

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**  
**Přírodovědecká fakulta**

# **Bakalářská práce**

**2012**

**Václav Soubusta**

**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích**  
**Přírodovědecká fakulta**



**Modelování nákupního chování**

Bakalářská práce

**Václav Soubusta**

Školitel: Ing. Jiří Jelínek, CSc.

České Budějovice 2012

## **Bibliografické údaje**

Soubusta, V., 2012: Modelování nákupního chování. [Modeling shopping behavior. Bc. Thesis, in Czech.] – 31 p., Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

## **Abstract/Annotation**

Soubusta, V. Shopping behaviour modeling. České Budějovice, 2012.

This work deals with modeling agents in multiagent systems, where it will create a java application in program Greenfoot. This application will serve as a simulation of different shopping behavior of customers when choosing a suitable trade for purchase for them. The behavior will be visualized in the program Greenfoot and properly documented on the javadoc level .

## **Abstrakt/Anotace**

Soubusta, V. Modelování nákupního chování. České Budějovice, 2012.

Práce se zabývá problematikou modelování pomocí agentů v multiagentních systémech, kde bude vytvořena java aplikace v programu Greenfoot. Tato aplikace bude sloužit jako simulace nákupního chování různých zákazníků při výběru pro ně vhodného obchodu pro nákup. Celá aplikace bude vizualizovaná v programu Greenfoot a řádně zdokumentována na uživatelské úrovni a úrovni javadoc.

## **Keywords:**

Multi-agent system, agent, deliberative agent, kommunication, cooperation, coordination

## **Klíčové slova:**

Multiagentní systém, agent, deliberativní agent, komunikace, kooperace, koordinace

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci jsem vypracoval/a samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích, dne 12. 12. 2012

Podpis: .....

## **Poděkování**

Děkuji Ing. Jiřímu Jelínkovi, CSc. za pomoc při zpracování bakalářské práce a pomoc při řešení problémů vzniklých v průběhu jejího vypracovávání.

## Obsah

|   |    |
|---|----|
| 1 Úvod a cíle práce.....  | 1  |
| 1.1 Úvod.....   | 1  |
| 1.2 Cíle práce .....  | 2  |
| 2 Multiagentní systém.....  | 3  |
| 2.1 Multiagentní modelování .....                                       | 3  |
| 2.2 Agent a jeho typy .....   | 4  |
| 2.3 Deliberativní agent .....   | 8  |
| 2.4 BDI teorie.....   | 8  |
| 2.5 Chování agentů.....   | 9  |
| 3 Nákupní chování .....   | 12 |
| 4 Popis realizačního prostředí - Program Greenfoot.....                 | 14 |
| 5 Aplikace pro modelování nákupního chování.....                        | 16 |
| 5.1 Mapa.....   | 17 |
| 5.2 Třída obchod .....  | 19 |
| 5.3 Třída zákazník.....   | 20 |
| 5.4 Statistika.....   | 24 |
| 6 Simulace.....   | 25 |
| 6.1 Simulace nedoplňování zboží.....                                    | 25 |
| 6.2 Přidání bezkonkurenčního obchodu do simulace.....                   | 26 |
| 6.3 Dočasná cenová akce v obchodě a její vlivy na počty zákazníků ..... | 27 |
| 7 Závěr .....   | 29 |
| 8 Použitá literatura .....  | 31 |
| 9 Přílohy .....   | 33 |

# 1 Úvod a cíle práce

## 1.1 Úvod

Zadané téma jsem si vybral pro jeho aktuálnost v oblasti obchodu v současné době, kde je nakupování nedílnou součástí života každého z nás. Mění se životní styl, finanční podmínky, stravovací návyky, stárnutí populace a mnoho dalších faktorů, které mohou za proměnlivost poptávky. Aby jednotlivý podnik mohl své zákazníky dobře uspokojit, musí dostatečně znát jejich požadavky, postoje a chování. Právě tato problematika bude součástí této práce, kde bude možnost u jednotlivých podniků tyto faktory měnit a pozorovat změnu chování zákazníků při spuštěných simulacích.

Také oblast multiagentních systémů a jejich agentů mi přišla velice zajímavá. *„Tyto systémy jsou v posledních letech velmi diskutovaným tématem a zájem o ně stále a poměrně výrazně narůstá. Svědčí o tom jak počty publikovaných prací, tak i řada odborných konferencí zaměřených na problematiku agentů. Lze dokonce říci, že tato problematika se v současné době stává jedním z hlavních směrů výzkumu v oblasti informačních technologií”*. [1] Tvorba těchto systémů a inteligentních agentů se bude stále více vyvíjet do budoucnosti a můžeme se s nimi stále více často setkávat v každodenním životě. Například v oblasti internetu, který se od počátečních výzkumů na univerzitách a laboratořích rozšířil do domácností po celém světě a stala se z něj běžná součást života nebo v dalších oblastech od astronautiky až po plánování řešení krizových situací při nečekaně nastalých přírodních katastrofách.

Praktické části samozřejmě předcházela část teoretická, která se skládala ze zjišťování informací ohledně problematiky multiagentních systémů a analýzy nákupního chování zákazníků. Problematika multiagentních systémů obsahuje celkové seznámení se s principy multiagentního modelování, typy jednotlivých agentů a jak funguje jejich vzájemná spolupráce skládající se z komunikace, kooperace a koordinace. Je zde také vybrán jeden typ agenta, který je popsán detailněji než ostatní typy z důvodu, že o něm bylo rozhodnuto jako o nejvhodnějším typu agenta pro tuto práci. Nákupní chování se zabývá popisem vztahu mezi zákazníkem a obchodem na obchodním trhu. Jsou zde popsány jednotlivé typy nákupního chování a detailně popsán celý proces nákupního rozhodování, jehož pochopení bylo zásadní pro sestavení rozhodovacího algoritmu v praktické části práce.

Praktická část obsahuje popis vývojového prostředí Greenfoot ve kterém byla celá aplikace vyvíjena. Jsou zde popsány jednotlivé třídy a možnosti, které program nabízí pro ovládání programově dokončených simulací. Po seznámení s programem Greenfoot se dokumentace zabývá samotnou tvorbou aplikace, která obsahuje čtyři části. Každá část začíná obsahem popisu své role, kterou plní při každém spuštění graficky znázorněné simulace. Dále je zde zobrazen diagram ukazující daný algoritmus samozřejmě s detailním popisem každého kroku.

První část práce se zabývá vytvořením virtuálního světa, ve kterém jsou graficky znázorněni agenti. Druhá a třetí část popisuje chování dvou typů agentů (zákazník, obchod), kteří se v mapě vyskytují, a podrobně se zabývá algoritmy, podle kterých se agenti chovají. Poslední částí je statistika každého kola simulace, kde jsou ukázány výsledky chování.

V závěru je shrnuta celá práce, splnění cílů a jsou zde navrženy návrhy na vylepšení modelu.

## **1.2 Cíle práce**

1. Charakterizovat a seznámit se s principy multiagentního modelování včetně dostupných vývojových prostředí.
2. Nastudovat principy a funkce prostředí zvoleného pro realizaci praktické části.
3. Podrobně analyzovat problematiku nákupního chování zákazníků a navrhnout multiagentní model umožňující jeho simulaci. Soustředit se na analýzu chování všech typů agentů.
4. Vytvořit simulační model ve zvoleném prostředí včetně naprogramování agentů a nástrojů pro sledování a analýzu simulace.
5. Vytvořit uživatelskou dokumentaci modelu a dokumentaci aplikace na úrovni javadoc.



## 2 Multiagentní systém

Multi-Agentní systém (MAS) je počítačový systém, který je složen z určitého množství autonomních prvků (agentů), kteří mezi sebou komunikují a kooperují, aby vykonali určitou činnost pro splnění svých cílů.

Prvotní zájem o multiagentní systémy lze vysledovat do přelomu 70. a 80. let 20. století, kdy došlo k pokrokům v expertních systémech<sup>1</sup> a začal se využívat distribuovaný computing přes LAN sítě. Multiagentní systémy se dále vyvíjely až do doby, kde jsou nyní a „aktuálními otázkami pro dnešní dobu v oblasti MAS je hlubší rozpracovávání otázek autonomie, kooperace vazeb a společných akcí. V současnosti lze již tvrdit, že multiagentní systémy dosáhly stupně dospělosti, který je spojený s jejich nasazením v řadě oborů a kromě původní oblasti výzkumu pronikají do prostředí, která fungují jako rozhraní mezi člověkem a počítačem“.[2]

Tyto systémy se samozřejmě budou vyvíjet i do budoucna, kde se budou stále více začleňovat do běžného života každého člověka. „Budoucí výzkumy by pak mohly rozšířit měřítko využitelnosti MAS, jejich heterogenitu a přímé nasazení v reálném světě pro zkoumání, porozumění a ovládání komplexních a propletených vztahů ve fyzickém světě a to způsoby, které byly s dosavadními metodami prakticky nepředstavitelné“.[2]

### 2.1 Multiagentní modelování

Modelování se hlavně používá ke znázornění komplexních simulací v oblastech (biologie, sociální vědy, ekonomie). Přednostně se právě využívají multiagentní systémy z důvodu, že pro ostatní způsoby výzkumu jsou tyto oblasti těžko uchopitelné a činí jim značné problémy při jejich modelování. Multiagentní simulace je založena na využívání tzv. agentů (teorie agentů je vysvětlena v následující kapitole), kteří uplatňují určité chování v prostředí, do kterého jsou umístěny. Pod pojmem prostředí si můžeme představit např. mapu různých velikostí, forem a objektů, která může odpovídat simulované realitě nebo naopak může mít zcela odlišné souřadnice či osy. Jakmile jsou agenti umístěni do vytvořeného prostředí, může

---

<sup>1</sup> Počítačový program, jehož úkolem je poskytovat expertní rady, rozhodnutí nebo doporučit řešení v konkrétní situaci.

být spuštěna simulace, kde se v každém kroku vyhodnocuje chování všech agentů, kteří jsou ovlivňováni určitými parametry.

Jednotlivé fáze v postupu multiagentního modelování: [3]

- **Formulace řešeného problému** - prvním a nejdůležitějším bodem při tvorbě multiagentního modelu je důkladná a jasná formulace problému, který chceme řešit pomocí modelové simulace. V tomto bodu se plánuje, co a jak bude daný model dělat.
- **Vytvoření konceptuálního modelu** – do tohoto bodu spadá identifikace agentů (stanovení agentů, kteří se v simulaci budou vyskytovat včetně jejich typů) a jejich charakterizace (pro každého agenta jsou zvoleny jeho vlastní atributy a pravidla chování, podle kterých se agent bude při simulaci chovat) včetně definování chování prostředí ve kterém se budou vyskytovat.
- **Výběr implementačního prostředí** - tento bod se zabývá výběrem prostředí pro tvorbu simulačního modelu. Výběr závisí např. na spolehlivosti a rychlosti prostředí nebo jednoduchosti vytváření komunikačního rozhraní s uživatelem pomocí různých tlačítek, posuvníků a dalších ovládacích prvků.
- **Implementace modelu, verifikace a validace** - realizace navrženého modelu v podobě naprogramování ve zvoleném vývojovém prostředí a ověření funkčnosti, kde je prokázána funkčnost nebo nefunkčnost modelu.
- **Experimentování s modelem** - zjištění nejvhodnějšího nastavení hodnot atributů používaných při simulaci (hledání stability).
- **Analýza výsledků** - sběr dat získávaných při simulaci a jejich následné statistické vyhodnocování.

