prokrastinovat.

5.4.1 Vztah výzkumů k modelu

Různou míru aktivace prefrontálního kortexu, tedy potřebný vyšší motivační impuls, bude vyjadřovat agentní proměnná *impulsiveness*. Čím větší hladina *impulsiveness*, tím větší hodnota motivace bude pro agenta potřeba k výběru cíle.

Každý agent bude mít definovanou míru soustředěnosti jako agentní proměnnou *focus*. Čím větší bude mít agent *focus*, tím déle se vydrží soustředit na jeden cíl. Nízká míra *focus* povede k tomu, že agent bude téměř v každém kroku opětovně vybírat nový cíl. Cílem simulace modelu WoP bude ukázat vztah AD/HD, jenž přináší nízkou míru proměnné *focus*, a větší tendenci agentů k rozhodovací paralýze jako příčiny prokrastinace.

5.5 Časové perspektivy – přítomná a budoucí orientace

„Jádro našich životů se dá rozdělit na dva druhy akcí. Ty, které uděláme a ty, které ne.“ (Zimbardo, profesor psychologie ze Stanford University, autor stanfordského vězeňského experimentu a Zimbardo 2008 [104].)

Koncepce schopnosti *orientace na přítomnost* a *orientace na budoucnost* je vedle *orientace na negativní a pozitivní minulosti* základem teorie *Time Perspective* uvedené v Zimbardo 2008 [104]. *Orientace na přítomnost* ukazuje míru neschopnosti člověka odolat aktuálnímu potěšení a požitku. *Budoucí orientace* naopak ukazuje míru, s jakou jedinec dokáže vnímat budoucí hodnoty a s jakou mírou tyto budoucí hodnoty nezapomíná.

Výzkumy a studie zabývající se touto problematikou:

- Marshmallow experiment.

5.5.1 Výzkum: Marshmallow experiment

Tento výzkum zkoumá schopnosti lidí odolat aktuálnímu pokušení a počkat na *budoucí vyšší odměnu* (angl.: delayed gratification). Tento výzkum provedl Walter Mischel ze Stanford University. Studie započala v roce 1972 a pokračovala o 16 let později v roce 1988. Výzkum je dokumentovaný v Mischel et al. 1990 [66].

První část výzkumu zkoumala schopnost odolat pokušení u více než 600 dětí okolo věku 6 let. Děti byly na 15 minut zavřeny do prázdné místnosti, ve které byly vystaveny aktuálnímu potěšení ve formě bonbónu marshmallow. Aby byl vyloučen vliv druhu potěšení ve formě marshmallow, byly ve výzkumu použity i jiné typy sladkostí či například slaná preclík. Obecně vešel tento výzkum ve známost právě s marshmallow, jež dal i celému výzkumu název. [66]

Dětem bylo řečeno, že pokud bonbón nesní, dostanou bonus v podobě dalšího extra marshmallow. Tento bonus ve výzkumu symbolizoval budoucí odměnu. Experimentátoři zkoumali, jak dlouho vydrží konkrétní dítě odolávat pokušení. Některé děti snědly bonbón hned, jiné se snažily odolat pokušení. U dětí se objevily různé strategie, některé prostě odolaly, jiné si zakrývaly oči, hrály si s vlasy či zíraly do stropu. Výsledek byl takový, že se děti rozdělily do dvou skupin, jedna třetina skutečně odolala a dostala odměnu v podobě extra bonbónu, druhé dvě třetiny dětí pokušení nevydržely. [66] [104]

Následující výzkumy pokračovaly o mnoho let později v době, kdy děti byly ve věku 18 let. Tyto výzkumy prokázaly významnou korelaci mezi schopností odolat pokušení a schopnostmi být emocionálně stabilní, být zodpovědnější (díky tomu se dle Zimbardo 2008 [104] dožívají v průměru déle), lépe pracovat pod stresem, dokázat déle vydržet dodržovat své plány či být více soustředěný. Dokonce děti, které odolaly ve čtyřech letech pokušení, dosáhly v dospělosti v průměru o 210 více bodů v SAT testech. SAT testy jsou srovnávací testy znalostí používané jako přijímací zkoušky do amerických vysokých škol. Testy umožňují dosáhnout rozmezí 600 až 2400 bodů. [66] [104]

Tento výzkum ukázal, že někteří lidé jsou náchylnější k neschopnosti odolat aktuálnímu potěšení. V diskursní práci *The Time Paradox* uvedené jako Zimbardo 2008 [104] jsou tito lidé označováni jako orientovaní na přítomnost. Lidé, kteří dokážou odolat pokušení a vydrží počkat na budoucí odměnu, jsou označováni jako orientovaní na budoucnost. Jedním z vysvětlení může být, že tito lidé nejsou schopni využívat seberegulace, podobně jako v Baumeister et al. 1998 [8]. Druhý pohled může být, že tito lidé neumí vnímat a odhadovat hodnoty budoucích odměn, tento pohled uvádí Wilson & Gilbert 2003 [100].

Vztah tohoto výzkumu k prokrastinaci je takový, že dle Bosato 2001 [12] existuje významná pozitivní korelace mezi orientací na přítomnost a tendencí prokrastinovat.

5.5.2 Vztah výzkumů k modelu

Agenti rozdílně vnímají odměny a jejich vzdálenosti. Model bude obsahovat agenty orientované na přítomnost – ti budou preferovat blízké odměny s nízkou hodnotou před dalekými odměnami s velkou hodnotou. Na druhou stranu bude model obsahovat agenty orientované na budoucnost, kteří budou dávat přednost dalekým velkým odměnám, před těmi malými a blízkými. Míru orientace na budoucnost bude vyjadřovat agentní proměnná *futureOr*.

Agenti budou při odolávání pokušení zapojovat svůj kognitivní zdroj. Dostatečně velká hladina kognitivního zdroje dovolí agentovi dokončit akce a získat daleký cíl s velkou hodnotou. Nízká hladina kognitivního zdroje povede k tomu, že agent nevydrží pokušení a přepne svůj zájem na blízkou avšak nízkou odměnu.

5.6 Prokrastinace

Jak již bylo zmíněno v úvodu této kapitoly, prokrastinace je definována jako chorobné odkládání důležitých povinností. Schraw et al. 2007 [60] definuje pojmové znaky prokrastinace jako činnost kontraproduktivní, zbytečnou a oddalovací. Prokrastinace vede k děláním úkolů s nízkou prioritou, místo těch s prioritou vysokou. Důležité povinnosti či náročné akce k dlouhodobým cílům jsou nahrazovány činnostmi, které přináší buď aktuální potěšení, například ve formě sledování seriálů, hraní počítačových her, neustálé sledování Facebooku či přejídání, nebo umožňuje krátkodobě se vyhnout nepříjemnému úkolu či akci. Příkladem druhého je prokrastinace uklízením. Ne nadarmo se říká, že v době zkuškového jsou studentské pokoje nejvíce uklizené.

Dříve, například ve výzkumu Ferrari 1992 [20], byla nastíněna koncepce různých druhů prokrastinace. Prokrastinace se rozdělovala na nabudivou, vyhýbající a rozhodovací (angl.: Arousal, avoidant and decisional). Tento koncept však byl vyvrácen ve studii Steel 2010a [70]. Díky této studii se ukazuje, že prokrastinace je pravděpodobně jen jedna (uváděna stupnice *Pure Procrastination Scale*) a ostatní jevy jsou doprovodné.

5.6.1 Vzorce prokrastinace

V roce 1738 vytvořil holandský vědec Daniel Bernoulli rovnici racionálního výběru akcí. Tato rovnice ve své zjednodušené podobě uvádí:

$$ExpectedValue = OddsOfGain * ValueOfGain \quad (5.1)$$

- **OddsOfGain** — pravděpodobnost dosažení zisku při děláním určité činnosti.
- **ValueOfGain** — hodnota dosaženého zisku touto činností.
- **ExpectedValue** — výsledná hodnota činnosti, použitá pro výběr nejefektivnější činnosti.

Čistě racionální člověk by měl podle této rovnice vždy dělat takové činnosti, které mu s největší pravděpodobností přinesou největší hodnotu. Nejenom, že lidé nedokážou správně odhadnout pravděpodobnost, lidé také nedokážou odhadnout správně hodnotu. A co více, jak uvádí výzkumy uvedené například v Ariely 2008 [4] či Gilbert 2006 [25], lidé se už vůbec nechovají racionálně.

Steel 2010b [71] ve své diskursní práci rozšiřuje a upravuje tuto rovnici a přichází s takzvanou *temporal motivational theory* (dále jen *TMT*). Tato rovnice bývá často označována jako rovnice prokrastinace.

$$Motivation = \frac{Expectancy * Value}{Impulsiveness * Delay} \quad (5.2)$$

- **Motivation** — míra motivace k dané činnosti.
- **Expectancy** — očekávání s jakou pravděpodobností činnost uspěje.
- **Value** — hodnota, kterou činnost přinese.
- **Impulsiveness** — označováno někdy také jako delay sensitivity. Jedná se o schopnost vnímat časovou vzdálenost získané hodnoty. V tomto textu je dále označován český pojem rozptýlitelnost.

- **Delay** — časová vzdálenost výsledků činnosti.

Motivace k akci je ve výsledku dle Steela dána součinem očekávání a hodnoty, lomeno součinem rozptýlitelnosti a vzdálenosti. V modelu WoP je obdoba této rovnice použita pro výpočet hladiny motivace a jako základní parametr rozhodování.

