

Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií

Implementace principů teorie her v multiagentovém prostředí Aml
Diplomová práce

Autor: Bc. David Sviták
Studijní obor: IM2

Vedoucí práce: Ing. Karel Mls, Ph.D.

Hradec Králové

srpen 2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 14.8.2017

David Sviták

Poděkování:

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu diplomové práce, Ing. Karlu Mlsovi, PhD., za jeho cenné rady, připomínky, ochotu a poskytnuté konzultace v průběhu psaní této práce.

Anotace

Diplomová práce si klade za cíl vytvořit simulaci multiagentového prostředí ambientní inteligence využívající principy teorie her a zanalyzovat optimální řešení pro nastalé situace za určitých podmínek. Pro vytvoření simulace je použit nástroj NetLogo, ve kterém jsou jednotlivé situace ztvárněny pomocí modelových scénářů. Mnohonásobné spuštění simulace poskytuje potřebná data, na jejichž základě jsou analýzy zpracovány.

Práce se pokouší o skloubení několika témat, která se týkají počítačové vědy a výpočetní inteligence, za účelem odhalení dalších možností jejich společného využití v reálném světě. Těmito tématy jsou teorie her, multiagentové systémy, ambientní inteligence a fuzzy logika.

Na témata je nejprve nahlíženo z teoretického hlediska. V této části je pozornost věnována základní charakteristice oblastí, detailnějším popisu částí, jež souvisí s praktickým výstupem práce, a možnostem využití těchto oblastí v reálném světě.

Praktická část kombinuje tyto oblasti za účelem vytvoření modelu simulace v nástroji NetLogo. Simulace vytvořená v rámci této práce vykresluje nákupní prostor, ve kterém se nachází velké množství lidí současně. Teorie her poukazuje na určitou formu konfliktu mezi nakupujícími při dosahování svých individuálních cílů. Ambientní inteligence napomáhá přítomným lidem optimálně strávit svůj čas a využít dostupné služby v té nejlepší možné míře. Při některých výpočtech je aplikován proces fuzzy inference, který umožňuje pohodlnější převedení množiny vstupů na výstupní hodnotu.

Simulace je mnohokrát spouštěna pro každý modelový scénář a naměřená data jsou použita k analyzování výsledků jednotlivých situací. Závěrem práce jsou tyto výsledky shrnuty.

Annotation

Title: Implementation of Game Theory Principles in Multi-Agent Aml Environment

The diploma thesis has a goal to create a simulation of multi-agent Aml environment, where the game theory principles are implemented, to analyze optimal solutions to occurred situations with specific conditions. NetLogo modeling environment is used for the creation of the simulation, where individual situations are pictured in model scenarios. Multiple runs of the simulation provide required data, which serve as a basis for the analysis.

The diploma thesis attempts to combine several topics related to computer science and computational intelligence. The intention is to discover new possible options of their combined use in the real world. These topics are: game theory, multi-agent systems, ambient intelligence and fuzzy logic.

Firstly, all the topics are discussed from the theoretical point of view. This section is focused on the basic characteristics of the domains, detailed description of parts, which are used in the practical section of the thesis, and the possibilities of domain application in the real world.

The practical section of the thesis combines all four domains to create a model of the simulation in the NetLogo environment. The simulation depicts a shopping area, where a lot of people are located at once. Game theory points at a specific form of conflict between the individual goals of the customers. Ambient intelligence assists customers with their time optimization and attempts to utilize available services in the best way possible. In several calculations, fuzzy inference process is applied, which allows conversion of an input set into an output value in a more convenient way.

The simulation is launched many times for each model scenario and recorded data are used for the result analysis of particular situations. The results are summarized in the thesis conclusion.

Obsah

1	Úvod	1
2	Cíl práce	3
3	Metodika zpracování	4
3.1	Zpracování výzkumu	4
3.2	Použité nástroje.....	4
4	Teoretická východiska.....	7
4.1	Teorie her	7
4.1.1	Formy her.....	7
4.1.2	Typy her	9
4.1.3	Typické příklady teorie her.....	12
4.2	Multiagentové systémy.....	15
4.2.1	Prvky multiagentových systémů.....	16
4.2.2	Charakteristika multiagentových systémů	20
4.2.3	Aplikace multiagentových systémů	22
4.3	Ambientní inteligence.....	26
4.3.1	Působení ambientní inteligence.....	27
4.3.2	Aplikace ambientní inteligence	28
4.4	Fuzzy logika	31
4.4.1	Proces fuzzy inference	31
4.4.2	Uplatnění fuzzy logiky.....	39
5	Výstupy práce.....	41
5.1	Charakteristika modelu simulace.....	41
5.1.1	Implementace principů teorie her	41
5.1.2	Prostředí ambientní inteligence.....	43
5.2	Dokumentace.....	45

5.2.1	Prostředí.....	45
5.2.2	Agenti.....	48
5.2.3	Typy chování agentů.....	59
5.2.4	Načtení a spuštění simulace.....	61
5.2.5	Nedokonalosti modelu	62
5.3	Aplikování simulace na modelové scénáře.....	64
5.3.1	Testování modelu simulace	64
5.3.2	Modelové scénáře	67
5.3.3	Shrnutí výsledků	80
6	Závěry a doporučení.....	83
7	Seznam použité literatury	85
8	Přílohy.....	88

Seznam obrázků

Obr. 1: Extenzivní forma zjednodušené verze pokeru.....	8
Obr. 2: Základní působení agenta	17
Obr. 3: Vzájemně komunikující agenti	20
Obr. 4: Taxonomie různých způsobů koordinace agentů	21
Obr. 5: Vztah AmI s dalšími oblastmi počítačové vědy	26
Obr. 6: Obecné uspořádání chytré domácnosti obohacené o senzory a zařízení	29
Obr. 7: Fuzzifikace ceny zboží	32
Obr. 8: Fuzzifikace kvality zboží	33
Obr. 9: Aplikace fuzzy operátorů.....	34
Obr. 10: Implikační metoda.....	35
Obr. 11: Agregace výstupů.....	37
Obr. 12: Agregovaná fuzzy množina	38
Obr. 13: Ukázka prostředí simulace.....	45
Obr. 14: Vztah kategorií obchodů	47
Obr. 15: Posuvník modelu – nastavení počtu obchodů	47
Obr. 16: Posuvníky modelu – nastavení počátečního počtu lidí, celkového počtu lidí, intervalu jejich příchodu a intenzity jejich příchodu.....	48
Obr. 17: Monitor modelu – aktuální a celkový počet nakupujících	49
Obr. 18: Posuvníky modelu – nastavení střední hodnoty a směrodatné odchylky pro časový limit.....	50
Obr. 19: Posuvníky modelu – nastavení počáteční spokojenosti a limitu spokojenosti	50
Obr. 20: Monitor modelu – počet spokojených, nespokojených a ostatních nakupujících.....	51
Obr. 21: Posuvník modelu – nastavení úbytku spokojenosti.....	51
Obr. 22: Graf a monitory modelu – vývoj průměrné spokojenosti, současná průměrná spokojenost a celková průměrná spokojenost.....	52
Obr. 23: Grafy modelu – vnímání ceny, kvality a spokojenosti	53
Obr. 24: Posuvník a graf modelu – nastavení a grafické zobrazení nevýhody rozdílu	56

Obr. 25: Vstupní pole modelu – nastavení minimální a maximální tolerance ostatních lidí.....	56
Obr. 26: Graf modelu – tolerance ostatních lidí.....	57
Obr. 27: Graf modelu – zájem o nabídku.....	57
Obr. 28: Posuvník modelu – nastavení fuzzy variability.....	58
Obr. 29: Grafy modelu – vliv fuzzy variability.....	58
Obr. 30: Tlačítko modelu – aktualizace fuzzy grafů.....	59
Obr. 31: Tlačítka modelu – načtení simulace, provedení jednoho kroku a spuštění simulace.....	62
Obr. 32: Nastavení pro experiment vyhodnocující úspěšnost jednotlivých typů chování.....	64
Obr. 33: Alternativní parametry scénáře <i>náhlý příchod velkého množství nakupujících</i>	70
Obr. 34: Nastavení pro scénář <i>postupné zavádění technologií</i>	73
Obr. 35: Alternativní parametry scénáře <i>první spokojený nakupující</i>	79

Seznam tabulek

Tab. 1: Příklad normální formy hry.....	8
Tab. 2: Příklad výplatní matice symetrické hry.....	10
Tab. 3: Příklad výplatní matice asymetrické hry	10
Tab. 4: Příklad výplatní matice hry s nulovým součtem	11
Tab. 5: Vězňovo dilema – výplatní matice	13
Tab. 6: Lov jelena – výplatní matice.....	14
Tab. 7: Úspěšnost jednotlivých typů chování měřených zvlášť	65
Tab. 8: Úspěšnost jednotlivých typů chování měřených společně	66
Tab. 9: Výsledky scénáře <i>náhlý příchod velkého množství nakupujících</i>	69
Tab. 10: Výsledky alternativního nastavení scénáře <i>náhlý příchod velkého množství nakupujících</i>	71
Tab. 11: Výsledky prvního průběhu scénáře <i>postupné zavádění technologií</i>	73
Tab. 12: Výsledky druhého průběhu scénáře <i>postupné zavádění technologií</i>	74
Tab. 13: Výsledky třetího průběhu scénáře <i>postupné zavádění technologií</i>	75
Tab. 14: Výsledky prvního průběhu scénáře <i>první spokojený nakupující</i>	76
Tab. 15: Výsledky druhého průběhu scénáře <i>první spokojený nakupující</i>	77
Tab. 16: Výsledky třetího průběhu scénáře <i>první spokojený nakupující</i>	79

1 Úvod

Tématem diplomové práce je implementace principů teorie her v multiagentovém prostředí Aml. Základní myšlenkou této práce je skloubení několika témat, která se týkají počítačové vědy a výpočetní inteligence, za účelem odhalení dalších možností jejich společného využití v reálném světě. Těmito tématy jsou teorie her, multiagentové systémy, ambientní inteligence a fuzzy logika.

Z oblasti teorie her se práce zabývá převážně konceptem kooperace a konfliktu a jejich vlivem na jednotlivé hráče, jejich výplaty, rozhodování, atd.

Multiagentové systémy představují nástroj, pomocí kterého je možné vytvořit prostředí naplněné distribuovanými inteligentními počítačovými programy, které jsou schopny s určitou mírou samostatnosti vzájemně komunikovat. Nadále jsou multiagentové systémy využity při modelování simulace, která je součástí výstupů této práce.

Ambientní inteligence představuje nesmírný potenciál pro další technologický rozvoj. Vestavěná inteligentní zařízení, která pomáhají při běžných činnostech každodenního života všech lidí, a to jak v soukromé, tak studijní nebo pracovní sféře. Práce využívá myšlenky ambientní inteligence a poukazuje na její další možnosti využití.

Fuzzy logika nabízí alternativní způsob, jak matematicky pojmut koncept pravdy a nepravdy. Pracuje s tzv. částečnou pravdou, pomocí které je možné operovat s pravdivostními hodnotami mírně odlišným způsobem.

Všechny tyto oblasti jsou v práci nejprve popsány z teoretického hlediska. Teorie se zaměřuje převážně na základní charakteristiku oblastí, detailnější popis částí, které souvisí s praktickým výstupem této práce, a možnosti využití těchto oblastí v reálném světě.

V praktické části jsou všechna témata společně skloubena za účelem vytvoření modelu v nástroji NetLogo. Prostředí NetLogo slouží k tvorbě multiagentových simulací, pomocí kterých je možné pozorovat chování a měřit výsledky různých sociálních či přírodních jevů.

Pro účely této práce je v nástroji vytvořena simulace, vykreslující nákupní prostor, ve kterém se nachází velké množství lidí současně. Teorie her poukazuje na určitou

formu konfliktu mezi nakupujícími při dosahování svých individuálních cílů. Ambientní inteligence napomáhá přítomným lidem optimálně strávit svůj čas a využít dostupné služby v té nejlepší možné míře. Při některých výpočtech je aplikován proces fuzzy inference, který umožňuje pohodlnější převedení množiny vstupů na výstupní hodnotu.

Závěrem práce jsou zjištěné výsledky shrnuty. Dále je uvedeno, jak by bylo možné práci vylepšit či rozšířit. Taktéž je naznačeno, jaká opatření by bylo potřeba provést, aby bylo možné výstupy práce implementovat do reálného prostředí.

2 Cíl práce

Cílem diplomové práce je vytvořit simulaci multiagentového prostředí ambientní inteligence využívající principy teorie her a zanalyzovat optimální řešení pro nastalé situace za určitých podmínek. Model simulace bude vytvořen v nástroji NetLogo. Simulovány budou různé situace, během kterých se budou shromažďovat potřebná data, na jejichž základě budou provedeny analýzy. Tento cíl je prioritní a jeho naplnění bude věnována nejvyšší pozornost v praktické části této práce.

Za vedlejší přínos této práce je možné považovat poukázání na potenciál, kterým příslušné oblasti z počítačové vědy a výpočetní inteligence disponují. Výzkumníci v těchto oborech se mohou případně inspirovat využitím pro vyvíjené technologie. V neposlední řadě bude vytvořená simulace nahrána do knihovny modelů nástroje NetLogo, ve které se nachází více jak 100 dalších modelů od různých autorů. Model tedy bude veřejně přístupný pro další uživatele tohoto nástroje a může být nadále rozšiřován, popřípadě může svou myšlenkou či programátorským zpracováním napomáhat k tvorbě dalších modelů ostatními uživateli.

3 Metodika zpracování

3.1 Zpracování výzkumu

Výzkum této práce je rozdělen do několika fází. Nejprve jsou sepsána teoretická východiska, která stanovují pro výzkum potřebné výchozí informace.

Následující fáze představuje návrh, tvorbu a naprogramování modelu simulace v nástroji NetLogo. Tvorba modelu probíhá postupným rozšiřováním jednotlivých funkcionalit a zdokonalováním existujících prvků. Na základě informací získaných během konzultací s vedoucím práce a díky snaze o vyvážení jednotlivých prvků je model postupně upravován až do své konečné podoby.

Předmětem další fáze výzkumu jsou experimenty. K jejich provedení je použit nástroj BehaviorSpace, který je součástí nástroje NetLogo. Parametry modelu jsou nastaveny pro simulování modelových scénářů, jež ztvárňují různé situace. Pomocí nástroje BehaviorSpace jsou za neměnných podmínek tyto scénáře mnohonásobně opakovány (1000 až 10000 průběhů), za účelem získání potřebného množství dat, na jejichž základě jsou provedeny příslušné analýzy.

Naměřená data jsou následně upravena a zpracována v tabulkovém procesoru. Použity jsou základní statistické operace, jako je výpočet průměru či směrodatné odchylky. Takto agregovaná data jsou podkladem pro analýzu jednotlivých situací.

3.2 Použité nástroje

NetLogo

NetLogo je multiagentový programovací jazyk a zároveň modelovací nástroj pro simulaci přírodních a sociálních jevů. Využívá se jak pro vzdělávání, tak pro vědeckou činnost v rozličných disciplínách. [1]

NetLogo umožňuje vytvářet simulace komplexních systémů, ve kterých stovky či tisíce agentů současně vykonávají příkazy, avšak každý z nich vyhodnocuje situaci podle svých pravidel a chová se autonomně. Toto umožňuje zkoumat souvislosti mezi individuálním chováním jedinců, a tím, jak společně ovlivňují celý systém na makroúrovni. [2]

V závislosti na konkrétní simulaci je možné různě upravovat parametry a zkoumat chování za různých podmínek. Vytváření vlastních modelů v nástroji NetLogo není složité a je vhodné i pro studenty a výzkumníky, kteří nemají s programováním velké zkušenosti.

NetLogo je výsledkem několika programovacích jazyků, mezi které patří např. Logo, StarLogo či StarLisp. Samotná aplikace je napsaná v jazyce Java a jedná se o volně přístupný freeware obsahující dokumentaci i tutoriály.

Z původního jazyka Logo si agenti zachovali pojmenování jako *želvy* (turtles). Ti se podle svých pravidel mohou pohybovat různými směry po čtvercových polích (patches). Tato pole jsou taktéž programovatelná, tudíž agenti mohou interagovat nejen mezi sebou, ale i s prostředím. Modely ve většině případů fungují na principu vykonávání algoritmů v opakujících se krocích, takže je možné sledovat vývoj simulace i z časového hlediska. [1] [2]

NetLogo, jakožto nástroj, který má neustále rostoucí počet uživatelů na různých úrovních, vlastní i poměrně rozsáhlou knihovnu modelů. Více jak 100 modelů je možné zkoumat, upravovat či rozšiřovat. Simulace se týkají přírodních a sociálních věd, konkrétně např. biologie, medicíny, chemie nebo ekonomie. Agenti na sebe mohou brát podobu molekul, mravenců, včel, ptáků, vlků, pastýřů, cestujících, aut či robotů. Pole mohou představovat terén, vodu, potravu, stromy, zdi, domy, buňky, atd. V jednoduchém dvourozměrném rozhraní je možné ztvárnit různé situace. Mezi zkoumaná témata patří např. buněčné automaty, genetické algoritmy, populační dynamika, hledání cest a optimalizace, počítačové sítě, trhy, umělé společnosti, atd.

BehaviorSpace

Spouštění modelu umožňuje pozorovat jeho chování a výstupy, které mohou být pokaždé odlišné díky prvku náhody. Pravděpodobnost hraje důležitou roli při simulování reálných situací, které jen zřídka probíhají stejně. Aby bylo možné výsledky zobecnit a objektivně vyhodnotit, je zapotřebí sledovat velké množství průběhů stejné simulace a výsledky zaznamenávat. K tomu slouží nástroj BehaviorSpace. [2]

BehaviorSpace je obsažen v aplikaci NetLogo a umožňuje na modelech provádět experimenty. To v praxi znamená, že jsou modely spouštěny mnohokrát za sebou, přičemž je možné systematicky upravovat nastavení modelu a vše vyhodnocovat zvlášť. Tímto způsobem je možné např. zjistit, které nastavení modelu vykazuje požadované výsledky.

Naměřené výsledky je možné zobrazit v tabulkovém procesoru a zpracovávat jako klasická data.

Fuzzy Logic Extension

Pro NetLogo existují různá rozšíření, která do aplikace přidávají další funkce. Jedním z těchto rozšíření je Fuzzy Logic Extension, jež v modelech umožňuje využívat principy fuzzy logiky.

Rozšíření usnadňuje tvorbu modelů, ve kterých jednotliví agenti uchovávají vlastní fuzzy množiny (reprezentace subjektivních, nepřesných konceptů) a vyhodnocují fuzzy pravidla, která mohou ovlivňovat jejich chování a vzájemnou interakci. Fuzzy logika pracuje s výrazy v přirozeném jazyce a umožňuje řešit situace, kdy jsou např. různými agenty stejné proměnné vyhodnocovány různě. [3]

Rozšíření obsahuje širokou knihovnu funkcí a je plnohodnotně zdokumentováno. Mezi funkcemi se nachází vše, co je k řádnému užití fuzzy logiky potřeba. Samotné fuzzy množiny jsou tvořeny pomocí matematických funkcí, které však lze v nástroji NetLogo jednoduše nastavit. Knihovna dále obsahuje různá pravidla a operace pro vyhodnocení existujících množin a nechybí ani několik způsobů defuzzifikace. [4]

Pro tvorbu modelů, ve kterých agenti pracují s nejasnými koncepty, není použití fuzzy logiky nutností, nicméně pomáhá k jejich implementaci transparentním a přirozeným způsobem. Fuzzy množiny je možné vykreslovat do grafů, a tím získat jejich grafickou reprezentaci pro jednotlivé agenty. Tato možnost napomáhá lepší představě o používaných parametrech a jejich vyhodnocování.

4 Teoretická východiska

V této části jsou z teoretického hlediska popsána témata, která tvoří hlavní pilíře práce. Na základě těchto teoretických východisek je naprogramována simulace v nástroji NetLogo, jejíž charakteristika, dokumentace a aplikování na modelové scénáře včetně jejich vyhodnocení je předmětem kapitoly 5.

4.1 Teorie her

Teorie her je disciplína, která se zabývá studiem matematických modelů konfliktu a kooperace mezi inteligentními racionálními bytostmi vykonávajícími rozhodnutí. Teorie her nalézá uplatnění v oblastech jako je ekonomie, psychologie, počítačová věda či biologie. [5] Principy teorie her mohou být aplikovány v multiagentových systémech, kde jednotliví agenti vzájemně interagují a mohou řešit případné konflikty či kooperaci. [6]

Teorie her se zabývá pochopením možného chování jedinců v určitých konfliktních situacích a zdůvodněním jejich chování resp. výběrem jejich strategií a oceněním možných výstupů, z těchto strategií plynoucích.

Teorie her chápe hry jako matematické objekty, které jsou definovány určitými prvky. Pro úplnou definici hry, musí být specifikováno následující: [7]

- množina hráčů,
- množina strategií,
- výplatní funkce.

4.1.1 Formy her

Teorie her v základu rozlišuje dva způsoby, kterými znázorňuje hráče, jejich strategie a výplaty. Jedná se o normální formu hry a rozšířenou, neboli extenzivní formu hry.

Normální forma hry

Normální forma hry obvykle obsahuje matici, znázorňující hráče, jejich strategie a výplaty. Obecněji řečeno se jedná o výpis výplat pro všechny možné kombinace strategií. Tab. 1 uvádí typický příklad maticového zobrazení výplat pro dva hráče,

kteří mají k dispozici dvě strategie. První hodnota v každé buňce značí výplatu prvního hráče, zatímco druhá hodnota značí hodnotu hráče druhého. [6]

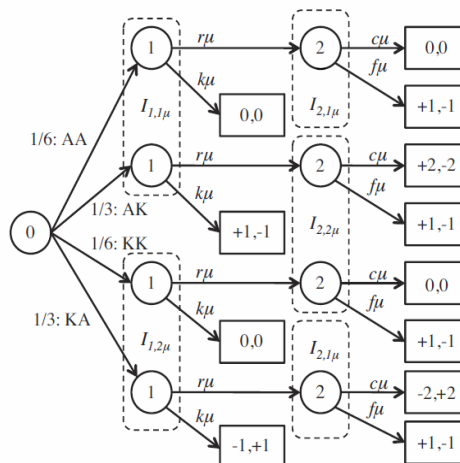
		Hráč 2	
		Strategie 1	Strategie 2
Hráč 1	Strategie 1	1, 2	0, 0
	Strategie 2	0, 0	2, 1

Tab. 1: Příklad normální formy hry
Zdroj: vlastní zpracování

Předpokladem normální formy hry je, že jeden hráč předem neví o strategii hráče druhého, tedy že se jedná o simultánní typ hry, o kterém se zmiňuje kapitola 4.1.2. V opačném případě by druhý hráč byl vždy ve výhodě, jelikož by mohl na strategii prvního hráče vhodně reagovat. [8]

Rozšířená forma hry

Rozšířená forma hry je použita, pokud se strategie hráčů, nebo jejich výplaty, mění v průběhu hry. Ačkoliv je vždy možné extenzivní formu hry vyjádřit normální formou, bývá to z důvodu velkého množství kombinací nepraktické. Předpokladem rozšířené formy hry je sekvenční typ hry, o kterém se píše v kapitole 4.1.2. [6]



Obr. 1: Extenzivní forma zjednodušené verze pokeru
Zdroj: [6]

Obecně je znázornění pro extenzivní formu hry řešeno pomocí stromových grafů, kde každý uzel reprezentuje rozhodovací okamžik pro hráče. Jelikož se hráči střídají, jsou číslem střídavě vypsaní pro každou sérii uzlů, kdy mohou reagovat na předchozí krok. Hrany vycházející z uzlů zobrazují možné tahy. Ve stromu je také možné znázornit, jaké mají hráči informace o své současné pozici. Uvedený příklad hry na obr. 1 dovoluje každému hráči pouze jeden tah, než se hra ukončí, nicméně rozšířená forma hry se může dále rozvětvovat a hráči se v jednotlivých tazích střídají a rozhodují o volbě strategie v každém kroku. [9]

4.1.2 Typy her

Existují různé typy her, které jsou děleny na základě toho, zda splňují určité vlastnosti. Mezi často zmiňované typy her patří např.: [6]

- kooperativní a nekooperativní,
- symetrické a nesymetrické,
- s nulovým součtem a s nenulovým součtem,
- simultánní a sekvenční,
- s úplnými informacemi a s neúplnými informacemi.

Každá hra, resp. situace vycházející z principů teorie her, je založena na různé kombinaci těchto vlastností.