## 2.2 Agent a jeho typy

Agent je samostatná entita vložená do MAS systému, která může zastupovat určité objekty z reálného světa (např: osoba, živočich) a na základě podnětů z jeho prostředí vykonává příslušné akce pro splnění svého cíle. Předpokladem agenta je, že se v každém okamžiku své existence nalézá v nějakém stavu (lokálním stavu), do kterého se dostal pomocí jemu dostupných informací ať už o ostatních agentech nebo prostředí okolo něho. Po získání

nových informací se z aktuálního lokálního stavu může posunout do stavu jiného nebo zůstane v aktuálním stavu beze změn. Spojením několika takovýchto agentů vznikne multiagentní systém.

Jiná definice agenta: *Agent je entita zkonstruovaná za účelem kontinuálně a do jisté míry autonomně plnit své cíle v adekvátním prostředí na základě vnímání prostřednictvím senzorů a prováděním akcí prostřednictvím aktuátorů. Agent přitom ovlivňuje podmínky v prostředí tak, aby se přibližoval k plnění cílů.*[4]

Jednotliví agenti mohou mezi sebou komunikovat, kooperovat nebo se mezi sebou navzájem ať už přímo nebo nepřímo ovlivňovat. Při přímém ovlivňování jeden agent mění přímo hodnoty jiného agenta na rozdíl od nepřímého ovlivňování, kde agent svými chováními mění své prostředí a tím až poté ovlivňuje jiné agenty. O komunikaci a kooperaci mezi agenty bude zmíněno v dalších kapitolách.

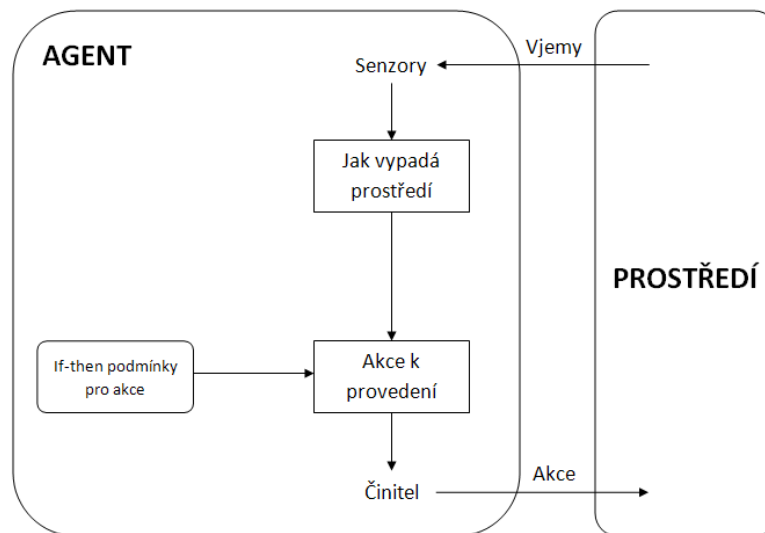
O agentovi obecně platí, že [5]:

- za použití vhodných protokolů posílá a přijímá informace od ostatních agentů.
- jakmile agent přijme informaci, může jí zpracovávat a uvažovat o ní (tj. provádět odvozování, syntézu i analýzu).
- má soubor schopností provádět akce, které se mohou i dynamicky měnit (tj. akce charakterizují úkoly, které dokáže agent provádět).

Agent se vyznačuje následujícími vlastnostmi:

- nezávislý na ostatních agentech
- existuje v prostředí
- s prostředím je propojen pomocí senzorů a aktuátorů

Senzory rozumíme prostředky, pomocí kterých agent dokáže vnímat své okolí (čidla, snímače, atd.) a aktuátory prostředky, pomocí nichž agent mění své okolí (pohyb, koupě, atd.). Na obrázku znázorněna interakce agenta se svým prostředím.



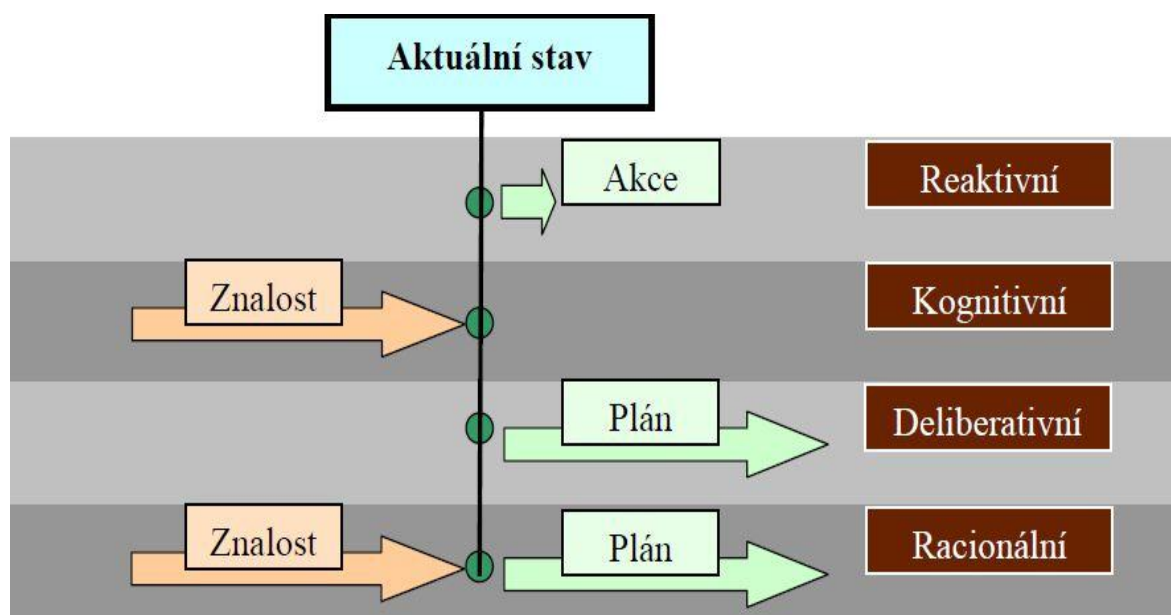
1.1 Model softwarového agenta [6]

Prostředím nazýváme systém, který neobsahuje žádný svůj prvek (agent). Jinými slovy můžeme prostředí definovat tak, že je to vše s čím agent přichází během své činnosti do kontaktu. Prostředí z hlediska agenta pak může být [7]:

- **plně nebo částečně pozorovatelné** - pokud agent může pomocí svých senzorů sledovat jeho kompletní stav, nazýváme toto prostředí plně pozorovatelné, u částečně pozorovatelného agent může sledovat pouze jeho část.
- **statické nebo dynamické** - jestliže je prostředí měněno pouze provedenými akcemi agenta, je toto prostředí nazýváno statické. V dynamickém prostředí se hodnoty nemění pouze akcemi agenta, ale i např. po určitém čase. Každou tuto změnu musí každý jednotlivý agent zahrnout do svého dalšího kroku.
- **deterministické nebo nedeterministické** - prostředí je deterministické, jestliže je jeho stav po vykonání nějaké akce dán pouze touto akcí a předcházejícím (původním) stavem tohoto prostředí.
- **diskrétní nebo spojitě** - prostředí je diskrétní, pokud má konečně nebo spočetně mnoho stavů.

Z hlediska chování lze agenty rozdělit do následujících 5 skupin:

- **Reaktivní typ agenta** - je nejjednodušším typem agenta, který by měl patřičně reagovat na změny v prostředí a poté jednat tak, aby dosáhl účelu své existence.
- **Kognitivní typ agenta** - získává informace z pozorování svého okolí, podle kterých se následně rozhoduje pro svou další činnost. Tyto informace jsou ukládány do tzv. báze znalostí, aby je mohl agent používat při rozhodovacím procesu. Díky této bázi je agent schopen učení.
- **Deliberativní typ agenta** - někdy nazývaný jako uvažující agent, který si uchovává symbolickou reprezentaci prostředí a vnitřních stavů, na jejichž základě sestavuje plány pro dosažení svých cílů. Tento agent bude detailněji popsán v následující kapitole, která se celá zabývá tímto typem agenta.
- **Sociální typ agenta** - dalším rozšíření oproti reaktivnímu a deliberativnímu typu agenta je možnost agenta přidávat informace o ostatních agentech v systému. *Reprezentace prostředí v agentu je doplněno o modely dalších agentů – zejména se jedná o jejich adresy, jména (označení) a specifikace jejich schopností pro případnou kooperaci.*[4]
- **Hybridní typ agenta** - je typ agenta kombinující vlastnosti výše uvedených agentů (nacházejí se zde komponenty pro reaktivitu, deliberativnost i sociální model pro komunikaci na vyšší úrovni).



Obrázek rozdělení agentů [7]

## 2.3 Deliberativní agent

Člověk je podle Dennetta [8] *charakterizován intencionalitou, schopností sebereflexe a přisuzováním intencionality jiným jedincům. Vyznačuje se tzv. mentálními stavy - představami o světě, motivací, preferencemi apod., které ovlivňují jeho chování a umožňují mu chápat a předvídat chování druhých.* Takové agenty budeme nazývat *deliberativní*.

V této práci agent zákazník hledá ve svém okolí dostupné obchody, mezi kterými se rozhoduje podle jejich parametrů a následně své rozhodnutí zrealizuje, a proto byl jako nejvhodnějším typem agenta pro tuto práci vybrán deliberativní typ agenta. Tento typ často označovaný jako uvažující agent si pro splnění svých cílů uchovává symbolické reprezentace prostředí a vnitřních stavů, pomocí kterých si plánuje svůj postup ke splnění svých cílů. Reprezentativní teorií tohoto typu agenta je tzv. BDI teorie (viz následující kapitola). Proces plánování funguje na principu:

- 1) agent získá informace o svém okolí
- 2) pomocí těchto informací provede rozhodnutí
- 3) agent zrealizuje své rozhodnutí

## 2.4 BDI teorie

Reprezentativní teorií deliberativních agentů je architektura Představa - Touha - Záměr (*Belief Desire Intention, BDI*). Ta vychází z modelování toho, v co agent věří, co si přeje a pro co se již rozhodl, tedy co je jeho záměrem. Je to nejpoužívanější a nejrozpracovanější teorií pro modelování mentálních postojů agentů využívající modální a časovou logiku. Základy této teorie položil M. Bratman [9].

- **Beliefs (představy)** - agent si představuje (má určité představy) své okolí, sebe sama a ostatní agenty, které s ním sdílí prostředí. Tyto představy ovšem nemusejí být nezbytně pravdivé a mohou se po určitém čase měnit.
- **Desires (přání)** - další část BDI teorie, která reprezentuje krátkodobé cíle a situace pomocí určitých postupů, kterých by agent rád dosáhl (nalezení nejkratší cesty do určitého bodu na mapě, najít nejmenší možnou cenu určitého druhu zboží v oblasti).
- **Intensions (záměry)** - reprezentují představu agenta jak dosáhnout cíle (agent si sám vybere jeho následné kroky). Záměry a touhy poté vedou k vypracování plánu.

Tato teorie využívá BDI logiku, která rozšiřuje modální a temporální logiku. Pro mentální postoje agenta je používána modální logika, jejímž základem je výroková logika, z které přejímá všechny její pravidla. Temporální logika slouží k vymezení časových souvislostí mezi událostmi. To vede k nutnosti využívat kvantifikátory nejen ve stavech, ale i mezi jednotlivými stavy.

V práci byla BDI teorie inspirací při vytváření průběhu chování zákazníků, kdy si každý jednotlivý zákazník ve svém okolí zjišťuje jemu dostupné obchody a poté pomocí určitých postupů nalézá pro něj nejvýhodnější obchod pro nákup.