5.7 Shrnutí a vztah podkladů k modelu

V této kapitole byly uvedeny některé aktuální výzkumy z problematiky lidského rozhodování a motivace, které se vztahují k fenoménu prokrastinace. Všechny uvedené výzkumy více či méně ovlivňují návrh a simulace demonstračního modelu v další kapitole. Ve světle všech výše uvedených výzkumů je možné prokrastinaci a doprovodné jevy modelovat a jejich příčiny spatřovat ve:

- Vyčerpaném či velmi malém kognitivním zdroji. Vliv nedostatku kognitivního zdroje přináší dva doprovodné jevy:
 - V rozhodovací paralýze. Kognitivní zdroj člověka je vyčerpán už před rozhodováním samotným. Takto vyčerpanému člověku nezbývá již kognitivní zdroj na děláni akcí. Takový člověk raději zvolí děláni kognitivně nenáročných akcí. Příkladem tohoto doprovodného jevu prokrastinace může být odkládání výběru témata diplomové práce. Čím více lákavých a zajímavých možností, tím je finální výběr složitější a tím déle je odkládán.
 - Ve snížené schopnosti seberegulace. Neschopnost člověka vědomě ovlivnit své chování způsobuje podlehnutí aktuálním požitkům. Příkladem takovéto prokrastinace může být neustálé sledování seriálů v době zkuškového u studentů, což je projev takzvané akademické prokrastinace, uvedené například v Steel 2007 [69] či O'Brien 2002 [47]. Nižší schopnost seberegulace pozornosti, jako jedna ze složek seberegulace uvedená např. v Bishop et al. 2004 [10], způsobuje vyšší míru prokrastinace.
- V naučené bezmocnosti. Opakované selhání sniží očekávání dosažení určitého cíle natolik, že se daný člověk o akci směřující k tomuto cíli již nepokusí. Z prokrastinace vzniká návyk. Tento jev může způsobovat až chronická stádia prokrastinace, apatii a celkovou neschopnost dělat jakékoliv akce. Může se například jednat o obdoby prokrastinace u bezdomovců, jež je dokumentována v Epel et al. 1999 [15]. Ve vztahu k TMT² se tato naučená bezmocnost projevuje snížením hodnoty **expectancy**, jež určuje pravděpodobnost a očekávání budoucího úspěchu.
- Ve snížené funkčnosti prefrontálního kortexu. Vyšší hladina motivace, potřebná k děláni akcí, se zdá být nejen příčinou AD/HD, ale také prokrastinace. Větší **focus** dává lidem schopnost vydržet u jedné činnosti. Tito lidé se nemusí tak často rozhodovat nad volbou nové akce. Zde se objevuje vztah k rozhodovací paralýze.
- V odlišných časových perspektivách. Lidé orientovaní na přítomnost nejsou schopni vnímat budoucí ztráty a bonusy. Proto pro ně není problém odkládat povinnosti, protože problémy, které jim to přinese, se odehrávají až v budoucnu. Lidé orientovaní na přítomnost jsou mimo prokrastinaci více náchylnější i k jiným závislostem. Jak

²Temporal Motivational Theory, teorie používaná v Steel 2010b [71].

uvádí Zimbardo 2008 [104], mnoho kuřáků je orientovaných na přítomnost. Riziko rakoviny či zkrácení života jsou věci odehrávající se v budoucnu, které přítomnostně orientovaný člověk nevnímá. Proto i reklamní kampaně proti kouření zaměřené na budoucnost nefungují. Tyto kampaně by fungovaly na lidi orientované na budoucnost, ti si však rizika uvědomují a v drtivé většině nekouří. Ve vztahu teorie Time Perspective k teorii TMT můžeme spatřovat spojitost vysoké *impulsiveness* s vysokou orientací na přítomnost. Další vztah těchto dvou teorií může být ve vnímání vyšší *value* v kontextu času u lidí s vyšší orientací na budoucnost, TMT toto označuje jako takzvanou *hyperbolic discounting*.

Kapitola 6

Návrh modelu a simulační prostředí

V této části práce je popsán simulační model WoP¹, který byl vytvořen na základě výzkumů uvedených v předcházející kapitole číslo 5 a na základě paradigmatu komplexních systémů, které bylo popsáno v kapitolách 1 a 3. Celý simulační model je vytvořen v simulačním prostředí, které umožňuje vytvořit libovanou scénu či využívat předpřipravených demonstračních simulací, které jsou vyhodnoceny v kapitole 7. Z důvodu toho, že strukturu modelu nejlépe vystihuje jeho simulační prostředí, bude následující kapitola primárně zaměřena právě na popis tohoto prostředí.

6.1 Návrh modelu

Model obsahuje agenty, kteří jsou umístěni v simulačním světě. V tomto světě se dále vyskytují další entity, vyjadřující různé druhy možných činností agentů. Agent na základě svých charakteristik mezi těmito činnostmi volí. Úroveň kvality agenta je dána hodnotou **fitness**. Tato hodnota vyjadřuje schopnost agenta efektivně dosahovat kladných výsledků a dlouhodobého růstu v daném prostředí.

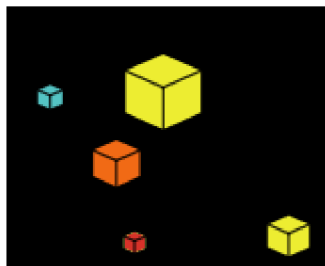
6.1.1 Popis entit

Celá simulace pracuje se čtyřmi druhy entit. Hlavní entitou je *agent*, reprezentující člověka. V rámci simulace je pojmenován **man**, či **people** pokud pracujeme se skupinou agentů. Další typy entit, modelujících určité typy činností, lze využít volitelně. Jedná se v první řadě o *cíle*, označené jako **goals**, jejichž dosahování zvyšuje agentům hodnotu jejich **fitness**. Dalším typem entity jsou *úkoly*, označené jako **tasks**, které v každém kroku simulace zvyšují svoji naléhavost a snižují agentům **fitness**, dokud úkol nesplní. Posledním typem entity, nacházející se v modelu WoP, jsou takzvaná *pokoušení*, označená jako **temptations**. Jejich základní charakteristikou je, že nezvyšují agentům **fitness**, ale pouze je zaměstnávají a berou jim čas potřebný k užitečným činnostem.

Cíle (goals)

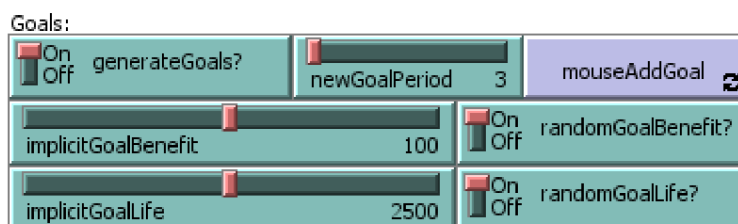
Cíle jsou na scéně zobrazeny jako různobarevné kvádry s odlišnou velikostí.

¹World of Procrastination, nebo-li svět prokrastinace. Název je paralelou k *WoW*, World of Warcraft, jež je počítačová hra, kterou mnoho lidí v dnešní době prokrastinuje.



Obrázek 6.1: Grafické zobrazení *cílů* v rámci simulačního prostředí.

Simulační prostředí umožňuje nastavit několik základních vlastností této entity.



Obrázek 6.2: Možnosti nastavení pro entity typu *cíl*.

Popis možných nastavení:

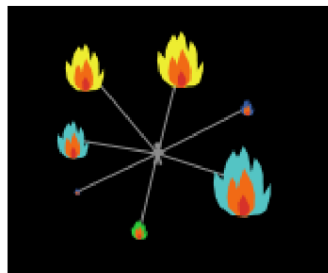
- **generateGoals?** – nastavuje, zda se v průběhu běhu simulace budou nové cíle na scéně objevovat.
- **newGoalPeriod** – nastavuje počet kroků simulace, za které se nový cíl na scéně vytvoří.
- **mouseAddGoal** – umožňuje cíle umisťovat do scény kliknutím myši.
- **implicitGoalBenefit** – určuje kvalitu cíle. **Benefit** určuje o kolik daný cíl zvýší agentovi jeho **fitness**. Na scéně **benefit** ovlivňuje velikost zobrazeného cíle.
- **randomGoalBenefit?** – definuje, zda se cíle na scéně vytvoří s náhodnou hodnotou **Benefit**, či hodnotou přesně zadanou v podobě **implicitGoalBenefit**. Pokud je hodnota proměnné **randomGoalBenefit?** nastavena na hodnotu „On“, **Benefit** cíle je určen jako absolutní hodnota náhodného čísla určeného normálním rozložením se středem gaussovy křivky v nule a standardní odchylkou **implicitGoalBenefit**. Tento styl nastavování proměnných je použit u dalších entit, dále v textu bude označen jako nastavení „náhodné normální“.
- **implicitGoalLife** – určuje kolik kroků simulace se cíl na scéně vyskytuje. Po uplynutí této doby cíl zmizí.
- **randomGoalLife?** – definuje, zda se doba života cíle na scéně generuje náhodně, či se nastaví na přesnou hodnotu podle **implicitGoalLife**. Pokud je nastaven náhodný výběr, délka života cílů je určena náhodným číslem v rozmezí nula až **implicitGoalLife**.

Tento styl nastavování proměnných je použit u dalších entit, dále v textu bude označen jako nastavení „náhodné lineární“.

Podle těchto parametrů se na scéně simulace objevují a mizí různě velké cíle na náhodných místech. Četnost cílů určuje štedrost a rozhodovací složitost prostředí. Čím více je simulace bohatší na cíle, tím jednodušeji je agentům umožněno nalézt kvalitní cíl. Počet cílů na scéně má také vliv na rozhodovací paralýzu agentů. Simulační testy (konkrétně simulační testy číslo 7.1 a 7.2) prokazují, že pokud je cílů mnoho, agenti nejsou schopní si z tak velkého počtu efektivně vybrat a je jim rychleji vyčerpán jejich kognitivní zdroj.

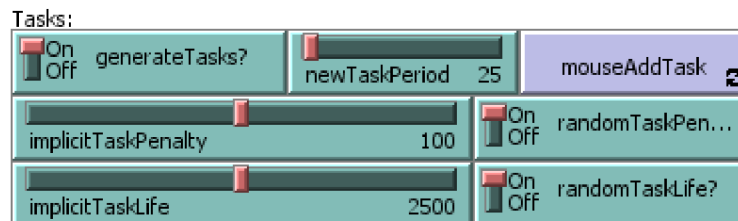
Úkoly (tasks)

Úkoly jsou na scéně zobrazovány jako různobarevné ohýnky. Čím je úkol naléhavější, tím je ohýnek větší.



Obrázek 6.3: Grafické zobrazení úkolů v rámci simulačního prostředí.

Simulační prostředí umožňuje nastavit několik základních vlastností úkolu.



Obrázek 6.4: Možnosti nastavení pro entity typu úkol.

Význam nastavení je obdobný jako u cílů. Jediným rozdílem oproti cílům je to, že úkoly nemají **benefit**, ale takzvanou **penalty**. Ta určuje, o kolik se agentovi sníží jeho **fitness**, pokud úkol nesplní. Podle nastavení parametru se na scéně náhodně generují úkoly. Každý úkol je automaticky přiřazen jednomu z agentů, který se na scéně nachází. Každým krokem simulace se velikost úkolu zvětšuje, což je graficky znázorněno tím, že jsou ohýnky větší. Aktuální **fitness** agenta je snížena součtem **penalty** všech jeho úkolů. Ve chvíli, kdy úkol agent splní, tak ohýnek zmizí a **penalty** není do **fitness** započítána a neznamena tedy pro agenta žádný postih. V případě, že agent nestihne úkol splnit, což znamená, že úkolu skončí jeho životnost, je agentovi snížena jeho **fitness** o hodnotu **penalty** daného úkolu trvale.