Kooperativní a nekooperativní

Hra je považována za kooperativní v případě, že hráči mají možnost vytvářet vzájemné kontrakty, na jejichž vynutitelnost dohlíží třetí strana. V případě her nekooperativních žádná dohlížející třetí strana nefiguruje. Myšlenka kooperativní hry tedy není založena na nutné spolupráci hráčů. Stejně tak nekooperativní hry mohou hráčům umožňovat spolupráci, avšak jejich případné dohody jsou poté vynutitelné pouze jimi samotnými. [6] [7]

Teorie kooperativních her se zabývá předvídaním toho, jaké budou vznikat spolky, jaké budou skupiny podnikat společné akce a jaké budou výsledné výplaty jejich strategií. Nekooperativní hry sledují naopak pouze chování jednotlivců a analyzuje se tzv. Nashova rovnováha. Tento pojem značí stav, kdy žádný z hráčů nezíská

změnou strategie lepší pozici v případě, že by strategie ostatních hráčů zůstaly stejné. [8]

Symetrické a nesymetrické

Pro symetrické hry platí, že výplaty hráčů vycházející ze zvolené strategie, jsou ovlivněny pouze volbou strategie ostatních hráčů. Postavení hráčů je rovnocenné, mají k dispozici stejné strategie vedoucí ke stejným výsledkům. [5]

	S1	S2
S1	3, 3	0, 5
S2	5, 0	1, 1

Tab. 2: Příklad výplatní matice symetrické hry

Zdroj: vlastní zpracování

Nejčastěji studované asymetrické hry jsou ty, ve kterých hráči mají k dispozici rozdílné strategie. Pokud jsou strategie hráčů totožné, avšak jejich použití přinese různým hráčům jiné výsledky, hra je taktéž považována za asymetrickou. [8]

	S1	S2
S1	1, 3	1, 0
S2	1, 0	1, 3

Tab. 3: Příklad výplatní matice asymetrické hry

Zdroj: vlastní zpracování

S nulovým součtem a s nenulovým součtem

Ve hrách s nulovým součtem je celková výplata všech hráčů, při použití libovolné kombinace strategií, vždy rovna nule. Jinými slovy jeden hráč získává tolik, kolik druhý hráč ztrácí. U her s nenulovým součtem naopak zisk jednoho hráče nemusí nutně souviset s úměrnou ztrátou druhého hráče. Celková výplata všech hráčů je větší nebo menší než 0. [6] [7]

Reálné ekonomické situace spadají spíše pod oblast her s nenulovým součtem, jelikož ve výrobě a obchodu figuruje určitá přidaná hodnota, kterou mohou obě strany získat. [8]

	S1	S2
S1	-1, 1	5, -5
S2	0, 0	-3, 3

Tab. 4: Příklad výplatní matice hry s nulovým součtem
Zdroj: vlastní zpracování

Simultánní a sekvenční

Simultánní hry jsou takové, ve kterých každý hráč vybírá strategii bez znalosti strategie ostatních hráčů. To je způsobeno tím, že buď všichni hráči hrají zároveň, nebo hrají postupně, avšak bez jakékoliv informace o tahu ostatních. Naopak hry sekvenční poskytují hráčům alespoň nějaké informace o tazích předchozích hráčů. Reprezentace této informace může mít různou formu, avšak musí být dostupná pro následujícího hráče, který na základě ní může změnit svou strategii. [8]

S úplnými informacemi a s neúplnými informacemi

Sekvenční hry jsou konkrétněji klasifikovány jako hry s úplnými či neúplnými informacemi. Hra s úplnými informacemi znamená, že každý hráč má k dispozici úplné informace o předchozích událostech, včetně počátečního stavu (počáteční karty u karetní hry, apod.). [6]

Případy her s úplnými informacemi jsou v reálném světě neobvyklé, avšak jejich myšlenka je aplikována např. v ekonomické teorii pro téma dokonalé konkurence, kdy všichni účastníci trhu mají úplné informace o cenách, možnostech, kvalitě, metodách výroby a dalších faktorech ovlivňujících trh.

Další typy her

Vlastností, na základě kterých je možné hry dělit, existuje více. Může se jednat o upřesňující vlastnosti již existujících typů, nebo o nové způsoby charakterizace her.

Mezi další typy her patří např. hry kombinační. U kombinačních her je hledání optimální strategie založeno na větším množství možných akcí v každém tahu. Čím méně informací mají hráči k dispozici, tím spíše je hledání optimální strategie obtížnější. Teorie her dále studuje hry diskrétní a spojité, diferenciální, nekonečně dlouhé, populační, atd. [5] [6] [8]

4.1.3 Typické příklady teorie her

Teorie her studuje strategické interakce mezi racionálními jedinci v situacích, které se nazývají hry. V běžném světě nastává nespočet situací, ve kterých do určité míry figuruje konflikt či kooperace. Postupem času byly tyto situace zobecněny a zpracovány do her, které slouží jako vzor určitých konfliktních situací a uvádí různé filosofie, jak na takové situace nahlížet a zachovat se v nich.

Věžňovo dilema

Pravděpodobně nejznámější a nejčastěji uváděný příklad hry je věžňovo dilema. V základní podobě se jedná o hru dvou racionálních hráčů, kde každý vybírá ze dvou strategií. Volné znění je následující: [6]

Dva spolupracující zločinci (A, B) jsou vyslýcháni v oddělených místnostech na policejní stanici a hrozí jim podobné tresty. Každý má dvě možnosti: udat toho druhého, nebo mlčet. Kombinací těchto možností jsou tři, resp. čtyři různé výstupy:

- *Pokud se A i B vzájemně udají, oba stráví 3 roky ve vězení.*
- *Pokud A i B mlčí, oba stráví pouze 1 rok ve vězení.*
- *Pokud A udá B a B mlčí, A bude propuštěn a B stráví 5 let ve vězení (a opačně).*

Hodnoty výplatní matice je v tomto případě potřeba vnímat opačným způsobem, jelikož hodnoty udávají počet let za mřížemi. Jedná se o alternativní ztvárnění výplatní matice. Dále je možné transformovat počet let za mřížemi na bodové ohodnocení, nebo uvádět body jako záporné hodnoty.

	Udat	Mlčet
Udat	3, 3	0, 5
Mlčet	5, 0	1, 1

Tab. 5: Vězňovo dilema – výplatní matice

Zdroj: vlastní zpracování

Díky tomu, že je vězňovo dilema častým příkladem teorie her, tak existuje několik různých verzí a jejich interpretací. [8] Pokaždé je třeba brát v potaz všechny faktory hry, avšak ve většině případů je poukázáno na to, proč se dva zdánlivě racionální jedinci rozhodnou nespolupracovat, ačkoliv se tato cesta zdá být jako výhodnější řešení.

Jedna z verzí představuje opakující se vězňovo dilema, které probíhá v několika kolech a hráči mohou různě využívat strategie k dosažení co největšího počtu bodů. V této verzi, která je brána čistě jako hra a výstupem je určitý počet bodů, nejde o nic závažného. V reálné situaci však existuje prakticky pouze jeden pokus, protože je alespoň jeden ze zločinců uvězněn a jeho pobyt ve vězení trvá nějakou dobu, během které se nemůže nijak bránit. Zároveň odměna z "výhry" a trest za "prohru" jsou v úplně jiném měřítku, než jsou body.

Vězňovo dilema je názornou ukázkou toho, jak může vidina vlastního zisku nebo výhody motivovat ke zradě protivníka, resp. partnera.

Lov jelena

Dle teorie her je lov jelena považován za hru, která řeší konflikt mezi jistotou a sociální kooperací. Hra je také známá pod názvem *dilema důvěry*. Znění hry je následující: [8]

Dva muži jdou na lov a každý se může rozhodnout, zda půjde lovit jelena, nebo zajíce. Lovci vzájemně o svých rozhodnutích neví. Aby byl lov jelena úspěšný, musí oba lovci spolupracovat. Zajíce dokáže ulovit každý sám, avšak hodnota jelena je vyšší než hodnota zajíce.

Rozdíl této hry oproti vězňovu dilematu je ten, že se zde nachází dvě Nashovy rovnováhy: když oba muži loví společně nebo když oba loví samostatně. Zatímco

první rovnováha je dominantní podle výplat, druhá rovnováha je dominantní podle rizika. Příklad výplatní matice uvádí tab. 6.

	Jelen	Zajíc
Jelen	3, 3	0, 2
Zajíc	2, 0	1, 1

Tab. 6: Lov jelena – výplatní matice

Zdroj: vlastní zpracování

Ultimatum

Hra ultimatum je často předmětem ekonomických experimentů. Oproti dvěma předešlým případům se jedná o hru sekvenčního typu, tudíž se hráči střídají a mohou reagovat na předešlé tahy. Hra je vyjádřena v extenzivní formě. Volné znění hry je následující: [5]

První hráč má možnost obdržet určitou sumu peněz a navrhuje druhému hráči, jakým způsobem budou peníze mezi ně rozděleny. Druhý hráč reaguje na nabídku prvního hráče a může ji buď přijmout, nebo odmítnout. Pokud je nabídka přijata, peníze jsou rozděleny podle návrhu, pokud je nabídka odmítnuta, peníze nedostane nikdo.

První hráč má zpravidla k dispozici dva návrhy. První, férový, rozdělí peníze mezi hráče rovnoměrně. Druhý, nespravedlivý či chamtivý, rozdělí peníze mezi hráče přibližně v poměru 4:1, tedy ve výrazný prospěch navrhovatele.

Předpokládá se, že hra má pouze jeden průběh, tudíž není možné své rozhodnutí změnit. V případě nespravedlivého návrhu čelí druhý hráč dilematu mezi přijetím návrhu a získáním alespoň nějaké peněžní výplaty, nebo odmítnutím návrhu, čímž by obětoval malou část výtěžku, ale mohl by prvnímu hráči oplatit jeho chamtivé jednání.

4.2 Multiagentové systémy

Výzkum v oblasti výpočetních systémů je již od počátků zaměřen na rozvoj pěti základních trendů, jsou jimi: [10]

- všudypřítomnost,
- propojení,
- inteligence,
- delegace,
- orientace na lidské chápání.

Všudypřítomnost je trend, jehož myšlenka je založena na implementaci výpočetní inteligence do stále více zařízení na stále více místech. Tyto zařízení vykonávají výpočetní operace, shromažďují data, reagují na situace, atd. Tento trend se neustále rozšiřuje především z důvodu kontinuálního klesání nákladů na výrobu a instalaci těchto zařízení. V minulosti by se takováto řešení mohla zdát jako neekonomická, nebo dokonce nemožná. [11]

Propojením je myšlena vzájemná komunikace počítačových systémů. Dříve byly počítačové systémy instalovány do samostatných jednotek, určených pouze pro místní uživatele. Dnešní systémy jsou skrze počítačové sítě propojeny do distribuovaných, decentralizovaných systémů. Internet je největší a nejvíce známý prostředek takového propojení. V současnosti jsou distribuované systémy v komerční a průmyslové oblasti považovány za normu.

Další trend směřuje k vývoji stále inteligentnějších systémů. Pod pojmem inteligence je myšlena komplexnost úkolů, jež jsou systémy schopny samostatně zpracovávat. V současnosti je možné se běžně setkat s automatizací řešení nejen jednoduchých, ale i složitějších problémů. [10] [6]

Vyšší inteligence počítačových systémů mimo jiné směřuje také k delegování stále zodpovědnějších úkolů. Jako příklad může sloužit samostatně řízený automobil. Trend delegace přenechává počítačovým systémům větší možnosti a kontrolu nad řešením úkolů. [10] Při složitých úkolech mohou nastat situace, kdy různé počítačové systémy vzájemně komunikují, avšak každý se snaží prosadit vlastní zájem. Z tohoto důvodu je po systémech vyžadována schopnost vzájemně spolupracovat a dokázat se dohodnout. [12]

Poslední trend je postupné přecházení od počítačově orientovaného pohledu ke konceptu lidského chápání a vnímání světa. Tento trend lze sledovat u všech činností spojených s počítači. Např. ovládání počítačů se vyvinulo od mechanického nastavování posuvníků a spínačů na panelu počítače, přes psaní příkazových řádků, jež umožňovaly do jisté míry vést s počítačem dialog, až po grafická uživatelská rozhraní, u kterých je zařízení možné ovládat pomocí grafických prvků, odkazujících se na určité objekty. Podobně v oblasti vývoje byli programátoři nejprve nuceni programovat systémy v čistém strojovém kódu. Od té doby programovací jazyky prošly spoustou změn až do současné podoby objektového přístupu. Každé vylepšení či rozšíření umožňovalo programátorům konceptualizovat a implementovat software na vyšší úrovni abstrakce, bližší lidskému chápání. [10]

Společně tyto trendy vyústily ve vznik nové oblasti na poli počítačových věd – multiagentových systémů. Tato kapitola je na oblast multiagentových systémů zaměřena, přičemž pozornost je věnována zejména charakteristice jednotlivých prvků a možnostem aplikace multiagentových systémů v reálném světě.

4.2.1 Prvky multiagentových systémů

Agent

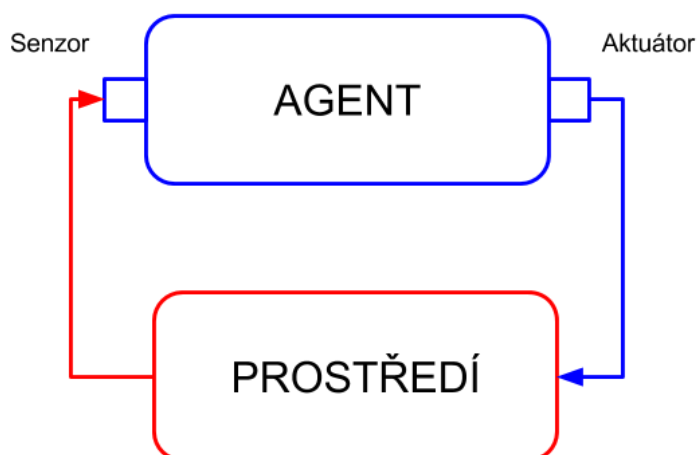
Pod pojmem agent je možné si představit počítačový systém, jenž je schopen samostatného jednání za účelem splnění úkolu v určitém prostředí. Samostatné chování znamená, že je agent schopen vyhodnocovat situace a vhodně na ně reagovat. Nemusí mít explicitně nastaveno co a kdy vykonat. [12]

Multiagentový systém je systém složený z více zároveň působících agentů, jež vzájemně interagují, např. zasíláním zpráv skrze počítačovou síť. [11] Agenti mohou mít odlišné cíle a motivace, a aby byli schopni úspěšně interagovat, vyžaduje se schopnost spolupráce, vyjednávání a vzájemné koordinace. [10]

Určitá míra samostatnosti a schopnost interakce jsou dva základní předpoklady agenta. Však i přes tyto vymezené vlastnosti pro pojem agent neexistuje žádná univerzálně přijímaná definice. Jedním z důvodů může být skutečnost, že je celá oblast multiagentových systémů často diskutovaná. Obecně je přijímáno, že agent

by měl být do určité míry samostatný počítačový program. Další atributy agentů jsou však různě posuzovány, především z hlediska oblastí, ve kterých by měli být implementováni. Diskutovaná je např. schopnost učit se.

Působení agenta v určitém prostředí je naznačeno na obr. 2.



Obr. 2: Základní působení agenta

Zdroj: [10], upraveno

Schéma zobrazuje agenta, který pomocí senzorů sleduje stav prostředí. Dle situace následně může reagovat pomocí dostupných aktuátorů a prostředí do určité míry ovlivnit. Agenti mohou disponovat různě širokou škálou funkcí. Jedním z klíčových problémů agentů bývá rozhodování, kterou funkci v dané situaci použít pro optimální splnění úkolů. Vnitřní architektura agentů pro vyhodnocování takových situací je založena na principu softwarů pro rozhodování. [12] [6]

Prostředí

Komplexnost rozhodovacího procesu je do značné míry ovlivněna vlastnostmi samotného prostředí, které může být: [12]

- přístupné a nepřístupné,
- deterministické a nedeterministické,
- epizodické a neepizodické,
- statické a dynamické,
- diskrétní a spojitě.

Přístupné prostředí je takové, ve kterém má agent k dispozici aktuální, přesné a úplné informace o jeho stavu. Většina mírně složitějších prostředí, která se běžně vyskytují jak v reálném světě, tak i na internetu, jsou z pravidla nepřístupná. Pro více přístupná prostředí není obtížné navrhnout správně operujícího agenta.

Akce agentů v deterministickém prostředí mají vždy jediný garantovaný efekt. Stav vycházející z vykonané akce je předem očekávaný. Fyzický svět je ze všech hledisek považovaný za nedeterministický a představuje větší obtíže pro správné nastavení agenta.

V epizodickém prostředí agent působí v množství oddělených epizod, které mezi sebou nemají žádné vazby. V epizodickém prostředí se agent rozhoduje pouze na základě požadavků v současné epizodě a nemusí brát v potaz následky budoucích epizod. Neepizodické prostředí vyžaduje rozumné rozdělení zdrojů a systematický přístup k řešení problémů z širšího hlediska. [6] [12]

Statické prostředí je typické neměnným stavem. Jediné změny může vykonávat agent svými operacemi. V dynamickém prostředí působí další procesy, které ho v průběhu času přetváří. Reálný svět je vysoce dynamické prostředí.

Prostředí je diskrétní, pokud v něm figuruje neměnný, konečný počet akcí a vjemů. Takové prostředí bývá často předmětem diskrétních her v rámci oblasti teorie her. Za nejkompexnější představitele prostředí jsou považovány takové, které jsou nepřístupné, nedeterministické, neepizodické, dynamické a spojitě.

Agenti obecně vnímají aktuální stav prostředí (fyzickými senzory v případě agentů působících ve fyzickém světě a softwarovými senzory v případě softwarových agentů) a mají k dispozici množství vykonatelných akcí, pomocí kterých mohou prostředí ovlivnit.

Úrovně agentů

Agenty je na základě schopností a vlastností možné členit do různých kategorií nebo úrovní.

Každý řídicí systém může být považován za agenta. Častým, triviálním příkladem takového systému bývá termostat (případně ventilátor). Termostat má senzor, díky kterému měří teplotu v místnosti a vstupem je jeden ze dvou signálů: teplota

je buď příliš nízká, nebo vyhovující. Dvě akce, které má termostat k dispozici jsou zapnutí a vypnutí topení. Pravidla pro vyvozování rozhodnutí jsou následující: [12]

- Pokud je teplota *příliš nízká* pak topení nastavit *zapnuto*.
- Pokud je teplota *vyhovující* pak topení nastavit *vypnuto*.

Řídicí systémy více komplexních prostředí, mají výrazně bohatší rozhodovací struktury. Např. autonomní vesmírné družice, řídicí systém jaderného reaktoru, samostatně ovládané letouny, atd. [12] Takoví agenti se označují jako inteligentní.

Inteligentní agenti jsou pokročilým typem agentů, kteří jsou schopni spolehlivě operovat v rychle se měnícím, nepředvídatelném nebo otevřeném prostředí, kde je značná pravděpodobnost selhání plněných úkolů. [10] [6]

Pojem inteligence byla v úvodu kapitoly stručně definována jako schopnost plnit samostatně komplexní úkoly. Konkrétně pro oblast inteligentních agentů je tím myšlena především flexibilita, kterou charakterizuje: [10]

- **Reaktivita** – agenti vnímají stav prostředí a dokážou včas reagovat na případné změny dle potřeb cíle.
- **Proaktivita** – agenti jsou schopni díky své iniciativě vykazovat chování, které směřuje ke splnění potřeb cíle.
- **Sociální schopnost** – agenti interagují s ostatními agenty (nebo dokonce lidmi) pro splnění potřeb cíle.

Klíčový problém leží v jistém kontrastu mezi reaktivitou a proaktivitou. Systémy, které pracují za účelem splnění svého cíle, nejsou nikterak složité a v reálném světě je možné se s nimi běžně setkat. Chování těchto systémů je založeno na určitých předpokladech. Pokud jsou ovšem implementovány do prostředí, které se často mění, figuruje v něm nejistota a nedostatek informací, je nerozumné na tyto předpoklady spoléhat. Slepé vykonávání procedur bez znalosti toho, zda jsou původní úkoly stále validní, není vhodná strategie. V dynamickém prostředí je vyžadováno, aby systémy byly reaktivní. Čistě reaktivní systémy, jejichž podstatou je kontinuální reagování na stav prostředí a podnikání potřebných kroků, také není složité sestrojít. Problém leží v rovnováze, mezi těmito dvěma způsoby chování. Po inteligentních agentech je vyžadováno systematické plnění úkolů, např. způsobem

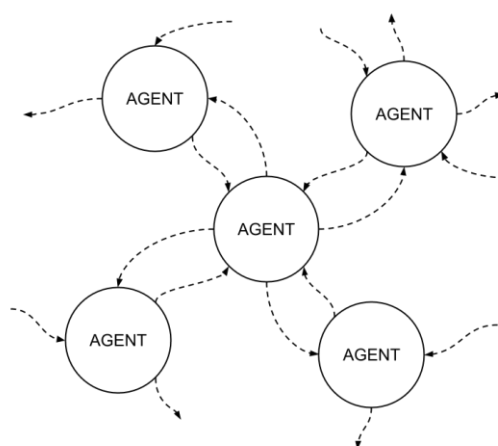
aplikování komplexních vzorců chování, avšak ne za cenu bezúčelného plnění úkolu v situaci, kdy cíl už z jakéhokoliv důvodu není nadále platný. V takových případech je vyžadováno, aby agent dokázal včas reagovat na novou situaci. Úsilí věnované reakcím však nesmí být na úkor soustředěnosti na samotný úkol.

Sociální schopnost, jakožto poslední požadavek flexibilního autonomního jednání, je schopnost interagovat s ostatními systémy. Není tím myšlena pouhá výměna dat. V reálném světě je při plnění komplexních úkolů vyžadována spolupráce více lidí. Tito lidé nemusí automaticky sdílet stejný cíl, jedná se o autonomní jedince, kde každý sleduje vlastní zájmy. Aby se směřovalo ke splnění cíle, je potřeba ostatní lidi motivovat, jednat s nimi, pochopit jejich individuální cíle a podstoupit kroky, jež lidi přesvědčí, aby spolupracovali a podíleli se na dosažení onoho cíle. Obdobné chování se předpokládá i při designování inteligentních agentů.

Kromě uvedených typů a úrovní jsou agenti také členěni např. na: pasivní agenty, uvažující agenty, sociální agenty, logicky pracující agenty, atd. Jejich jednotlivý popis a rozbor je však mimo účel této kapitoly. [6] [10]

4.2.2 Charakteristika multiagentových systémů

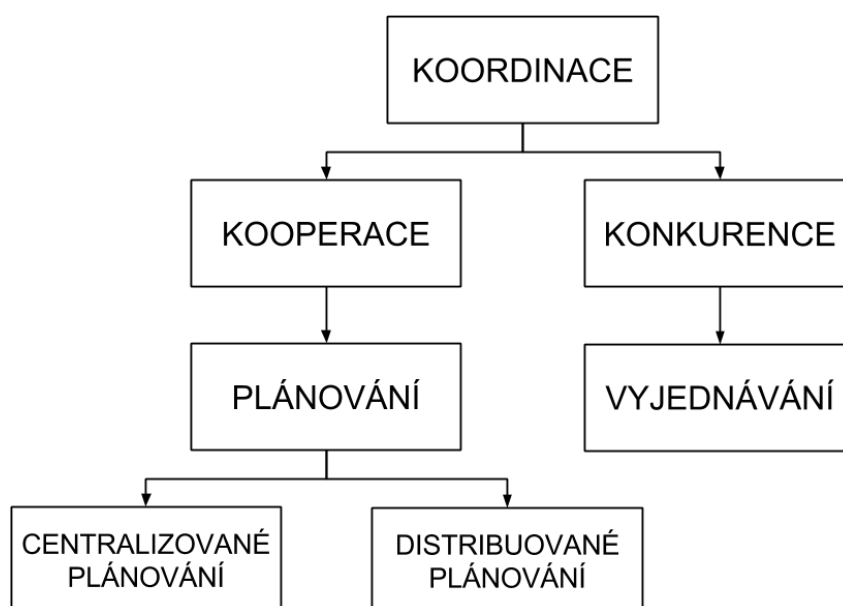
V multiagentových systémech působí větší počet agentů zároveň. Doposud byla agentům věnována pozornost především z hlediska jejich individuálních atributů a funkcí. Tato část je zaměřena na charakteristiku multiagentových systémů jako celku. Základní myšlenku multiagentového systému naznačuje obr. 3.