## 2.5 Chování agentů

### Komunikace

Komunikace je proces, kde si určitý počet agentů ve stejném modelovém prostředí (nejméně dva) mezi sebou vyměňuje informace ve formě elementárních komunikačních zpráv, tzv. řečových aktů. Každá zpráva musí obsahovat nutné náležitosti pro správné fungování komunikace. Těmito náležitostmi jsou příjemce, odesílatel zprávy, obsah a také obsahuje informaci o typu zprávy (zamítnutí, otázka, nabídka, informování), která vypovídá o významu obsahu zprávy.

Základní typy komunikace mezi agenty [10]:

- **Dotazování** - nastává v případě, kdy agent hledá jím požadovanou informaci, kterou ze svých zdrojů nemůže vyhledat, proto se dotazuje ostatních agentů, o kterých se domnívá, že mu mohou tuto informaci ze svých zdrojů poskytnout.
- **Přesvědčování** - agent přesvědčuje jiného agenta v prostředí, aby přijal některé z jeho zamýšlených záměrů.
- **Hledání informace** - podobný případ jako u dotazování s rozdílem, že skupina agentů společnými silami hledá informaci, kterou žádný z nich nemůže poskytnout.
- **Porada** - pod slovem porada si určitě ihned každý správně představí funkci tohoto typu komunikace. Cílem porady je nalézt nejlepší řešení problému, které je v zájmu všech zúčastněných. Každý agent do této porady vnese své znalosti a schopnosti a společně se dohodnou na následujícím postupu.

- **Vyjednávání** - agenti vyjednávají o podmínkách sdílení prostředků, nebo o poskytnutí služeb tak, aby všichni zúčastnění dosáhli maximálního zisku.
- **Eristický dialog** - eristický dialog je dialog, během kterého si agenti vyměňují expresivně informace za účelem dosažení svých záměrů. Tyto informace nejsou ani logickou podporou argumentu, ani vyjednáváním či dotazováním. Typickým takovým dialogem je hádka.

Jak vidíme, typů pro komunikaci agentů je opravdu mnoho a tato problematika je jednou z nejdůležitějších při tvorbě modelových prostředí, kde se vyskytuje více než jeden agent. Také pro samotnou kooperaci a koordinaci je zásadní věcí. Níže uveden příklad komunikace mezi dvěma agenty.

```
(      inform
      :sender (agent-identifier :name obchod)
      :reciever (agent-identifier :name zakaznik)
      :content
      "current price(30)"
      :language FIPA-SL
)
```

V příkladu agent pod jménem obchod posílá informaci o aktuální ceně (30), která je v tomto obchodě agentovi jménem zákazník v jazyce FIPA-SL jako predikát. Parametr content je obsahem odesílané zprávy.

Komunikaci můžeme dále dělit podle způsobů vnímání:

- **Přímá komunikace** - odesílatel zprávy se snaží u příjemce v jeho kognitivním stavu vyvolávat očekávané změny se současnou adekvátní reakcí. Tyto změny se snaží vyvolávat pomocí adresných, všesměrových a selektivních zpráv.
- **Nepřímá komunikace** - komunikace probíhá prostřednictvím zprostředkovacího agenta, tzv. mediátora (tabule), jinými slovy agent, který odesílá zprávu, přímo nekomunikuje s příjemcem. Mediátor funguje jako poštovní služba, která rozděluje příchozí zprávy do schránek agentů. Agenti nemusí vědět, kde se nacházejí ostatní agenti a jaké schopnosti mají. Při každé příležitosti se obracejí na zprostředkovatelské agenty, které vybavují jejich požadavky. Multiagentní systém



pak může být značně otevřený, protože přidání či odebrání kteréhokoli z agentů snižuje jeho funkcionalitu jen částečně. Klientští agenti musí znát pouze adresy mediátorských agentů.

V současné době je hlavním jazykem pro komunikaci agentů ACL (Agent Communication Language). ACL vychází z jazyka KQML (Knowledge Query Manipulation Language) a jeho standardizace je uvedena ve specifikacích FIPA. [11]

## **Koordinace**

*Koordinace je proces probíhající v multiagentovém společenství, kterým se dosahuje takového propojení jednotlivých komponent v systému, které umožní řešení problému dosažením decentralizace vykonávaných úkolů a někdy i řídicího procesu.*[4]

Podle H. Mintzberg existují 3 základní kategorie koordinačních mechanismů:

- **Vzájemná dohoda** - ve skupině dosahují agenti vzájemnou komunikací dohody o využití společných zdrojů k dosažení společného cíle. Ve společenství neexistují vztahy nadřízenosti a podřízenosti (žádný agent není nadřízeným jiného agenta).
- **Přímý dozor** - ve společenství existuje nadřízený agent, který kontroluje ostatní, řídí celé společenství a na základě zpětné vazby zasahuje do procesů v něm probíhajících za účelem korekce jejich deformací nebo neefektivnosti. Členy, kteří dostatečně nevykonávají plnění zadaných úkolů, penalizuje.
- **Standardizace** - koordinace společenství agentů, kde jsou předem definovaná pravidla nějakou centralizovanou autoritou a tyto pravidla jsou výhodné pro všechny zúčastněné. Porušením pravidel je pro nevhodné pro celé společenství. Příkladem z lidské společnosti mohou být všeobecně závazné právní předpisy nebo pravidla cestovního provozu.

## **Kooperace**

*Kooperace je řízenou formou koordinace s účelovým uspořádáním agentů ve skupině s cílem dosáhnout společného řešení problému nebo konfliktu. Každý agent má přesně určenou roli, kterou musí plnit a také vztahy s ostatními agenty k tomu, aby bylo dosaženo globálního cíle.*[4]

Klade si za cíl zkvalitnění práce MAS. Zrychlení řešení vyžitím paralelního zpracování, rozšíření třídy řešitelných úloh a snížení počtu kolizí mezi soutěžícími agenty. Kooperace agentů je řízenou formou koordinace s účelovým uspořádáním agentů ve skupině s cílem dosáhnout společného řešení problému nebo konfliktu.

### 3 Nákupní chování

Problematika nákupního chování je velmi rozsáhlý pojem, pro který je k nalezení mnoho odborných prací. Například v diplomové práci Rady [1] je nákupní chování popisováno jako „*chování zaměřené na jednotlivce při vynakládání vlastních zdrojů na položky související se spotřebou*“.

Další definice nákupního chování, kterou popisuje Schiffman [12] je: „*Chování, kterým se spotřebitelé projevují při hledání, nakupování, užívání, hodnocení a nakládání s výrobky a službami, od nichž očekávají uspokojení svých potřeb*“.

Typy nákupního chování:

- **Automatické chování** - nastává, když zákazník pravidelně nakupuje nějaký druh výrobku, který už dobře zná a má s ním dobré zkušenosti. V tomto případě prakticky neexistuje nějaké vyhodnocování po nákupu.
- **Řešení omezeného problému** - vyskytuje se, jestliže je zákazník poměrně dobře seznámen se sortimentem, ale k rozhodnutí potřebuje doplňující informace.
- **Řešení extensivního problému** - v případě, kdy se zákazník chystá koupit jemu neznámý druh výrobku (neví, jak se používá a funguje), který má poměrně vysokou finanční hodnotu. Z tohoto důvodu zákazník potřebuje mnohem více času, oproti předchozím typům chování, na důkladné vyhledávání informací pro pečlivé porovnávání alternativ a rozhodování o nákupu.

Z důvodu, že v této práci zákazník nakupuje stále stejný sortiment z různých obchodů, kde se neustále mohou měnit nákupní podmínky (např. cena, kvalita), které si zákazník zjišťuje při potřebě nákupu, je jako nejvhodnějším typem nákupního chování zvolen druhý typ, tedy řešení omezeného problému.

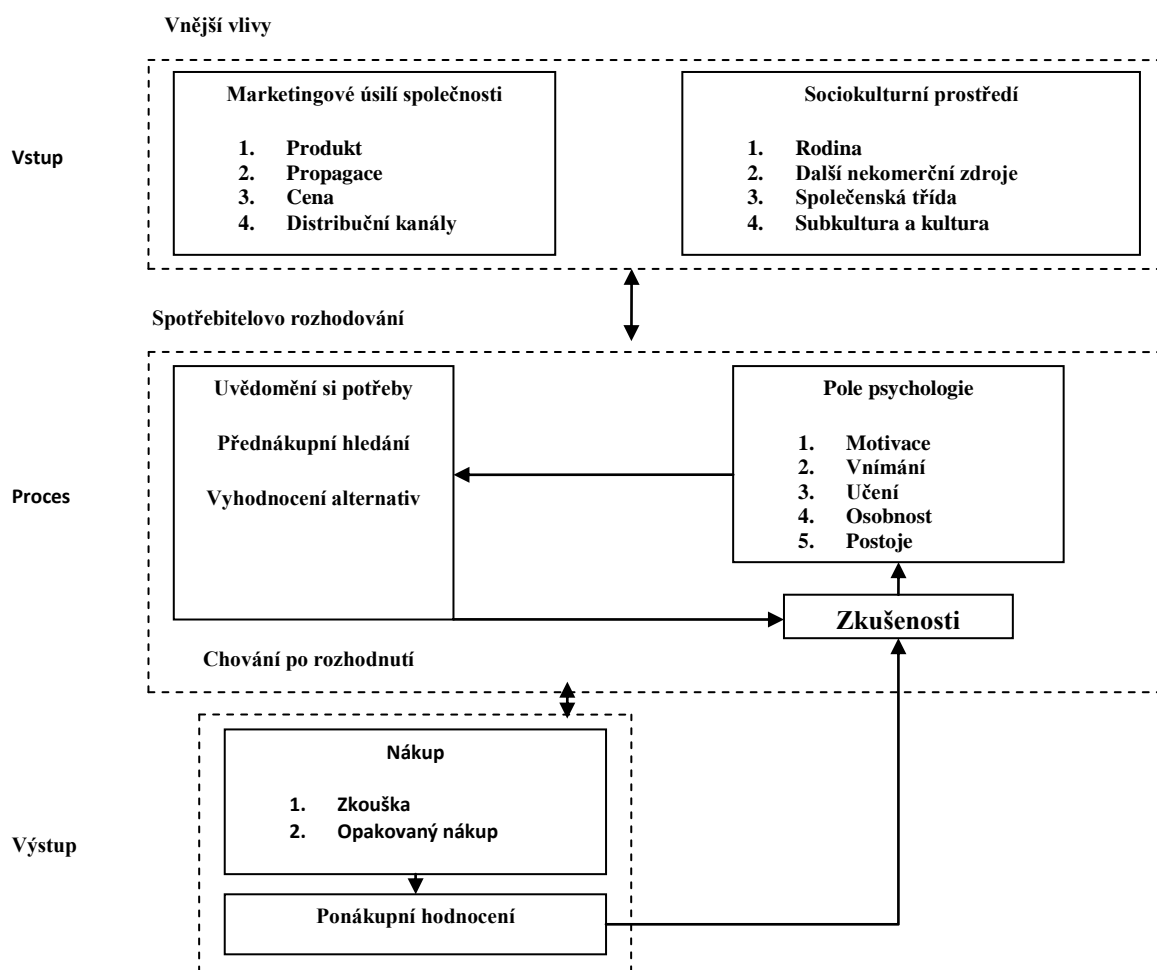
#### Proces rozhodování zákazníka

Proces rozhodování se může u každého jednotlivého zákazníka lišit z různých důvodů. Na každého zákazníka působí odlišné interní vlivy (například osobnost, přesvědčení, zkušenost) a externí vlivy (například sdělovací prostředky, demografické rozdíly, ekonomické faktory). Jeden klade hlavní důraz na kvalitu a značku, zatímco u jiného rozhoduje o koupi výrobku hlavně nízká cena. Proto se nákupní chování nedá popsat jednoznačným algoritmem, který by platil pro všechny potenciální zákazníky.