Pokušení (temptations)

Pokušení mají na scéně podobu symbolu srdce.



Obrázek 6.5: Grafické zobrazení *pokušení* v rámci simulačního prostředí.

Simulační prostředí opět umožňuje nastavit několik základních vlastností pokušení.

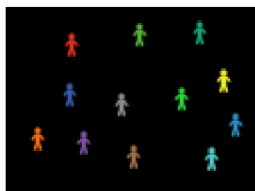


Obrázek 6.6: Možnosti nastavení pro entity typu *pokušení*.

Nastavení pokušení odpovídá logice nastavení ostatních výše zmíněných entit. Pokušení díky své charakteristice nemá ani **benefit**, ani **penalty**. V případě, že agent pokušení neodolá a začne ho realizovat, není ovlivněna jeho **fitness**. Agent pouze marní svůj čas, který efektivnější agenti věnují dosahování cílů nebo plnění úkolů. V simulacích to znamená, že buď odkládá plnění cílů, což by mu **fitness** zvýšilo, nebo že odkládá plnění úkolů, což znamená, že kdyby pokušení odolal a úkoly plnil, tak by mu hořící úkoly tolik nesnižovaly **fitness**. Činnost označená jako pokušení tedy není racionálním projevem agenta a je projevem prokrastinace.

Lidé (people)

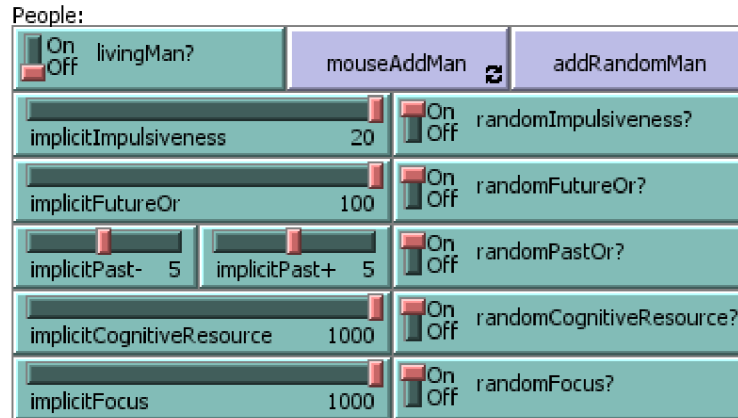
Entita, která modeluje chování lidí, je v rámci simulačního prostředí zobrazena jednoduchým symbolem člověka. Barva slouží pouze k odlišení **fitness** agenta v grafu a nemá žádný výpočetní význam.



Obrázek 6.7: Grafické zobrazení *lidí* v rámci simulačního prostředí.

Nastavení charakteristik agentů nejvíce ovlivňuje jejich chování. Charakteristiky odpovídají označením a definicím uváděných ve výzkumech v kapitole 5.

Popis možných nastavení:



Obrázek 6.8: Možnosti nastavení pro agenta typu *člověk*.

- **livingMan?** – určuje, zda agenti vyvíjejí nějakou činnost. Jedná se o globální nastavení pro všechny agenty ve scéně.
- **mouseAddMan** – umožňuje na konkrétní místo vložit do scény agenta dle nastavených parametrů.
- **addRandomMan** – vloží agenta dle nastavených parametrů na náhodné místo.
- **implicitImpulsiveness** – určuje hladinu motivace, kterou musí cíl nebo úkol splňovat, aby agenta motivoval k nějaké činnosti. Například lidé s AD/HD mají tuto hladinu větší. Čistě racionální agent má hladinu **impulsiveness** nastavenou na nulu.
- **randomImpulsiveness** – zapnutí náhodného lineárního generování.
- **implicitFutureOr** – určuje hladinu budoucí orientace, tedy schopnost vnímat vzdálenější cíle. Čistě racionální agent má **futureOr** nastavenou na 100. Čím nižší je orientace na budoucnost, tím menší vnímá agent vzdálenější cíle a úkoly.
- **randomFutureOr** – zapnutí náhodného lineárního generování.
- **implicitPas-** a **implicitPast+** – nastavuje míru orientace na negativní a pozitivní minulost. Tyto hodnoty určují, jak agent reaguje na selhání a jak reaguje na úspěchy. Úspěch agenta zvyšuje očekávání, že v budoucnu opět cíle dosáhne. Selhání agenta snižuje očekávání, že agent splní daný úkol.
- **randomPastOr** – zapnutí náhodného lineárního generování.
- **implicitCognitiveResource** – určuje velikost kognitivního zdroje. Tím je dána schopnost člověka si racionálně vybírat aktuálně nejlepší činnost.
- **randomCognitiveResource** – zapnutí náhodného lineárního generování.
- **implicitFocus** – definuje, kolik kroků je schopný se agent věnovat jedné činnosti, než se začne znovu rozhodovat, kterou činnost má v danou chvíli dělat.
- **randomFocus** – zapnutí náhodného lineárního generování.

Různé charakteristiky určují úspěšnost agentů v různých prostředích. Míra úspěšnosti je dána výslednou hodnotou proměnné *fitness*. Čím vyšší *fitness*, tím agenta považujeme v prostředí za úspěšnějšího.

6.1.2 Běh simulace

V této části je popsán algoritmus simulace. V každém kroku simulace je kontrolováno, zda má agent určen cíl. V případě, že nemá agent určen cíl, nebo pokud mu došla hodnota aktuální soustředěnosti v podobě proměnné *focus*, rozhoduje se, jaký zvolí nový postup. Rozhodování probíhá na základě upravené rovnice 5.2 uvedené ve Steel 2010b [71], jež zahrnuje i efekt teorie *Time Perspective*, uvedené v Zimbardo 2008 [104].

$$motivation = \frac{benefit * expectancy}{distance} - distance * \frac{100 - futureOr}{100} \quad (6.1)$$

Aby cíl či úkol člověka motivoval, musí jeho motivace vypočtená z parametrů² přesáhnout hodnotu prahu určeného hodnotou *impulsiveness*. Pokud je hodnota motivace menší, agent takovou entitu ignoruje. Pokud je motivace do dané činnosti větší, než aktuálně vybraná činnost, agent přepne a začne realizovat novou činnost. Aktuálně vybraná činnost je s agentem spojena linkou. Linkou jsou s agentem také spojeny všechny agentovy povinnosti v podobě úkolů.

Při každém rozhodování je spočítáno, mezi jakým počtem cílů se agent musí rozhodovat. Čím více cílů, tím více je agentovi snížen jeho kognitivní zdroj. Pokud je kognitivní zdroj vyčerpán, agent zvolí jako činnost nejbližší pokušení. Kognitivní zdroj je obnovován po 250 krocích simulace. Tato obnova implementuje spánek.

Pokud má agent aktuálně vybranou nějakou entitu, realizuje činnost k jejímu dokončení. To se v simulaci projeví tím, že si agent danou entitu přitáhne blíže k sobě. Pokud se entita dostane přímo k agentovi, znamená to, že byla činnost dokončena a započítá se změna *fitness*.

Změna očekávání *expectancy* je udržována u každého agenta pro každý typ cíle a úkolu zvlášť. *Expectancy* je v rozmezí <0; 2>. Počet typů cílů a úkolů je nastaven na pět, v scéně jsou jednotlivé typy odlišeny barevně. V případě úspěšného dosažení cíle se *expectancy* zvýší, podle následujícího vzorce.

$$expectancy = expectancy + \left[\frac{pastPositive}{100} * (2 - expectancy) \right] \quad (6.2)$$

V případě selhání, v podobě nesplnění určitého typu úkolu, se *expectancy* pro daný typ změní podle vzorce:

$$expectancy = expectancy * \frac{100 - pastNegative}{100} \quad (6.3)$$

V průběhu běhu simulace agenti postupně dosahují cílů a plní úkoly. Podle toho upravují svá očekávání. Díky odlišným vlastnostem vnímá každý agent scénu odlišně.

²*Motivation* – míra motivace k dané činnosti. *Expectancy* – očekávání, s jakou pravděpodobností činnost uspěje. *Value* – hodnota, kterou činnost přinese. *Impulsiveness* – označováno někdy také jako *delay sensitivity*. Jedná se o schopnost vnímat časovou vzdálenost získané hodnoty. V tomto textu je dále označován český pojem rozptýlitelnost. *Delay* – časová vzdálenost výsledků činnosti. *FutureOr* – schopnost racionálního vnímání vzdálenějších cílů a úkolů.

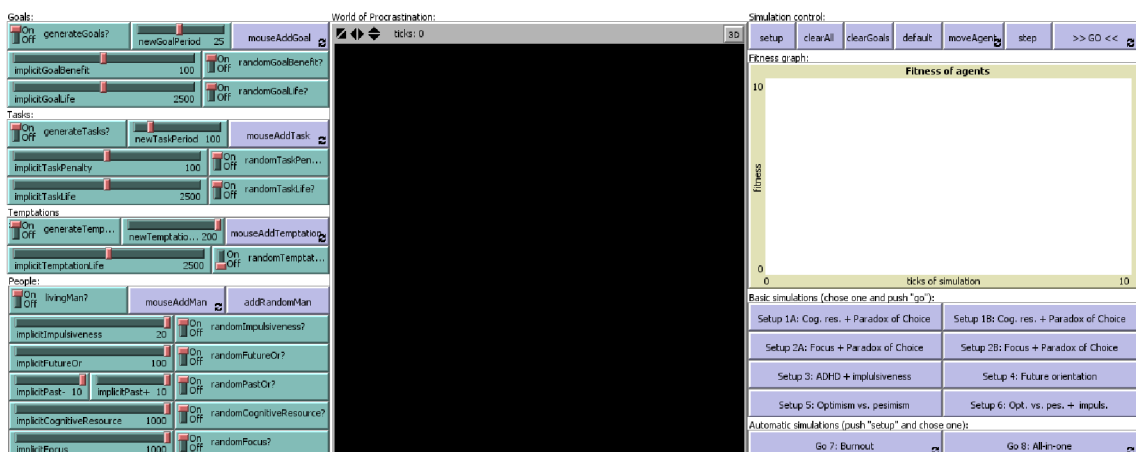
6.2 Implementace

Program byl vytvořen v prostředí NetLogo³ ve verzi 4.1.3 z března 2011. Jelikož NetLogo umožňuje exportovat simulátor ve formě appletu, je pro ukázkové a testovací spuštění potřeba pouze nainstalovaná Java a internetový prohlížeč, podporující spuštění Java appletů. Díky této kombinaci je simulátor multiplatformní a snadno spustitelný. Spuštění probíhá otevřením souboru `WoP.html` v internetovém prohlížeči.