Obr. 3: Vzájemně komunikující agenti
Zdroj: vlastní zpracování

Multiagentové systémy slouží k řešení takových problémů, které jsou pro jediného agenta či jednolitého systém obtížné nebo dokonce nemožné. Jednotliví agenti mají obvykle pouze omezený pohled v rámci své pozice či funkce. Agenti uvnitř systému jsou decentralizováni, každý jedná autonomně na základě dostupných informací ze svého prostředí. Tyto informace však může sdělovat ostatním agentům. [11]

Multiagentové systémy představují výhodný způsob, jakým designovat výpočetní systém. Zpracování informací je všudypřítomné. Procesory jsou součástí stále více zařízení. Např. některé moderní kuchyně je obsahují ve svých spotřebičích. Tyto spotřebiče mohou být natolik inteligentní, že jsou považovány za agenty. Kávovar může poznat, jak správně připravit kávu a kdy má být hotová. Toustovač odhadne, kdy a jak má upéct toust. V případě propojení se tyto dva systémy jsou schopny dohodnout na vzájemné koordinaci, aby káva i toust byly připraveny v přibližně stejný čas. Poté se z kolekce procesorů stává distribuovaný výpočetní systém – multiagentový systém. [12] [6]



Obr. 4: Taxonomie různých způsobů koordinace agentů

Zdroj: [12], upraveno

Několikrát zmiňovaný pojem koordinace znamená provádění určité akce agentem ve sdíleném (multiagentovém) prostředí. Kooperace je speciálním případem koordinace, který se vyskytuje u agentů bez protichůdných zájmů. Vyjednávání je

naopak případ koordinace, typický pro soutěžící agenty, případně agenty sloužící pouze svému účelu. Základním předpokladem úspěšné koordinace agenta je udržování modelu o přítomnosti a působení ostatních agentů a zároveň vytváření modelu budoucích interakcí. Obr. 4 uvádí jednu z možností, jak členit různé druhy koordinace.

Pojem koherence v oblasti multiagentových systémů a systémů obecně značí míru, jak kvalitně se systém chová jako samostatná jednotka. V multiagentových systémech, které nemají explicitní globální kontrolu, může být obtížné udržet koherenci. Za tímto účelem je od agentů vyžadována schopnost samostatného vytyčování cílů, které sdílí s ostatními agenty, dále také určovat běžné úkoly, vyhýbat se zbytečným konfliktům a sdílet své znalosti a postřehy. Koherenci výrazně napomáhá určitá podoba formální organizace agentů, kde působí jisté sociální závazky. Nejen v tomto ohledu se multiagentové systémy podobají lidským společnostem v běžném světě. [12] [11]

4.2.3 Aplikace multiagentových systémů

Agenti nachází uplatnění v několika doménách. Na obecné úrovni mohou být aplikace agentů rozděleny na dvě skupiny: [10]

- Distribuované systémy, ve kterých agenti představují výpočetní uzly. Důraz u těchto systémů je kladen na velké množství agentů.
- Software pro osobní asistenci, kde agenti hrají roli proaktivních asistentů sloužících uživatelům v různých ohledech. Důraz je kladen na individualitu agentů.

Tato závěrečná podkapitola uvádí několik oblastí využívající technologii agentů.

Agenti pro distribuované vnímání

Distribuované vnímání je typickým příkladem aplikace multiagentových systémů. Myšlenkou je systém fungující jako síť prostorově distribuovaných senzorů. Může se jednat např. o akustické senzory na bojišti nebo radary sledující vymezený vzdušný prostor. Dlouhodobým cílem tohoto systému je lokalizace a sledování všech vozidel, které se pohybují v dosahu senzorů. Část řešení spočívá v kooperaci snímajících agentů přes síť, např. výměnou předpovědí kdy se vozidlo dostane

z oblasti jednoho senzoru do oblasti druhého. Tato doména je bohatým předmětem experimentů pro multiagentové systémy. [10]

Agenti pro nalézání a správu informací

Rozsáhlý přístup k distribuovaným, polostrukturovaným informačním zdrojům představuje vysoký potenciál. S rostoucím množstvím informací zároveň nastávají různé potíže, např. v podobě informačního přehlcení. Návrhem pro řešení těchto problémů je použití agentů pro nalézání a třídění informací. Tzv. informační agent má přístup k různým zdrojům informací, ze kterých je schopen třídit a porovnávat informace a manipulovat s nimi tak, aby zodpověděl dotazy uživatele a dalších informačních agentů. Informační zdroje mohou mít podobu nestrukturovaných dokumentů, tradičních databází či jiných informačních agentů. [10] [6]

Internet, jakožto nástroj pro nalézání informací, má nesmírný potenciál, avšak stále jsou aktuální problémy např. v podobě zmiňovaného informačního přehlcení, nákladů na správu kvalitních informačních zdrojů, atd. Pro vylepšení internetu jako služby jsou zvažovány nástroje, které:

- Poskytují jednotný pohled na distribuované, heterogenní informační zdroje.
- Uživateli nabízí bohaté, personalizované služby, které umožní překonat informační přehlcení. Vyhledávány jsou informace, které uživatel skutečně potřebuje a ty nepotřebné jsou filtrovány.
- Jsou přizpůsobivé a sebe optimalizující, což zajistí flexibilitu a efektivitu služeb.

Příkladem může být osobní informační agent, který sleduje chování uživatele při správě emailů. Při obdržení nového emailu je agent na základě naměřených pravidel schopen vyhodnotit, jak by postupoval samotný uživatel. Podle míry sebevědomí ohledně úkolu buď agent operaci samostatně vykoná, nebo předá úkol uživateli k vyhodnocení.

Mezi další agenty se řadí např. průvodci, kteří uživateli na základě preferencí pomáhají navigovat síť odkazů na internetu, indexující agenti, agenti zodpovídající často kladené otázky, multiagentové systémy vyhledávající informace, atd.

Agenti pro elektronický obchod

Rychlý rozvoj internetu koncem 90. let způsobil zájem o elektronické obchodování. Internet původně představoval nástroj pro akademické účely, a tudíž měl otevřený, bezplatný přístup. Nebyl navržen pro komerční účely. Především ze začátku se vyskytovaly určité problémy. Ačkoliv většina problémů je v současnosti ošetřena, tak některé z nich do jisté míry přetrvávají ještě v současnosti. Mezi původní problémy bylo možné zařadit např. nedůvěru vůči neznámým dodavatelům, obavy ohledně bezpečnosti a soukromí, nepostačující možnosti internetového placení či nespolehlivost výkonu a stability připojení. [10]

V současnosti běžně působí elektronické obchodní systémy tzv. první generace, které uživatelé umožňují procházet seznamem zboží, vybrané zboží následně zakoupit a zaplatit platební kartou. Agenti umožňují zavádění elektronických obchodních systémů druhé generace, ve kterých je mnoho rysů spotřebitelského chování automatizováno.

Existuje několik modelů, pokoušejících se mapovat chování spotřebitelů. Jeden z nejpopulárnějších předpokládá, že nakupující při nakupování prochází těmito šesti fázemi:

- **Identifikace potřeby** – v prvním kroku si spotřebitel uvědomuje nějakou potřebu, která není naplněna.
- **Vyhledávání produktu** – fáze, ve které si potenciální spotřebitel zjišťuje informace spojené s dostupnými produkty za účelem určení, který produkt nejlépe splňuje požadavky.
- **Vyhledávání obchodníka** – v této fázi se spotřebitel rozhoduje, u jakého obchodníka nakoupí. Typické je porovnávání nabídek různých obchodníků.
- **Smlouvání** – v tomto kroku jsou domlouvány podmínky obchodu mezi zákazníkem a obchodníkem. Na některých trzích není z důvodu fixních podmínek smlouvání možné.
- **Nákup a doručení** – fáze, kdy je platební transakce provedena a zakoupené zboží doručeno.
- **Servis a vyhodnocení** – fáze odehrávající se po nákupu, obsahující servis produktu, zákaznický servis, atd.

Agenti jsou dobře známí svou schopností automatizovat (alespoň částečně) některé z těchto fází, čímž mohou asistovat spotřebiteli k uzavření toho nejlepšího možného obchodu.

Agenti pro virtuální prostředí

Potenciál agentů lze rovněž uplatnit v oblasti kinematografie, počítačových her a virtuální reality. Jeden z projektů zabývajících se implementací agentů do virtuální reality uvádí, že cílem je ztvárnění umělecky zajímavého, vysoce interaktivního simulovaného světa. Uživatelé tak získají možnost pohybovat se po virtuálním světě, ve kterém působí kompetentní emocionální agenti. Základem konstruování simulovaných světů je vývoj uvěřitelných agentů, kteří působí jako živé bytosti. Klíčovou komponentou jsou emoce. Schopnost jednat a reagovat tak, jak přísluší lidskému chování. Agenti v této realitě působí jako lidé, nebo přinejmenším jako inteligentní bytosti. [10]

Agenti pro sociální simulace

Jedna z mnoha vizí stojící za vývojem multiagentových systémů je využívání agentů jako experimentálního nástroje v sociálních vědách. Jednoduše řečeno, agenti jsou použiti k simulování lidských společností. V sociálních simulacích nejčastěji jeden agent představuje jednoho člověka, avšak může představovat celou organizaci a další podobné entity. [10]

Multiagentové simulace sociálních procesů mohou mít následující výhody:

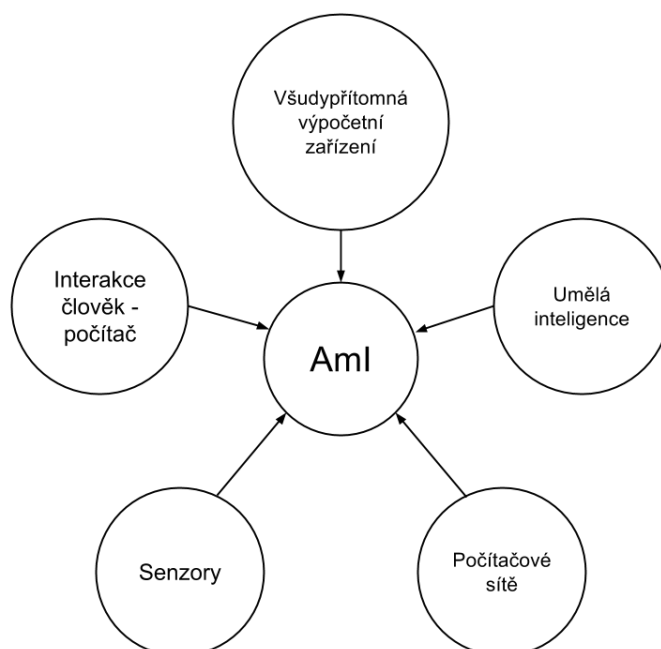
- Možnost pozorovat a analyzovat vlastnosti sociálních modelů, které dosud v reálném světě nebyly utvořeny. [13]
- Nalezení dalších alternativ k fenoménům vyskytujících se v přírodě.
- Možnost studovat, opakovaně měřit a vyhodnocovat projev vlastností, které by bylo v reálném světě obtížné nebo nevhodné pozorovat.

Multiagentové sociální simulace umožňují studovat chování, které se špatně předpovídá pomocí statistických či kvalitativních analýz. Agenti poskytují zcela odlišný přístup, jak se vyznat v „nepořádku“, jež vzorce chování představují. Multiagentový systém pro sociální simulaci je zároveň součástí výstupů této práce.

4.3 Ambientní inteligence

Nepřetržitý rozvoj technologií a trendy v této oblasti, které byly zmiňovány na začátku kapitoly o multiagentových systémech, do značné míry souvisí i s tématem této kapitoly. Na poli miniaturizovaných, všudypřítomných, vestavěných zařízení, figuruje také oblast ambientní inteligence (Aml). [14]

V průběhu let se změnil vztah společnosti vůči technologii. Ta se postupem času stala běžnou součástí lidských životů. Systémy jsou designovány tak, že uživatelé je jsou schopni využívat, aniž by byli počítačovými specialisty. Moderní uživatelská rozhraní jsou silně intuitivní a pohodlná na ovládání. Uživatel nepotřebuje vědět, jaké procesy uvnitř jednotlivých požadavků a příkazů probíhají. [15]



Obr. 5: Vztah Aml s dalšími oblastmi počítačové vědy

Zdroj: [14], upraveno

Myšlenkou ambientní inteligence je dále směřovat vývoj technologie tak, aby byla lidem přístupná nenápadným, neinvazivním způsobem. Působení této technologie probíhá na pozadí, aniž by o ní uživatelé věděli, resp. její působení vnímali. [16] Ambientní inteligence může být aplikována v libovolném prostředí. Může se jednat o obývací pokoj, domácnost, automobil, ulici města, atd. Hlavním cílem je vytvořit elektronické prostředí, které je citlivé a responsivní na přítomnost lidí. V tomto prostředí vestavěná zařízení společně pracují tak, aby přirozeným způsobem

podporovala lidi při vykonávání jejich každodenních aktivit, úkolů a rituálů. Skrytá zařízení propojená a pracující skrze síť jsou také označována pojmem *internet věcí* (internet of things). [17] [14]

Ambientní inteligence přebírá několik aspektů z různých disciplín počítačové vědy, avšak neměla by být s žádnou z těchto disciplín zaměňována. Obr. 5 zobrazuje vazbu ambientní inteligence k počítačovým sítím, sensorům, interakci člověk – počítač, všudypřítomným zařízením a umělé inteligenci. Každá část s ambientní inteligencí souvisí a společně jako celek nabízí flexibilní a inteligentní služby uživatelům. [15]

4.3.1 Působení ambientní inteligence

Digitální prostředí by mělo podporovat lidi v jejich běžném životě proaktivně, ale zároveň v rozumné míře. Působení inteligentního prostředí by se dalo přirovnat k chování osobního či zdravotního asistenta, od kterých se očekává proaktivní poskytování pomoci v případě potřeby, ale také omezení této péče, pokud není vyžadována nebo se v rámci určité situace nehodí. Předpokladem rozumného chování je schopnost rozpoznat cílového uživatele, naučit se či umět poznat jeho preference a vzorce chování a dokázat se vcítit do současné nálady uživatele a kontextu situace. [14] [16]

Správné působení ambientní inteligence je založeno na otázkách *kdo, kde, co, kdy* a *jak*. Některé z těchto otázek jsou pro zařízení jednodušší k vyhodnocení a některé představují větší výzvu: [18]

- **Kdo** – identifikace uživatele systému a role, kterou v rámci systému představuje vůči dalším uživatelům. Identifikace může být rozšířena na další prvky jako zvířata, roboty a ostatní objekty nacházející se v prostředí. Především identifikace role a kontextu situace představuje velkou výzvu pro systém k rozpoznání.
- **Kde** – sledování lokace, kde se uživatel nebo objekt nachází kontinuálně po celou dobu působení systému. Identifikace lokace umožňuje mimo jiné určit vzdálenosti, rychlost pohybu a do jisté míry i osobní vztah uživatele k místu. Řešení může vyžadovat různé technologie pro různá prostředí (interiér a exteriér mohou mít odlišné požadavky).

- **Co** – rozpoznání aktivit a úkolů, které uživatelé vykonávají, je stěžejní ke správnému poskytnutí pomoci v případě potřeby. Velké množství možných scénářů, které stojí za určitou akcí, může vyhodnocování komplikovat.
- **Kdy** – asociace aktivit s časem je podstatná k vytvoření realistického obrazu systémové dynamiky. Sledování uživatelů, zvířat či objektů, pohybujících se v prostředí a měnících svou lokaci, je potřeba spojovat s časem změn a délkou trvání činností. Tyto informace jsou důležité pro pochopení toho, jak se prostředí vyvíjí v čase.
- **Jak** – schopnost posoudit a pochopit záměry a cíle skrývající se za aktivitami uživatelů. Jedná se o stěžejní otázku, avšak zároveň o největší výzvu. Pochopení důvodu, proč uživatel vykazuje určité chování, umožňuje systémům reagovat rozumným, požadovaným způsobem.

Působení ambientní inteligence směřuje ke snížení interakce mezi lidmi a počítači tím, že jsou systémy díky své inteligenci schopné samy posuzovat situaci a potřeby uživatele na základě měřených aktivit. Na druhé straně, kvůli rozmanitosti uživatelů, mohou někteří dobrovolně vyhledávat přímý kontakt se systémem, aby nastavili své preference a potřeby.

4.3.2 Aplikace ambientní inteligence

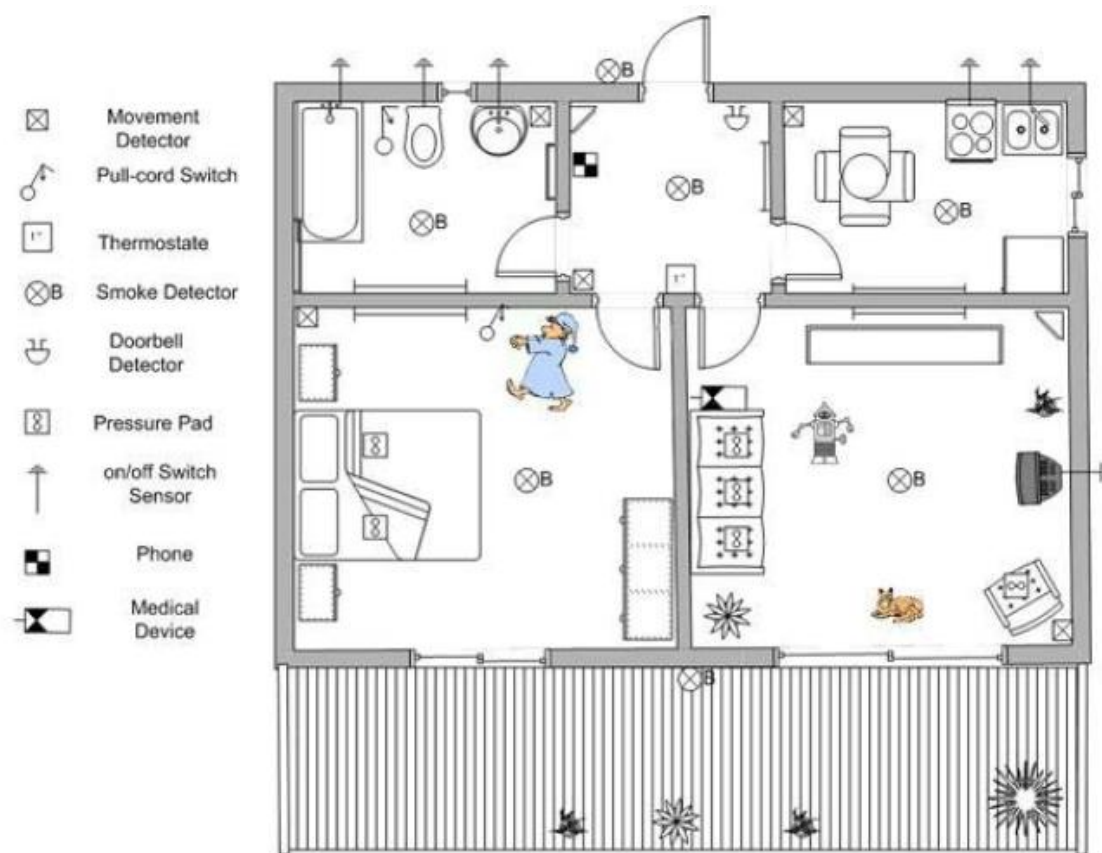
Ambientní inteligence je na určité úrovni v současném světě již aplikována.

Významným příkladem je sklon k decentralizaci zdravotnictví a vývoji zařízení pro podporu zdravotní a sociální péče za účelem nezávislého životy pacientů. Paradigma elektronického zdraví (e-Health) si klade za cíl zlepšení podmínek zdravotní péče v blízkosti domovů pacientů, aniž by museli být ubytováni v nemocnicích. Odklon od tradičních nemocničních středisek motivuje také snaha o zabránění vzájemného šíření infekcí a nemocí mezi pacienty. Cílem je flexibilnější systém zdravotní péče, kde se o pacienty pečuje blíže jejich domovu, v rámci komunity blízkých lidí. [14]

Ambientní inteligence dále nachází uplatnění např. při podpoře studia, zlepšení pracovních podmínek, automatické organizaci továren, atd. [15] [16]

Smart Homes

Příklad implementace ambientní inteligence představuje projekt *Smart Homes*, který podporuje zmiňovaný trend přesouvání zdravotní a sociální péče k pacientovi. Obr. 6 zobrazuje základní uspořádání domu, který lze považovat za chytrou domácnost. Na uživatele jeho dům působí jako přirozené prostředí, avšak několik artefaktů a věcí je obohaceno o senzory, které shromažďují potřebná data a na základě těchto dat jsou přístroje schopny samostatně pracovat bez zásahu člověka. [14]



Obr. 6: Obecné uspořádání chytré domácnosti obohacené o senzory a zařízení

Zdroj: [14]

Chytrá domácnost obsahuje pohybové senzory (pasivní infračervené detektory), mechanické přepínače, termostat, detektor kouře, indikátor zvonku, tlakové podložky, senzory sledující zda jsou určitá zařízení zapnutá, telefon a zdravotní zařízení (např. monitor krevního tlaku nebo srdečního tepu). Příkladem obohacených zařízení jsou kuchyňské spotřebiče (lednice a sporák), klasické

vybavení domácnosti (postel, křeslo, pohovka) nebo zařízení regulující teplotu (ventilátor, radiátor).

Předpokládanými výhodami této technologie může být: [14] [15]

- Zvýšená bezpečnost – na základě pozorování vzorců chování při vykonávání běžných aktivit může být poskytnuta asistence, pokud nastává potenciálně nebezpečná situace.
- Pohodlí – automatické upravování teploty.
- Snížení nákladů – regulování míry osvětlení.

Chytrá domácnost disponuje množstvím pasivních i aktivních zařízení. Kromě již uvedených se může jednat i o oblečení (např. košile s elektrodami sledující srdeční tep, která potenciálně dokáže odhalit zdraví nepříznivé podmínky). Projekt Smart Homes může díky těmto bezpečnostním a podpurným prvkům významně podpořit samostatnost např. seniorů, trpících zdravotními problémy. [16]

Přeprava

Ambientní inteligence může představovat významné zlepšení v sektoru veřejné přepravy. Vlaková nádraží, autobusy, automobily, apod. mohou být vybaveny technologií, která poskytuje základní informace o celkovém stavu dopravní situace. Veřejná přeprava se díky technologiím, jako je GPS a software pro identifikaci vozidel a zpracování obrazů, může stát plynulejší, a tudíž zároveň efektivnější a bezpečnější. Implementace takových systémů však představuje vysoké náklady, které rostou kontinuálně s velikostí sledovaného prostředí a počtem potřebně vybavených dopravních prostředků. [14] [15]

Záchranné a bezpečnostní služby

Ambientní inteligence nachází uplatnění ve všech oblastech týkající se zdraví a bezpečnosti. Hasiči a podobné bezpečnostní služby mohou zrychlit své reakce na nebezpečí, díky rychlé lokalizaci místa nehody a výpočtu nejrychlejší cesty na určené místo. Tento problém řeší podobné technologie, jako v případě přepravy, tedy zpracovávání obrazů a sledování provozu. Díky rychlé lokalizaci nebezpečí je možné předem připravit lepší přístup pro bezpečnostní personál. [14] [15]

4.4 Fuzzy logika

Poprvé myšlenku fuzzy logiky uvedl Dr. Lofti Zadeh, který se zabýval problémem počítačového chápání přirozeného jazyka. [19]

Fuzzy logika může být považována za rozšíření, případně alternativu Boolean logiky, která používá pouze dvě pravdivostní hodnoty, 0 a 1, značící nepravdu a pravdu. Naopak fuzzy logika pracuje s pravdivostními hodnotami proměnných, které mohou nabývat jakékoliv reálné číslo mezi těmito dvěma extrémy, tedy na intervalu $\langle 0,1 \rangle$. Příslušnost tohoto prvku k fuzzy množině, resp. jeho pravdivostní hodnota, je dána funkcí příslušnosti (membership function). Fuzzy množin může být definovaných více, a v tom případě prvek patří s určitou pravdivostní hodnotou do každé z nich. [4]

Fuzzy logika nachází uplatnění díky často obtížnému vymezení pravdy, která bývá výsledkem usuzování na základě nepřesných či částečných informací, kdy např. různí lidé mohou vnímat určitý jev odlišně. V těchto případech se fuzzy logika použije pro formulaci a následné zpracování nepřesných konceptů a tvrzení, vyjádřených v přirozeném jazyce. Nejen z tohoto důvodu je ve fuzzy logice zvykem používat lingvistické (jazykové) proměnné. [7]

4.4.1 Proces fuzzy inference

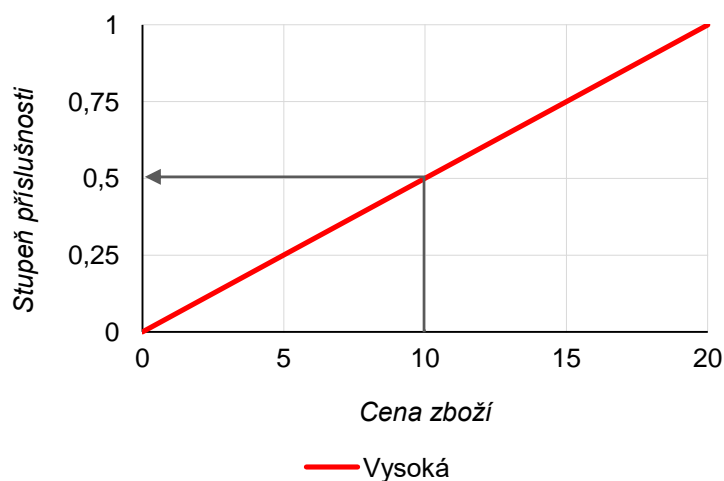
Fuzzy logika umožňuje pohodlným způsobem převést množinu vstupů na množinu výstupů. [20] Celý proces, během kterého se vstupy tzv. fuzzifikují, aplikují se fuzzy operátory, na základě fuzzy pravidel se provede implikační metoda, výstupy se agregují do jedné fuzzy množiny, která následně projde tzv. defuzzifikací, se nazývá fuzzy inference. [21]

Tato podkapitola popisuje těchto pět kroků, jež jsou nezbytné pro aplikaci fuzzy logiky v praxi. Ačkoliv přirozenost a pohodlnost použití jsou hlavním přínosem fuzzy logiky, tak se celý proces může ze začátku zdát složitý a matoucí. Pro lepší náhled na problematiku budou v každém kroku graficky ztvárněné příklady, které vychází tematicky ze samotné simulace týkající se této práce.