Proces rozhodování se skládá z pěti částí:

- **Zjištění potřeby** - stav, kdy si jednotlivec uvědomí rozdíl mezi požadovaným a aktuálním stavem (například zjištění nízké hladiny pohonných hmot u automobilu, kdy je následně jednotlivcem požadováno jeho doplnění). Jestliže na potřebu nepůsobí nějaký omezující faktor, který může být finančního nebo dosažitelného rázu vzniká poptávka, která je příležitostí podniku k získání zisku.
- **Sběr informací** - pokud zákazník chce uspokojit svoji poptávku, pro něj za co nejvýhodnějších podmínek, musí k tomu mít dostatek správných informací. Tyto informace jsou získávány z vnitřních zdrojů (tj. paměť, zkušenost) nebo vnějších zdrojů (tj. reklamy, přátelé), které přicházejí v úvahu poté, jakmile jsou vnitřní zdroje nedostačující
- **Hodnocení alternativ** - po získání požadovaných informací následuje jejich zhodnocení. Zákazník hodnotí informace podle jejich důležitosti a kritéria výběru. Kalkuluje možné klady a zápory a zvažuje všechny možné alternativy.
- **Kupní rozhodnutí** - další krokem v procesu rozhodování je kupní rozhodnutí, které následuje po zhodnocení alternativ. V tomto kroku už je zákazník rozhodnutý nejenom o tom, jaký výrobek si koupí, ale rozhodnutí také zahrnuje i řadu dalších menších voleb (například místo zakoupení, čas zakoupení nebo značku výrobku).
- **Ponákupní vyhodnocení** - tento poslední krok porovnává očekávaný efekt se skutečným stavem, jinými slovy v tomto kroku zákazník zjistí, zda je s koupí spokojený nebo naopak nespokojený. Spokojenost přináší obchodům generalizaci, věrnost výrobku a zákazník také může dělat firmě dobrou reklamu, jestliže o výrobku informuje další osoby. Na druhou stranu nespokojenost obchodu nepřináší žádné klady. Zákazník se může v lepším případě rozhodnout, že si tento výrobek už příště nekoupí nebo v horším případě si už nekoupí ani jiný výrobek od této firmy. Špatná reklama u dalších osob je samozřejmostí.

Zde je uveden model rozhodování zákazníka:



SCHIFFMAN, L.G., KANUK, L.L. *Nákupní chování*: 2004 [12].

## 4 Popis realizačního prostředí - Program Greenfoot

Greenfoot [13] je volně dostupné vývojové prostředí, které nabízí práci s vytvářenými aplikacemi interaktivní a vizuální formou. V uměle vytvořeném světě umožňuje žít agentům, kteří se snaží dosáhnout svého cíle pomocí naprogramovaných algoritmů. Z předešlých informací vyplývá, že je ideálním prostředím pro tvorbu různých simulací, her ve 2D rozměru a dalších grafických programů.

Při vytváření nového projektu máme v prostředí již předdefinované dvě existující třídy, třídu *World*, kde se vytváří svět, do kterého se později vkládají aktoři. V této třídě se definuje

například velikost světa a jeho další aspekty. V podtřídách třídy Actor jsou vytvářeny agenti, kteří jsou následně umisťováni do světa. Kromě těchto dvou tříd umožňuje prostředí programátorům použít další 4 třídy.

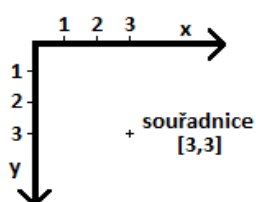
Greenfoot implicitně obsahuje 6 tříd:

- World – vytvořený svět ve kterém existují agenti
- Actor – Actor je objekt, který existuje v greenfoot světě
- Greenfoot – tato třída poskytuje metody pro ovládání simulace a interakci se systémem
- MouseInfo – poskytuje informaci o poslední události počítačové myši
- GreenfootImage – používá se pro obrazovou prezentaci a manipulaci
- GreenfootSound - umožňuje možnost práce se zvukem a jeho přehrávání

Aplikace vytvářené v programu Greenfoot jsou plně implementované v objektově orientovaném programovacím jazyce Java, který je jedním z nejpoužívanějších a nejoblíbenějších programovacích jazyků na světě.

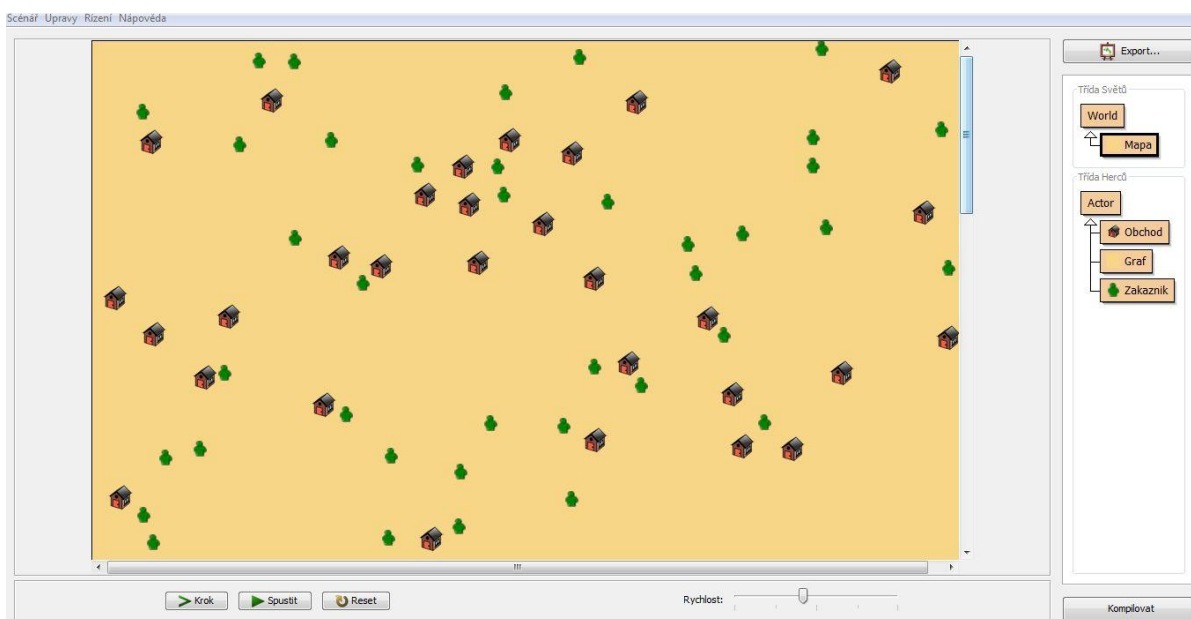
Simulace se spustí, jakmile je uživatelem kliknuto na jedno z tlačítek Spustit nebo Krok. Při spuštění pomocí tlačítka Spustit, aplikace běží bez přestání stále dokola v opakujících se krocích definovaných v metodě Act(), kde každý jednotlivý agent provádí stejné operace definující jeho chování. Jediným rozdílem tlačítka Krok oproti Spustit je, že při kliknutí na toto tlačítko neběží aplikace stále dokola, ale provede se pouze jeden krok. Toto spuštění je určitě výhodnější při podrobnějším sledování aplikace a její kontrole. Kromě těchto možností je také u simulace možno měnit rychlost provádění jednotlivých kroků pomocí horizontálně posuvného tlačítka.

Jednotliví agenti jsou umisťováni do světa prostřednictvím souřadnicového systému (x, y), kde souřadnice x je brána zleva doprava a souřadnice y od shora dolů.



Obrázek souřadnicového systému

Dalšími prostředím, ve kterých lze vytvářet multiagentní systémy jsou například programy Repast [14] (volně šiřitelný nástroj se silným vývojovým prostředím) a NetLogo [15] (jednoduchý, praktický a názorný, avšak z hlediska výkonu méně efektivní nástroj s dobrou dokumentací, vhodný pro vzdělávací účely). Těchto programů existuje mnohem více, ale zmíněny jsou pouze tyto dva z důvodu volby mezi nimi společně s programem Greenfoot před tvorbou praktické části.

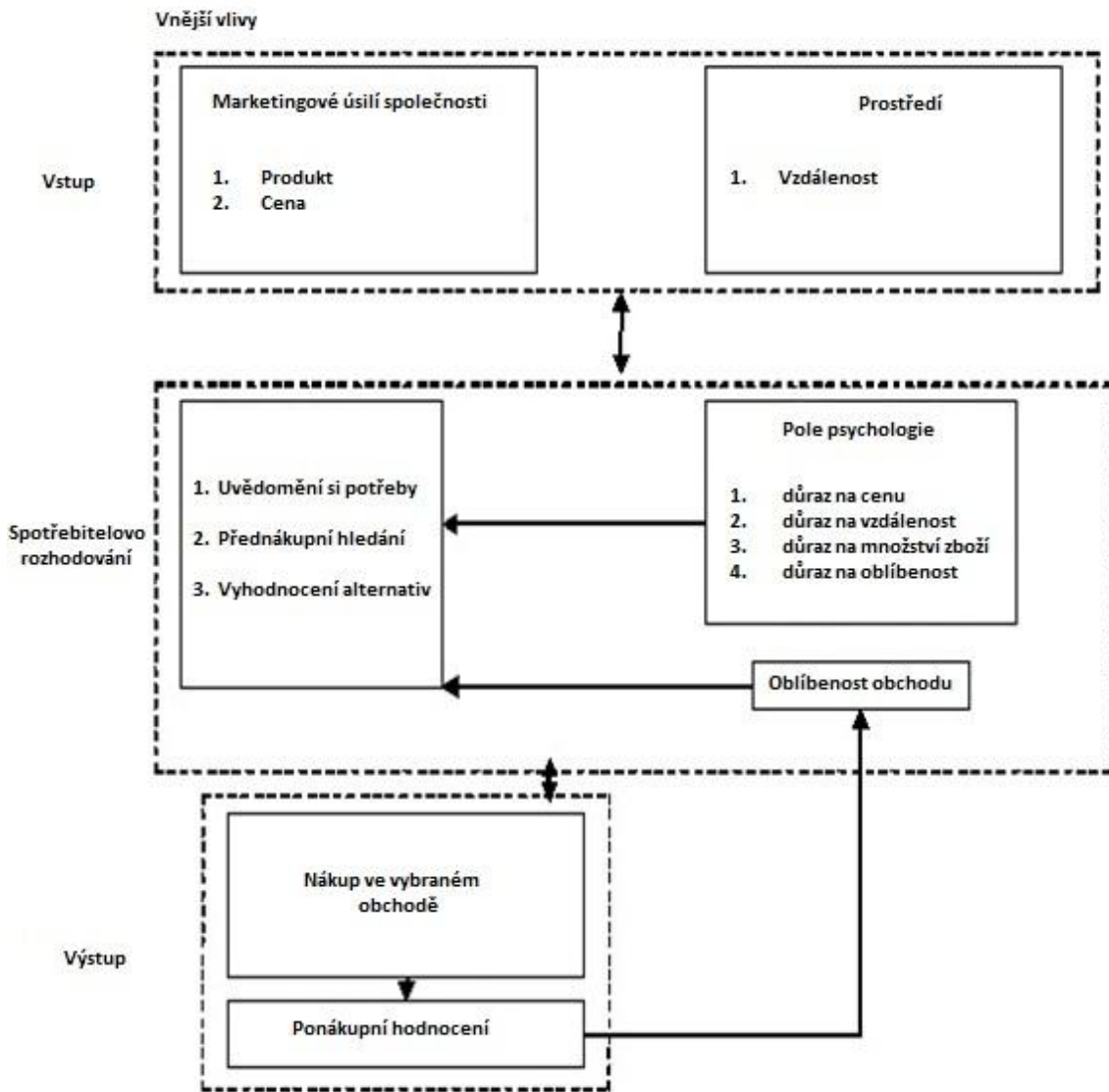


Ukázka programu Greenfoot

## 5 Aplikace pro modelování nákupního chování

Aplikace je rozdělena do čtyř částí (mapa, obchod, zákazník, statistika). Část mapa se zabývá vytvořením virtuálního světa, kde se při modelování nákupního chování střetávají agenti zákazník a obchod, kteří jsou ve světě umístěni na různých místech. Zákazník má za úkol nakoupit požadované množství zboží v pro něj nejvhodnějším obchodě. Výběr jeho rozhodnutí je graficky znázorněn pro přehlednější sledování simulace. Poslední částí je statistika, která se zabývá sběrem a analýzou dat ze simulace po každém kroku.