Pro rozsáhlejší experimenty s modelem je doporučováno realizovat simulace přímo v prostředí NetLogo. Nevýhodou appletu je nižší rychlost simulací a některé omezené možnosti simulační scény. Applet neumožňuje v průběhu běhu programu ladit simulaci procházením atributů jednotlivých agentů (funkce `inspect`). Běh programu přímo v NetLogo probíhá otevřením souboru `WoP.nlogo`. [99]

6.3 Ovládání a grafické rozhraní

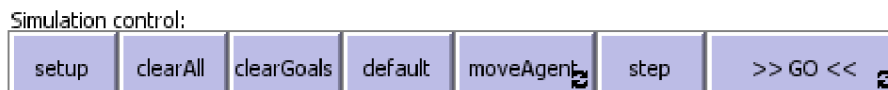
V této části práce bude popsáno grafické rozhraní (GUI) a funkčnost jednotlivých součástí simulátoru. Veškeré nastavení simulátoru je možné dělat přímo v simulačním programu pomocí GUI. Nastavení entit odpovídá popisu v části 6.1.



Obrázek 6.9: Grafické uživatelské rozhraní simulace WoP.

V levé části se nachází nastavení entit, která byla popsána výše. V centrálním panelu je zobrazena scéna simulace. Hodnota `fitness` agentů je zobrazena v grafu v pravé části simulačního okna. Měnit a procházet charakteristiky agentů je možné využitím funkce `inspect`. Simulace však musí běžet přímo v prostředí NetLogo. Kliknutím pravého tlačítka na entitu a výběrem možnosti `inspect` je možné za běhu simulace měnit vlastnosti agentů a entit. Ovládání běhu simulace je dostupné v pravém horním rohu a obsahuje následující volby.

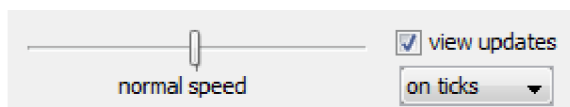
³Bezplatná verze NetLoga je dostupná: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>



Obrázek 6.10: Ovládání simulace.

Ovládání simulace:

- **setup** – vyčistí scénu a vytvoří jednoho agenta v centru podle nastavených parametrů.
- **clearAll** – vyčistí scénu (smaže všechny agenty, cíle, úkoly a pokušení).
- **clearGoals** – smaže pouze všechny cíle, úkoly a pokušení.
- **default** – nastaví všechny hodnoty simulačního prostředí na výchozí.
- **moveAgent** – umožňuje přesouvat entity během simulace.
- **step** – krokujе simulaci.
- **>> GO <<** – spustí simulaci.



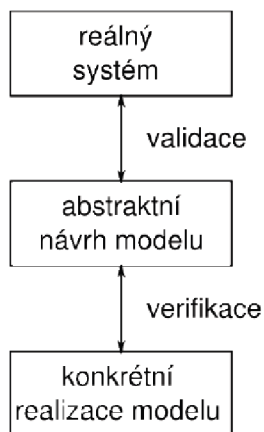
Obrázek 6.11: Ovládání prostředí simulace.

Ovládání prostředí simulace:

- **speed** – určuje rychlost simulace. Pro většinu simulací doporučujeme nastavit na maximum, protože se požadované efekty v grafu projeví rychleji.
- **view updates** – umožňuje urychlit simulaci tím, že se nevykresluje scéna, pouze graf. Toto nastavení je možné pouze v případě běhu v NetLogu.
- **on ticks/on updates** – nastavuje, kdy je scéna simulace překreslena. Toto nastavení je možné pouze v případě běhu v NetLogu.

6.4 Verifikace modelu

Verifikací rozumíme porovnání abstraktního modelu s jeho konkrétní implementací. Protože model vznikl přímo v modelačním prostředí, nelze oddělit abstraktní model od jeho implementace. Z toho přímo vyplývá, že implementace modelu je verifikována. [50]



Obrázek 6.12: Grafická definice termínů verifikace a validace. [50]

Kapitola 7

Experimenty a validace modelu

Scénáře jednotlivých simulačních testů jsou předpřipravené přímo v simulačním prostředí. WoP simulátor umožňuje vyzkoušet osm odlišných druhů testovacích hypotéz. Výsledky běhů simulací jsou demonstrovány grafy. Cílem těchto experimentů je ověření validity modelu. Validita modelu je určena porovnáním výsledků simulace s výsledky předpokládanými na základě výzkumů uvedených v kapitole 5.

7.1 Výchozí nastavení a testovací běh simulace

Postup:

- Spuštění simulace WoP.
- Nastavení výchozích hodnot pomocí tlačítka „default“.
- Běh simulace pomocí tlačítka „» GO «“.

Takto nastavené simulační prostředí generuje náhodně všechny typy entit. Do prostředí simulace je umístěn jeden náhodně vygenerovaný agent. Pokud je pomocí tlačítka „*setup*“ vytvořena nová scéna a opětovně spuštěna simulace, je vidět odlišné chování náhodně vytvořeného agenta a odlišný průběh proměnné *fitness*.

7.2 Simulace 1 – Kognitivní zdroj

Hypotéza: Velikost kognitivního zdroje *cognitiveResource* bude ovlivňovat míru, s jakou jsou agenti náchylní k rozhodovací paralýze. Rozhodovací paralýza zapříčiní nedělání úkolů a cílů. Agent nebude schopný odolat pokušení a začne prokrastinovat.

Předpokládaný průběh simulace: Hodnota *fitness* agentů by měla být vyšší u agentů s větším kognitivním zdrojem. Tento jev by se měl začít projevovat pouze v prostředí s větším počtem cílů a úkolů.

Postup:

- Spuštění simulace WoP.
- Nastavení výchozích hodnot pomocí tlačítka „*Setup 1A: Cog. res. + Paradox of Choice*“, nebo „*Setup 1B: Cog. res. + Paradox of Choice*“.

- Běh simulace pomocí tlačítka „» GO «“.

Parametry agentů:

- Agent 1: `cognitiveResource` 800 (šedá).
- Agent 2: `cognitiveResource` 600 (červená).
- Agent 3: `cognitiveResource` 400 (oranžová).
- Agent 4: `cognitiveResource` 200 (hnědá).

Parametry simulace 1A:

- Generování nových cílů (`newGoalPeriod`): 25.
- Generování nových úkolů (`newTaskPeriod`): 100.

Parametry simulace 1B:

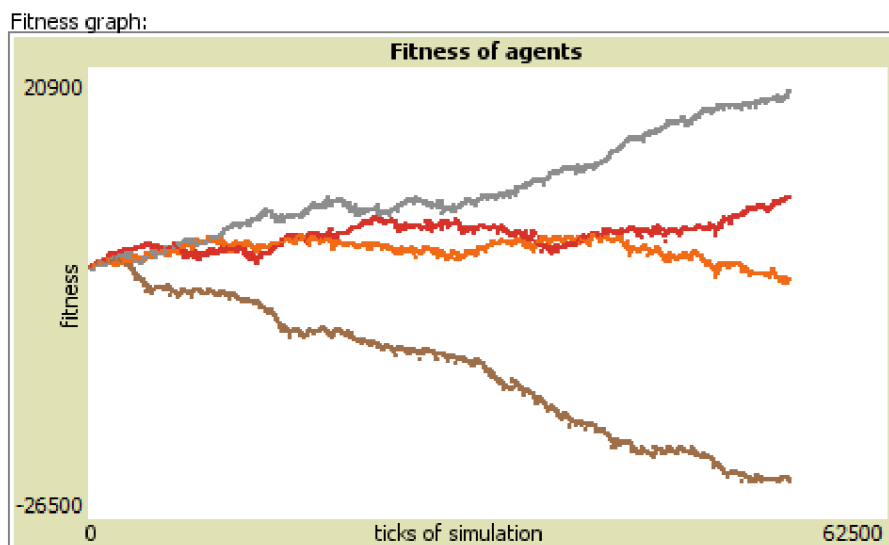
- Generování nových cílů (`newGoalPeriod`): 3.
- Generování nových úkolů (`newTaskPeriod`): 25.

Poznámka: Ostatní parametry jsou stejné jako by měl racionální agent (parametry racionálního agenta jsou uvedené např. v části 7.8). Atributy simulace jsou dány výchozím nastavením simulačního světa.



Obrázek 7.1: Výsledky simulace 1A.

Interpretace výsledků: Průběh simulace odpovídá hypotéze a výzkumům. Čím prostředí obsahuje více možností, tím větší tendenci mají lidé s malým kognitivním zdrojem prokrastinovat. Tento jev se projevuje ve výsledku nižší hodnotou `fitness` (ukazuje graf na obrázku 7.2). V prostředí, kde se cílů a úkolů vyskytuje málo, přestává být kognitivní zdroj důležitý a agenti mají `fitness` téměř stejnou (ukazuje graf na obrázku 7.1).



Obrázek 7.2: Výsledky simulace 1B.

7.3 Simulace 2 – Vliv soustředěnosti na rozhodovací paralýzu

Hypotéza: Schopnost soustředit se bude ovlivňovat míru, s jakou jsou agenti schopní odolat rozhodovací paralýze. Vyšší proměnná `focus` zapříčiní, že agent se zaměří pouze na jednu činnost a nebude se několik kroků rozhodovat. To ušetří jeho kognitivní zdroj `cognitiveResource` a umožní mu se déle racionálně rozhodovat.

Předpokládaný průběh simulace: V prostředí s hodně cíly a úkoly by měla být `fitness` vyšší u agentů s větší hodnotou `focus`. V prostředí s málo cíly a úkoly by měl být výsledek opačný. V takovém prostředí se v každém kroku vyplatí vybírat nejrationálnější volbu.

Postup:

- Spuštění simulace WoP.
- Nastavení výchozích hodnot pomocí tlačítka „*Setup 2A: Focus + Paradox of Choice*“, nebo „*Setup 2B: Focus + Paradox of Choice*“.
- Běh simulace pomocí tlačítka „» GO «“.

Parametry agentů:

- Agent 1: `cognitiveResource` 400, `focus` 1 (šedá).
- Agent 2: `cognitiveResource` 400, `focus` 2 (červená).
- Agent 3: `cognitiveResource` 400, `focus` 3 (oranžová).
- Agent 4: `cognitiveResource` 400, `focus` 4 (hnědá).

