

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE

FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY A INFORMATIKY

KATEDRA APLIKOVANEJ INFORMATIKY



# RIADIACI SYSTÉM PRE AUTONÓMNEHO AGENTA ZALOŽENÝ NA EMOČNOM MODELI A UMELÝCH NEURÓNOVÝCH SIETĎACH

Diplomová práca

Bc. Radoslav Škoviera

Študijný program : Kognitívna veda

Medziodborové štúdium: 9.2.8 Umelá inteligencia

3.1.9 Psychológia



Školiteľ: doc. Ing. Igor Farkaš, PhD.

Bratislava, 2010



Čestne prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval  
samostatne s použitím citovaných zdrojov.

.....

## *Podakovanie*

Chcel by som sa poďakovať môjmu školiteľovi doc. Ing. Igorovi Farkašovi, PhD. za jeho rady počas tvorby diplomovej práce, ale hlavne za ním poskytnuté cenné vedomosti v priebehu môjho štúdia, ktoré sa stali základom pre vytvorenie tejto diplomovej práce.

**Bibliografická identifikácia**

ŠKOVIERA, Radoslav. Riadiaci systém pre autonómneho agenta založený na emočnom modeli a umelých neurónových sieťach [Diplomová práca].

Univerzita Komenského v Bratislave. Fakulta matematiky, fyziky a informatiky;

Katedra aplikovanej informatiky.

Školiteľ: doc. Ing. Igor Farkaš, PhD. Bratislava : FMFI UK, 2010. 60 s.

### **Abstrakt**

Diplomová práca pojednáva o perspektívnosti využitia emočných modelov v obore umelej inteligencie, konkrétne ako súčasť rozhodovacieho mechanizmu riadiacich systémov pre racionálne autonómne agenty.

Prvá časť práce je teoretickým úvodom do témy emočných modelov. Súčasťou tohto úvodu je aj filozofická úvaha o racionálnosti emócií a nimi inšpirovaných emočných modelov. Ďalšia časť sa zaoberá návrhom emočného modelu s použitím umelých neurónových sietí a aj riadiaceho systému využívajúceho tento model. V nasledujúcich kapitolách práca pojednáva o implementácii vyvinutého riadiaceho systému do agentov v jednoduchej počítačovej simulácii.

Na záver sú v práci uvedené a prediskutované výsledky testovania riadiaceho systému.

### **Kľúčové slová**

*Emočný model, riadiaci systém,, racionálny autonómny agent, umelá neurónová sieť*

### **Bibliography identification**

ŠKOVIERA, Radoslav. Control system for autonomous agents based on emotional models and artificial neural networks [Master thesis].

Comenius University in Bratislava. Faculty of Mathematics, Physics and Informatics;

Department of Applied Informatics.

Supervisor: doc. Ing. Igor Farkaš, PhD. Bratislava : FMFI UK, 2010. 60 s.

## **Abstract**

The master thesis deals with the potential of models of emotion in the field of artificial intelligence, more specifically as the key component of decision-making mechanism in control systems of rational autonomous agents.

The first part of the thesis is the theoretical introduction to emotional models. It also deals in a philosophical manner with the question whether emotions and thus the emotional models can be rational. The next part deals with the development of an actual emotional model with use of artificial neural networks as well as with the development of the control system that will implement the model. The following chapters of this work are concerned with the implementation and testing of the control system in a simple computer simulation.

In the last part of this work, the results of the simulation are presented and discussed.

## **Key words**

*Models of emotion, control systems, rational autonomous agent, artificial neural network*

## **Predhovor**

V posledných desaťročiach sa stala najprv v oblasti psychológie a neskôr aj v umelej inteligencii stala populárna otázka emócií a modelov emočných procesov a ich využitia pri poznávaní emócií, ale taktiež ich možností pre umelú inteligenciu. Jednou s týchto možností je použitie emóciami inšpirovaných modelov ako základ pre rozhodovacie mechanizmy racionálnych autonómnych agentov.

O možnosti využitia poznatkov o biologických emóciách v umelej inteligencii pojednávame aj v tejto práci. Pokúsime sa navrhnúť a implementovať vlastný emočný model do riadiaceho systému autonómneho agenta. Potom tento systém otestujeme v multi-agentovej počítačovej simulácii, aby sme zistili, či bude schopný adaptácie na neznáme prostredie a či bude agenta riadiť tak, aby konal racionálne.