Fuzzifikace vstupů

Prvním krokem inferenčního procesu je fuzzifikace vstupů. Vstup, nejčastěji proměnná uchováající numerickou hodnotu, projde fuzzifikací a bude upravena do jazykové proměnné. Zde je určeno, do jaké míry vstupní hodnota náleží do každé z fuzzy množin této jazykové proměnné pomocí funkcí příslušnosti. [21]

Na obr. 7 je jako příklad vstupní proměnné uvedena *cena zboží* v obchodě. Ta v tomto případě může nabývat numerických hodnot od 0 do 20. Po provedení fuzzifikace bude tato hodnota odpovídat určitému stupni příslušnosti fuzzy množiny *vysoká*. Vyznačená vstupní hodnota 10 odpovídá stupni příslušnosti 0,5.

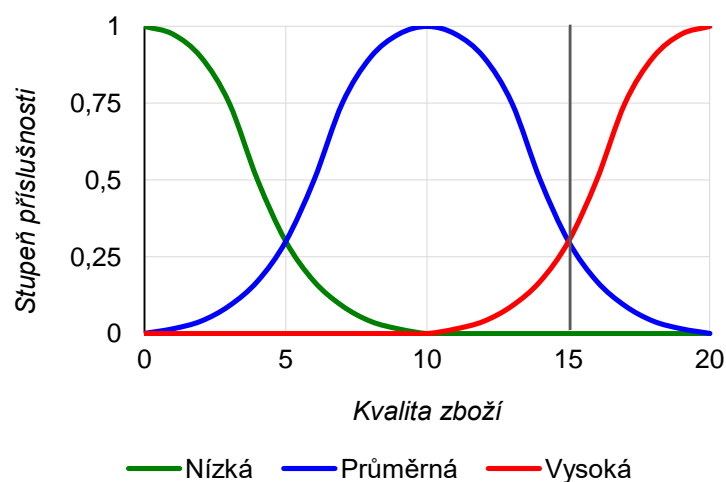


Obr. 7: Fuzzifikace ceny zboží

Zdroj: vlastní zpracování

Zde byla uvedena pouze jedna fuzzy množina, jakožto hodnota nově vytvořené jazykové proměnné. Běžně se pro lepší práci a znázornění používá více fuzzy množin. Časté jsou množiny tři, vyjadřující nízký, střední a vysoký stupeň jakékoliv proměnné, avšak možné je využívat méně i více takových množin. [4] [19]

Obr. 8 zobrazuje podobnou situaci, kde jsou použity tři fuzzy množiny pro novou jazykovou proměnnou *kvalita zboží*. Jsou jimi *nízká*, *průměrná* a opět *vysoká*. Oproti předešlému příkladu je vidět, že se nemusí nutně jednat o lineární funkci rostoucí či klesající po celém definičním oboru, ale o různě vyjádřené matematické funkce.



Obr. 8: Fuzzifikace kvality zboží

Zdroj: vlastní zpracování

Rozmezí vstupních hodnot je opět od 0 do 20. V tomto případě je vstupní hodnota 15, které odpovídají určité pravdivostní hodnoty všech tří fuzzy množin. Množina *nízká* je na nule, množiny *průměrná* a zároveň *vysoká* mají pravdivostní hodnotou 0,3, jež by se dalo interpretovat jako *méně průměrná*, resp. *mírně vysoká*.

Právě tato a podobná přídavná jména a příslovce jsou často užívány ve fuzzy logice, opět jakožto součást přirozeného jazyka.

Aplikace fuzzy operátorů

Fuzzy operátory se aplikují v případě, že je použito více vstupů. Vstupy jsou vyhodnoceny zvoleným operátorem a výsledkem je jedna hodnota, jež slouží jako podklad pro další krok. [21]

Fuzzy operátorů existuje několik a každý vyhodnocuje vstupní fuzzy množiny jiným způsobem. Zde jsou uvedeny obecně používané operátory: [4] [21]

- minimum (and),
- maximum (or),
- sum,
- probor (probabilistic or).

Operátor *minimum* vrací nejnižší hodnotu ze všech vstupních fuzzy množin, alternativní pojmenování *and* značí, že se jedná o jejich průnik.

Operátor *maximum* vrací naopak nejvyšší hodnotu ze všech vstupních množin, alternativní pojmenování *or* značí, že se jedná o jejich sjednocení.

Operátor *sum* vrací součet všech vstupních množin. Součet logicky nemůže být větší nežli 1, tudíž jsou případné větší hodnoty oříznuty.

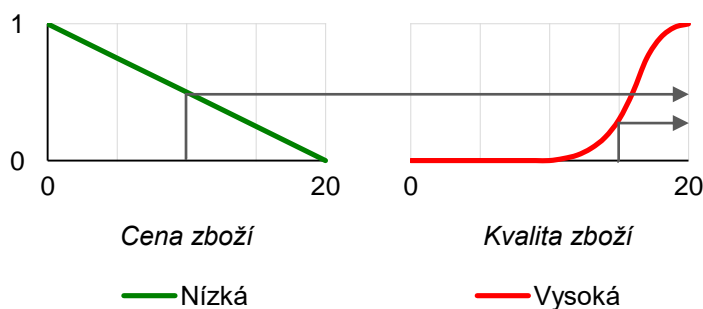
Operátor *probor* vrací algebraickou sumu a je vypočten podle rovnice:

$$\text{probor}(a, b) = a + b - a \times b$$

Pro více než dva vstupy může být výsledek počítán rekurzivně, jelikož se jedná o asociativní funkci. [4]

Grafický příklad na obr. 9 znázorňuje aplikaci fuzzy operátorů na oba dva vstupy. Jedná se o proměnné *cena zboží* a *kvalita zboží*. Pro přehledné zobrazení má každá proměnná pouze jednu fuzzy množinu.

Jako vstup se tedy uvažuje cena zboží 10 a kvalita zboží 15.



Obr. 9: Aplikace fuzzy operátorů

Zdroj: vlastní zpracování

Fuzzifikované vstupy jsou následující:

- Cena zboží – fuzzy množina *nizká* odpovídá stupni příslušnosti 0,5.
- Kvalita zboží – fuzzy množina *vysoká* odpovídá stupni příslušnosti 0,3.

Dle zvoleného fuzzy operátoru bude výsledek jeden z následujících:

- minimum – nejmenší ze všech vstupů – 0,3;
- maximum – největší ze všech vstupů – 0,5;
- sum – součet všech vstupů – 0,8;
- probor – algebraická suma – 0,65.

Výběr vhodného operátoru vždy závisí na situaci a uvážení člověka. Výsledná hodnota je použita v implikační metodě.

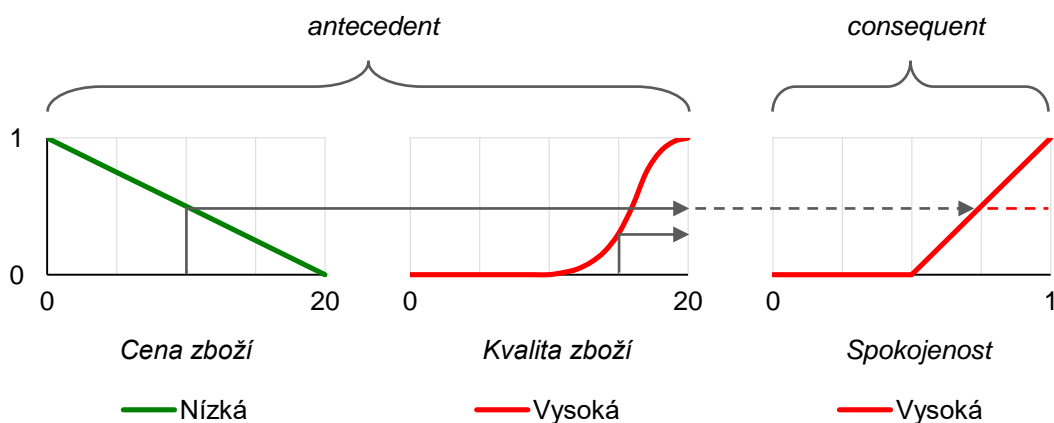
Fuzzy pravidla a implikační metoda

Množina vstupů, která je fuzzifikována a upravena příslušným operátorem, se nazývá antecedent. Ten slouží jako základ pro vyvození výstupu, tzv. consequentu. Consequent je rovněž reprezentován jazykovou proměnnou obsahující určitý počet fuzzy množin. Proces, během kterého se hodnoty antecedentu převedou na výstup consequentu, se nazývá implikační metoda. Nejprve je však potřeba určit fuzzy pravidla pro jednotlivé fuzzy množiny, na základě kterých se implikační metoda provede. [21]

Příkladem jazykové proměnné consequentu je *spokojenost*, která vychází z ceny zboží a jeho kvality. Na horizontální ose bude tato nová proměnná nabývat hodnot od 0 do 1, jež bude možné posléze chápat jako stupeň vyjádření spokojenosti. Pro názornost je uvedena opět pouze jedna fuzzy množina, a to *vysoká*. V případě jedné fuzzy množiny u každé proměnné bude implikační metoda provedena na základě jednoho pravidla:

- Pokud *cena zboží je nízká* nebo *kvalita zboží je vysoká*, pak *spokojenost je vysoká*.

Vstupní hodnoty zůstávají stejné z minulého příkladu, tedy cena zboží 10 a kvalita zboží 15.



Obr. 10: Implikační metoda

Zdroj: vlastní zpracování

Antecedent s použitým operátorem *maximum* přetvoří consequent tak, že je jeho příslušná fuzzy množina oříznuta podle větší hodnoty z obou vstupů.

Pokud proměnné obsahují více fuzzy množin, musí být pro každou definována příslušná fuzzy pravidla pro jejich implikaci. Pro sjednocení výsledků, plynoucích z několika pravidel, slouží agregace. [21]

Agregace výstupů

Agregace je proces, během kterého jsou oříznuté fuzzy množiny consequentu, reprezentující výsledek každého z fuzzy pravidel, spojeny do jediné fuzzy množiny. Pro provedení agregace se opět používají fuzzy operátory, jsou jimi: [21]

- maximum,
- sum,
- probor (probabilistic or).

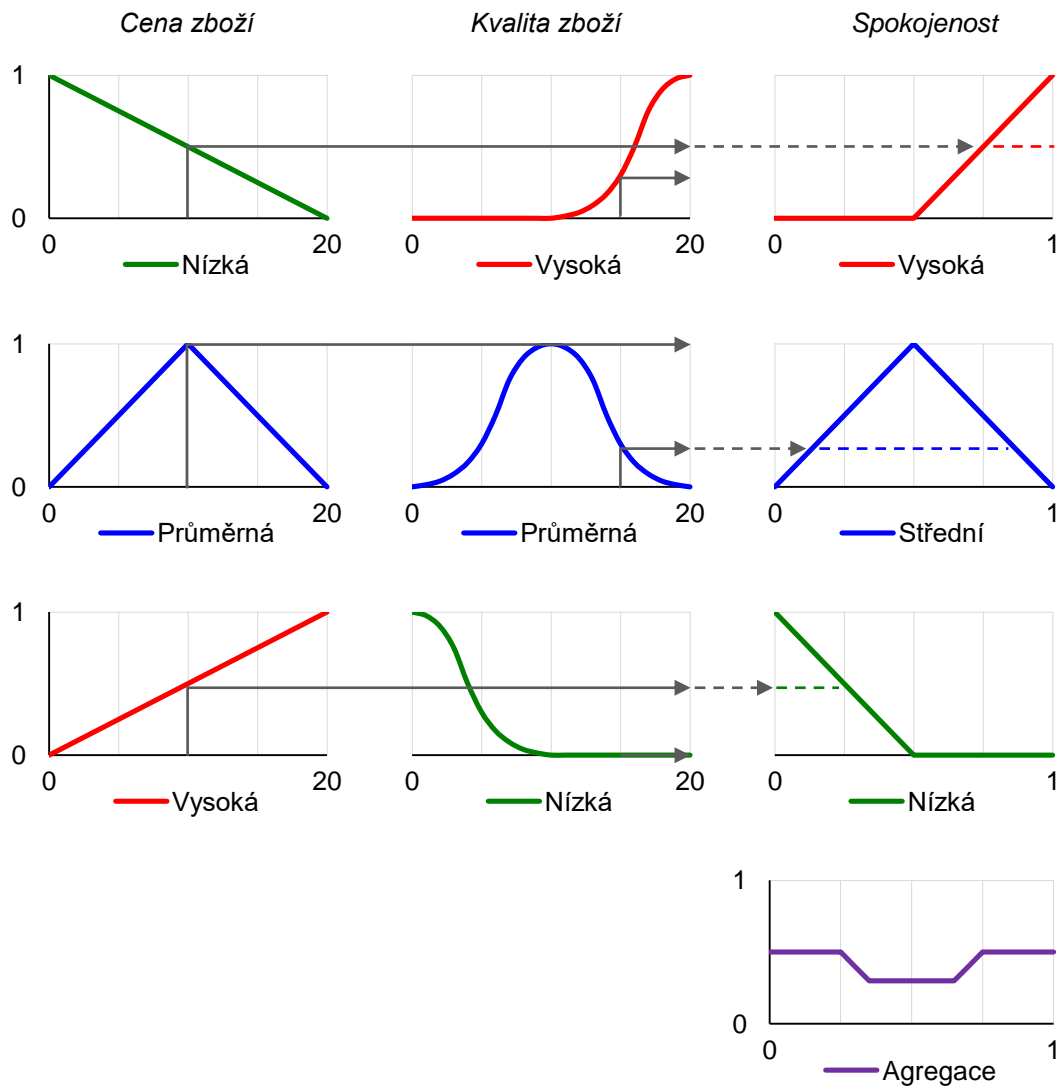
Na obr. 11 je uveden příklad agregace výstupních fuzzy množin vytvořených v důsledku tří fuzzy pravidel. Proměnné *cena zboží*, *kvalita zboží* i *spokojenost* obsahují tři fuzzy množiny, avšak pro lepší přehlednost jsou pro každé pravidlo rozděleny do vlastního řádku. Za normálních okolností se všechny fuzzy množiny uchovávají v jednom grafu (viz obr. 8).

Implikační metoda je provedena na základě tří následujících pravidel:

- Pokud *cena zboží* je *nízká* nebo *kvalita zboží* je *vysoká*, pak *spokojenost* je *vysoká*.
- Pokud *cena zboží* je *průměrná* a *kvalita zboží* je *průměrná*, pak *spokojenost* je *střední*.
- Pokud *cena zboží* je *vysoká* nebo *kvalita zboží* je *nízká*, pak *spokojenost* je *nízká*.

U prvního a třetího pravidla je použit operátor *maximum*, zatímco u druhého je použit operátor *minimum*.

Vstupní hodnoty jsou stejné jako ve všech předchozích případech. Výstup pro každé pravidlo je graficky znázorněn. Z uvedených operátorů pro agregaci je použito *maximum*, jež fuzzy množinu vytvoří z nejvyšších hodnot výstupních množin pro všechny body na horizontální ose.



Obr. 11: Agregace výstupů
Zdroj: vlastní zpracování

Agregací nově vytvořená fuzzy množina je vidět v pravém dolním rohu obrázku. Její tvar by mohl být zcela odlišný, pokud by byly použity jiné operátory jak v tomto, tak i v předchozích krocích. Stejně tak je důležitý tvar fuzzy množin antecedentu a consequentu. V tento moment je možné agregovanou fuzzy množinu použít v posledním kroku, defuzzifikaci, a získat konečný výstup celého fuzzy inferenčního procesu.

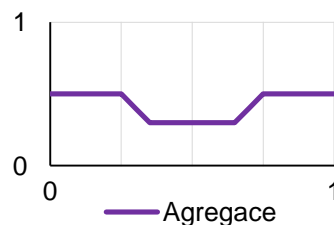
Defuzzifikace

Vstupem defuzzifikace je agregovaná fuzzy množina výstupů a jejím výstupem je pouhé číslo. Ačkoliv se během celého procesu pracuje s jazykovými proměnnými,

fuzzy množinami a pravidly, tak požadovaný výstup většinou bývá číslo, které má určitý vztah vůči vstupům ještě před tím, než jsou fuzzifikovány. [21]

Defuzzifikaci je možné vnímat jako interpretaci agregované fuzzy množiny, a tudíž způsob, jakým z ní vyvodit onu výslednou hodnotu. Metod defuzzifikace existuje několik. Mezi obvykle užívané metody se řadí těchto pět: [4]

- metoda prvního maxima,
- metoda posledního maxima,
- metoda středu maxima,
- metoda průměru maxima,
- metoda centroidu (metoda těžiště).



Obr. 12: Agregovaná fuzzy množina

Zdroj: vlastní zpracování

Metoda prvního maxima vrátí první hodnotu (nejmenší na definičním oboru) ze všech, které dle funkce příslušnosti agregované fuzzy množiny nabývají maximum. Hodnoty nabývající maximum (0,5) v tomto případě jsou na intervalu:

$$\langle 0; 0,25 \rangle \cup \langle 0,75; 1 \rangle$$

První hodnotou je 0, která je výstupem tohoto způsobu defuzzifikace.

Metoda posledního maxima vrátí poslední hodnotu (největší na definičním oboru) ze všech, které na fuzzy množině nabývají maximum. Výstupem je 1.

Metoda středu maxima vrátí průměr první a poslední hodnoty, které na fuzzy množině nabývají maximum. Výstupem je 0,5.

Metoda průměru maxima vrátí průměr všech hodnot, které na fuzzy množině nabývají maximum. Výstupem je opět 0,5.

Posledním a pravděpodobně nejpopulárnějším způsobem defuzzifikace je metoda centroidu, který vrátí hodnotu (horizontální osy) z místa těžiště oblasti pod

křivkou funkce příslušnosti agregované fuzzy množiny. Kvůli symetrickému tvaru fuzzy množiny bude výstup opět 0,5.

Hlavním přínosem centroidu je, že bere v úvahu tvar a hodnoty celé fuzzy množiny a nezabývá se pouze maximy, jako je tomu u ostatních způsobů. Na druhou stranu mívají výstupy ze stejného důvodu větší sklon k průměru, a je proto náročnější dosáhnout extrémních hodnot, což může být považováno za nevýhodu centroidu. [4] [21]

Stejně jako v předchozích krocích, volba způsobu defuzzifikace záleží na situaci a uvážení člověka, tímto krokem je proces fuzzy inference u konce.

4.4.2 Uplatnění fuzzy logiky

Na závěr kapitoly je nastíněno, proč je fuzzy logika stále častěji aplikována a jaké má uplatnění v reálném světě.

Její využití lze nalézt jak v běžných uživatelských produktech jako je mikrovlnná trouba, pračka nebo kamera, tak i v lékařských přístrojích, řídicích průmyslových procesech, nebo systémech pro podporu rozhodování. [20]

Fuzzy logika není pouze druh vícestupňové logiky, ale v širším slova smyslu se jedná o teorii, která pracuje s třídami objektů bez ostrých hranic, kde členství je záležitostí stupně. Umožňuje práci s jazykovými proměnnými, jejichž hodnotami jsou slova namísto čísel. Ačkoliv jsou slova méně přesná nežli čísla, jejich používání je bližší lidskému uvažování. Výhodou počítačového zpracování slov bývá větší tolerance pro nepřesnost, a tudíž se touto cestou snižují náklady pro všemožná řešení. [3]

Fuzzy logika je používána v kombinaci s neustále rozvíjenými oblastmi, jako jsou genetické algoritmy či umělé neuronové sítě. Tyto tři složky jsou hlavní součástí oblasti zvané *soft computing*, jehož obecným principem je pracovat s nepřesnostmi, nejistotami a částečnými pravdami k dosažení větší robustnosti systémů při menších nákladech. [20] Tato témata jsou však nad rámec této práce.

Zde jsou uvedeny některé z častých příkladů, ve kterých je výhodné uplatnit řešení pomocí fuzzy logiky:

- Pokud víme, jak dobré jídlo a jak příjemná obsluha byla v restauraci, systém fuzzy logiky nám může doporučit výši spropitného.

- Při specifikaci jak teplou vyžadujeme koupel, systém fuzzy logiky může dle potřeby nastavit ventil kohoutku.
- Na základě informace v jaké vzdálenosti se nachází objekt focení, systém fuzzy logiky může správně zaostřit čočku fotoaparátu.
- Na základě informace o současné rychlosti automobilu a náročnosti práce motoru, systém fuzzy logiky může zařadit potřebný rychlostní stupeň.

Přes veškeré zmíněné výhody je potřeba podotknout, že ne v každé situaci může být použití fuzzy logiky vhodné. Pro různé problémy mohou existovat pohodlnější či jednodušší řešení. Navíc, jak sám zakladatel Lofti Zadeh uvedl, téměř v každém případě je možné vytvořit stejný produkt bez fuzzy logiky, avšak s jejím využitím bývá vše rychlejší a levnější.

5 Výstupy práce

Tato část práce je věnována multiagentové simulaci, vytvořené v nástroji NetLogo. Hlavním účelem této simulace je její aplikování na modelové scénáře, které jsou následně vyhodnoceny. Model simulace je nejprve představen a charakterizován na základě teoretických východisek, sepsaných ve 4. kapitole. Součástí výstupů práce je také podrobná dokumentace jednotlivých prvků, funkcionality a možností nastavení simulace.

5.1 Charakteristika modelu simulace

Model vytvořený v nástroji NetLogo představuje multiagentovou sociální simulaci. Prostředí, ve kterém se celá simulace odehrává, je definováno dvourozměrným polem pixelů. Toto pole prezentuje obchodní středisko, obchodní dům, tržiště či jakýkoliv rozměrnější ohraničený prostor, ve kterém se nachází větší množství obchodů. Obchody jsou součástí prostředí, avšak představují hlavní složku, se kterou agenti interagují. Z tohoto důvodu je možné obchody vnímat také jako pasivní agenty.

Aktivní agenti působící v této simulaci jsou lidé – nakupující. Ti vcházejí do nákupního prostoru a navštěvují obchody. Jejich hlavním cílem je spokojenost, kterou se během času stráveného v nákupním prostoru snaží navýšit co nejvíce. Figurují zde faktory jak na straně nakupujících, tak na straně obchodů, které spokojenost ovlivňují. Podstatou však je, že se spokojenost určitou mírou zvyšuje za každý časový okamžik, který agent stráví v obchodě. Naopak za každý okamžik, který agent stráví přecházením mezi obchody, spokojenost konstantně snižuje.

V následujících dvou podkapitolách je na model nahlíženo z hlediska teoretických východisek, jejichž některé principy jsou v něm implementovány.

5.1.1 Implementace principů teorie her

Agenti v multiagentových prostředích by měli zvažovat akce ostatních agentů, a jak jimi ovlivňují svůj vlastní prospěch. Nejasné vzorce chování okolních agentů však mohou způsobit nepředvídatelné události, zasahující do procesu řešení problému agenta. [6] Prostředí, ve kterém lidé nakupují, je možné z určitého úhlu pohledu považovat za konkurenční, jelikož individuální cíle nakupujících jsou v rozporu.

Teorie her pohlíží na každé multiagentové prostředí jako na hru v případě, že vliv agenta na ostatní lze považovat za významný, a to bez ohledu na to, zda se jedná o hru kooperativní či konkurenční.

Jistý konflikt působí i mezi nakupujícími v simulaci této práce. Spokojenost, jejíž navýšení představuje primární cíl a motivaci každého agenta, je mimo další aspekty ovlivněna tolerancí ostatních lidí, kteří jsou současně ve stejném obchodě. Jednoduše řečeno, čím více agentů je zároveň ve stejném obchodě, tím méně bývají spokojení. To je podloženo tím, že si lidé v obchodě mohou vzájemně překážet, musí se ohlížet na ostatní, déle čekají ve frontách, mohou vykoupit zboží, které je v omezeném množství, atd.