Upravený model rozhodování zákazníka od Schiffmana [12], který byl použit pro tuto práci. Jednotlivé postupy algoritmů budou podrobně vysvětleny v následujících kapitolách.



## 5.1 Mapa

Tato část se zabývá vytvořením mapy (světa) pro agenty, kteří na ní budou vykonávat jim definované úkoly. Mapa je vytvořena s rozměry 1000x600 buněk o velikosti jedné buňky 1x1 pixelu, kde horní polovina slouží pro umístění všech agentů a dolní polovina pro zachycení výsledků simulace. Výsledky procesu rozhodování a možnost měnit hodnoty atributů u obchodů je graficky znázorněno na mapě.

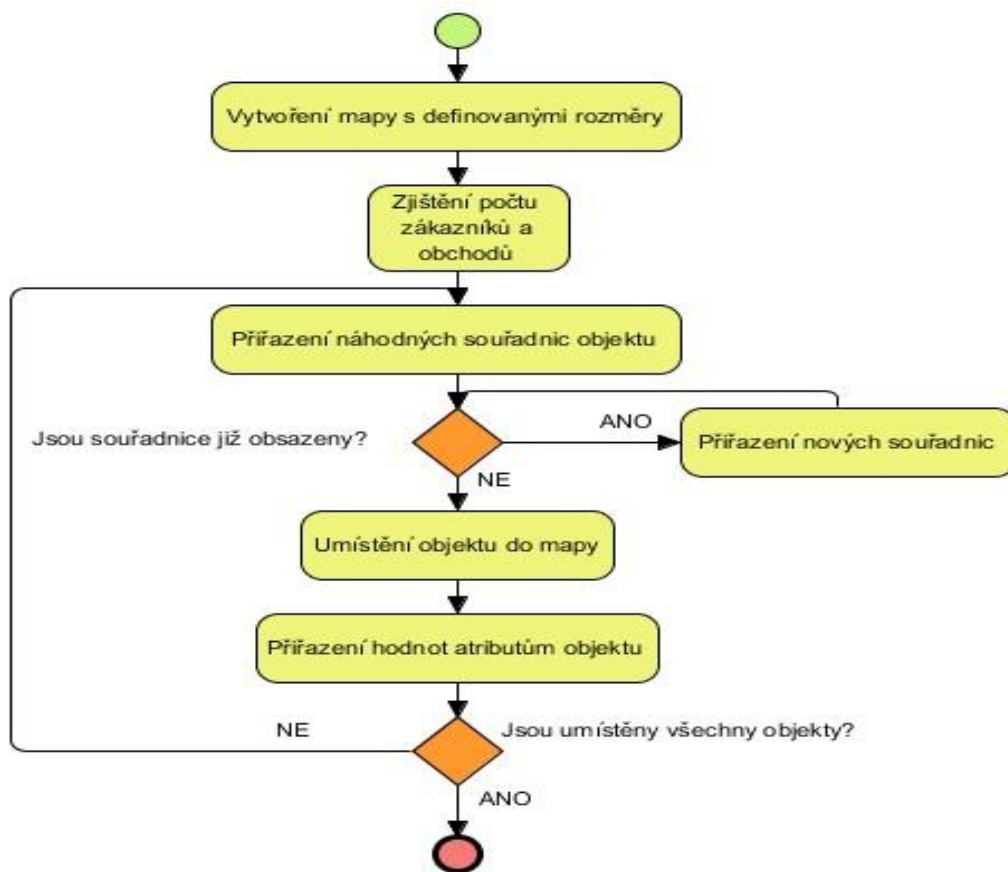


Diagram znázorňující algoritmus vytvoření mapy a rozmístění agentů na ní

### Popis algoritmu:

Jak bylo popsáno výše třída World vytvoří mapu o rozloze 1000x600 buněk v prvním kroku. Z tohoto rozměru je 1000x350 buněk určeno pro rozmístění agentů a sledování spuštěných simulací a zbylých 1000x250 buněk je vyhrazeno pro statistiku v podobě spojitého grafu a jiných údajů. Po vytvoření světa se naplní počty potřebných agentů do proměnných a začnou se postupně rozmisťovat do mapy s náhodnými souřadnicemi, které se ovšem nesmí shodovat s jinými agenty, kteří se už na mapě nalézají. Pokud nastane tento případ, jsou agentu přiřazeny jiné náhodné souřadnice. Toto přiřazování je prováděno do té doby, dokud není pro agenta nalezeno volné místo na mapě. Ověřování je zde z toho důvodu, aby se jednotliví agenti navzájem nepřekrývali a kvůli tomu nebylo jednoznačně určeno, který z těchto obchodů je pro zákazníka vhodnější volbou. Po umístění do mapy proběhne přiřazení hodnot všem atributům aktuálního agenta. U zákazníka se přiřazuje množství produktu a váhové hodnoty nákupu, zatímco u obchodu se přiřazují hodnoty jeho atributům, jako jsou množství zboží a cena. Tímto krokem práce pro třídu World končí a s činnostmi na mapě přebírají iniciativitu třídy Zákazník a Obchod.



## 5.2 Třída obchod

V této třídě je popisováno chování obchodů, o kterých si jednotliví zákazníci zjišťují informace (obchod ovšem musí být v jejich dosahu pro nakupování). Každý jednotlivý obchod umístěný na mapě má své vlastní hodnoty atributů, které jsou mu na začátku přiřazeny. Tyto atributy lze v průběhu každé simulace při jejím pozastavení měnit dle libosti a následně sledovat, jak se provedená změna projeví na chování zákazníků.

Atributy a jejich možné hodnoty:

- cena sledovaného výrobku – cena u obchodů na mapě se pohybuje v kladných hodnotách v rozmezí 1 - 100
- množství zboží – v rozmezí od 0 ks až do maximální kapacity obchodu (možno změnit)

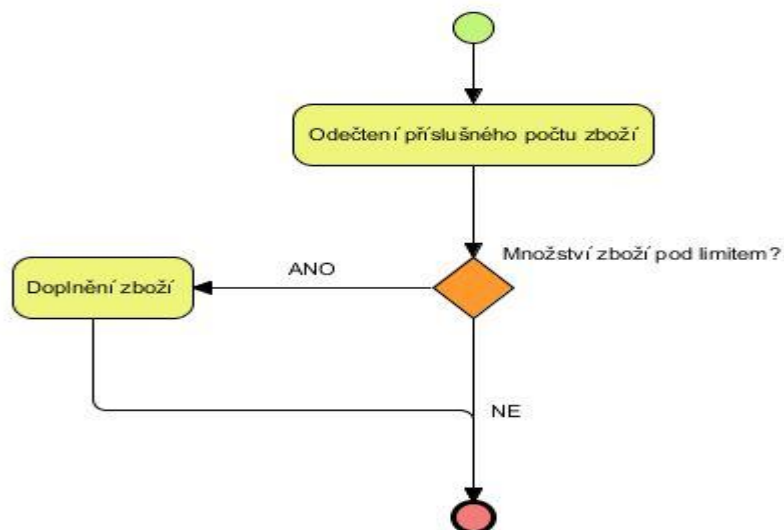


Diagram znázorňující chování obchodu

### Popis algoritmu:

Agentovi, kterého na mapě reprezentují obchody, pokud je mezi ním a zákazníkem provedena obchodní transakce (tzn. obchod se stal pro nějakého zákazníka nejvýhodnějším pro nákup), je každé kolo odečteno příslušné množství zboží, které si od něj zákazníci nakoupili. Na konci každého kroku dojde k zodpovězení otázky o doplnění zboží. Pokud obchod u sebe má stále více než třetinu jeho maximálního množství zboží, nepotřebuje zboží doplňovat a jeho úkol pro daný krok končí. V opačném případě, jestliže nastane stav, kdy je

množství zboží menší než třetina maximálního množství, je u obchodu provedeno doplňování do jeho maxima.

### 5.3 Třída zákazník

Třída zákazník je hlavní třídou v celém projektu, právě zde je utvářen celý proces nákupního chování zákazníků. Agenti této třídy vykonávají v programu hlavní úlohu práce výběrem vhodného obchodu pro nákup.

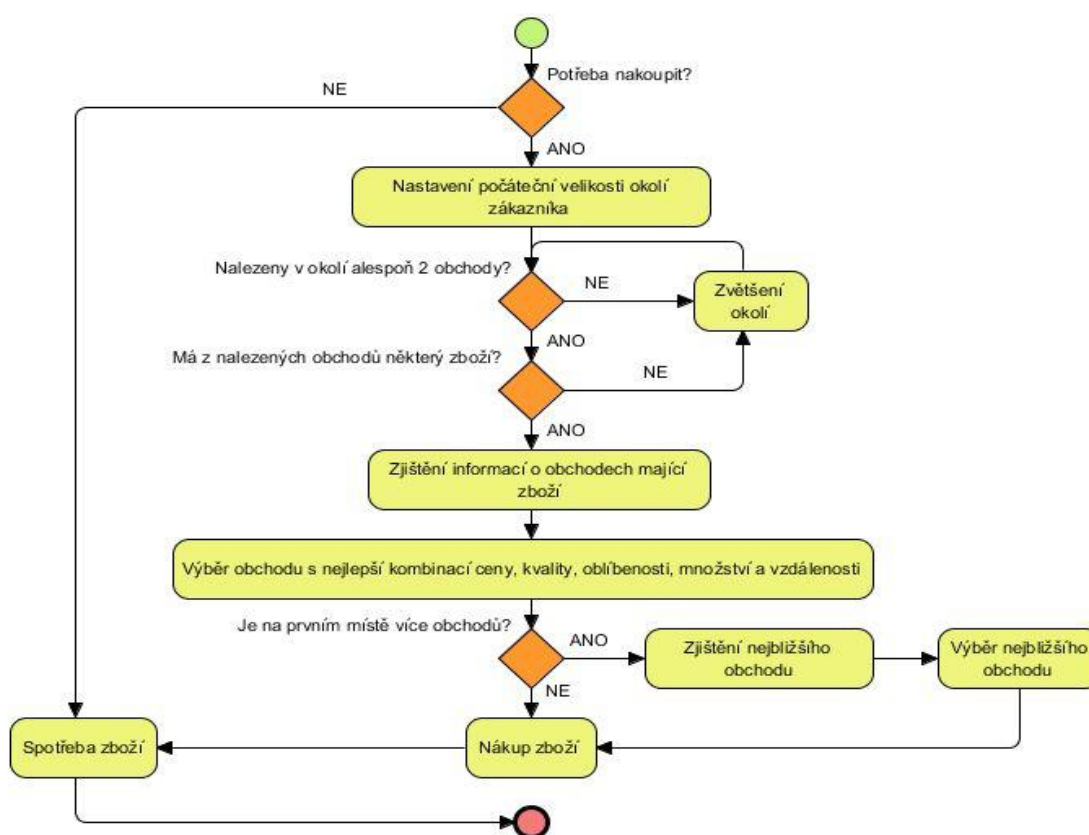


Diagram znázorňující chování zákazníka

#### Atributy zákazníka:

Při rozhodování o koupi nějakého požadovaného výrobku je pro člověka určitá jeho vlastnost důležitější než ty ostatní. Vezměme si příklad při nakupování nového notebooku, kde je pro každého, který se alespoň trochu vyzná, určitě důležitější cena a výkon než jeho hmotnost a barevné provedení. Z tohoto důvodu jsem zvolil váhy pro atributy (cenu, vzdálenost, množství a oblíbenost), které jsou číselným popisem toho, jakému faktoru dávají

jednotliví zákazníci největší váhu při koupi. Tyto hodnoty jsou u každého zákazníka v mapě odlišné. Váhy všech atributů mohou nabývat hodnot od 1 od 10, kde vyšší hodnota reprezentuje větší důraz při výběru obchodu pro nákup. Zákazník si také uchovává informace o tom, jak jsou pro něj jednotlivé obchody oblíbené (vede si seznam různých oblíbeností pro jednotlivé obchody). Čím více tedy zákazník v obchodě nakupuje, tím více se pro něj stává vybraný obchod oblíbenějším. Naopak jestliže, zákazník přestane v tomto obchodě nakupovat (vybere si pro nákup jiný výhodnější obchod), je mu po určité době oblíbenost opět snižována.