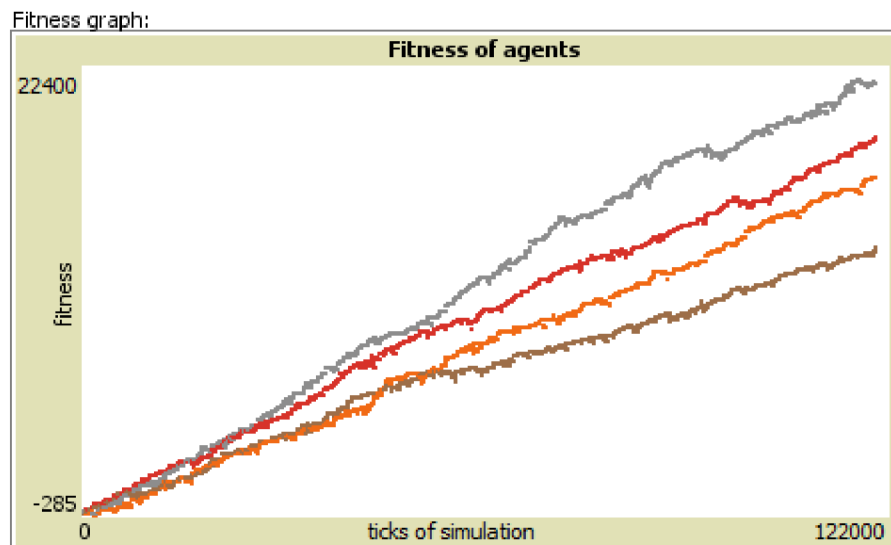
Parametry simulace 2A:

- Generování nových cílů (`newGoalPeriod`): 25.
- Generování nových úkolů (`newTaskPeriod`): 100.

Parametry simulace 2B:

- Generování nových cílů (`newGoalPeriod`): 3.
- Generování nových úkolů (`newTaskPeriod`): 25.

Poznámka: Ostatní parametry jsou stejné jako by měl racionální agent (parametry racionálního agenta jsou uvedené např. v části 7.8). Atributy simulace jsou dány výchozím nastavením simulačního světa.



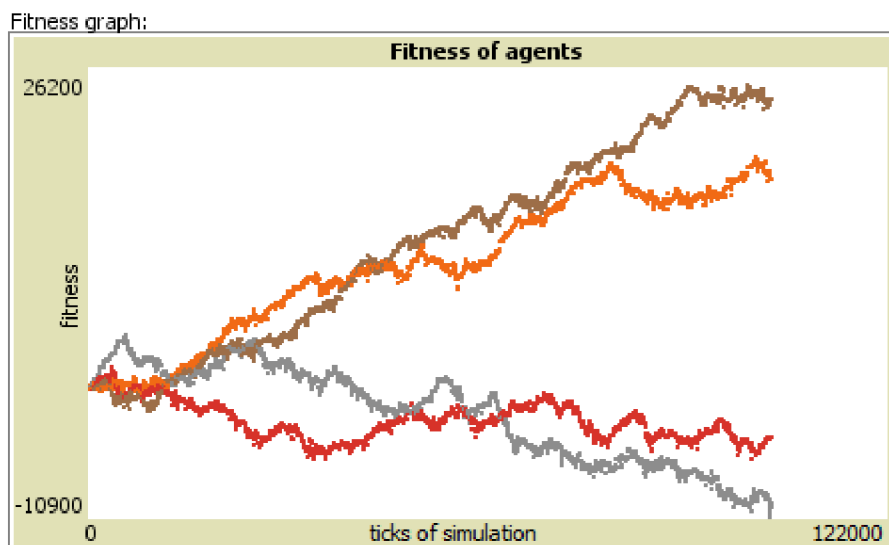
Obrázek 7.3: Výsledky simulace 2A.

Interpretace výsledků: Průběh simulace odpovídá hypotéze a výzkumům. Výsledky simulací ukázaly, že umět se zaměřit na jednu věc a méně často se rozhodovat, je nástroj boje s rozhodovací paralýzou (ukazuje graf na obrázku 7.4). Naopak v prostředí, kde je méně cílů a úkolů, se vyplatí vybírat častěji aktuálně nejlepší činnost (ukazuje graf na obrázku 7.3).

7.4 Simulace 3 – Impulzivita a AD/HD syndrom

Hypotéza: Lidé s AD/HD častěji prokrastinují, protože mají zvýšenou hladinu potřebnou k motivaci do dané činnosti. Takové akce je nemotivují natolik, aby vyvíjeli aktivitu. Z tohoto důvodu takový člověk prokrastinuje.

Předpokládaný průběh simulace: Agenti s nižší hladinou motivace budou mít větší fitness. Čím bude hladina impulsiveness vyšší, tím nižší fitness u agentů bude.



Obrázek 7.4: Výsledky simulace 2B.

Postup:

- Spuštění simulace WoP.
- Nastavení výchozích hodnot pomocí tlačítka „*Setup 3: ADHD + impulsiveness*“.
- Běh simulace pomocí tlačítka „*GO*“.

Parametry agentů:

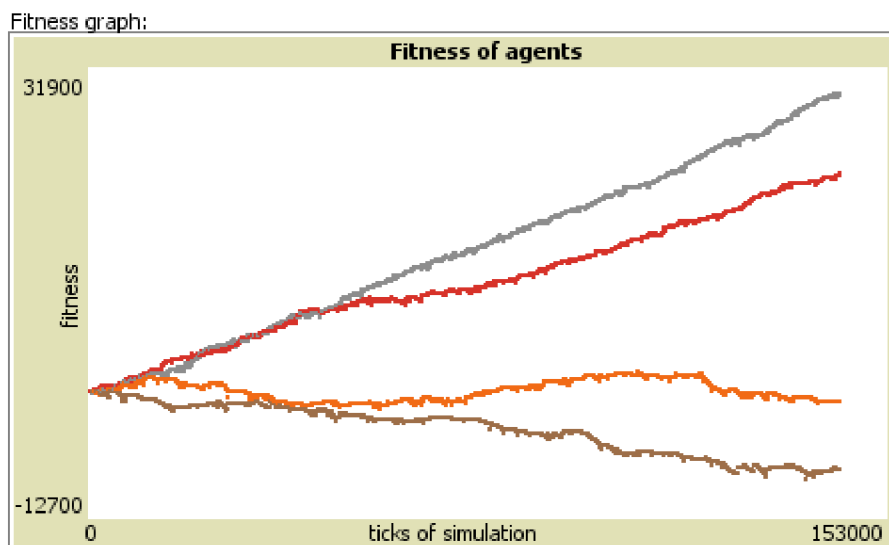
- Agent 1: *impulsiveness* 0 (šedá).
- Agent 2: *impulsiveness* 5 (červená).
- Agent 3: *impulsiveness* 10 (oranžová).
- Agent 4: *impulsiveness* 15 (hnědá).

Poznámka: Ostatní parametry jsou stejné jako by měl racionální agent (parametry racionálního agenta jsou uvedené např. v části 7.8). Atributy simulace jsou dány výchozím nastavením simulačního světa.

Interpretace výsledků: Průběh simulace odpovídá hypotéze a výzkumům. Jedna z příčin prokrastinace tedy může být vyšší odolnost vůči motivačním stimulům (ukazuje graf na obrázku 7.5). To by odpovídalo i tomu, že AD/HD je v současnosti léčeno stimulanty, které tuto odolnost oslabují.

7.5 Simulace 4 – Budoucí orientace

Hypotéza: Lidé, kteří jsou více orientovaní na budoucnost, méně prokrastinují.



Obrázek 7.5: Výsledky simulace 3.

Předpokládaný průběh simulace: Agenti s vyšší orientací na budoucnost `futureOr`, budou mít větší `fitness`. Čím bude orientace na budoucnost nižší, tím nižší `fitness` u agentů bude.

Postup:

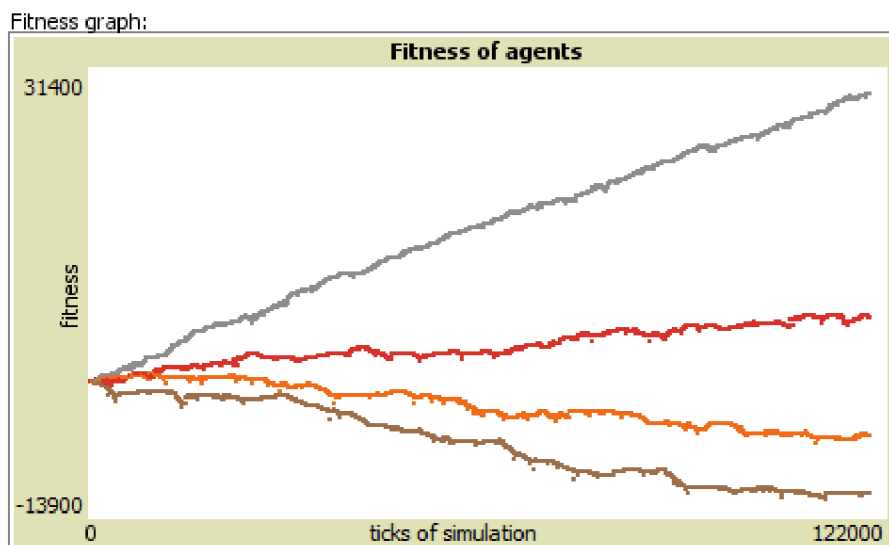
- Spuštění simulace WoP.
- Nastavení výchozích hodnot pomocí tlačítka „Setup 4: Future orientation“.
- Běh simulace pomocí tlačítka „» GO «“.

Parametry agentů:

- Agent 1: `futureOr` 100 (šedá).
- Agent 2: `futureOr` 66 (červená).
- Agent 3: `futureOr` 33 (oranžová).
- Agent 4: `futureOr` 0 (hnědá).

Poznámka: Ostatní parametry jsou stejné jako by měl racionální agent (parametry racionálního agenta jsou uvedené např. v části 7.8). Atributy simulace jsou dány výchozím nastavením simulačního světa.

Interpretace výsledků: Průběh simulace odpovídá hypotéze a výzkumům. Jedna z příčin prokrastinace tedy může být nízká míra orientace na budoucnost (ukazuje graf na obrázku 7.6). Jelikož je schopnost představovat si budoucnost spojena s činností prefrontálního kortexu, je možné, že tato příčina je fyziologicky totožná s příčinou demonstrováné v simulaci 3.



Obrázek 7.6: Výsledky simulace 4.

7.6 Simulace 5 – Optimismus proti pesimismu

Hypotéza: Lidé s vysokou orientací na negativní minulost (označeni jako pesimisté), mají tendenci dostávat se do zpětnovazebné smyčky naučené bezmocnosti. Tato zpětnovazebná smyčka může způsobit ztrátu motivace a prokrastinování.