Práce implementuje určitou míru variability u jednotlivých agentů, což znamená, že každý může mít toleranci vůči ostatním odlišnou. To samé platí i pro některé další atributy.

Agenti vykazují čtyři různé vzorce chování, přičemž každý z nich bere při výběru obchodu v úvahu jiné aspekty. Za nejvíce inteligentní agenty jsou považováni ti, kteří mají implementované vyhodnocování situace na základě principů teorie her. Tedy mimo jiné berou v úvahu také přítomnost dalších agentů, kteří mají vliv na výpočet spokojenosti. Detailní charakteristika tohoto typu chování se nachází v dokumentaci v kapitole 5.2.3

Simulace jako hra

Kapitola 4.1.2 popisuje dělení her na různé typy. Jelikož je multiagentová simulace považována za hru, je možné ji i jako hru charakterizovat. Jedná se tedy o hru, která je dle svých vlastností kombinací těchto typů:

- **Nekooperativní** – simulace představuje nekooperativní hru. Nakupující nemohou žádným způsobem uzavírat spolky, a ani v tomto případě by zde nefigurovala třetí strana, dohlížející na vynutitelnost jejich kontraktů.
- **Nesymetrická** – variabilita aplikovaná v modelu způsobuje nesymetrické výpočty a výplaty jednotlivých nakupujících. Zároveň strategie všech agentů nejsou symetrické. Implementováni jsou agenti, kteří mají různé vzorce chování.

- **S nenulovým součtem** – zvyšování spokojenosti, jakožto představitele výplaty, nejde úměrně se snižováním spokojenosti ostatních agentů. Navíc zde působí zmiňovaná variabilita, jež zisk a ztrátu stanovuje pro každého agenta odlišně.
- **Simultánní i sekvenční** – tuto vlastnost je pro simulaci obtížné určit. Liší se podle typu chování agenta. Obecně je považována za simultánní hru, kde se nakupující rozhodují pro výběr obchodu současně, nebo nemají dostupné informace o tom, kde se nachází ostatní agenti. Tento fakt ovšem neplatí pro pokročilejší agenty, kteří informace o ostatních agentech v okamžik výběru mají a také s těmito informacemi pracují při vyhodnocování.
- **S neúplnými informacemi** – V případě sekvenčního pojetí hry v ní stále figurují neúplné informace. Agenti sledují pouze současný stav, nikoliv co mu předcházelo, či jak se agenti budou rozhodovat v budoucnosti.

5.1.2 Prostředí ambientní inteligence

Mnoho aplikací využívajících možnosti ambientní inteligence je implementováno skrze agenty. Virtuální simulace se používají např. na vyhodnocení evakuačních plánů k opouštění budov. Existují také scénáře pro internet věcí, které obsahují velmi komplexní výpočty. Elektronické senzory, chovající se jako autonomní výpočetní zařízení se postupně stávají všudypřítomnými. Senzory obsažené v mobilních telefonech, kamerách, hodinkách, tepelných senzorech, atd. denně sledují běžné aktivity ve všech typech prostředí (v domovech, kancelářích, celých městech, nebo nákupních střediscích). Všudypřítomnost senzorů realizuje vizi světa, ve kterém je výpočetní inteligence součástí téměř všech zařízení, aby pro lidi vykonávala požadované služby. [13] [17]

Tato myšlenka se obecně týká ambientní inteligence, která klade důraz na větší uživatelskou přívětivost, efektivnější podporu služeb, vylepšování interakce mezi lidmi, apod. Inteligentní a intuitivní software, který je součástí všudypřítomných senzorů, rozpoznává a reaguje na konkrétní požadavky jedinců, a to nenápadným, neviditelným způsobem. Senzory dokážou rozpoznat gesta, akce i kontext situace. Vývoj ambientních prostředí je mimo jiné zaměřen na vysoce inovativní služby v oblastech, jako jsou letiště, vlaková nádraží, obchodní centra či jakákoliv další

místa s velkým počtem pohybujících se lidí, aby byla navýšena bezpečnost, zkrátila se délka čekání ve frontách, byly poskytovány lepší informace pro uživatele, atd.

Aby bylo možné dosáhnout efektivního fungování, software působící v senzorech vyžaduje určitou znalost o uživateli. Z tohoto důvodu je mimo jiné kladen důraz na vzájemnou spolupráci sensorů, aby sdílely tyto znalosti, aniž by však zasahovaly do denních aktivit uživatelů.

Ambientní inteligence je aplikována na vysoce dynamická prostředí, ve kterých se senzory potýkají s různými problémy. K jejich řešení je potřeba software, který kombinuje všudypřítomnost, znalost kontextu situace, inteligenci a schopnost interakce v ambientním prostředí. Systém se mimo přizpůsobování na změny prostředí musí zaměřit také na samotné uživatele a na jejich požadavky a potřeby. Takový typ softwaru představují multiagentové technologie, ve kterých agenti reprodukují lidské chování skrze vlastnosti jako je autonomie, přizpůsobivost, proaktivita, plánování, atd. [10]

Práce se nezabývá technickým řešením těchto problémů, ale využívá simulaci k sestavení prostředí, které bez problému vyhodnocuje veškeré podstatné informace o uživateli a je schopné jim na základě jejich potřeb a preferencí doporučit ten nejvhodnější obchod pro daný okamžik. Ambientní prostředí tedy funguje podle očekávaných předpokladů, a tudíž je možné sledovat, jak ovlivňuje chování a následně i spokojenost jak u jednotlivých agentů, tak na celé skupině.

Jak již bylo uvedeno, agenti vykazují různé chování. Zatímco dvě skupiny agentů nevyužívají výhody ambientního prostředí, zbylé dvě skupiny ano. S určitou mírou abstrakce je možné předpokládat, že ambientní prostředí agentům doporučuje vhodné obchody na základě informací, které má možnost zjistit z jejich předešlého chování, z jejich mobilních zařízení, ručně nastavených preferencí, atd. Podrobné informace k tomuto chování agentů poskytuje dokumentace v kapitole 5.2.3.

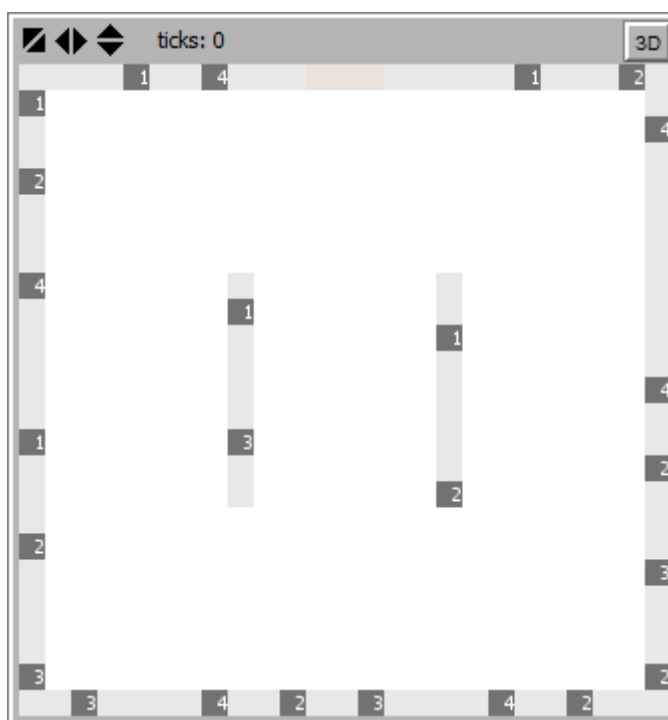
5.2 Dokumentace

Tato kapitola poskytuje podrobnou dokumentaci veškerých prvků, funkcionalit a možností nastavení modelu v prostředí NetLogo, za účelem plného seznámení se s multiagentovou simulací. Dokumentace rozšiřuje informace uvedené v kapitole 5.1 a uvádí mnoho dalších potřebných informací.

V dokumentaci se nachází obrázky prvků vyňaté ze samotného modelu, které jsou charakterizovány v souvislosti s probíranou oblastí. Celková vizualizace modelu se nachází v příloze č. 1.

5.2.1 Prostředí

Prostředí simulace je vykreslené na dvourozměrném plátně s rozměry 25 x 25 pixelů. Figuruje v něm několik prvků, které jsou barevně odlišeny (viz obr. 13).



Obr. 13: Ukázka prostředí simulace

Zdroj: vlastní zpracování

- Bílá barva značí volný prostor, který nemá žádné specifické vlastnosti.
- **Ohraničení (border)** – ohraničení, vykreslené ve světle šedé barvě, slouží jako prostor pro vygenerování obchodů. Nachází se po celém obvodu a ve dvou rovnoběžných pruzích uprostřed plátna. Ohraničení neslouží jako zeď,

tudíž agenti skrze něho mohou bez problémů procházet. V reálném světě by prostředí obsahovalo neprůchozí stěny, avšak takovéto omezení je pro simulaci nepotřebné a výrazně by zkomplikovalo programování agentů.

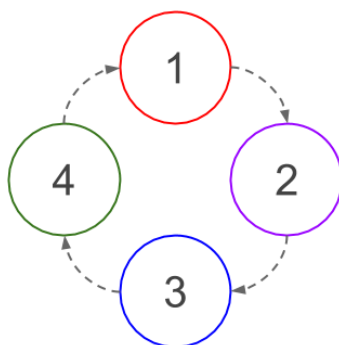
- **Dveře (door)** – dveře vykreslené v béžové barvě se nachází v horní části prostředí. Dveře představují vstupní a výstupní bod pro agenty. Na tomto místě se generují noví agenti, a pokud chtějí z jakéhokoliv důvodu ukončit pobyt v nákupním prostoru, tak se k tomuto místu vydají.
- **Obchod (shop)** – obchody jsou znázorněny tmavě šedou barvou. Generují se na ohraničení s náhodnými parametry a rozmístěním při každém načtení simulace. Obchody mají několik vlastností, které hrají důležitou roli při rozhodování agentů. Obchody je možné považovat za nejdůležitější prvek prostředí.

Vlastnosti obchodů

Obchody uchovávají několik atributů, které mají vliv na rozhodování a spokojenost agentů. Každý obchod může být každým z agentů navštíven pouze jednou.

- **Cenová hladina (price-level)** – při načtení simulace se pro každý obchod generuje cenová hladina, nabývající hodnoty od 0 do 20. Ta určuje, na jaké úrovni se ceny v obchodě pohybují a ovlivňuje rozhodování a spokojenost agentů z hlediska ceny.
- **Úroveň kvality (quality-level)** – úroveň kvality se opět generuje pokaždé, co je simulace načtena. Obdobně jako v případě ceny se hodnoty pohybují v rozmezí od 0 do 20. Úroveň kvality určuje obecnou kvalitu zboží a opět má vliv na rozhodování a spokojenost agentů.
- **Velikost nabídky (offer-size)** – velikost nabídky neboli rozsah sortimentu, který může prodejce ve svém obchodě nakupujícím nabídnout, čímž si udrží jejich pozornost po delší čas. Stejně jako v předchozích případech se možné hodnoty generují mezi 0 a 20. Velikost nabídky figuruje při rozhodování agentů a má vliv na čas strávený v obchodě.
- **Kategorie (category)** – kategorie určuje, který druh sortimentu obchod nabízí. Jsou celkem čtyři a jako jediná vlastnost jsou na plátně označeny číslem (viz obr. 13). Kategorie se při vytváření obchodů náhodně generují

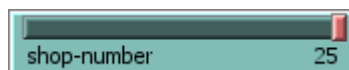
a zůstávají neměnné po celý průběh simulace, stejně jako ostatní vlastnosti. Kategorie souvisí s aktuální potřebou agentů, která má výrazný vliv na spokojenost a rozhodování agentů. Pod kategoriemi je možné si představit různé druhy obchodů, např.: drogerie, občerstvení, prodejna obuvi či oděvů, trafika, atd. Čísla značící potřeby agentů jsou synchronizována s kategorií obchodu, a tudíž pokud agent navštíví obchod s kategorií odpovídající jeho potřebě, nebude jeho spokojenost nijak penalizována. Platí pravidlo, že pokud se kategorie obchodu liší od potřeby agenta o jedno číslo, sníží se spokojenost o konfigurovatelné procento. Pokud se kategorie liší o dvě čísla, spokojenost se snižuje o dvojnásobné procento. Čísla kategorií jsou dle obr. 14 pojata cyklicky, a tudíž se kategorie 1 a 4 liší pouze o jedno číslo.



Obr. 14: Vztah kategorií obchodů

Zdroj: vlastní zpracování

Model simulace nenabízí mnoho možností jak konfigurovat či upravit prostředí. Atributy prostředí jsou převážně fixní, případně se ho týkají nepřímo skrze agenty. Jedinou nastavitelnou vlastnost představuje posuvník, upravující počet obchodů (shop-number), které se při načtení simulace vytvoří.



Obr. 15: Posuvník modelu - nastavení počtu obchodů

Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí počet obchodů je 25. Toto číslo úměrně odpovídá velikosti a rozložení simulovaného nákupního prostoru. Tento prostor by mohl být jinak situovaný, vykreslený na menším či větším plátně, mohl by např. obsahovat větší množství dveří, či úplně nové prvky. Pro účely práce je však uvedený návrh prostředí

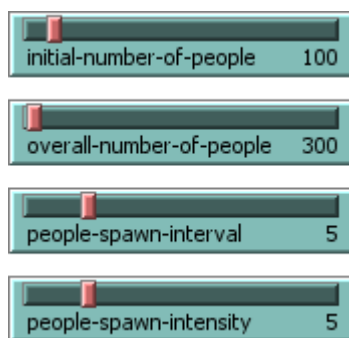
dostačující. Počet obchodů je možné upravit a sledovat, jaký to bude mít dopad na agenty.

Vlastnosti obchodů, konkrétně cenová hladina, úroveň kvality, velikost nabídky a kategorie, představují pouze některé aspekty, které by v reálném světě mohly mít na nakupující vliv. Cíl není evidovat všechny tyto aspekty a precizně je promítnout do simulace, ale vytvořit takové reprezentanty vlastností, jež budou mít vliv na spokojenost z nákupu a čas, který agent stráví v obchodě. Není nutné promítat velikost nabídky do času nakupování. Mohla by ji nahradit jakákoliv jiná vlastnost či kombinace vlastností. To stejné platí pro ostatní atributy.

5.2.2 Agenti

Agenti v simulaci této práce představují roli lidí – nakupujících. Dokumentace se v této kapitole věnuje společným vlastnostem agentů a jejich nastavení v modelu. V kapitole 5.2.3 jsou podrobněji popsány vlastnosti, specifické pro různé typy chování agentů.

Nakupujících se týká bohaté nastavení pomocí několika posuvníků. Nejzákladnější posuvníky jsou uvedeny na obr. 16.



Obr. 16: Posuvníky modelu – nastavení počátečního počtu lidí, celkového počtu lidí, intervalu jejich příchodu a intenzity jejich příchodu

Zdroj: vlastní zpracování

- **Počáteční počet lidí (initial-number-of-people)** – posuvník udává, kolik agentů se ve vstupních dveřích vygeneruje při načtení simulace. Nastavení tohoto i všech dalších posuvníků závisí na potřebách a kontextu situace, která je simulována.
- **Celkový počet lidí (overall-number-of-people)** – tento posuvník určuje maximální počet lidí, který se v průběhu simulace vygeneruje. Do čísla je

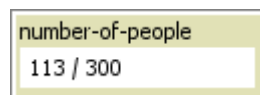
započítáván počáteční počet lidí. Agenti se generují na základě intervalu a intenzity příchodu.

- **Interval příchodu (people-spawn-interval)** – interval příchodu určuje, během kolika časových okamžiků (ticks) se vygeneruje určitý počet agentů.
- **Intenzita příchodu (people-spawn-intensity)** – intenzita příchodu udává počet agentů, který se vygeneruje během určitého počtu časových okamžiků (ticks).

Každý posuvník, včetně nastavení počtu obchodů na obr. 15, má nějakou minimální a maximální hodnotu, kterou je možné nastavit. Tyto hodnoty jsou stanoveny v postačujícím rozmezí, avšak mohou být dle potřeb v modelu kdykoliv změněny.

Nastavení posuvníků na obr. 16 znamená, že při načtení a spuštění simulace přijde do prostoru naráz 100 nakupujících a poté každých 5 časových okamžiků (ticks) přijde dalších 5. Toto se opakuje 40x, dokud celkový počet lidí není 300. Simulace pokračuje, dokud všichni nakupující neodejdou.

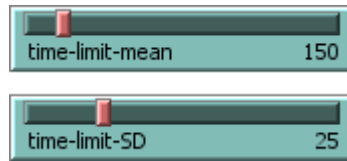
Současný počet agentů, nacházejících se v prostoru a celkový počet agentů, kteří se během simulace v prostoru nacházeli, sleduje v tomto pořadí monitor, uvedený na obr. 17.



Obr. 17: Monitor modelu – aktuální a celkový počet nakupujících

Zdroj: vlastní zpracování

Agenti prochází nákupním prostorem a vždy tráví určitý čas v obchodech. Vše probíhá v rámci zmiňovaných časových okamžiků (ticks). Prostředí simulace je tvořeno polem 25 x 25 pixelů. Agenti se mohou pohybovat všemi směry, přičemž vzdálenost, kterou ujdou za jeden časový okamžik, se při každých 90° rovná jednomu pixelu. Z tohoto důvodu musí agenti vynaložit určitý čas na přecházení mezi obchody. Podstatné je, že každý agent má určitý čas, který může, nebo chce maximálně věnovat návštěvě nákupního prostoru. Tento maximální čas je opět náhodně generován pro každého agenta, a to na základě dvou posuvníků, které jsou uvedeny na obr. 18.



Obr. 18: Posuvníky modelu – nastavení střední hodnoty a směrodatné odchylky pro časový limit

Zdroj: vlastní zpracování

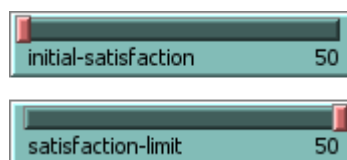
Maximální čas, který nakupující mohou v prostoru strávit, je náhodně generován pomocí normálního rozdělení. Střední hodnota časového limitu (*time-limit-mean*) a směrodatná odchylka (*time-limit-SD*) určují potřebné parametry pro normální rozdělení. Předpis je následující:

$$N(\mu, \sigma^2) = N(\text{time limit mean}, \text{time limit SD}^2)$$

Výchozí nastavení má střední hodnotu 150 a směrodatnou odchylku 25. Agenti mají těmito parametry daný čas, který mohou v nákupním prostoru strávit. Výhodné je tedy, pokud agenti tráví tento omezený čas co nejvíce efektivně.

Spokojenost

Spokojenost, která představuje jednu z hlavních vlastností agentů, je při načtení simulace pro každého agenta stejná. Důvodem je, že spokojenost, resp. její změna, je měřena pouze za období, které nakupující v nákupním prostoru stráví. Nebere se v úvahu spokojenost ve smyslu nálady, se kterou nakupující do prostoru přichází. Jeden z posuvníků slouží k nastavení počáteční spokojenosti (*initial-satisfaction*). Ten určuje společnou hodnotu spokojenosti, se kterou jsou agenti vygenerováni. Tato hodnota slouží především k tomu, aby se mohla spokojenost do určité míry pohybovat jak do kladných, tak záporných hodnot.

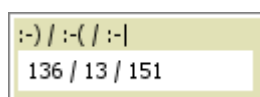


Obr. 19: Posuvníky modelu – nastavení počáteční spokojenosti a limitu spokojenosti

Zdroj: vlastní zpracování

Souvisejícím parametrem, který je možné upravit dalším posuvníkem, je limit spokojenosti (*satisfaction-limit*). Hodnota limitu spokojenosti se přičítá a odečítá od hodnoty počáteční spokojenosti, čímž vytváří maximální a minimální hranice,

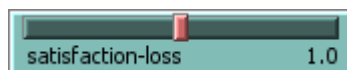
keré může spokojenost dosáhnout. Dle výchozích hodnot uvedených na obr. 19 mají agenti počáteční spokojenost 50 a limit spokojenosti je rovněž 50. Nejmenší a největší možné hodnoty spokojenosti jsou tedy 0 a 100. V obou případech, kdy agenti dosáhnou těchto krajních hodnot, tak ukončí své nakupování. Pokud dosáhli maximální spokojenosti, tak odchází jako spokojení. Pokud spokojenost klesla na minimální hranici, tak odchází jako nespokojení. Počet spokojených nakupujících, nespokojených nakupujících a nakupujících, kteří se nachází mezi těmito dvěma extrémy, uchovává v tomto pořadí monitor na obr. 20.



Obr. 20: Monitor modelu – počet spokojených, nespokojených a ostatních nakupujících
Zdroj: vlastní zpracování

Agenti obsažení ve třetí skupině buď doposud neukončili svůj pobyt v nákupním prostoru, nebo už ano, avšak nedosáhli ani jednoho ze dvou limitů spokojenosti. Tato situace mohla nastat tak, že agenti buď opustili prostor z důvodu vypršení jejich časového limitu, popřípadě z důvodu navštívení všech obchodů dříve, nežli nastala jedna ze všech uvedených možností.

Jak již bylo řečeno, spokojenost určitým tempem stoupá za každý časový okamžik strávený v obchodě a klesá za každý časový okamžik, kdy nakupující mezi obchody přechází. Způsob, kterým je vypočítáváno zvyšování spokojenosti během návštěvy v obchodě, je ovlivněn několika aspekty a věnuje se mu celá nadcházející část. Úbytek spokojenosti (satisfaction-loss) se však počítá pouze na základě jediné hodnoty, kterou je možné nastavit na posuvníku.

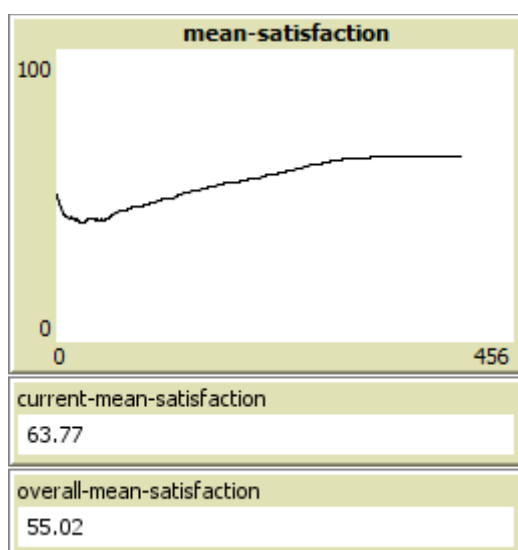


Obr. 21: Posuvník modelu – nastavení úbytku spokojenosti
Zdroj: vlastní zpracování

Myšlenkou stojící za úbytkem spokojenosti je hodnota času a energie nakupujících. Podstatou není, že nakupující se při přecházení mezi obchody cítí nespokojení, ale naopak spokojenost si v tomto čase nenavysují. Úbytek pak tedy představuje čas, který není produktivně využitý.

Kromě monitoru, který sleduje extrémní stavy spokojenosti (viz obr. 20), jsou v modelu obsaženy ještě další ukazatele. Prvním ukazatelem je graf, který sleduje vývoj průměrné spokojenosti (mean-satisfaction) v čase, tedy za každý časový okamžik.

Průměrná spokojenost je počítána jako součet spokojenosti všech nakupujících dělená jejich celkovým počtem (počítání jsou i nakupující, kteří již z nákupního prostoru odešli).



Obr. 22: Graf a monitorovací modelu - vývoj průměrné spokojenosti, současná průměrná spokojenost a celková průměrná spokojenost

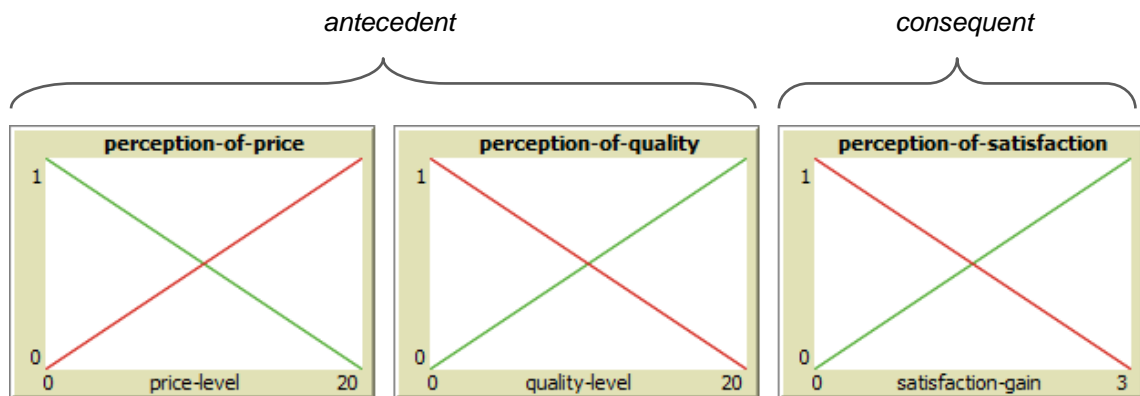
Zdroj: vlastní zpracování

Dalšími ukazateli jsou dva monitory. První z nich zobrazuje současnou průměrnou spokojenost (current-mean-satisfaction) nakupujících. Jedná se o hodnotu, která je na grafu vykreslena jako poslední (nejvíce vpravo). Druhým ukazatelem je celková průměrná spokojenost (overall-mean-satisfaction), která je průměrem veškerých naměřených průměrných spokojenosti za celý průběh simulace. Celková průměrná spokojenost představuje důležitý údaj, jelikož bere v potaz hodnoty měřené po celou dobu simulace, nikoliv pouze aktuální stav.