### **Popis algoritmu:**

Algoritmus začíná při spuštění celé simulace tlačítkem Spustit nebo Krok, které spouštějí metodu Act(), která postupně volá všechny potřebné metody ve třídě Zákazník. Celý postup začíná zjištěním zákazníka, zda vůbec potřebuje daný krok nakupovat. Zjištění se provede dotazem na aktuální stav zboží, které je ve vlastním vlastnictví zákazníka. Pokud je aktuální stav zboží větší než hranice definovaného minima (zde 2 ks), zákazník se nemusí pro daný krok zabývat nakupováním. Jestliže je stav zboží nižší nebo roven minimálnímu stavu je zákazník nucen nakupovat, a právě v tomto bodu začíná jeho rozhodování mezi jednotlivými obchody na mapě. Každý nakupující má své počáteční okolí o hodnotě 100, který se rozprostírá okolo každého zákazníka a zjišťuje, zda se v tomto rozsahu nalézají alespoň dva obchody (hlavním důvodem hledání alespoň dvou obchodů je možnost porovnávání mezi nimi). Při prvotním nenalezení se okolí postupně zvyšuje, dokud obchody nejsou nalezeny (samozřejmě v případě, kdy je nalezen na celé mapě pouze jeden obchod, toto hledání končí a algoritmus se posunuje dál jenom s tímto obchodem). Po nalezení nejlépe dvou a více obchodů dojde ke zjištění, zda a které obchody u sebe mají nějaké množství zboží nabízené k prodeji (je zde z důvodu, protože je zbytečné, aby zákazník zahrnoval do svého rozhodování o tom, kde nakoupí i obchody, které u sebe již nemají žádné zboží k prodeji). Jestliže žádný z nalezených obchodů u sebe nemá zboží k prodeji, je okolí zákazníka opět zvyšováno. Pokud se na mapě nalézá alespoň jeden obchod umožňující nákup (má u sebe zboží k prodeji), je zákazníkem o tomto obchodu zjištěna informace týkající se ceny, která je zahrnuta ve výpočtu při rozhodování.

Z tohoto rozhodování ve většině případů vyjde pouze jediný obchod, který je pro nákup nejvýhodnější, ale je zde také malá pravděpodobnost nastání situace, kdy dva a více obchodů

vytváří stejně výhodné nákupní podmínky, proto v tomto případě nakonec rozhoduje nejnižší vzdálenost. Po skončení každého kola se u všech zákazníků provede spotřeba zboží z jejich vlastních zdrojů, ať už toto kolo nakupovali nebo měli ještě dostatek.

## **Rozhodování**

Samotné rozhodování o nejlepším obchodě pro nákup je prováděno mezi obchody, které splnily výše uvedené podmínky (jsou v dosahu zákazníka a mají u sebe nějaké nenulové množství zboží). Rozhodování je prováděno kombinací všech atributů obchodu (cena, množství zboží), atributů zákazníka (váha pro cenu, váha pro vzdálenost, váha pro požadované množství, váha pro oblíbenost a hodnoty oblíbenosti jednotlivých obchodů) a zjištění vzdálenosti mezi zákazníkem a porovnávaným obchodem.

První metodou výpočtu bylo zvoleno počítání váženého průměru, kde hodnoty atributů v jednotlivých výpočtech mají různou důležitost na celkový výsledek. Ovšem při bližším zkoumání a ze zkušebních propočtů byly zjištěny nedostatky, které se týkají množství zboží (čím víc zboží vlastní obchod, tím méně je preferovaný zákazníkem) a vzdálenosti (i když vzdálenost není nejdůležitějším faktorem při výběru obchodu, její vysoké hodnoty vysoce předčily nejvyšší váhu). Proto metoda váženého průměru nemohla být použita a musel být vymyšlen jiný vzorec, který by simulaci vyhovoval. Nakonec byl použit níže uvedený vzorec, který bude vysvětlen pomocí příkladu. Nejvyšší výsledek určuje nejvýhodnější obchod pro nákup.

### **Obecný vzorec:**

$$\text{Váha\_oblíbenost} * (\text{Oblíbenost} / (\text{Maximální\_hodnota\_oblíbenosti} * 2)) - \text{Váha\_cena} * (\text{Cena} / \text{Maximální\_cena}) - \text{Váha\_vzdálenost} * (\text{Vzdálenost} / \text{Maximální\_vzdálenost}) - \text{Váha\_množství\_zboží} * ((\text{Potřeba\_nakoupit} - \text{Kusů\_zboží}) / \text{Maximální\_potřeba})$$

Příklad: Zákazník se rozhoduje, zda pro něj bude výhodnější nákup 10 kusů zboží v obchodě A nebo obchodě B. Tento zákazník klade při koupi největší důraz na cenu a množství zboží naopak nejmenší důraz klade na oblíbenost obchodu a vzdálenost. Obchod A nabízí své výrobky za cenu 21 a na skladu má 8 kusů výrobku. Obchod B nabízí výrobky za cenu 19 a na skladu má 7 kusů. Oba obchody jsou od zákazníka stejně daleko.

**Atributy zákazníků:**

Oblíbenost obchodu A = 5

Oblíbenost obchodu B = 4

Váha cena = 5

Váha oblíbenost = 3

Váha vzdálenost = 2

Váha množství zboží = 4

Potřeba nakoupit = 10 ks

**Obchod A:**

Cena = 21

Kusů zboží = 8

Vzdálenost = 100

**Obchod B:**

Cena = 19

Kusů zboží = 7

Vzdálenost = 100

**Další hodnoty potřebné k výpočtu:**

Maximální hodnota oblíbenosti = 5

Maximální vzdálenost = 1000

Maximální potřeba = 10

**Výpočet pro obchod A:**

$$3 * (5/(5*2)) - 5 * (21/100) - 2 * (100/1000) - 4 * ((10 - 8)/10) = 1,5 - 1,05 - 0,2 - 0,8 = -0,55$$

**Výpočet pro obchod B:**

$$3 * (4/(5*2)) - 5 * (19/100) - 2 * (100/1000) - 4 * ((10 - 7)/10) = 1,2 - 0,95 - 0,2 - 1,2 = -1,15$$

**Výsledek:**

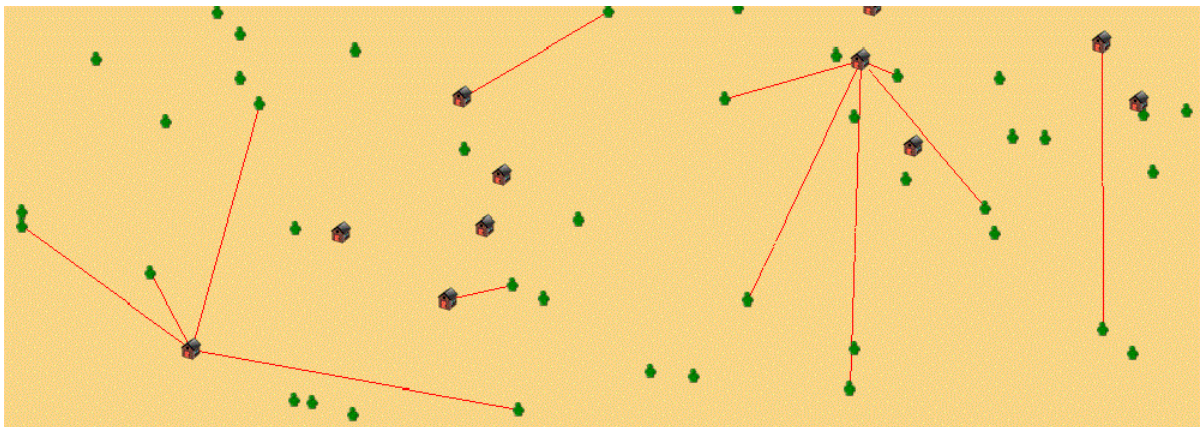
A (-0,55) > B (-1,15) => Obchod A je výhodnější obchod pro nakupujícího zákazníka

Jak je ve vzorci vidět, jediným plusovým činitelem je oblíbenost obchodu, to je ve vzorci uděláno z důvodu, že oblíbenost daný obchod zvýhodňuje před ostatními obchody na rozdíl od ostatních činitelů ve vzorci, který obchod jistou mírou podle hodnoty členu a k němu dané váhy znevýhodňují. Čím větší váha u členu, tím je odečítána větší hodnota a obchod se stává více nevýhodným pro nákup.

Část ve vzorci zabývající se oblíbeností ( $\text{Váha\_oblíbenost} * (\text{Oblíbenost} / (\text{Maximální\_hodnota\_oblíbenosti} * 2))$ ) vrací hodnotu větší než 0 pouze v případě, že zákazník má již obchod ohodnocen určitou oblíbeností, která je vytvořena tím, že už zákazník v tomto obchodě někdy předtím nakupoval, jinak do výpočtu vrací hodnotu 0. Také jestliže obchod nemá u sebe požadované množství zboží, které zákazník vyžaduje, je tomuto obchodu odečítána od celkového výsledku příslušná hodnota (obchod se odečítáním stává méně výhodným pro nákup). Odečítání nastává jenom v případě nižšího množství zboží u obchodu než je množství požadované zákazníkem, jinak také část zabývající se množstvím zboží ( $\text{Váha\_množství\_zboží} * ((\text{Potřeba\_nakoupit} - \text{Kusů\_zboží})/\text{Maximální\_potřeba})$ ) vrací do výpočtu hodnotu 0.

### Vykreslování spojení

K zobrazení spojení mezi zákazníkem a obchodem dochází, jakmile zákazník prošel celým rozhodovacím procesem a již si vybral nejlepší možnost pro nákup. Vykreslování je možné pozorovat v grafickém znázornění na mapě, kdy červené propojení znázorňuje aktuální nákup zákazníka u vybraného obchodu. Po skončení kola zobrazující poslední volbu je toto spojení přerušeno.