Předpokládaný průběh simulace: Agenti s vyšší orientací na negativní minulost *Past-* budou mít nižší *fitness*. Čím bude orientace na negativní minulost vyšší, tím nižší *fitness* u agentů bude. Naopak agenti s orientací na pozitivní minulost *Past+* budou mít *fitness* vyšší.

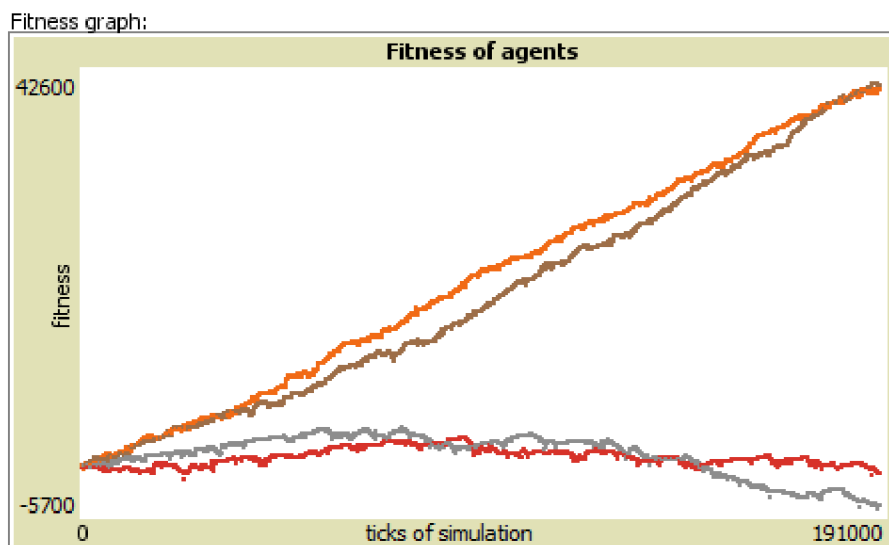
Postup:

- Spuštění simulace WoP.
- Nastavení výchozích hodnot pomocí tlačítka „*Setup 5: Optimism vs. pesimism*“.
- Běh simulace pomocí tlačítka „*GO*“.

Parametry agentů:

- Agent 1: *Past-* 10 (šedá).
- Agent 2: *Past-* 5 (červená).
- Agent 3: *Past+* 5 (oranžová).
- Agent 4: *Past+* 10 (hnědá).

Poznámka: Ostatní parametry jsou stejné jako by měl racionální agent (parametry racionálního agenta jsou uvedené např. v části 7.8). Atributy simulace jsou dány výchozím nastavením simulačního světa.



Obrázek 7.7: Výsledky simulace 5.

Interpretace výsledků: Průběh simulace částečně odpovídá hypotéze. Agenti orientovaní na negativní minulost mají výrazně horší výsledky *fitness*, než ti orientovaní na pozitivní minulost (ukazuje graf na obrázku 7.7). Ve výsledcích se však výrazněji neprojevila velikost pozitivní či negativní orientace. Orientace na negativní minulost může být příčinou chronických případů prokrastinace, kde naučená bezmocnost sníží očekávání úspěchu na minimum.

7.7 Simulace 6 – Optimismus a pesimismus a překonání impulzivity

Hypotéza: Lidé s vysokou orientací na pozitivní minulost jsou schopni překonat vyšší hladinu impulzivity.

Předpokládaný průběh simulace: Agenti s vyšší impulzivitou *impulsiveness* a vyšší mírou pozitivní minulosti *past+* dokážou po několika krocích vliv impulzivity na jejich *fitness* omezit.

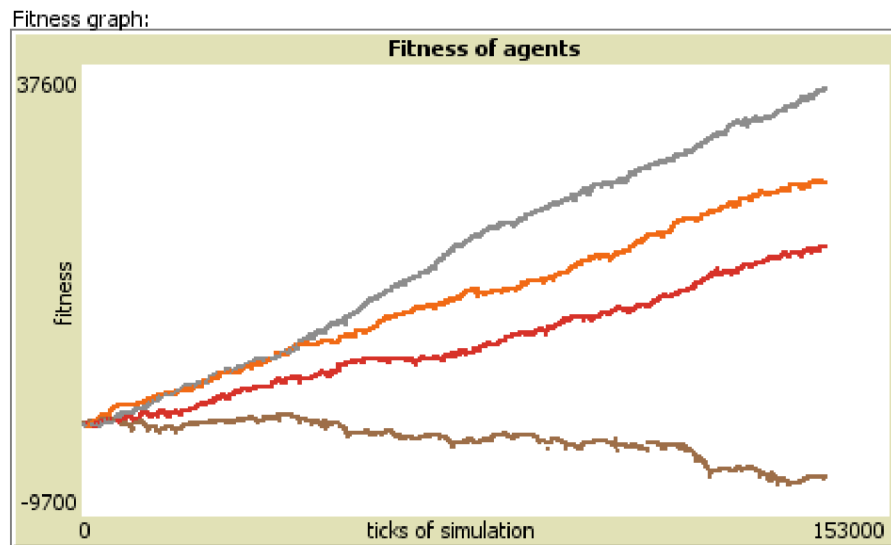
Postup:

- Spuštění simulace WoP.
- Nastavení výchozích hodnot pomocí tlačítka „*Setup 6: Opt. vs. pes. + impuls.*“.
- Běh simulace pomocí tlačítka „*GO*“.

Parametry agentů:

- Agent 1: *past+* 5, *impulsiveness* 5 (šedá).
- Agent 2: *past+* 5, *impulsiveness* 10 (červená).

- Agent 3: *past*- 5, *impulsiveness* 5 (oranžová).
- Agent 4: *past*- 5, *impulsiveness* 10 (hnědá).



Obrázek 7.8: Výsledky simulace 6.

Interpretace výsledků: Experimentální průběh simulace odpovídá stanovené hypotéze a výzkumům. Agenti s vyšší mírou pozitivní minulosti byli schopni překonat svou impulzivitu a získali větší *fitness* než agenti s vyšší orientací na negativní minulost, kteří měli nižší impulzivitu (ukazuje graf na obrázku 7.8).

7.8 Simulace 7 – Syndrom vyhoření

Hypotéza: Pokud lidi dostávají více a více úkolů, objeví se bod zlomu, od kterého přestávají úkoly zvládat. V tomto případě se objeví zpětná vazba. Čím více nových úkolů je, tím méně jich člověk dokáže udělat a tím horší je jeho situace. Nastává jev, který je označován jako *syndrom vyhoření*.

Předpokládaný průběh simulace: Agent umístěný v simulaci bude zvládat dělat úkoly do doby, než se začnou generovat příliš rychle. Pak bude následovat pád jeho *fitness*.

Postup:

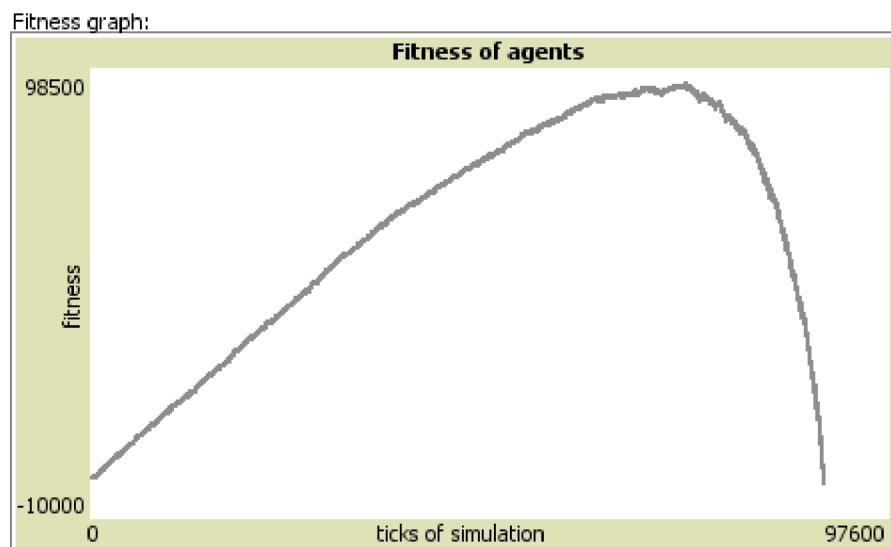
- Spuštění simulace WoP.
- Nastavení výchozích hodnot pomocí tlačítka „*Setup*“.
- Běh simulace pomocí tlačítka „*Go 7: Burnout*“.

Parametry racionálního agenta:

- Impulzivita `impulsiveness`: 0.
- Orientace na budoucnost `futureOr`: 100.
- Orientace na negativní minulost `past-`: 0.
- Orientace na pozitivní minulost `past+`: 0.
- Kognitivní zdroj `cognitiveResource`: 1000.
- Soustředěnost `focus`: 1.

Postupná změna parametrů prostředí:

- Po každých 500 krocích simulace se zrychlí generování nového úkolu (`newTaskPeriod`).

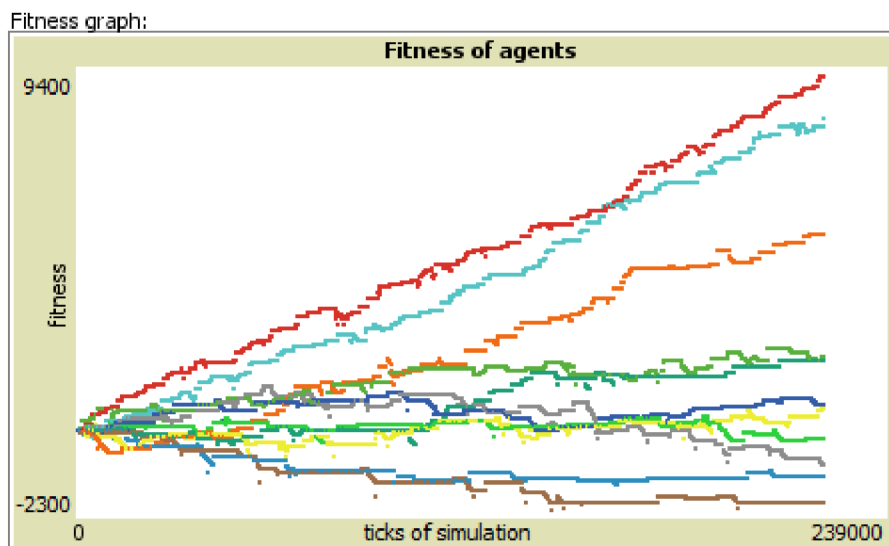


Obrázek 7.9: Výsledky simulace 7.