Zvyšování spokojenosti

Zvyšování spokojenosti (satisfaction-gain) je založeno na složitějších výpočtech, ve kterých je mimo jiné implementována i fuzzy logika.

Spokojenost je zvyšována za každý časový okamžik, který nakupující v obchodě stráví, přičemž samotný čas strávený v obchodě je rovněž založen na určitém výpočtu. Při zvyšování spokojenosti představují důležitou roli vlastnosti obchodů, popsané v kapitole 5.2.1.



Obr. 23: Grafy modelu – vnímání ceny, kvality a spokojenosti

Zdroj: vlastní zpracování

Grafy uvedené na obr. 23 představují antecedent a consequent fuzzy inferenčního procesu. Ty tvoří jazykové proměnné, přičemž každá z nich obsahuje dvě fuzzy množiny, jejichž funkce příslušnosti jsou tvořeny lineárními funkcemi:

- **Vnímání ceny (perception-of-price)** – první část antecedentu, vnímání ceny, představuje způsob, jakým se nakupující staví k výši cenové hladiny (price-level) obchodu, která je jednou z jeho vlastností a slouží jako vstup pro fuzzifikaci. Vnímání ceny obsahuje dvě fuzzy množiny:
 - **Vnímání vysoké ceny (perception-of-expensive)** – vykreslená na grafu v červené barvě. Lineární funkce stoupá úměrně se zvyšující se cenovou hladinou.
 - **Vnímání nízké ceny (perception-of-inexpensive)** – vykreslená na grafu v zelené barvě. Lineární funkce klesá úměrně se zvyšující se cenovou hladinou.
- **Vnímání kvality (perception-of-quality)** – druhá část antecedentu bere jako vstup pro fuzzifikaci úroveň kvality (quality-level) obchodu. Vnímání kvality značí, jak se nakupující staví ke kvalitě zboží daného obchodu. Jazyková proměnná obsahuje opět dvě fuzzy množiny:

- **Vnímání dobré kvality (perception-of-good-quality)** – vykreslená na grafu v zelené barvě. Lineární funkce stoupá úměrně se zvyšující se úrovní kvality.
- **Vnímání špatné kvality (perception-of-poor-quality)** – vykreslená na grafu v červené barvě. Lineární funkce klesá úměrně se zvyšující se úrovní kvality.
- **Vnímání spokojenosti (perception-of-satisfaction)** – consequent fuzzy inferenčního procesu je vnímání spokojenosti, jež vychází z vnímání ceny a kvality. Fuzzy množiny vstupů se pomocí implikační metody promítají na fuzzy množiny consequentu. Na základě stupňů příslušnosti fuzzy množin je vyvozeno zvyšování spokojenosti (satisfaction-gain), které se nachází na horizontální ose s rozsahem hodnot od 0 do 3. Fuzzy množiny jazykové proměnné vnímání spokojenosti jsou:
 - **Vnímání vysoké spokojenosti (perception-of-high-satisfaction)** – vykreslená na grafu v zelené barvě. Lineární funkce je stoupající. Vyšší stupeň příslušnosti této fuzzy množiny má pozitivní účinek na zvyšování spokojenosti.
 - **Vnímání nízké spokojenosti (perception-of-low-satisfaction)** – vykreslená na grafu v červené barvě. Lineární funkce je klesající. Vyšší stupeň příslušnosti této fuzzy množiny má negativní účinek na zvyšování spokojenosti.

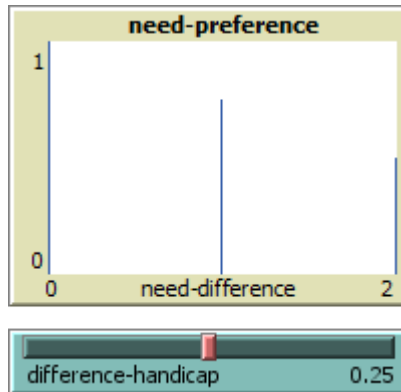
Zvyšování spokojenosti je postaveno na procesu fuzzy inference, jehož vstupem jsou dvě proměnné obchodů: cenová hladina a úroveň kvality. Při každém vkročení do obchodu agent zjišťuje hodnoty těchto dvou parametrů, které se dle funkcí příslušnosti odpovídajících fuzzy množin fuzzifikují. Implikační metoda probíhá na základě následujících, volněji formulovaných pravidel:

- Pokud je cenová hladina vnímána jako vysoká, nebo je úroveň kvality vnímána jako špatná, poté je spokojenost nízká.
- Pokud je cenová hladina vnímána jako nízká, nebo je úroveň kvality vnímána jako dobrá, poté je spokojenost vysoká.

Obě pravidla aplikují fuzzy operátor maximum (or), nadále operující vždy s větší ze vstupních hodnot. Fuzzy množiny consequentu jsou agregovány opět operátorem maximum. V posledním kroku projde agregovaná fuzzy množina defuzzifikací, využívající metodu centroidu, která bere v úvahu rozložení celé fuzzy množiny, nikoliv pouze její extrémní hodnoty. Defuzzifikací je odvozena finální hodnota, která odpovídá zvýšení spokojenosti za každý časový okamžik strávený v obchodě. Dle třetího grafu na obr. 23, je rozsah možných výstupních hodnot pro zvyšování spokojenosti od 0 do 3. Metoda centroidu má však sklon k vyvozování hodnot blíže k průměru, nežli ke krajním hodnotám. Nejčastěji se tedy základní hodnota pro zvyšování spokojenosti pohybuje mezi 1 a 2 za jeden časový okamžik.

Tato základní hodnota je posléze ještě ovlivněna dvěma dalšími faktory. Jsou jimi současná potřeba agenta související s kategorií navštíveného obchodu a počet dalších nakupujících, nacházejících se v obchodě, související s agentovou tolerancí ostatních lidí.

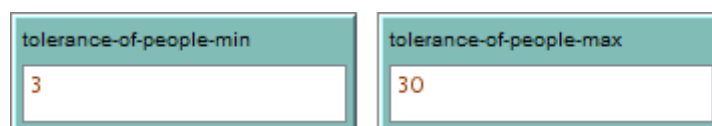
Kategorie obchodu je jedna z jeho vlastností, která se automaticky generuje při načtení simulace. Kategorie může nabývat čtyři hodnoty, jejichž vztah je zobrazen na obr. 14. Potřeby agentů jsou rovněž čtyři a číslem vždy odpovídají související kategorii obchodu. Potřeba se může změnit, případně zůstat stejná, při opuštění stávajícího obchodu a tedy před výběrem dalšího. Myšlenkou potřeb a kategorií je míra, jakou nakupující uspokojují svou současnou potřebu při návštěvě obchodu. Pokud je současná potřeba nakupujícího a kategorie právě navštíveného obchodu stejná, poté zůstává zvyšování spokojenosti v plné výši. Pokud se liší o jedno číslo, tak je zvyšování spokojenosti penalizováno o procento, určené nevýhodou rozdílu (difference-handicap), kterou lze upravit pomocí posuvníku. Při rozdílu dvou čísel je na zvyšování spokojenosti aplikována dvojnásobná penalizace.



Obr. 24: Posuvník a graf modelu – nastavení a grafické zobrazení nevýhody rozdílu
Zdroj: vlastní zpracování

Výchozí nastavení udává procentuální úbytek o 25 % za každý jeden číselný rozdíl mezi potřebou a kategorií. Maximální úbytek zvyšování spokojenosti je o 50 % při rozdílu dvou jednotek. Podstatou je, že sousedící kategorie mohou poskytnout alespoň částečné naplnění potřeby, případně nejsou v souvislosti s nenaplněnou potřebou natolik frustrující. Pro opačné kategorie toto pravidlo neplatí.

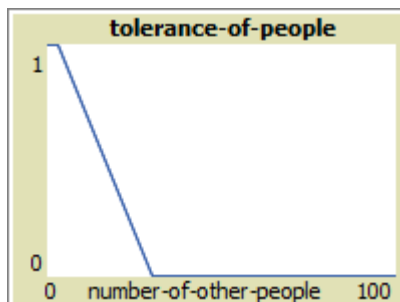
Počet dalších nakupujících, nacházejících se v obchodě současně s vyhodnocujícím agentem, není nijak náhodně generován nebo předurčen. Jedná se o stav, který na základě náhodných procesů a vzorců chování nastane v průběhu simulace. S tímto stavem souvisí vlastnost, kterou je tolerance ostatních lidí (tolerance-of-people). Ta výjimečně není nastavována posuvníkem, ale dvěma poli umožňujícími zapsání číselné hodnoty.



Obr. 25: Vstupní pole modelu – nastavení minimální a maximální tolerance ostatních lidí
Zdroj: vlastní zpracování

Těmito poli jsou minimální a maximální tolerance ostatních lidí. Menší číslo udává počet ostatních lidí v obchodě, které je vyhodnocující agent schopen tolerovat. Do tohoto počtu zůstává hodnota zvyšování spokojenosti v plné míře. Větší číslo udává počet lidí v obchodě, které je pro vyhodnocujícího agenta nepříjemné. Při tomto počtu je zvyšování spokojenosti nulové. V rozmezí těchto dvou hodnot se při postupně rostoucím počtu lidí zvyšování spokojenosti procentuálně snižuje podle lineární funkce, která spojuje tyto dva extrémy. Tato funkce je vykreslena do grafu

na obr. 26. Zvyšování spokojenosti je tedy násobeno takovou hodnotou v rozmezí od 0 do 1, která odpovídá současnému počtu ostatních lidí v obchodě. Tato hodnota je za každý časový okamžik přepočítávána, tudíž pokud ostatní nakupující během návštěvy obchodu přijdou nebo odejdou, hodnota se může měnit.



Obr. 26: Graf modelu – tolerance ostatních lidí

Zdroj: vlastní zpracování

Čas strávený v obchodě

Čas, který nakupující stráví v obchodě, podléhá jednoduchému výpočtu. Základem je velikost nabídky (offer-size), která se náhodně generuje pro každý obchod při načtení simulace. Na straně agentů hraje roli zájem o nabídku (interest-in-offer), která jako vstup bere velikost nabídky navštíveného obchodu a transformuje ji na čas strávený v obchodě.



Obr. 27: Graf modelu – zájem o nabídku

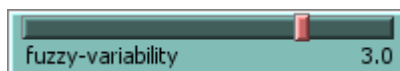
Zdroj: vlastní zpracování

Výpočet taktéž využívá fuzzy logiku. Nejedná se však o plnohodnotný proces fuzzy inference, ale spíše o využití jednoho principu pro zjednodušení výpočtu. Hodnota velikosti nabídky obchodu je fuzzifikována a stupeň příslušnosti (mezi 0 a 1) je vynásoben číslem 10, zaokrouhlen na celé číslo a následně je přičteno číslo 5.

Ve výsledku se čas strávený v obchodě pohybuje mezi 5 a 15 časovými okamžiky.

Variabilita fuzzy prvků

Fuzzy logika v modelu simulace figuruje při několika výpočtech. Fuzzy inference je aplikována na výpočet spokojenosti a ve dvou dalších případech je provedena fuzzifikace vstupu za účelem zjednodušení výpočtu.

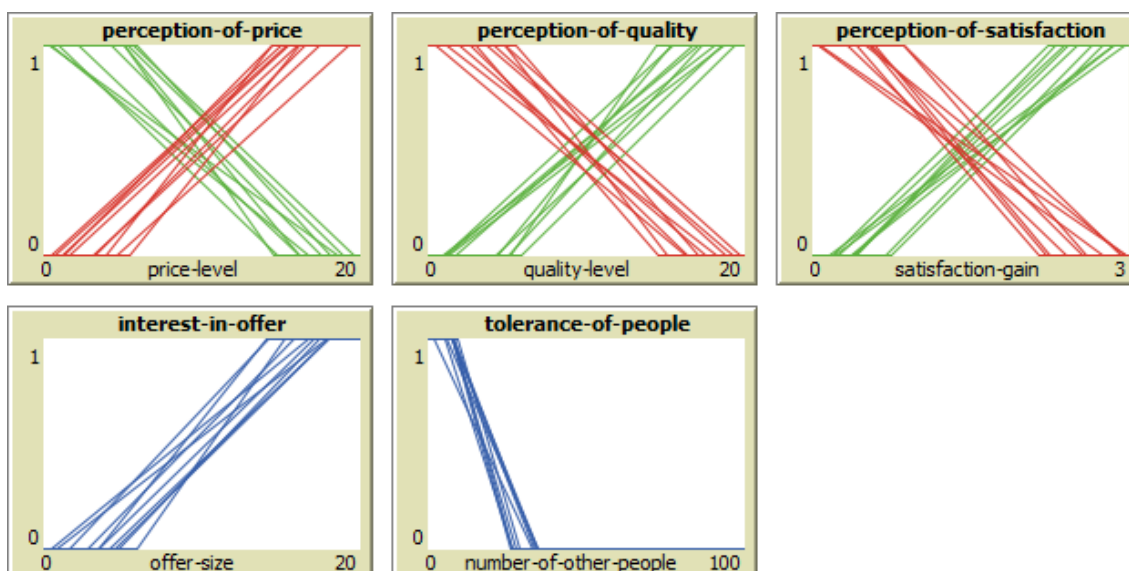


Obr. 28: Posuvník modelu – nastavení fuzzy variability

Zdroj: vlastní zpracování

Model umožňuje nastavit tzv. fuzzy variabilitu (fuzzy-variability), která pro tyto prvky vytváří do určité míry rozptyl minimálních a maximálních hodnot, a tím také sklon funkcí příslušnosti fuzzy množin. Tato možnost je v modelu implementována za účelem vytvoření variability a náhodnosti, která v reálném světě působí. Taktéž jsou takto stanoveny mírně odlišné preference pro jednotlivé nakupující. Každý agent může mít jinou představu o tom, co je drahé či kvalitní. Proto je většina vlastností agentů nazývána jako *vnímání* určitého parametru. Posuvník na obr. 28 nastavuje, do jaké míry mohou být ovlivněné prvky náhodně rozmístěny.

Grafy na obr. 29 zobrazují fuzzy množiny pro deset agentů. Není možné poznat, které fuzzy množiny patří konkrétnímu agentovi, avšak je zjevné, že každý agent má své preference lehce odlišné.

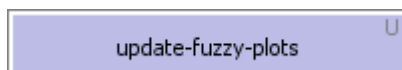


Obr. 29: Grafy modelu – vliv fuzzy variability

Zdroj: vlastní zpracování

Fuzzy variabilita má vliv na vnímání ceny, vnímání kvality, vnímání spokojenosti, zájem o nabídku a toleranci ostatních lidí. Hodnota 3 na posuvníku znamená, že jmenované proměnné mají minimální a maximální hodnoty fuzzy množin nejprve posunuty od krajů o tuto hodnotu, a poté je pro každou tuto hodnotu zvlášť náhodně vygenerováno číslo v intervalu $\langle -3; 3 \rangle$, které je k hodnotě přičteno. Pro vnímání spokojenosti je hodnota fuzzy variability úměrně upravena.

Grafy vykreslují stav fuzzy množin pro agenty vygenerované při načtení simulace. V průběhu simulace, kdy agenti přicházejí a odcházejí, se grafy nemění. Pokud uživatel vyžaduje obnovení grafů pro agenty, kteří se aktuálně nachází v nákupním prostoru, tak k tomuto účelu slouží tlačítko pro aktualizaci fuzzy grafů (update-fuzzy-plots).



Obr. 30: Tlačítko modelu – aktualizace fuzzy grafů

Zdroj: vlastní zpracování

5.2.3 Typy chování agentů

Společné vlastnosti agentů byly předmětem předchozí kapitoly a tato část je zaměřena na různé vzorce chování, které agenti vykazují. Agentům je během generování přiřazen jeden z typů chování. Ukazatele, které evidují počet agentů a statistiky týkající se spokojenosti (viz obr. 17, obr. 20 a obr. 22) jsou kromě uvedené verze, která sleduje celou populaci, také vytvořeny zvlášť pro každý typ chování. Díky těmto ukazatelům je možné sledovat, jak jsou různé typy chování úspěšné.

Celkem se jedná o čtyři odlišné typy chování, které při vybírání obchodu berou v úvahu různé aspekty. Každé chování je možné klasifikovat s určitým stupněm komplexnosti, popřípadě inteligence. Následující seznam uvádí typy chování postupně od toho nejprostšího po to nejvíce sofistikované:

- vybírání obchodů náhodně (random-behavior),
- vybírání nejbližšího obchodu (nearest-behavior),
- výběr obchodu dle doporučení ambientní inteligence (AmI-behavior),
- výběr obchodu dle principů teorie her (GT-behavior).

Vybírání obchodů náhodně

Agenti vybírající obchody náhodně jsou na plátně vykresleni v modré barvě. Při výběru obchodu neberou v úvahu cenu, kvalitu, velikost nabídky ani vzdálenost. Jediné co při výběru respektují, je jejich potřeba a související kategorie obchodu. Pokud je to možné, vždy si vyberou obchod s odpovídající kategorií, případně ten, jehož kategorie se liší pouze o jednu hodnotu. Obchod s protichůdnou kategorií navštíví pouze v nejkrajnějším případě. Ačkoliv při tomto typu chování agenti respektují své potřeby, tak neberou v potaz nic jiného, což může mít negativní dopad na jejich spokojenost. Hlavní nevýhodou tohoto chování je vzdálenost, kterou jsou agenti ochotni ujít při každém výběru obchodu. Jen kvůli své potřebě jsou motivováni pokaždé přecházet celý nákupní prostor, čímž ztrácí čas a zároveň svou spokojenost.

Vybírání nejbližšího obchodu

Agenti vybírající obchod podle nejkratší vzdálenosti jsou zobrazeni ve fialové barvě. Stejně jako v předchozím případě, tento typ chování nebere v úvahu téměř žádné aspekty. Rozhodujícím činitelem je vzdálenost mezi nakupujícím a dalším obchodem, která musí být co nejkratší. Ačkoliv chování těchto agentů není oproti předcházejícím o mnoho sofistikovanější, tak ve většině případů bývá efektivnější. Jedná se o strategii „co nejvíce a co nejrychleji“, takže i přesto, že agenti nakupují v jakémkoliv obchodě s libovolnými podmínkami, nerespektují svou aktuální potřebu, tak získávají výhodu tím, že téměř neztrácí čas přecházením mezi obchody.

Výběr obchodu dle doporučení ambientní inteligence

Agenti vybírající obchod na základě doporučení ambientní inteligence jsou červeně zbarvení. Toto chování je možné považovat již za inteligentní, jelikož bere v úvahu většinu aspektů. Podstatné je, že rozhodování není postaveno na jedné vlastnosti, ale ambientní inteligence bere v úvahu potřebu a preference nakupujícího, zároveň počítá i se vzdáleností obchodu a časem, který nakupující v obchodě stráví dle jeho zájmu o nabídku. Ambientní inteligence vypočítá pravděpodobnou spokojenost

pro každý potenciální obchod a agentovi doporučí ten, který je pro současnou situaci a podmínky nejvýhodnější.

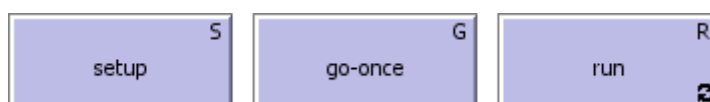
Výběr obchodu dle principů teorie her

Agenti vybírající obchod dle principů teorie her jsou vykresleni v zelené barvě. Toto chování je možné považovat za nejinteligentnější a obecně nejvhodnější. Díky aspektům, které tito agenti berou v úvahu, nenavyšují pouze svou spokojenost, ale zároveň respektují ostatní nakupující, čímž napomáhají i jejich spokojenosti. Více agentů v jednom obchodě se vzájemně negativně ovlivňuje a při jejich rostoucím počtu se postupně snižuje spokojenost všech přítomných. Cíl každého z agentů je tedy v rozporu a prostředí lze považovat do jisté míry za konkurenční. Agenti využívající principy teorie her však chápou vliv konkurenčního prostředí a snaží se vyhýbat konfliktům, které by měly na všechny zúčastněné negativní dopad. Toto chování je prakticky rozšířením výběru obchodu na základě doporučení ambientní inteligence. Figuruje zde stejné výpočty a doporučení jako v předchozím případě, avšak navíc se zde uvažuje s počtem nakupujících v moment výběru obchodu, se kterým souvisí tolerance ostatních lidí. Pokud cena, kvalita, nabídka, vzdálenost i kategorie jsou vyhovující, avšak v obchodě se nachází příliš mnoho lidí, tak je pravděpodobné, že si agent vybere jiný obchod, ve kterém nebude v konfliktu s ostatními, a tudíž nebude snižovat svou ani jejich spokojenost. Ačkoliv má toto chování téměř samé výhody, tak není bezchybné. Podstatné je, že počet ostatních nakupujících je zjišťován v moment výběru obchodu, tedy dříve, než se k němu agent vydá. Během této chvíle mohou někteří nakupující odejít a zároveň mohou další přijít a situace se může lišit od té, než se kterou se původně počítalo. Do obchodu mohou přijít noví nakupující i během samotného pobytu v něm, a to především ti, kteří počet dalších nakupujících nerespektují. V takových situacích může být snaha o vyhnutí se konfliktu zmařena.

5.2.4 Načtení a spuštění simulace

Model uživateli neumožňuje žádné přímé zasahování do průběhu simulace. Vše je založeno na nastavení posuvníků a obdobných prvků na požadované hodnoty před načtením a spuštěním simulace.

Pro načtení a spuštění simulace slouží tři tlačítka. Prvním je načtení (setup), které znovu vykreslí celé plátno, náhodně rozmístí obchody a přiřadí jim hodnoty. Dále jsou ve dveřích vygenerováni agenti opět s náhodnými hodnotami. Pro agenty jsou vytvořeny fuzzy množiny s nastaveným stupněm variability, na jejichž základě jsou vykresleny grafy. V tomto stavu je simulace připravena na spuštění.



Obr. 31: Tlačítka modelu – načtení simulace, provedení jednoho kroku a spuštění simulace
Zdroj: vlastní zpracování

Spuštění simulace je založeno na opakování série algoritmů. Jedno opakování celé série odpovídá časovému okamžiku (tick). Během jednoho časového okamžiku se mohou odehrát různé události, které jsou podmíněné určitým stavem. Tlačítko pro provedení jednoho kroku (go-once) vykoná jediný průběh této série algoritmů. Tlačítko pro spuštění simulace (run) opakuje sérii algoritmů až do té chvíle, než všichni nakupující opustí prostor, čímž je simulace ukončena.

Provedení jednoho kroku může být užitečné, pokud chce uživatel mapovat určité chování simulace. Pro opakované provádění simulace za účelem pozorování či měření hodnot si uživatel vystačí s tlačítky pro načtení a spuštění simulace.

5.2.5 Nedokonalosti modelu

Při tvorbě modelu byla snaha o vyladění co největšího počtu chyb a nepříjemností. I přes tuto snahu se však může uživatel během používání modelu setkat s různými nedokonalostmi. Některé nedokonalosti jsou způsobené obtížnějším ošetřováním, či plynou z hůře vyladěného uživatelského rozhraní samotného nástroje NetLogo. Posuvníky, které se vzájemně ovlivňují (např. initial-number-of-people a overall-number-of-people) mohou působit problém, když je změněna hodnota jednoho posuvníku, která má přímý vliv na druhý posuvník. Při této změně by se měla automaticky upravit hodnota druhého posuvníku. Někdy se ovšem tato úprava automaticky neprovede a je potřeba zásah uživatele, který musí hodnotu upravit ručně.

Nedokonalost může nastat v případě, pokud posuvníky *initial-number-of-people*, *overall-number-of-people* a *people-spawn-intensity* jsou nastaveny tak, že podle vzorce:

overall number of people

$$= \text{initial number of people} + n \times \text{people spawn intensity}$$

hodnota proměnné n nespadá do množiny přirozených čísel. V tomto případě nastane situace, že bude ve výsledku vygenerováno více agentů, nežli je nastaveno na posuvníku. S velkou pravděpodobností bude simulace ukončena, aniž by někteří agenti opustili nákupní prostor.