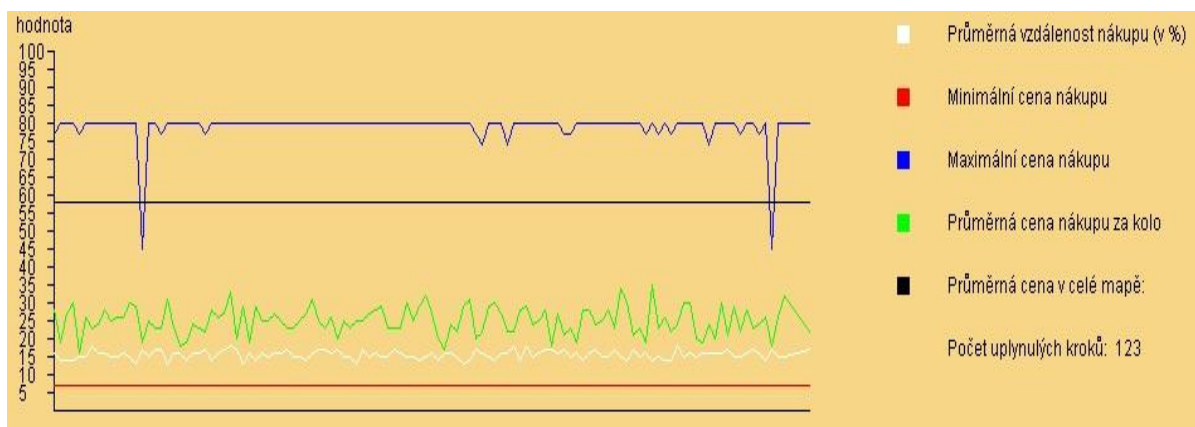


Ukázka ze spuštěné simulace

## 5.4 Statistika

Tato třída vykonává veškerou informativní úlohu o každém proběhnutém kole. Právě zde jsou vidět jedny z nejdůležitějších výstupů celé aplikace, díky kterým se dá model použít v různých situacích. Data jsou zobrazena ve spojnicovém grafu, který byl pro zobrazení zvolen

jako nejvhodnější. Je zde zobrazena průměrná cenu v celé mapě, průměrná vzdálenost nákupu, minimální, maximální a průměrná cena, za kterou zákazníci nakupovali. Průměrná vzdálenost nákupu je zobrazována v procentuelním zastoupení z důvodu, že maximální možná vzdálenost nákupu je 1060. Pokud graf dosáhne zobrazení 120 kroků, jsou následně mazána nejstarší data a místo nich jsou zobrazována data nejnovější (jinak řečeno graf zobrazuje posledních 120 kroků simulace). Osa x, která je v rozmezí hodnot od 0-100, představuje možné výsledky, kterých mohou dosáhnout všechny sledované hodnoty kromě výše zmíněné průměrné vzdálenosti.



Ukázka statistického vyhodnocení

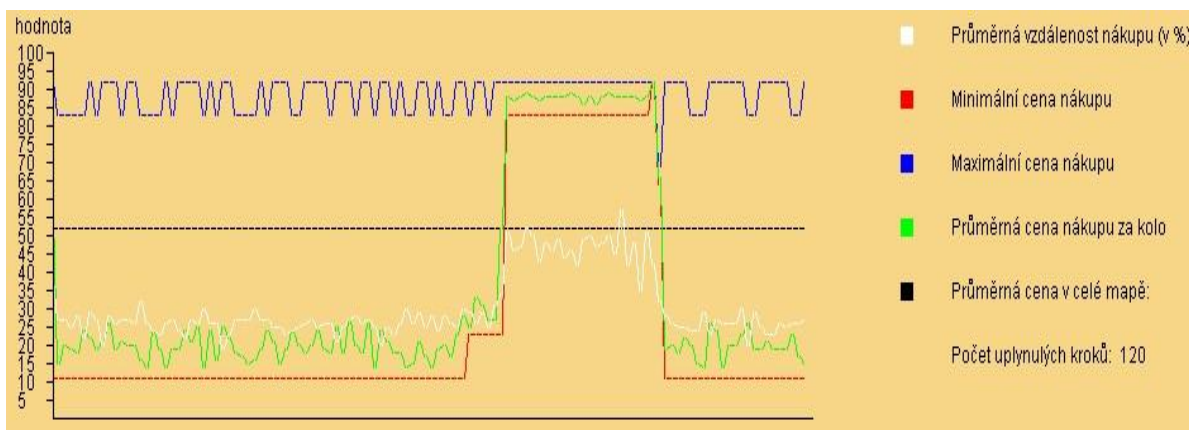
## 6 Simulace

### 6.1 Simulace nedoplňování zboží

V této simulaci došlo k události, kdy po určitých krocích již spuštěné simulace došlo k zastavení zásobování obchodů zbožím (zboží se v obchodech nedoplňovalo). Šlo o to zjistit, zda zákazníci budou díky této vzniklé situaci nakupovat v obchodech, které jsou pro ně daleko méně výhodné pro nákup, než v jakých nakupovali doposud. V simulaci bylo použito 4 obchodů a 200 zákazníků.

Výsledkem simulace bylo, že se zákazníci v celé simulaci chovali podle předpokladů, kdy do doby než došlo k zastavení dodávek zboží, nakupovali v pro ně nejvýhodnějších obchodech, které se nalézali v poměrně krátkých vzdálenostech od zákazníků. Po zastavení zásobování, které nastalo po 50 krocích simulace zákazníci nejprve ve svém okolí (ve kterém již nakupovali od začátku simulace) v určitém pořadí vykoupili veškeré zásoby jednotlivých

obchodů (nastaveno 3000 kusů zboží) a následně začali s vykupováním zboží v obchodech pro ně daleko méně výhodnějších. Po dalších 50 krocích, po které museli zákazníci nakupovat ve větších vzdálenostech, se všem obchodům opět začalo zboží doplňovat. To způsobilo, že zákazníci opět začali nakupovat v obchodech jako na začátku simulace.



Ukázka výsledků simulace nedoplňování zboží

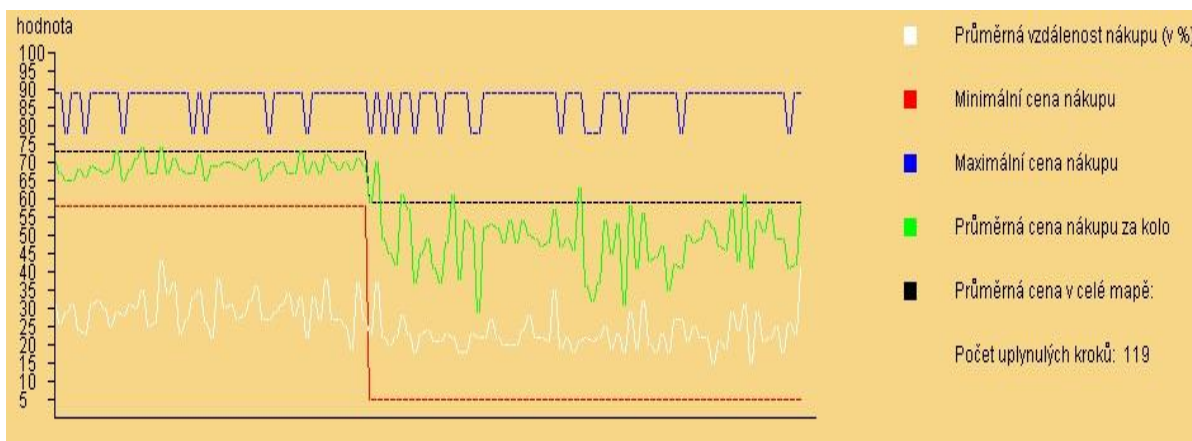
Z grafu je patrné, že v prvních 50 krocích, kdy je obchodům zboží doplňováno, každý zákazník nakupuje u pro něj nejvýhodnějšího obchodu, proto se sledované hodnoty pohybují v ustáleném stavu. Po uplynutí prvních 50 kroků simulace došlo k situaci, kdy na dalších 50 kroků není obchodům zboží doplňováno. Nedoplňování zboží se projevilo v chování zákazníků, kteří jakmile vykoupili veškeré zásoby nejvýhodnějších obchodů, začali nakupovat v méně výhodných obchodech (s vyšší cenou a vzdáleností), to se v grafu projevilo rychle stoupající tendencí všech sledovaných hodnot. Po opětovném nastání doplňování zboží (nastává po 100 krocích od spuštění simulace) se hodnoty v grafu postupně vrací do normálu.

## 6.2 Přidání bezkonkurenčního obchodu do simulace

Při simulování této situace šlo o to, jestli se změní chování zákazníků v již déle spuštěné simulaci. Bylo použito 150 zákazníků a 4 obchodů. Zákazníci si již během uplynulé doby od spuštění simulace vytvořili seznamy svých oblíbených obchodů, které pro ně byly nejvýhodnější pro nákup. Po vložení nového obchodu, který měl veškeré svoje atributy nastaveny na bezkonkurenční hodnoty, došlo k tomu, že většina zákazníků (ve většině případů šlo o zákazníky, kteří kladli nejvyšší důraz při koupi na cenu a naopak nejmenší



důraz na oblíbenost) přestali nakupovat u jejich doposud oblíbených obchodů a naopak začali nakupovat u tohoto nového obchodu, který se pro ně stal nejvýhodnějším. Ovšem někteří zákazníci i přes nejlepší nabídku nového obchodu, zůstali u nakupování ve svých blízkých obchodech, které už si po určité době, co u nich nakupovali, oblíbili.

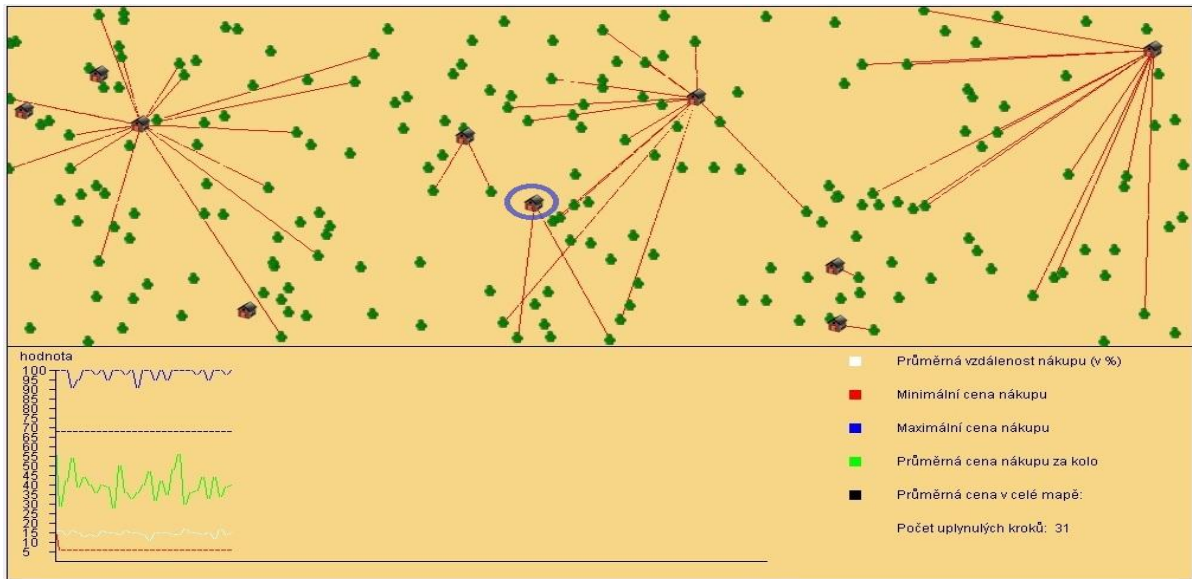


Ukázka výsledků simulace přidání bezkonkurenčního obchodu

Simulace před přidáním nového obchodu s nejvýhodnější cenou na trhu již byla spuštěna, po dobu 50 kroků, a proto si zákazníci již vytvořili různé oblíbenosti u jednotlivých obchodů. Po uplynutí prvních 50 kroků byl do mapy přidán obchod s bezkonkurenčními cenami (v grafu vyobrazeno klesající tendencí minimální ceny a průměrné ceny nákupu za kolo). Z grafu je patrné, že zákazníci ihned začali využívat speciální nabídky tohoto obchodu a tento obchod se pro ně stal nejlepším pro nákup.