Interpretace výsledků: Průběh simulace odpovídá hypotéze a výzkumům. Syndrom vyhoření má spojitost s velikou mírou nových úkolů, které člověku vyčerpávají kognitivní zdroj. Pokud se nápor nových úkolů zvětšuje, tak se každý agent dříve či později dostane do stavu vyhoření. Jak ukazuje průběh grafu na obrázku 7.9, změna může být velmi náhlá.

7.9 Simulace 8 – Ukázka společnosti

Poslední simulace nemá za cíl potvrzovat žádnou hypotézu. Ukazuje průběh **fitness** deseti náhodně vygenerovaných agentů. Cílem této simulace je ukázat různé kombinace vlastností agentů a jejich vliv na hodnotu výsledné **fitness**. Vlastnosti agentů je možné procházet pouze v prostředí NetLogo pomocí funkce **inspect**. Plynule rozprostřené hodnoty **fitness** u náhodně vygenerovaných agentů ukazují, že žádná z vlastností není výrazně dominantní. Nejúspěšnější agenti mají kombinace vlastností úspěšných agentů z experimentů 1 až 7.



Obrázek 7.10: Výsledky simulace 8.

Kapitola 8

Závěr

V rámci obsahu diplomové práce se podařilo splnit stanovené cíle, které byly nastíněny v kapitole 1 a blíže definovány v kapitole 2. Text na svém počátku obsahuje úvod do problematiky modelování a simulací komplexních systémů. V úvodní kapitole 1 a v kapitole 3 jsou definované často používané pojmy, kterou jsou zasazeny do vzájemného kontextu. Právě komplexní pohled, který využívá velké abstrakce a nadhledu, dokáže efektivně vystihnout fungování různých druhů nelineárních dynamických systémů.

V diplomové práci je kladen důraz na modelování a simulaci sociálního prostředí jako jednoho z významných komplexních systémů. Modely a jejich simulace pomáhají popisovat, vysvětlovat a pochopit různé sociální fenomény a jsou vhodným nástrojem pro vytváření a falzifikace teorií v oblasti sociálních věd. Jelikož je dostupných mnoho nástrojů pro tvorbu počítačových multi-agentních simulátorů, tato diplomová práce ve své kapitole 4 obsahuje popis a analýzu dostupných frameworků.

Jako vhodné výzkumy pro simulaci byly vybrány experimenty z oblasti lidského rozhodování a motivace. Ukázkový model WoP (World of Procrastination) demonstruje fenomén chorobného odkládání povinností, známý jako prokrastinace. Úvodní kapitola zdůrazňuje nutnost stavět teorie a modely na aktuálních výzkumech. Z tohoto důvodu jsou v kapitole 5 analyzovány aktuální a často citované výzkumy. Tyto výzkumy jsou základem sociálního simulátoru popsaného v kapitole 6. Simulace modelu v prostředí NetLogo umožnila vytvořený model validovat. Všechny plánované experimenty s modelem odpovídaly s velkou mírou stanoveným hypotézám a efektům, jež odhalovaly použité výzkumy.

Tato diplomová práce má ambici stát se ukázkovým materiálem pro multi-agentní modelování a simulace v oblasti sociálních věd. Jelikož je výsledný model postaven na metodologicky kvalitních výzkumných základech, v budoucnu bude možné model využívat k pochopení příčin a možných řešení jevu prokrastinace. Model je možné v budoucnu rozšířit o adaptaci agentů na prostředí a o vzájemné ovlivňování atributů agentů na základě jejich interakce.

Literatura

- [1] Aleš, K.: *Inteligentní agenty: Tvorba aplikačního software na bázi multiagentových systémů*. Praha: Computer press, 2004, ISBN 80-251-0323-4, 280 s.
- [2] Allan, R.: Survey of Agent Based Modelling and Simulation Tools. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://epubs.cclrc.ac.uk/bitstream/3637/ABMS.pdf>
- [3] Ariely, D.: Ovládáme vlastní rozhodnutí? [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://www.ted.com/talks/lang/cze/dan_ariely_asks_are_we_in_control_of_our_own_decisions.html
- [4] Ariely, D.: *Predictably Irrational: The Hidden Forces That Shape Our Decisions*. New York: HarperCollins, 2008, ISBN 978-006-135323-9, 294 s.
- [5] Arnsten, A. F. T.: Toward a new understanding of attention-deficit hyperactivity disorder pathophysiology: an important role for prefrontal cortex dysfunction. *CNS Drugs*, ročník 23 Suppl 1, č. 1172-7047 (Print), 2009: s. 33–41.
URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19621976>
- [6] AVČR: Průvodce programováním v NetLogu. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://www.robotomie.cz/obsah/netlogo/07_Pruvodce_programovanim.pdf
- [7] Baker, A.: Simplicity. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://plato.stanford.edu/entries/simplicity/>
- [8] Baumeister, R. F.; Bratslavsky, E.; Muraven, M.; aj.: Ego depletion: is the active self a limited resource? *Journal of Personality and Social Psychology*, ročník 74, č. 5, 1998: s. 1252–1265.
URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9599441>
- [9] Baumeister, R. F.; Vohs, K. D.: *Handbook of Self-Regulation: Research, Theory, and Applications*. New York: The Guilford Press, 2007, ISBN 978-1593854751, 574 s.
- [10] Bishop, S. R.: Mindfulness: A Proposed Operational Definition. *Clinical Psychology Science and Practice*, ročník 11, č. 3, 2004: s. 230–241.
URL <http://doi.wiley.com/10.1093/clipsy/bph077>
- [11] Boice, R.: *Procrastination and Blocking: A Novel, Practical Approach*. London: Praeger, 1996, ISBN 978-0275956578, 240 s.
- [12] Bosato, G. N.: *Time perspective, academic motivation, and procrastination*. Diplomová práce, San Jose State University, San José (Ca.), 2001.

- [13] Coveney, P.; Highfield, R.: *Mezi chaosem a řádem*. Praha: Mladá fronta, 2003, ISBN 80-204-0989-0, 432 s.
- [14] Csermely, P.: *Weak Links: The Universal Key to the Stability of Networks and Complex Systems*. New York: Springer, 2006, ISBN 978-3642011924, 410 s.
- [15] Epel, A., Elissa S and Bandura; Zimbardo, P. G.: Escaping homelessness: The influences of self-efficacy and time perspective on coping with homelessness. *Journal of Applied Social Psychology*, ročník 29, č. 3, 1999: str. 575.
URL <http://search.epnet.com/login.aspx?direct=true&db=aph&an=1895977&loginpage=login.asp&site=ehost>
- [16] EPFL: The Blue Brain Project. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://bluebrain.epfl.ch/>
- [17] Epstein, J. M.: *Generative social science: studies in agent-based computational modeling*. Princeton: Princeton University Press, 2006, ISBN 978-0691125473, 356 s.
- [18] Fairclough, S. H.; Houston, K.: A metabolic measure of mental effort. *Biological Psychology*, ročník 66, č. 2, 2004: s. 177–190.
URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15041139>
- [19] Ferrari, J.; Sanders, S.: Procrastination rates among adults with and without AD/HD: A pilot study. *Counseling and Clinical Psychology*, ročník 50, 2006: s. 2–9.
- [20] Ferrari, J. R.: Psychometric Validation of Two Procrastination Inventories for Adults: Arousal and Avoidance Measures. *Journal of Psychopathology and Behavioral Assessment*, ročník 14, č. 2, 1992: s. 97–110.
URL <http://www.springerlink.com/content/rj22026977227j57/fulltext.pdf>
- [21] Frost, P.: Soft science and hard news. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://www.columbia.edu/cu/21stC/issue-1.1/soft.htm>
- [22] Giddens, A.: *Sociologie*. Praha: Agro, 1997, ISBN 80-7203-124-4, 595 s.
- [23] Gilbert, D.: Our mistaken expectations. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://www.ted.com/talks/dan_gilbert_researches_happiness.html
- [24] Gilbert, D.: Why are we happy? [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://www.ted.com/talks/dan_gilbert_asks_why_are_we_happy.html
- [25] Gilbert, D.: *Stumbling on Happiness*. New York: Knopf, 2006, ISBN 978-1400077427, 336 s.
- [26] Gilbert, D. T.; Ebert, J. E. J.: Decisions and revisions: The affective forecasting of changeable outcomes. *Journal of Personality and Social Psychology*, ročník 82, č. 4, 2002: s. 503–514.
URL <http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/0022-3514.82.4.503>
- [27] Gilbert, N.; Troitzsch, K. G.: *Simulation for the Social Scientist*. Berkshire: Open University Press, 2005, ISBN 978-0335197446, 312 s.
- [28] Hadámek, J.: *Modelování chování sociálního hmyzu, bakalářská práce*. Bakalářská práce, Fakulta informatiky, Masarykova univerzita, Brno, 2007.

- [29] Hagger, C., Martin S and Wood; Stiff, C.; Chatzisarantis, N. L. D.: Ego depletion and the strength model of self-control: a meta-analysis. *Psychological Bulletin*, ročník 136, č. 4, 2010: s. 495–525.
URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20565167>
- [30] Hansson, S. O.: Science and Pseudo-Science. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://plato.stanford.edu/entries/pseudo-science/>
- [31] Hendl, J.: *Kvalitativní výzkum: základní metody a aplikace*. Praha: Portál, 2005, ISBN 80-7367-040-2, 407 s.
- [32] Henry, M.: Henry Markram builds a brain in a supercomputer. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://www.ted.com/talks/henry_markram_supercomputing_the_brain_s_secrets.html
- [33] Huberman, G.; Iyengar, W., Sheena S and Jiang: Defined Contribution Pension Plans: Determinants of Participation and Contributions Rates. ročník 31, 2007: s. 1–32.
URL <http://www.springerlink.com/index/10.1007/s10693-007-0003-6>
- [34] Husáková, M.: Vývojové nástroje pro multiagentové systémy. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://lide.uhk.cz/fim/ucitel/fshusam2/lekarnicky/z3/z3_dokumenty/MultiagentProstredi.pdf
- [35] Hyötyniemi, H.: Towards Modeling of Emergence. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://neocybernetics.com/research/lec3.pdf>
- [36] Iyengar, S.: The art of choosing. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://www.ted.com/talks/sheena_iyengar_on_the_art_of_choosing.html
- [37] Krivý, I.; Kindler, E.: Simulace a modelování. [online], 2001, [cit. 2011-4-15].
URL <http://prf.osu.cz/kip/dokumenty/Msm.pdf>
- [38] Lanc, J.: *Vztah mezi prokrastinací a dispoziční všímovostí u studentů VŠ*. Bakalářská práce, Fakulta sociálních studií, Masarykova univerzita, Brno, 2011.
- [39] Lemons, J.: *Scientific uncertainty and environmental problem solving*. Cambridge (Mass.): Blackwell Science, 1996, ISBN 978-0865424760, 433 s.
- [40] Martijn, C.; Alberts, H. J. E. M.; Merckelbach, H.; aj.: Overcoming ego depletion: the influence of exemplar priming on self-control performance. *European Journal of Social Psychology*, ročník 37, č. 2, 2007: s. 231–238.
URL <http://doi.wiley.com/10.1002/ejsp.350>
- [41] Mason: Stands for Multi-Agent Simulator Of Neighborhoods or Networks. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>
- [42] Mařík; Štěpánková; Lažanský: *Umělá inteligence*. Praha: Academia, 2007, ISBN 978-80-200-1470-2, 552 s.