Nástroj NetLogo disponuje nepříliš uživatelsky příjemným rozhraním. Uživatel se může potýkat např. s problémy při nastavování rychlosti průběhu modelu. Výchozí nastavení může být příliš rychlé na to, aby uživatel zvládal pozorovat samotný průběh simulace. Při snižování rychlosti simulace se však reálná rychlost nesnižuje kontinuálně, ale spíše skokově. Nastavení požadované rychlosti může být obtížné.

5.3 Aplikování simulace na modelové scénáře

Tato kapitola se zabývá aplikováním simulace na modelové scénáře. Modelové scénáře se snaží vycházet z určitých situací, které by potenciálně mohly nastat v reálném světě. Simulace je pro každý scénář mnohonásobně spuštěna pomocí nástroje BehaviorSpace, za účelem objektivního posouzení výsledků. Při každém načtení simulace jsou náhodně generovány vlastnosti jak na straně agentů, tak na straně prostředí, což odpovídá nahodilosti, která je v reálném světě běžná.

5.3.1 Testování modelu simulace

Před provedením samotných modelových scénářů je nejprve vyhodnoceno, jakých výsledků dosahují jednotlivé typy chování agentů. Simulace bude spuštěna nejprve vždy pouze s jedním typem agentů, a posléze se všemi typy společně. Parametry pro každý průběh zůstanou neměnné. Tento experiment je proveden za účelem testování modelu simulace a seznámení se s úspěšností jednotlivých typů chování. Společné parametry pro následující průběhy simulace uvádí obr. 32.



Obr. 32: Nastavení pro experiment vyhodnocující úspěšnost jednotlivých typů chování

Zdroj: vlastní zpracování

Nastavení posuvníků se od výchozích hodnot mírně liší. Je zde nastavený celkově větší počet nakupujících a figurují zde přísnější podmínky v podobě větší ztráty u zvýšení spokojenosti při rozdílu potřeby agenta a kategorie obchodu. Nakupující

mají menší toleranci vůči ostatním nakupujícím. Fuzzy variabilita je nastavena na hodnotu 2, tudíž vlastnosti podléhající fuzzy výpočtům (vnímání ceny, tolerance ostatních lidí, atd.) nejsou u jednotlivých nakupujících natolik odlišné.

Výsledky experimentu jsou uvedeny v tab. 7, která uvádí průměrné hodnoty, naměřené během 1000 opakování simulace. Simulace byla spuštěna pro každý typ chování agenta zvlášť.

Typ chování	Stav spokojenosti			Průměrná spokojenost	
	Spokojený	Nespokojený	Ostatní	Konečná	Celková
Náhodné	0,825	146,067	453,108	23,443	25,958
	0,14 %	24,34 %	75,52 %		
Nejbližší	31,374	57,08	511,546	47,195	39,166
	5,23 %	9,51 %	85,26 %		
AmI	28,656	52,758	518,586	48,235	38,746
	4,78 %	8,79 %	86,43 %		
Teorie her	86,083	0,012	513,905	71,539	60,726
	14,35 %	0 %	85,65 %		

Tab. 7: Úspěšnost jednotlivých typů chování měřených zvlášť

Zdroj: vlastní zpracování

Na základě uvedených dat je možné vyvodit určité závěry. Stav spokojenosti i průměrná spokojenost poukazují na to, že chování založené na vybírání obchodu náhodně je ze všech nejméně úspěšné.

Za podmínek stanovených dle obr. 32 odchází z nákupního prostoru spokojený v průměru necelý jeden nakupující, zatímco nespokojených odchází až čtvrtina. Průměrná spokojenost za celý průběh simulace se pohybuje okolo 26.

Chování vybírající nejbližší obchod a chování vybírající obchod dle doporučení AmI mají podobné výsledky. U počtu spokojených nakupujících a celkové průměrné spokojenosti má vybírání nejbližších obchodů mírně lepší výsledky. Na druhou stranu toto chování vykazuje více nespokojených nakupujících. Tento údaj může

být způsoben tím, že výběr nejbližších obchodů směřuje k rozličným výstupům, které nejsou příliš konzistentní. Na základě náhodně vygenerovaných hodnot se mohou objevit různé výsledky. To potvrzuje směrodatná odchylka, která je oproti doporučení Aml u všech sledovaných hodnot vyšší a v některých případech až dvojnásobná.

Bezkonkurenčně nejlepší výsledky vykazuje výběr obchodů dle principů teorie her. Pokud všichni nakupující využívají tento způsob, vyskytuje se mnoho spokojených a prakticky žádní nespokojení. Celková průměrná spokojenost je oproti ostatním typům chování na vysoké úrovni.

Typ chování	Stav spokojenosti			Průměrná spokojenost	
	Spokojený	Nespokojený	Ostatní	Konečná	Celková
Náhodné	0,08	45,009	104,971	18,941	22,57
	0,05 %	30 %	69,95 %		
Nejbližší	32,446	5,142	112,483	62,06	48,597
	21,62 %	3,43 %	74,95 %		
Aml	30,954	0,456	118,712	70,398	57,591
	20,62 %	0,3 %	79,08 %		
Teorie her	27,083	0	122,664	78,944	68,456
	18,09 %	0 %	81,91 %		

Tab. 8: Úspěšnost jednotlivých typů chování měřených společně

Zdroj: vlastní zpracování

Pohled z jiného úhlu na úspěšnost jednotlivých typů chování poskytuje tab. 8, která uvádí stejné údaje jako tab. 7, avšak v simulaci jsou přítomny všechny typy agentů současně. Simulace tedy již neměří úspěšnost každého chování zvlášť, nýbrž jaké výsledky jednotlivé typy chování vykazují při působení všech vlivů najednou.

Celkový počet nakupujících (600) je v tomto případě rovnoměrně rozložen mezi všechny typy chování. V každé skupině se tedy nachází přibližně 150 nakupujících, což je potřeba brát v úvahu u stavů spokojenosti, kde je uveden počet nakupujících.

Pro objektivní porovnání s výsledky v tab. 7 je doporučeno posuzovat procentuální údaje.

Chování vybírající obchod náhodně vykazuje ve společné simulaci horší výsledky ve všech ohledech. Obecně narostl počet nespokojených a snížila se celková průměrná spokojenost.

Za povšimnutí stojí změna ve výsledcích u chování vybírající nejbližší obchod a chování vybírající obchod dle doporučení AmI. Tyto typy chování při zvláštních simulacích dosahovaly podobných výsledků. Ačkoliv u nejbližšího výběru se stále vyskytuje větší počet spokojených nakupujících, tak u výběru dle doporučení AmI již nejsou téměř žádní nespokojení nakupující a celková průměrná spokojenost je výrazně vyšší. V každém případě oba typy chování dosahují lepších výsledků ve společných simulacích. Způsobeno je to především menším počtem nakupujících, kteří se bez ohledu na ostatní snaží co nejdříve dostat do nejbližších či zajímavých obchodů, což je vlastní právě těmto typům chování. Přibližně čtvrtina vybírá obchody náhodně a ty se tudíž s velkou pravděpodobností rozmístí po celém nákupním prostoru.

Přibližně další čtvrtina se taktéž zaměřuje na zajímavé obchody, avšak nejprve na ty, které mají přijatelnou návštěvnost v daný moment. Jedná se o výběr obchodů dle principů teorie her. Počet spokojených nakupujících a celková průměrná spokojenost dosahují oproti zvláštním simulacím lepší výsledky. Na tuto skutečnost mají opět pozitivní vliv náhodní nakupující, se kterými není ve většině případů potřeba „soupeřit“ o zajímavé obchody.

Samotný model simulace a soubory obsahující naměřená data jsou součástí této práce. Pokud má uživatel možnost, tak je doporučeno zkusit si simulaci spustit a sledovat její průběh a výsledky jak s výchozím nastavením, tak s upravenými parametry.

5.3.2 Modelové scénáře

V kapitole 5.3.1 byl model použit pro testování simulace a pro měření úspěšnosti jednotlivých typů chování nakupujících. Simulace měla ve všech případech standardní průběh a typy chování byly hodnoceny jak každý zvlášť, tak i všechny společně. Tato kapitola pokračuje v pozorování úspěšnosti u jednotlivých typů

chování, avšak nyní jsou jednotlivé simulace upraveny tak, aby napodobovaly potenciální reálné situace. Cílem těchto scénářů je snaha poukázat na výhody používání moderních technologií při každodenních činnostech, jako je např. nakupování.

Náhlý příchod velkého množství nakupujících

Tento scénář uvádí běžný den v nákupním prostoru, do kterého postupně přichází nakupující standardním tempem. Po určité době (přibližně 50 časových okamžiků) do obchodního střediska vstoupí velký počet nakupujících. Tento jev lze vysvětlit např. jako velkou skupinu turistů, nebo jako nakupující hromadně přicházející za určitou akci, atd.

Simulace je pojata tak, že pro běžné nakupující je opět vyhodnocován každý typ chování zvlášť. Na druhou stranu nakupující, kteří po určité době přijdou současně ve velkém množství, disponují všemi možnými typy chování. Spokojenost je však měřena pouze u běžných návštěvníků, nikoliv u hromadně příchozích. Účelem je zjištění toho, jak si jednotlivé typy chování poradí s nečekaným příchodem velkého množství návštěvníků a jaký tato situace bude mít vliv na jejich spokojenost.

Parametry jsou zachované dle obr. 32. Jediný rozdíl je v celkovém počtu lidí, který je nastavený na 800. Simulace probíhá tak, že zpočátku do nákupního prostoru vstoupí 200 nakupujících a každých 5 časových okamžiků přichází dalších 5 lidí. Po uplynutí 50 časových okamžiků do prostoru vstoupí 500 nakupujících s náhodně generovaným typem chování, jejichž údaje o spokojenosti nejsou součástí měření. Jakmile nastane hromadný příchod, tak se očekává ještě 50 běžných návštěvníků, než bude dosažen celkový počet nakupujících. Simulace poté standardně probíhá, dokud všichni neopustí nákupní prostor.

Jelikož se jedná o situaci, ve které je přítomno velké množství lidí současně, tak se předpokládá, že spokojenost nebude na vysoké úrovni. Přesto je však zajímavé pozorovat, do jaké míry si jsou jednotlivé typy chování schopny poradit s touto „nepříjemností“.

Tab. 9 uvádí výsledky simulace pro každý typ chování zvlášť. Údaje jsou měřené pro 300 regulérních návštěvníků. Jak bylo předpokládáno, obecně se vyskytuje velké množství nespokojených návštěvníků a spokojených odchází velice málo.

Typ chování	Stav spokojenosti			Průměrná spokojenost	
	Spokojený	Nespokojený	Ostatní	Konečná	Celková
Náhodné	0,003	179,95	120,047	7,35	17,578
	0 %	59,98 %	40,02 %		
Nejbližší	0,529	64,849	234,622	16,591	23,812
	0,18 %	21,62 %	78,2 %		
AmI	0,477	105,151	194,372	14,059	20,682
	0,16 %	35,05 %	64,79 %		
Teorie her	1,216	2,068	296,716	39,824	40,413
	0,41 %	0,69 %	98,9 %		

Tab. 9: Výsledky scénáře náhlý příchod velkého množství nakupujících

Zdroj: vlastní zpracování

Náhodný výběr vykazuje opět nejhorší výsledky. Nespokojených odchází až 60 % lidí. Neefektivní typ chování nemá příliš vysoké šance na udržení obvyklé úrovně spokojenosti v případě náhlého příchodu velkého množství nakupujících.

Ze dvou obvykle porovnávaných typů chování, tzn. výběr nejbližšího obchodu a výběr dle doporučení AmI, má v tomto případě ve všech ohledech lepší výsledky první jmenovaný. Jedna z možností, proč si u tohoto scénáře vede lépe vybírání nejbližšího obchodu, je skutečnost, že než nastane náhlý příchod velkého množství nakupujících, tak regulérní nakupující již stihnou projít několik krajních obchodů, které jsou s velkou pravděpodobností hlavním cílem většiny hromadně příchozích. Na základě doporučení AmI mohou nakupující vybírat obchody v různém pořadí na různých místech. Pravděpodobnost, že se po 50 časových okamžicích střetnou s hromadně příchozími, může být větší.

Snaha vyhnout se vysoce zalidněným obchodům, a tím nepřímo řešit konflikty s ostatními nakupujícími, opět poskytla nejlepší výsledky poslední skupině agentů. Na základě těchto údajů je možné usoudit, že výběr obchodu dle doporučení AmI je

velmi efektivní, avšak kvůli chybějícímu vyhodnocování ostatních „hráčů“ mívá často horší výsledky, nežli výběr nejbližších obchodů.

Důležitou roli v tomto ohledu hraje parametr nastavující toleranci ostatních lidí. Při nastavení vyšší tolerance mohou dosahovat lepších výsledků taková chování, která při vyhodnocování nevhodnějšího obchodu neberou v úvahu lidský faktor. Dalším důležitým parametrem je nevýhoda rozdílu (difference-handicap), který určuje procentuální snížení spokojenosti při navštívení obchodu, jehož kategorie se liší od aktuální potřeby nakupujícího. Při vyšších hodnotách tohoto parametru budou v nevýhodě takové typy chování, které aktuální potřebu nerespektují. Toto se týká vybírání nejbližšího obchodu.

Scénář bude pro každý typ chování zvlášť vyhodnocen ještě jednou, ale tentokrát s jinými parametry, které pro určité typy chování stanovují odlišné podmínky. Nové parametry jsou uvedeny na obr. 33.



Obr. 33: Alternativní parametry scénáře náhlý příchod velkého množství nakupujících

Zdroj: vlastní zpracování

První změna v nastavení parametrů se týká menšího počtu obchodů. Při méně obchodech mají nakupující méně na výběr a je pravděpodobné, že se budou muset potýkat s více nakupujícími v jednom obchodě současně. Zvýšený časový limit umožní nakupujícím projít více obchodů, což při jejich počtu může znamenat i více než polovinu. Nastavení nyní ve více směrech nasvědčuje většímu zaplnění všech

obchodů, avšak na druhou stranu je výrazně zvýšena tolerance ostatních lidí, jejíž minimální hodnota je 5 a maximální hodnota je 50. Fuzzy variabilita je zvýšena na hodnotu 3, pro větší rozdílnost preferencí u nakupujících. Poslední změna se týká nevýhody rozdílu kategorie obchodu a potřeby agenta, která je nastavena na snížení spokojenosti o 40 %, jež ovlivní především nakupující vybírající nejbližší obchod. Výsledky alternativního nastavení scénáře jsou zaznamenány v tab. 10.

Typ chování	Stav spokojenosti			Průměrná spokojenost	
	Spokojený	Nespokojený	Ostatní	Konečná	Celková
Náhodné	0,085	187,021	112,894	8,787	19,451
	0,03 %	62,34 %	37,63 %		
Nejbližší	2,195	188,058	109,747	15,452	21,423
	0,73 %	62,69 %	36,58 %		
AmI	1,849	51,189	246,962	28,393	31,097
	0,62 %	17,06 %	82,32 %		
Teorie her	4,11	1,659	294,231	52,189	50,104
	1,37 %	0,55 %	98,08 %		

Tab. 10: Výsledky alternativního nastavení scénáře náhlý příchod velkého množství nakupujících

Zdroj: vlastní zpracování

I přes menší počet obchodů se ve většině případů výsledky spokojenosti zvýšily. Významný podíl na tom má zvýšení tolerance ostatních nakupujících. Nakupující vybírající nejbližší obchod mají výrazně nižší celkovou průměrnou spokojenost než nakupující využívající AmI. Větší snížení spokojenosti při rozdílu mezi potřebou nakupujícího a kategorií obchodu je hlavní příčinou.

Za povšimnutí stojí, že úspěšnost, popřípadě efektivita jednotlivých typů chování je výrazně ovlivněna různým nastavením parametrů. Na některé typy chování působí nastavení určitého parametru výrazněji než na ostatní. Ze širšího hlediska lze za úspěšné chování považovat takové, které si lépe poradí s různými podmínkami

a vykazuje konzistentní výsledky. Ačkoliv výběr nejbližšího obchodu měl během předchozích simulací častokrát lepší výsledky nežli výběr dle doporučení AmI, tak změna jednoho parametru výsledky obrátila.

V reálném světě je obtížné určit, jaké a jak přesně nastavené „parametry“ se vyskytují v určitých situacích, a jakým způsobem ovlivňují „chování“ nakupujících a jejich výslednou spokojenost. Nicméně je možné pozorovat např. u výběru obchodu dle principů teorie her, že vykazuje poměrně konzistentní výsledky ve všech situacích, které byly doposud pozorovány.

Postupné zavádění technologií

Tento scénář postupně provádí tři simulace, během kterých jsou nakupujícími stále častěji a ve větší míře využívány podpůrné technologie. Při první simulaci se nakupující využívající technologie vyskytují velmi zřídka (přibližně 10 %), zatímco zbytek lidí patří do skupiny, která technologie při nakupování nevyužívá. Během druhé simulace jsou tyto dvě skupiny nakupujících v rovnováze (kolem 50 % u každé). U poslední simulace jsou naopak nakupující využívající technologie ve výrazné převaze (přibližně 90 %).

V této simulaci se současně nachází všechny typy chování. Výjimkou je vybírání obchodu dle doporučení AmI, které v tomto scénáři vůbec nefiguruje. Skupinu využívající technologie tedy reprezentují pouze nakupující vybírající obchod dle principů teorie her. Důvodem je to, že snahou tohoto scénáře je reprezentovat technologie nejlepším možným způsobem a zjistit, zda má rozšiřování technologií při plném potenciálu vliv na zvyšování celkové spokojenosti. Výběr obchodu dle doporučení AmI mívá horší výsledky kvůli nerespektování ostatních nakupujících, jež může mít negativní vliv na spokojenost na obou stranách. Do skupiny lidí, kteří technologie nevyužívají, patří ti, kteří vybírají obchody náhodně a podle nejkratší vzdálenosti.

Simulace bude jako doposud sledovat stav spokojenosti a průměrnou spokojenost všech typů chování. Zároveň bude měřena společná spokojenost za všechny nakupující dohromady. Tento údaj slouží k posouzení toho, zda má postupné zavádění technologií významný vliv na všechny nakupující, tedy i na ty, kteří je nevyužívají přímo.

Nastavení pro všechny tři průběhy uvádí obr. 34. Za účelem vytvoření ztížených podmínek je počet obchodů omezen na 20. Zároveň mají nakupující v průměru více času, tudíž je pravděpodobné, že navštíví více obchodů.



Obr. 34: Nastavení pro scénář *postupné zavádění technologií*

Zdroj: vlastní zpracování

Skupina	Stav spokojenosti			Průměrná spokojenost	
	Spokojený	Nespokojený	Ostatní	Konečná	Celková
Nakupující bez technologií	8,154	197,225	335,052	27,57	29,698
	1,51 %	36,49 %	62 %		
Nakupující s technologiemi	10,83	0	48,739	77,146	67,609
	18,18 %	0 %	81,82 %		
Všichni nakupující	18,984	197,225	383,791	32,481	33,452
	3,16 %	32,87 %	63,97 %		

Tab. 11: Výsledky prvního průběhu scénáře *postupné zavádění technologií*

Zdroj: vlastní zpracování

Výsledky zobrazují tři skupiny nakupujících. První skupina jsou nakupující, kteří technologie nevyužívají (náhodný výběr a výběr nejbližšího obchodu). Ve druhé

skupině jsou nakupující, kteří využívají technologie v nejvyšší možné míře (výběr obchodu dle principů teorie her). Třetí skupina uvádí údaje pro všechny nakupující společně.

Během prvního průběhu scénáře pro postupné zavádění technologií jsou v převaze nakupující bez technologií, kterých je přibližně 90 %. Pouhých 10 % nakupujících technologie využívá. Tab. 11 uvádí výsledky při tomto rozložení skupin. Několik nakupujících využívajících technologie napomáhá zvýšení celkové spokojenosti všech nakupujících. K porovnání slouží tab. 12 zobrazující výsledky druhého průběhu, ve kterém se členové obou skupin nachází ve vyrovnaném počtu.

Stav nakupujících, kteří technologie nepoužívají, se z procentuálního hlediska příliš nezměnil. Nakupující s technologiemi si při větším počtu průměrné výsledky mírně zhoršili, což je způsobeno větší konkurencí, kterou si sami vzájemně způsobují. Zalidněným obchodům se snaží vyhýbat, ale teprve až při takovém počtu ostatních lidí, že by to pro ně samotné bylo nevýhodné. Pravděpodobnost většího počtu ostatních lidí v obchodě je tudíž větší, než v případě velkého množství nakupujících bez technologií, kteří nemají možnost zjistit, který obchod je „výhodné“ navštívit. Při menším počtu si nakupující využívající technologie tuto konkurenci nevytvářejí v takové míře, a proto je jejich celková průměrná spokojenost vyšší.

Skupina	Stav spokojenosti			Průměrná spokojenost	
	Spokojený	Nespokojený	Ostatní	Konečná	Celková
Nakupující bez technologií	4,06	111,116	184,671	26,839	29,081
	1,35 %	37,06 %	61,59 %		
Nakupující s technologiemi	12,395	0,06	287,698	62,24	55,518
	4,13 %	0,02 %	95,85 %		
Všichni nakupující	16,455	111,176	472,369	44,537	42,291
	2,74 %	18,53 %	78,73 %		

Tab. 12: Výsledky druhého průběhu scénáře postupné zavádění technologií

Zdroj: vlastní zpracování

Nicméně, i přes určité zhoršení u obou skupin se výrazně zlepšily výsledky pro všechny nakupující společně. To je způsobeno tím, že nakupující s technologiemi se již ve větší míře podílejí na společném zlepšování spokojenosti, nežli tomu bylo v minulém případě. Ačkoliv výsledky jejich samotné skupiny byly během první simulace lepší, tak se při svém malém počtu podíleli na společných výsledcích pouze malou vahou.

Přes zdánlivé zhoršení se tedy celková spokojenost navýšila, což je hlavním účelem zavádění technologií.

Výsledky poslední simulace, během které jsou již technologie v převaze, uvádí tab. 13. Zde působí pokračující trend, který začal již během prvního pozorování. Celková průměrná spokojenost pro všechny nakupující společně opět vzrostla, včetně výrazného snížení počtu nespokojených nakupujících. Při větším počtu lidí využívajících technologie se opět snižuje jejich průměrná spokojenost, avšak s velkou vahou pozitivně ovlivňují spokojenost společnou. Celková průměrná spokojenost se zvýšila i u skupiny nevyžívajících technologie, což je pravděpodobně způsobeno tolerantnějším přístupem druhé skupiny.

Skupina	Stav spokojenosti			Průměrná spokojenost	
	Spokojený	Nespokojený	Ostatní	Konečná	Celková
Nakupující bez technologií	0,456	20,603	39,21	28,695	31,543
	0,76 %	34,18 %	65,06 %		
Nakupující s technologiemi	9,702	0,456	529,573	51,938	48,094
	1,8 %	0,08 %	98,12 %		
Všichni nakupující	10,158	21,059	568,783	49,598	46,428
	1,69 %	3,51 %	94,8 %		

Tab. 13: Výsledky třetího průběhu scénáře postupné zavádění technologií

Zdroj: vlastní zpracování

Snaha scénáře byla dokázat, že zavádění technologií do nákupních prostorů slouží k celkové vyšší spokojenosti, což se alespoň na základě simulace zdá být pravdivé.

První spokojený nakupující

Třetí a poslední modelový scénář této práce uvádí standardní situaci v nákupním prostoru, ve kterém se nachází současně všechny typy chování. V tomto průběhu simulace není měřen stav spokojenosti nakupujících, ani průměrná spokojenost. Sleduje se, s jakým typem chování opustí nakupující jako první nákupní prostor, z důvodu maximální spokojenosti.

Vyhodnocování probíhá tak, že jakmile opustí prostor nakupující, který je plně spokojený, tak je zaznamenáno, jaký typ chování tento nakupující má a simulace se vzápětí ukončí. Oproti předchozím případům je provedeno 10000 opakování jedné simulace, avšak výsledků může být méně. Důvodem je možnost, že během simulace žádný nakupující neodejde spokojený, a tudíž nemůže být úspěch přiřazen k žádnému typu chování.

Cílem tohoto pozorování je zjištění, který typ chování má nejvyšší šanci na úspěch, pokud nakupující chce dosáhnout maximální spokojenosti v co nejkratším čase.

Simulace jsou vyhodnoceny třikrát, pokaždé s odlišnými parametry, které upravují předpoklady pro jednotlivé typy chování. První simulace má stejné nastavení, jako je uvedeno na obr. 32.