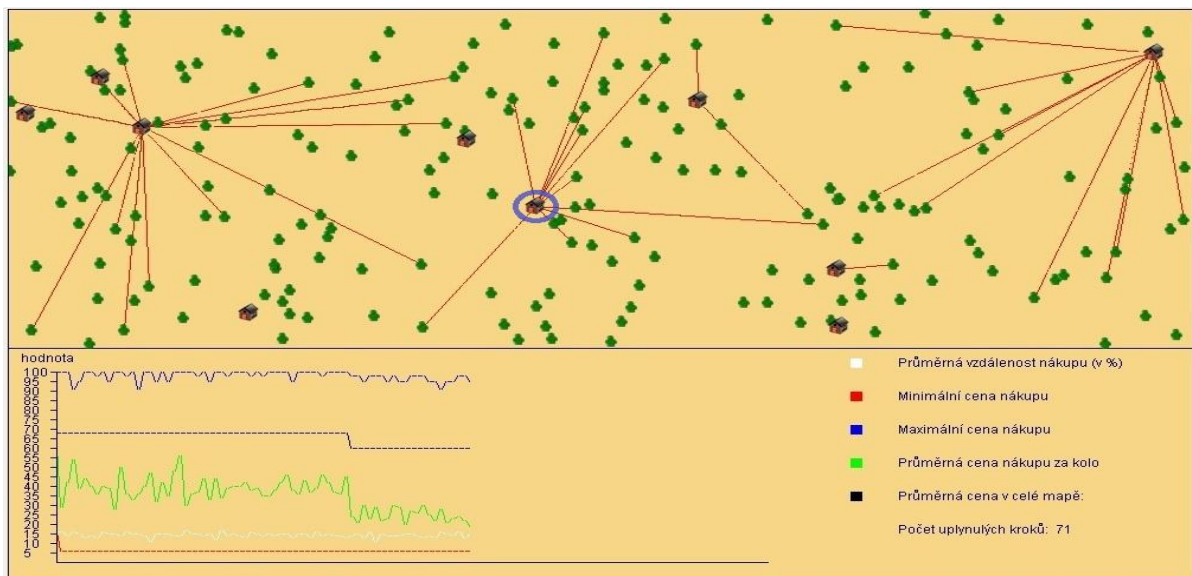
### 6.3 Dočasná cenová akce v obchodě a její vlivy na počty zákazníků

V této poslední simulaci šlo o to zjistit, zda díky cenové akci ve vybraném obchodě, který je v simulaci již od začátku, dojde ke zvyšování počtu u něj nakupujících zákazníků. Při simulaci bylo použito 200 zákazníků a 10 obchodů. Po uplynutí prvních 50 kroků, za které si již zákazníci vybrali pro ně nejvýhodnější obchody a u těchto obchodů si již vytvořili jisté míry oblíbenosti, dojde ve vybraném obchodu k dočasné velmi výhodné cenové akci. Po uplynutí 50 dalších kol s touto výhodnou akcí se cena v obchodě opět vrátí na její původní hodnotu, jako ze začátku simulace.



Ukázka výsledků simulace před dočasnou cenovou akcí obchodu

První obrázek, pořízen před dočasnou cenovou akcí zobrazuje vybraný obchod (v modrém kroužku uprostřed) a jeho počty nakupujících, které byli v rozmezí 1-3 za kolo. Je zde vidět, že naprostá většina zákazníků nakupuje v ostatních obchodech s výhodnější cenou.



Ukázka výsledků simulace při dočasné cenové akci obchodu

Obrázek pořízený po uplynutí prvních 71 kroků, tedy již 21 kroků, kdy obchod spustil výhodnou cenovou akci (z ceny 70 na cenu 20). Posledních 21 kroků bylo vidět, že došlo k markantnímu vzrůstu počtu nakupujících zákazníků u sledovaného obchodu. Jakmile ovšem cenová akce byla ukončena, již obchod opět nebyl pro zákazníky z hlediska nákupu zajímavým a počty nakupujících se vrátili do normálního stavu, tedy 1-3 zákazníci za kolo.

## 7 Závěr

**Charakterizovat a seznámit se s principy multiagentního modelování včetně dostupných vývojových prostředí.** V tomto prvním cíli práce, který byl základem pro celou tuto práci, bylo zjištěno, jaké jsou jednotlivé fáze pro modelování, díky kterým bylo možno navrhnout simulační model nákupního chování zákazníků.

Následoval výběr vývojového prostředí, kde bylo vybíráno mezi třemi alternativy (Greenfoot, NetLogo a Repast). Jako nejvhodnější byl nakonec zvolen Greenfoot, který je volně dostupný, používá programovací jazyk Java, nabízí práci s vytvářenými aplikacemi interaktivní a vizuální formou. Z předešlých informací vyplývá, že je ideálním prostředím pro tvorbu různých simulací. První cíl práce byl tímto splněn.

**Nastudovat principy a funkce prostředí zvoleného pro realizaci praktické části.** Druhý cíl práce zahrnoval nastudování principů a funkcí Greenfootu pro realizaci praktické části. Tento cíl byl splněn díky studování dokumentace o zvoleném prostředí, sledování naučných tutoriálů, prohlédnutí různých již vytvořených simulací a vlastní tvorbou. Touto cestou bylo zjištěno, jak celé prostředí funguje, jak se ovládají jednotlivé simulace, a jaké k tomu Greenfoot používá funkce. Cíl byl splněn.

**Podrobně analyzovat problematiku nákupního chování zákazníků a navrhnout multiagentní model umožňující jeho simulaci. Soustředit se na analýzu chování všech typů agentů.** Analýzou hlavních faktorů, které ovlivňují zákazníka při výběru zboží, při které byl velkou inspirací zobrazený model nákupního chování (viz. kapitola 3), byly přiřazeny jednotlivým agentům jejich atributy, pomocí kterých se agenti následně při spuštění simulace chovali.

Následovala důkladná analýza všech typů agentů, kteří se v simulaci vyskytují a tvorba jejich class diagramů, podle kterých je vidět, jak se všechny tyto agenti chovají. Kombinací těchto dvou analýz došlo k návrhu multiagentního modelu, který byl v následujícím cíli naprogramován.

**Vytvořit simulační model ve zvoleném prostředí včetně naprogramování agentů a nástrojů pro sledování a analýzu simulace.** Po vhodném návrhu multiagentního modelu se úspěšně podařilo tento model naprogramovat v programovacím jazyce Java ve zvoleném prostředí, včetně naprogramování nástrojů pro sledování a analýzu simulace. Mapa se všemi

agenty je graficky znázorněna v horní polovině prostředí a při spuštění každé jednotlivé simulaci je vidět výběr jednotlivých zákazníků mezi obchody. V mapě je umožněno sledování všech atributů agentů a také možnost všem agentům tyto atributy měnit a následně sledovat změnu chování.

Nástroj pro sledování a analýzu v podobě spojnicového grafu, který uživateli umožňuje sledovat průběh všech sledovaných hodnot od počátku spuštění simulace až do konce simulace s omezením viditelnosti posledních 120 kroků a následně z něj dělat závěry, byl vytvořen v dolní polovině vývojového prostředí. Celá aplikace byla testována třemi navrženými simulacemi, které dopadli zdařile, tedy chování agentů probíhalo podle předpokladů, které vyplývají z vytvořeného modelu a diagramů. Cíl byl splněn.

#### **Vytvořit uživatelskou dokumentaci modelu a dokumentaci aplikace na úrovni javadoc.**

Po celou dobu vývoje aplikace byla dokumentace udržována v čisté a srozumitelné formě. Výsledná podoba dokumentace umožňuje porozumění celé aplikace na uživatelské i na programátorské úrovni.

Ze shrnutí celé práce je vidět, že všechny cíle byly splněny, ovšem model je v plánu i nadále zdokonalovat. Hlavní částí systému, která by mohla být zdokonalována, je vizuální forma simulace, kde je mnoho možností pro zlepšení (např.: vytvoření světa, který svým rozmístěním objektů na mapě napodobuje nějaké reálné místo, vytvoření pohybu zákazníků po mapě nebo propracování konkurenčního boje mezi obchody).

## 8 Použitá literatura

- [1] ZBOŘIL, František. *Plánování a komunikace v multiagentních systémech (Disertační práce)* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2004, [cit. 2010-01-20]
- [2] HUHNS, Michael. MUNINDAR Singh P. (ed.) *Research directions for service-oriented multiagent systems* [online]. [Cit. 2010-01-16]
- [3] ŠALAMON, Tomáš. *Agent based modeling (pdf) - studijní materiály pro kurz 4IT495*. [s.l.] : VŠE. (7-Agent-based modeling I.pdf). Kapitola 1.
- [4] KUBIK, Aleš. *Inteligentní agenty: Tvorba aplikačního softwaru na bázi multiagentových systémů*. Praha: Computer press, 2004. 280s.
- [5] VOLNÁ, Eva. *Vybrané partie umělé inteligence* [online]. [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: [http://www1.osu.cz/~volna/Vybrane\\_partie\\_UI\\_1\\_dil\\_skripta.pdf](http://www1.osu.cz/~volna/Vybrane_partie_UI_1_dil_skripta.pdf)
- [6] RUSSELL, Stuart J a Peter NORVIG. *Artificial intelligence: a modern approach*. 2nd ed. New Jersey: Prentice Hall, c2003, 1081 s. ISBN 01-379-0395-2.
- [7] ŠMAJCL, Jan. *Vývojové prostředí pro modelování multi-agentních systémů*. Č. Bud., 2008. bakalářská práce (Bc.). JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Pedagogická fakulta
- [8] Dennet, D. „The intentional stance“, MIT Press, Cambridge, Mass., 1987
- [9] BRATMAN, Michael. *Intention, plans, and practical reason*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1987, 200 s. ISBN 06-744-5818-4.
- [10] Parsons, S., Wooldridge, M., Amgoud, L. „Properties and Complexity of Some Formal Inter-agent Dialogues“, *Journal of Logic Computation*, vol 13 No,3, Oxford University Press, 2003
- [11] *The foundation for intelligent physical agents* [online]. [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: [www.fipa.org](http://www.fipa.org)
- [12] SCHIFFMAN, L.G.; KANUK, L.L. *Nákupní chování*. 1. vyd. Brno : Computer Press, 2004. 8025100944 s. ISBN 8025100944.
- [13] *Greenfoot* [online]. [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: [www.greenfoot.org](http://www.greenfoot.org)

[14] *Repast* [online]. [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: [www.repast.sourceforge.net](http://www.repast.sourceforge.net)

[15] *NetLogo* [online]. 1999 [cit. 2012-04-24]. Dostupné z: <http://ccl.northwestern.edu/netlogo>

## 9 Přílohy

[A] CD s vlastní aplikací a jejími zdrojovými kódy, s dokumentací k vytvořené java aplikaci.

[B] CD s textem bakalářské práce v elektronické podobě a vlastní java aplikací včetně dokumentace.