- [43] Miller, C. W.: *Procrastination and Attention Deficit Hyperactivity Disorder in the College Setting: The Relationship Between Procrastination and Anxiety*. Dizertační práce, Capella University, Minneapolis (Mn.), 2007.
- [44] MIT.edu: Introduction to StarLogo. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://education.mit.edu/starlogo/>
- [45] MIT.edu: OpenStarLogo community web site. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://education.mit.edu/openstarlogo/>
- [46] Nakonečný, M.: *Sociální psychologie*. Praha: Academia, 1999, ISBN 80-200-0690-7, 287 s.
- [47] O'Brien, W. K.: Applying the transtheoretical model to academic procrastination. *Dissertation Abstracts International Section B The Sciences and Engineering*, ročník 62, č. 11-B, 2002: str. 5359.
URL <http://psycnet.apa.org/psycinfo/2002-95010-384>
- [48] O'Connor, T.: Emergent Properties. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://plato.stanford.edu/entries/properties-emergent/>
- [49] Pelánek, R.: Komplexní systémy, myšlení o systémech. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://www.fi.muni.cz/~xpelaneK/IV109/slidy/komplexni-systemy.pdf>
- [50] Pelánek, R.: Modelování: obecné principy. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://www.fi.muni.cz/~xpelaneK/IV109/slidy/modelovani.pdf>
- [51] Pelánek, R.: *Modelování a simulace komplexních systémů. Jak lépe porozumět světu*. Brno: Masarykova univerzita, 2011, ISBN 978-80-210-5318-2, 263 s.
- [52] Peringer, P.: Simulační nástroje a techniky. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://www.fit.vutbr.cz/study/courses/SNT/public/Prednasky/SNT.pdf>
- [53] Peterson, C.; Maier, S. F.; Seligman, M. E. P.: *Learned helplessness: A theory for the age of personal control*. New York: Oxford University Press, 1993, ISBN 978-0195044676, 376 s.
- [54] Redelmeier, E., D A and Shafir: Medical decision making in situations that offer multiple alternatives. *Jama The Journal Of The American Medical Association*, ročník 273, č. 4, 1995: s. 302–305.
URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7815657>
- [55] Repast: The Repast Suite. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://repast.sourceforge.net/>
- [56] Resnick, M.: *Turtles, Termites, and Traffic Jams: Explorations in Massively Parallel Microworlds (Complex Adaptive Systems)*. Cambridge: MIT Press, 1997, ISBN 978-0262680936, 183 s.
- [57] Robertson, D. A.: Agent-Based Modeling Toolkits NetLogo, RePast, and Swarm. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://www.duncanrobertson.com/research/AMLE.pdf>

- [58] Russell, S. J.; Norvig, P.: *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. New Jersey: Prentice Hall, 2009, ISBN 978-0131038059, 1152 s.
- [59] Sawyer, R. K.: *Social Emergence: Societies As Complex Systems*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005, ISBN 978-0521606370, 276 s.
- [60] Schraw, G.; Wadkins, T.; Olafson, L.: Doing the things we do: A grounded theory of academic procrastination. *Journal of Educational Psychology*, ročník 99, č. 1, 2007: s. 12–25.
URL <http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/0022-0663.99.1.12>
- [61] Schwartz, B.: Paradox volby. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://www.ted.com/talks/barry_schwartz_on_the_paradox_of_choice.html
- [62] Schwartz, B.: *The Paradox of Choice: Why More Is Less*. New York: Harper Perennial, 2005, ISBN 978-0060005696, 304 s.
- [63] Seligman, M.: On positive psychology. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://www.ted.com/talks/martin_seligman_on_the_state_of_psychology.html
- [64] Seligman, M. E. P.: *Helplessness: On depression, development, and death*. San Francisco: Freeman, 1975, ISBN 978-0716723288, 250 s.
- [65] Shin, J.; Ariely, D.: Keeping Doors Open: The Effect of Unavailability on Incentives to Keep Options Viable. *Management Science*, ročník 50, č. 5, 2004: s. 575–586.
URL <http://mansci.journal.informs.org/cgi/doi/10.1287/mnsc.1030.0148>
- [66] Shoda, Y.; Mischel, W.; Peake, P. K.: Predicting adolescent cognitive and self-regulatory competencies from preschool delay of gratification: Identifying diagnostic conditions. *Developmental Psychology*, ročník 26, č. 6, 1990: s. 978–986.
URL <http://doi.apa.org/getdoi.cfm?doi=10.1037/0012-1649.26.6.978>
- [67] Sikström, S.; Söderlund, G.: Stimulus-dependent dopamine release in attention-deficit/hyperactivity disorder. *Psychological Review*, ročník 114, 2007: s. 1047–1075.
URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17907872>
- [68] Singer, P.: Psychologické experimenty. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://animalrights.webz.cz/experimenty.htm>
- [69] Steel, P.: The nature of procrastination: a meta-analytic and theoretical review of quintessential self-regulatory failure. *Psychological Bulletin*, ročník 133, č. 1, 2007: s. 65–94.
URL <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17201571>
- [70] Steel, P.: Arousal, avoidant and decisional procrastinators: Do they exist? *Personality and Individual Differences*, ročník 48, č. 8, 2010: s. 926–934.
URL <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0191886910000930>
- [71] Steel, P.: *The Procrastination Equation: How to Stop Putting Things Off and Start Getting Stuff Done*. New York: Harper, 2010, ISBN 978-0061703614, 320 s.

- [72] Swarn.org: Swarm Development Group Wiki. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://www.swarm.org/index.php/Main_Page
- [73] Swarn.org: Tools for Agent-Based Modelling. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://www.swarm.org/wiki/Tools_for_Agent-Based_Modelling
- [74] Tesfatsion, L.: General Software and Toolkits, Agent-Based Computational Economics (ACE), and Complex Adaptive Systems (CAS). [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://www2.econ.iastate.edu/tesfatsi/acecode.htm>
- [75] ThomsonReuters.com: ISI Web of Knowledge. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://www.isiknowledge.com>
- [76] Tobias, R.; Hofmann, C.: Evaluation of free Java-libraries for social-scientific agent based simulation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol. 7, no. 1, 2004.
URL <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/7/1/6.html>
- [77] Wikipedia: Ad fontes. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://en.wikipedia.org/wiki/Ad_fontes
- [78] Wikipedia: ADHD. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/ADHD>
- [79] Wikipedia: Blue Brain Project. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://en.wikipedia.org/wiki/Blue_Brain_Project
- [80] Wikipedia: Cellular automaton. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_automaton
- [81] Wikipedia: Comparison of agent-based modeling software. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_agent-based_modeling_software
- [82] Wikipedia: Complex system. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://en.wikipedia.org/wiki/Complex_system
- [83] Wikipedia: Emergence. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/Emergence>
- [84] Wikipedia: Falsifiability. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://en.wikipedia.org/wiki/Falsifiability>
- [85] Wikipedia: FLOPS. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://en.wikipedia.org/wiki/FLOPS>
- [86] Wikipedia: Fuzzy logika. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://cs.wikipedia.org/wiki/Fuzzy_logika
- [87] Wikipedia: Hard and soft science. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://en.wikipedia.org/wiki/Hard_and_soft_science
- [88] Wikipedia: Impakt faktor. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://cs.wikipedia.org/wiki/Impakt_faktor

- [89] Wikipedia: Moore's law. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://en.wikipedia.org/wiki/Moore's_law
- [90] Wikipedia: Multiagentní modelování. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://cs.wikipedia.org/wiki/Multiagentní_modelování
- [91] Wikipedia: Multiagentní systém. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://cs.wikipedia.org/wiki/Multiagentní_systém
- [92] Wikipedia: Prefrontal cortex. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://en.wikipedia.org/wiki/Prefrontal_cortex
- [93] Wikipedia: Prohledávání do hloubky. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://cs.wikipedia.org/wiki/Prohledávání_do_hloubky
- [94] Wikipedia: Prohledávání do šířky. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://cs.wikipedia.org/wiki/Prohledávání_do_šířky
- [95] Wikipedia: Sociology and complexity science. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://en.wikipedia.org/wiki/Sociology_and_complexity_science
- [96] Wikipedia: Systém. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/Systém>
- [97] Wikipedia: Teorie. [online], [cit. 2011-4-15].
URL <http://cs.wikipedia.org/wiki/Teorie>
- [98] Wikipedia: Teorie her. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://cs.wikipedia.org/wiki/Teorie_her
- [99] Wilensky, U.: NetLogo. [online], 1999, [cit. 2011-4-15].
URL <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- [100] Wilson, T. D.; Gilbert, D. T.: Affective Forecasting. *Society*, ročník 14, č. 3, 2005: s. 1–4.
URL <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=psyh&AN=2004-12431-006&site=ehost-live>
- [101] Wolfram, S.: Cellular Automata as Simple Self-Organizing Systems. *Caltech Preprint CALT-68-938*, 1982.
- [102] Wolfram, S.: *A New Kind of Science*. Champaign (Il.): Wolfram Media, 2002, ISBN 978-1579550080, 1197 s.
- [103] Zimbardo, P.: Healthy take on time. [online], [cit. 2011-4-15].
URL http://www.ted.com/talks/philip_zimbardo_prescribes_a_healthy_take_on_time.html
- [104] Zimbardo, P. G.; Boyd, J.: *The Time Paradox: The New Psychology of Time*. New York: Free Press, 2008, ISBN 978-1-4165-4198-1, 354 s.

Příloha A

Obsah CD

Příložené CD obsahuje následující soubory a složky:

- `xludwi00.pdf` – Text práce ve formátu PDF.
- `LaTeX` – Složka s \LaTeX zdrojovými kódy textu práce.
- `program` – Složka se zdrojovým kódem a appletem.
- `program/WoP.html` – HTML dokument s vloženým appletem.
- `program/WoP.nlogo` – Hlavní program včetně zdrojových kódů.