Typ chování	Úspěšnost	Počet časových okamžiků do opuštění prostoru		
		Minimální	Průměrný	Maximální
Nejbližší	2301	95	189,575	360
	23,01 %			
AmI	1050	93	183,723	381
	10,5 %			
Teorie her	6649	89	164,873	345
	66,49 %			

Tab. 14: Výsledky prvního průběhu scénáře *první spokojený nakupující*

Zdroj: vlastní zpracování

Tab. 14 uvádí výsledky první simulace. Nejvíce úspěšný je výběr obchodů dle principů teorie her, druhý se umístil výběr nejbližšího obchodu a na třetím místě je výběr obchodu na základě doporučení Aml. Nakupující vybírající obchody náhodně nedokázali odejít spokojení jako první ani jednou.

Za povšimnutí stojí, že nakupující vybírající nejbližší obchod se umístili jako druzí, ačkoliv ze všech typů chování potřebují průměrně nejvíce času. V případě úspěchu vyžadují nakupující vybírající obchod dle doporučení Aml času o trochu méně. Dá se předpokládat, že výsledky nejbližšího výběru jsou za těchto podmínek více konzistentní a méně závislé na vhodném vygenerování prostoru a parametrů. Nakupující využívající Aml dokážou dosáhnout plné spokojenosti v kratším čase, avšak tato situace nastává v pouhých přibližně 10,5 % případech.

Druhý průběh simulace vytváří pro měření výrazně odlišné podmínky. Nákupní prostor navštíví současně pouze čtyři nakupující, kde každý z nich využívá právě jeden typ chování. Po celou dobu simulace žádní další nakupující nepřichází. Další parametry zůstávají stejné jako během minulého průběhu.

Typ chování	Úspěšnost	Počet časových okamžiků do opuštění prostoru		
		Minimální	Průměrný	Maximální
Náhodné	6 ----- 0,06 %	96	111	128
Nejbližší	2575 ----- 26,12 %	55	115,619	211
Aml	3604 ----- 36,56 %	43	113,607	208
Teorie her	3673 ----- 37,26 %	45	113,233	204

Tab. 15: Výsledky druhého průběhu scénáře první spokojený nakupující
Zdroj: vlastní zpracování

Z pohledu reálného světa je takováto situace velmi nepravděpodobná, avšak může být zajímavé pozorovat výsledky chování při těchto podmínkách. Výsledky uvádí tab. 15. U 142 případů nastala situace, že ani jeden nakupující neodešel jako spokojený. Z tohoto důvodu součet úspěšností jednotlivých typů chování není 10000, ale pouze 9858. Na základě této hodnoty je počítána procentuální úspěšnost.

Simulace, u které se od každého typu chování vyskytoval právě jeden nakupující, poskytla v některých ohledech odlišné výsledky. V šesti případech se jako úspěšní prokázali být nakupující vybírající obchod náhodně, avšak tento výsledek je téměř zanedbatelný.

Nejúspěšnější jsou opět nakupující vybírající obchod dle principů teorie her, avšak tentokrát pouze s nepatrným rozdílem oproti místu druhému, kde se umístili nakupující vybírající obchod dle doporučení Aml. Tyto dva typy chování fungují na velmi podobném principu, přičemž výběr obchodu dle principů teorie her zvažuje navíc ještě přítomnost ostatních nakupujících. Tato výhoda však nemá při celkově malém počtu nakupujících téměř žádný vliv, a tudíž jsou výsledky těchto dvou typů chování velmi vyrovnané.

Výběr dle doporučení Aml svým lepším výsledkem zároveň předčil výběr obchodu s nejkratší vzdáleností, který byl během minulé simulace úspěšnější (viz tab. 14). Na základě všech dosavadních pozorování se potvrzuje předpoklad, že výběr dle doporučení Aml má horší výsledky při nižší toleranci ostatních lidí. Za takových podmínek bývá výběr nejbližšího obchodu ve většině případů výhodnější.

Poslední průběh tohoto scénáře se pokouší tento trend dále pozorovat, a to pomocí změněného nastavení některých parametrů. Jde o kombinaci dvou již používaných nastavení (viz obr. 33 a obr. 34). Konkrétní parametry uvádí obr. 35.

Oproti základnímu nastavení přichází nakupující ve větší intenzitě a mají mírně zvýšený průměrný časový limit. Počet obchodů je snížen na 20, fuzzy variabilita je zvýšena na hodnotu 3 a nevýhoda z rozdílu kategorie obchodu a potřeby agenta je nastavena přísněji na 40% snížení. Tolerance ostatních lidí je naopak zvýšena na hodnoty 5 a 50.



Obr. 35: Alternativní parametry scénáře první spokojený nakupující

Zdroj: vlastní zpracování

Výsledky třetího průběhu zobrazuje tab. 16. Ve 29 případech z 10000 neodešel ani jeden spokojený nakupující. Tato skutečnost mírně upravuje procentuální údaje.

Typ chování	Úspěšnost	Počet časových okamžiků do opuštění prostoru		
		Minimální	Průměrný	Maximální
Náhodné	20 ----- 0,2 %	72	124,9	204
Nejbližší	706 ----- 7,08 %	97	195,399	409
AmI	2263 ----- 22,7 %	72	157,586	406
Teorie her	6982 ----- 70,02 %	75	154,09	399

Tab. 16: Výsledky třetího průběhu scénáře první spokojený nakupující

Zdroj: vlastní zpracování

Při tomto nastavení je výběr obchodu dle doporučení AmI znatelně úspěšnější, nežli výběr nejbližšího obchodu, a to i přes velký počet nakupujících současně. Jak bylo předpokládáno, tak na tom má určitý podíl zvýšená tolerance ostatních lidí, jež je pro úspěšnost výběru dle doporučení AmI rozhodující. Důležitou roli také představuje přísnější nevýhoda z rozdílu.

Výběr obchodu dle principů teorie her má v tomto průběhu naměřené nejlepší výsledky. Ostatní výsledky nejsou nikterak překvapivé.

5.3.3 Shrnutí výsledků

Veškeré simulace byly prováděny na osobním počítači, jehož základní technické parametry jsou:

- procesor – Intel Core i7-4790;
- grafická karta – GeForce GTX 970;
- operační paměť s kapacitou 8GB a frekvencí 1600 MHz;
- pevný disk SSD s rychlostí zápisu až 520 MB/s.

Čas potřebný k provedení experimentů se lišil podle scénářů, nastavení parametrů a převažujícího typu chování nakupujících. Zatímco nakupující vybírající náhodný či nejbližší obchod příliš výpočetního výkonu nevyžadují, tak nakupující vybírající obchod dle doporučení AmI nebo principů teorie her disponují již náročnějšími výpočty. Experimenty provádějící 1000 opakování simulace probíhaly podle typu chování 10 až 60 minut. Nejvíce času (přibližně 90 minut) vyžadoval experiment u scénáře *první spokojený nakupující*, který prováděl 10000 opakování simulace.

Na základě všech provedených simulací je možné výsledky shrnout do několika bodů, z nichž některé již byly zmíněny v průběhu hodnocení jednotlivých výstupů. Typ chování vybírající obchod náhodně vykazuje ve všech ohledech slabé výsledky. Maximálně spokojeného stavu nakupující dosahují výjimečně a průměrná spokojenost bývá velmi nízká. Největší nevýhodou tohoto typu chování je množství času, které je ve velké míře vynaložené na přecházení mezi jednotlivými obchody. Z důvodu omezeného času nakupující nestíhají navštívit mnoho obchodů a během dlouhého přecházení zbytečně ztrácí svou spokojenost. Jako jediný údaj zvažují svou současnou potřebu, podle které vybírají vhodný obchod. Ostatní aspekty jsou

však opomíjeny. Chování nevykazuje výrazně lepší výsledky ani při různých změnách parametrů.

Typ chování vybírající nejbližší obchod dosahuje ucházejících výsledků, které se však mohou lišit podle nastavených parametrů. Z hlediska průměrné spokojenosti se tento typ chování v mnoha případech umístil na druhém místě. Na druhou stranu se v této skupině vyskytuje spousta nespokojených nakupujících (až 60 %), a to i přes relativně vysokou průměrnou spokojenost. Typické pro tento typ chování je sklon k extrémům. Nejbližší obchod může mít různé parametry a může se v něm nacházet libovolný počet dalších lidí. Nakupující tyto aspekty nezvažují, a tudíž je z jejich pohledu spokojenost získaná během návštěvy obchodu postavena na náhodě. Na základě náhody mohou nakupující spokojenost rychle navyšovat, ale také rychle ztrácet. Změny některých parametrů, především nevýhody z rozdílu potřeby nakupujícího a kategorie obchodu, mají významný vliv na úspěšnost tohoto chování.

Typ chování vybírající obchod dle doporučení Aml vykazuje rozporuplné výsledky. Při výběru obchodu se zvažuje mnoho aspektů, které mají na spokojenost vliv. Výjimku tvoří počet lidí přítomných v obchodě, jež do svého výpočtu nakupující nezahrnují. Z tohoto důvodu má na spokojenost rozhodující vliv míra tolerance ostatních lidí. Při menším množství lidí a při vyšší míře tolerance ostatních mohou nakupující dosahovat téměř takových výsledků, které vykazuje chování vybírající obchod dle principů teorie her. Naopak při velkém počtu lidí a nízké toleranci bývají výsledky častokrát horší než v případě chování vybírající nejbližší obchod. V reálném světě by implementace ambientních technologií, na nichž je toto chování postaveno, mohla představovat výrazné zlepšení celkové úrovně zážitku. Otázkou zůstává, jak podstatný vliv má ve skutečnosti počet ostatních lidí na spokojenost nakupujícího, avšak určitou roli sehrává určitě. Tento důležitý faktor do svých výpočtů zahrnuje poslední typ chování, který je v podstatě rozšířením, popřípadě vylepšením tohoto typu chování.

Výběr obchodu dle principů teorie her byl navrhován a programován tak, aby byl ze všech typů chování nejefektivnější a využíval potenciál příslušných technologií v plné míře. Všechny simulace potvrzují, že tato snaha byla dosažena. Při výběru obchodu jsou zvažovány všechny aspekty, které spokojenost ovlivňují. Díky tomu

tento typ chování dosahuje nejvyšší průměrné spokojenosti, dokáže se přizpůsobit náhlým změnám situace či nevyhovujícím podmínkám a zároveň vytváří vhodnější podmínky pro všechny ostatní nakupující díky snaze o výběr méně zalidněných obchodů. Nespokojení nakupující se u tohoto typu chování vyskytují velmi zřídka, a to i v případě scénáře *náhlý příchod velkého množství nakupujících*. Tento typ chování se rovněž osvědčil jako nejrychlejší v dosažení maximální spokojenosti. Výběr obchodu dle principů teorie her představuje optimální chování pro jakékoliv situace nejen v obchodním středisku, ale rovněž v jakémkoliv prostoru, kde se pohybuje velké množství lidí zároveň. Ačkoliv reálné prostředí je mnohem více komplexní, nežli model ztvárňuje, a implementace technologií bývá velmi nákladná a náročná, tak tato simulace může představovat určitou inspiraci, jakým směrem by mohl vývoj v této oblasti směřovat.

6 Závěry a doporučení

Multiagentový model této práce byl použit pro simulování scénářů, které měly různé nastavení parametrů, vykreslovaly mírně odlišné situace a sledovaly průběh simulací z různých úhlů pohledu. Snahou scénářů bylo zjistit, jak jsou při určitých situacích a za různých podmínek úspěšné jednotlivé typy chování, a zda používání technologií pozitivně ovlivňuje výsledky jak u samotných nakupujících, které tyto technologie využívají, tak zároveň u všech ostatních.

Model je vytvořen s vysokou mírou abstrakce a aspekty, vázající se k modelované problematice reálného světa, jsou buď zjednodušeny, nebo nejsou vůbec zahrnuty. Z tohoto důvodu je potřeba brát simulaci a výsledky jejího průběhu pouze jako jeden z možných náhledů na problematiku, popřípadě jako inspiraci jak a kam by mohl vývoj v této oblasti směřovat.

Shrnutí výsledků, získaných během simulování modelových situací za různých podmínek, zpracovává kapitola 5.3.3. Jsou v ní rozebrány výhody a nevýhody všech typů chování, které byly v této práci použity.

Dalším rozšířením této práce by mohlo být vytvoření dalších typů chování, ať už by se jednalo o kombinaci již existujících vzorců chování, nebo zcela nový způsob vybírání obchodů. Čtyři typy chování jsou považovány pro rozsah této práce za dostačující, avšak vždy je možné model obohatit o další. Ve výpočtech by mimo jiné mohlo figurovat více proměnných, ovlivňující další aspekty, jež s problematikou souvisí.

Potenciál pro další případné rozšíření této práce se nalézá v rozvržení prostředí simulace. Pro veškeré pozorování bylo používáno pouze jedno prostředí uvedené na obr. 13. Jiné rozměry plátna a jinak rozmístěné ohraničení, dveře a obchody by mohly mít taktéž vliv na průběh simulace.

Snahou této práce bylo poukázat na potenciál, který s sebou nese implementace pokročilých technologií do veřejných prostranství, z nichž by mohl mít užitek každý člověk, který se v tomto prostředí nachází. Pro implementaci tohoto řešení do reálného světa je však vyžadována instalace technologií na takové úrovni, která by dokázala rozpoznat jednotlivé nakupující, získat vhodné informace o jejich potřebách a preferencích, a na jejich základě doporučit obchod, který těmto

parametrům odpovídá. Reálné nasazení takové technologie představuje nesmírně náročný a nákladný proces. Samotné vyhodnocování potřeb a preferencí u lidí je ve spektru skutečného světa taktéž obtížným úkolem, který by vyžadoval expertní znalosti z oborů jako je např. marketing a psychologie. Analýzy z těchto oblastí by byly vyžadovány k přesnějšímu určení a zdůvodnění vzorců chování nakupujících. Psychologie by dokázala přesněji podložit výpočet spokojenosti a určit jaké další možné faktory na spokojenost působí.

Práce uvádí model simulace, ve kterém jsou veškeré uvedené překážky překonány. Implementace modelu do skutečného světa však stále představuje velkou výzvu pro několik oborů současně.

7 Seznam použité literatury

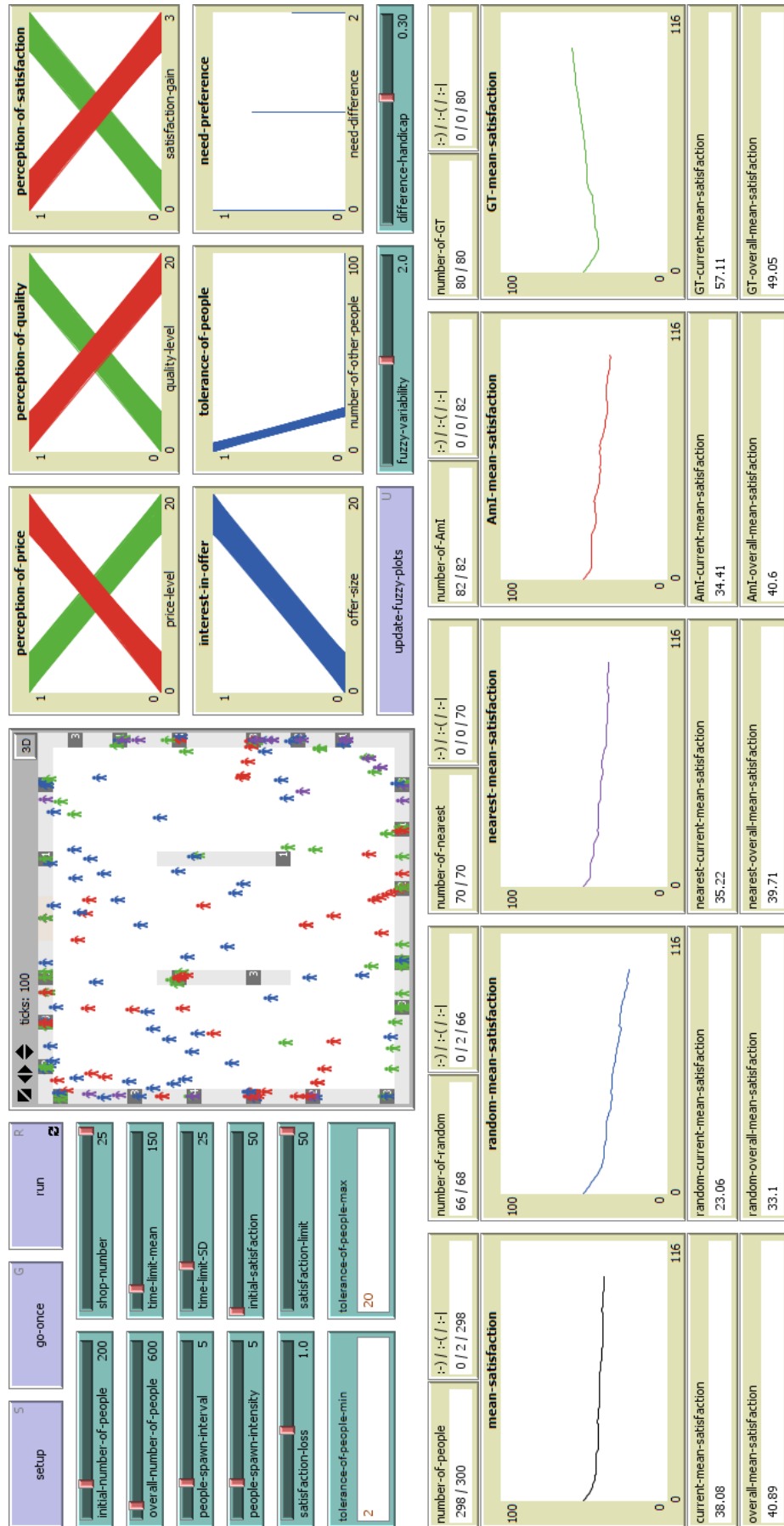
- [1] **TISUE, Seth a WILENSKY, Uri.** NetLogo: A Simple Environment for Modeling Complexity. *Center for Connected Learning and Computer-Based Modeling*. [Online] 2004. [Citace: 8. leden 2017.] Dostupné z: <https://ccl.northwestern.edu/papers/netlogo-iccs2004.pdf.old>.
- [2] NetLogo 6.0.1 User Manual. *NetLogo Home Page*. [Online] [Citace: 13. leden 2017.] Dostupné z: <https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/>.
- [3] Guest Blog: Fuzzy Logic and Computational Modeling | *simulatingcomplexity*. *simulatingcomplexity | From the world of Complex Systems Simulation in Humanities*. [Online] [Citace: 12. leden 2017.] Dostupné z: <https://simulatingcomplexity.wordpress.com/2015/03/09/guest-blog-fuzzy-logic-and-computational-modeling/>.
- [4] **IZQUIERDO, Luis R.** Fuzzy Logic Extension Documentation. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation*. [Online] 2015. [Citace: 12. leden 2017.] Dostupné z: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/18/4/1/fuzzy-logic-extension-documentation.pdf>.
- [5] **HART, Sergiu.** Robert Aumann's Game and Economic Theory. *Scandinavian Journal of Economics*. [Online] 2006. [Citace: 11. únor 2017.] Dostupné z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1467-9442.2006.00448.x>.
- [6] **RUSSELL, Stuart J, NORVIG, Peter a DAVIS, Ernest.** *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. 3. vyd. Upper Saddle River : Prentice Hall, 2010. ISBN 9780136042594.
- [7] **NISHIZAKI, Ichiro a SAKAWA, Masatoshi.** *Fuzzy and Multiobjective Games for Conflict Resolution*. Heidelberg : Physica-Verlag HD, 2001. ISBN 9783790818307.
- [8] Game Theory Dictionary - Game Theory.net. *Game Theory .net - Resources for Learning and Teaching Strategy for Business and Life*. [Online] [Citace: 13. únor 2017.] Dostupné z: <http://gametheory.net/dictionary/>.
- [9] Game theory I: Extensive form | Policonomics. *Policonomics | Economics made*

- simple*. [Online] [Citace: 12. únor 2017.] Dostupné z: <http://policonomics.com/lp-game-theory1-extensive-form/>.
- [10] **WOOLDRIDGE, Michael J.** *An Introduction to Multiagent Systems*. 2. vyd. Chichester : John Wiley, 2009. ISBN 9780470519462.
- [11] **SINGH, Munindar P.** *Multiagent Systems: A Theoretical Framework for Intentions, Know-How, and Communications*. New York : Springer-Verlag, 1994. ISBN 3540580263.
- [12] **WEISS, Gerhard (Editor).** *Multiagent Systems: A Modern Approach to Distributed Artificial Intelligence*. Cambridge, Massachusetts : The MIT Press, 2001. ISBN 9780262731317.
- [13] **CARBO, Javier, SANCHEZ-PI, Nayat a MOLINA, Jose M.** Agent-Based Simulation with NetLogo to Evaluate Ambient Intelligence Scenarios. *Journal of Simulation*. [Online] 2016. [Citace: 9. leden 2017.] Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1057/jos.2016.10>.
- [14] **AUGUSTO, Juan Carlos a MCCULLAGH, Paul.** Ambient Intelligence: Concepts and Applications. *Computer Science and Information Systems*. 2007.
- [15] **COOK, Diane J, AUGUSTO, Juan C a JAKKULA, Vikramaditya R.** Ambient Intelligence: Technologies, Applications, and Opportunities. *Pervasive and Mobile Computing*. [Online] 2009. [Citace: 19. duben 2017.] Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S157411920900025X>.
- [16] **FARIBA, Sadri.** Ambient intelligence: A Survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*. [Online] 2011. [Citace: 20. duben 2017.] Dostupné z: <http://dl.acm.org/citation.cfm?doid=1978802.1978815>.
- [17] **KUMAR, Neeraj, CHILAMKURTI, Naveen a MISRA, Subhas.** Bayesian Coalition Game for the Internet of Things: An Ambient Intelligence-Based Evaluation. *IEEE Communications Magazine*. [Online] 2015. [Citace: 22. duben 2017.] Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/7010515/>.
- [18] **BROOKS, Kevin.** The Context Quintet: Narrative Elements Applied to Context Awareness. *Human Computer Interaction International Proceedings*. Crete : Erlbaum Associates, 2003.

- [19] **ZADEH, Lotfi A.** Fuzzy sets. *Information and Control*. [Online] 1965. [Citace: 9. únor 2017.] Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S001999586590241X>.
- [20] What Is Fuzzy Logic? - MATLAB & Simulink. *MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink* . [Online] 2017. [Citace: 14. únor 2017.] Dostupné z: <http://www.mathworks.com/help/fuzzy/what-is-fuzzy-logic.html>.
- [21] Fuzzy Inference Process - MATLAB & Simulink. *MathWorks - Makers of MATLAB and Simulink* . [Online] 2017. [Citace: 14. únor 2017.] <http://www.mathworks.com/help/fuzzy/fuzzy-inference-process.html>.

8 Přílohy

- 1) Grafické uživatelské rozhraní modelu
- 2) Zadání práce



Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Akademický rok: 2016/2017

Studijní program: Systémové inženýrství a informatika
Forma: Prezenční
Obor/komb.: Informační management (im2-p)

Podklad pro zadání DIPLOMOVÉ práce studenta

PŘEDKLÁDÁ:	ADRESA	OSOBNÍ ČÍSLO
Sviták David	Jana Černého 386, Hradec Králové - Věkoše	I1500744

TÉMA ČESKY:

Implementace principů teorie her v multi agentovém prostředí AmI

TÉMA ANGLICKY:

Implementation of game theory principles in multi agent AmI environment

VEDOUcí PRÁCE:

Ing. Karel Mls, Ph.D. - KIT

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cíl: Vytvořit simulaci multi agentového prostředí AmI využívající principy teorie her a zanalyzovat optimální řešení pro nastalé situace za určitých podmínek.

Osnova:

1. Úvod
2. Cíl práce
3. Metodika zpracování
4. Teoretická východiska
 - 4.1. Teorie her
 - 4.2. Multiagentové systémy
 - 4.3. Ambientní inteligence
5. Výstupy práce
6. Závěry a doporučení
7. Seznam použité literatury

SEZNAM DOPORUČENÉ LITERATURY:

1. NISHIZAKI, Ichiro; SAKAWA, Masatoshi. Fuzzy and multiobjective games for conflict resolution. *Physica*, 2013.
2. COOK, Diane J.; AUGUSTO, Juan C.; JAKKULA, Vikramaditya R. Ambient intelligence: Technologies, applications, and opportunities. *Pervasive and Mobile Computing*, 2009, 5.4: 277-298.
3. SADRI, Fariba. Ambient intelligence: A survey. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 2011, 43.4: 36.
4. KUMAR, Neeraj; CHILAMKURTI, Naveen; MISRA, Subhas C. Bayesian coalition game for the internet of things: an ambient intelligence-based evaluation. *IEEE Communications Magazine*, 2015, 53.1: 48-55.

Podpis studenta:

Sviták

Datum:

13. 10. 2016

Podpis vedoucího práce:

Mls

Datum:

13. 10. 2016