# Obsah

<b>1. Úvod</b>	<b>1</b>
1.1 Autonómny agent.....	1
1.2 Emócie.....	2
1.3 Emócie v počítačoch.....	5
1.4 Aplikácie emočných modelov.....	8
<b>2. Emočný model a riadiaci systém</b>	<b>10</b>
2.1 Emočný model.....	10
2.1.1 Funkcia emočného modelu.....	10
2.1.2 Emócie.....	11
2.1.3 Emočná pamäť.....	12
2.1.4 Ohodnocovanie objektov.....	15
2.2 Riadiaci systém.....	18
2.3 Učenie.....	22
<b>3. Implementácia</b>	<b>28</b>
3.1 Prostredie simulácie.....	29
3.2 Štruktúra aplikácie a funkcie jej komponentov.....	31
3.3 Agent.....	32
3.3.1 Potreby a záujmy agenta.....	35
3.4 Objekty prostredia.....	36
<b>4. Testovanie modelu</b>	<b>36</b>
4.1 Hypotéza.....	37

4.1.1	Emočná pamäť.....	38
4.1.2	Sociálne učenie.....	38
4.1.3	Zmenené priority.....	39
4.1.4	Populačné problémy.....	40
4.1.5	Zvedavosť a stres.....	40
4.2	Testovacie metódy.....	42
4.3	Výsledky testovania.....	44
4.3.1	Emočná pamäť.....	49
4.3.2	Sociálne učenie.....	50
4.3.3	Priority.....	51
4.3.4	Populačné problémy.....	53
4.3.5	Stres a zvedavosť.....	53
<b>5.</b>	<b>Diskusia</b>	<b>56</b>
5.1	Interdisciplinarita.....	57
<b>6.</b>	<b>Záver</b>	<b>57</b>
	<b>Zoznam bibliografických odkazov</b>	<b>58</b>
	<b>Prílohy</b>	<b>60</b>

## Zoznam obrázkov

1.1 Schéma modelu OCC.....	8
2.1 Schéma emočného vyhodnocovacieho procesu objektov.....	15
2.2 Schéma riadiaceho systému.....	18
2.3 Tok dát v riadiacom systéme.....	21
3.1 Vzhľad aplikácie.....	29
4.1 Ukážka vzhľadu aplikácie na zobrazovanie grafov.....	42
4.2 Grafy pomerov zjedených jedlých a jedovatých húb.....	45
4.3 Priebeh hodnôt pomer zjedených húb a pomeru hodnôt zjedených húb.....	46
4.4 Graf potrieb všetkých agentov a referenčného agenta a jeho stresu .....	47
4.5 Graf strednej kvadratickej chyby .....	48
4.6 Graf pomeru zjedených húb a potrieb agentov s vypnutou emočnou pamäťou .....	49
4.7 Hodnoty nazbieraných okrasných húb a stromov.....	50
4.8 Priebeh strednej kvadratickej chyby učenia pre zapnuté a vypnuté sociálne učenie a pre malú a veľkú skupinu agentov.....	51
4.9 Graf znázorňujúci potreby agenta so zvýšenou prioritou práce s porovnaním k potrebám ostatných agentov.....	52
4.10 Priebeh potrieb pre malú a veľkú skupinu agentov.....	53
4.11 Normálny pohyb agentov a pohyb agentov bez stresu a zvedavosti .....	54
4.12 Pohyb agentov pri zníženom raste stresu.....	55

# 1. Úvod

Cieľ našej práce je vytvoriť riadiaci systém pre autonómneho agenta, založený na nami navrhnutom emočnom modeli. Následne tento riadiaci systém otestujeme tak, že ho implementujeme do jednoduchej multi-agentovej simulácie a vyhodnotíme jeho schopnosť plniť danú úlohu. Avšak ešte predtým, než prejdeme k samotnej implementácii a testovaniu tohto riadiaceho systému, považujeme za nevyhnutné popísať našu motiváciu, prečo sme sa rozhodli práve pre použitie emočného modelu ako základu nášho riadiaceho systému a či je vôbec možné použiť emócie ako podklad pre riadiace systémy. Najprv v krátkosti čitateľa uvedieme do problematiky autonómnych agentov, potom sa pokúsime viac-menej filozoficky vysvetliť „racionalitu emócií“ a na záver úvodnej časti predostrieme niekoľko dôležitých informácií z oblasti emočných modelov – čo sú to emočné modely a aké je ich využitie. V ďalšej časti podrobne popíšeme postup návrhu nášho emočného modelu a riadiaceho systému. Potom popíšeme, ako sme model implementovali a ako vyzerá celá simulácia. V záverečnej časti práce popíšeme naše hypotézy o správaní sa agentov v simulácii, metódy akými ich budeme overovať a následne aj výsledky testov a ich interpretáciu.

## 1.1 Autonómny agent

Umelá inteligencia sa už dlhší čas zaoberá konceptom autonómneho agenta. Autonómny agent v širšom zmysle je v podstate ľubovoľná entita (mechanického, softvérového, či biologického pôvodu – t.j. stroj, program alebo tvor), ktorá vie prijímať nejaké vstupy z jej prostredia a na základe týchto vstupov, prípadne aj svojho vnútorného stavu, konať. Z toho vyplýva, že autonómny agentom je napríklad človek, určitý druh počítačových programov alebo aj automat na lístky. Z hľadiska umelej inteligencie sú zaujímavé hlavne umelé agenty, t.j. roboty a softvérové agenty. Vo všeobecnosti však samotná autonómnosť u agenta nestačí. Či už sa jedná o človeka alebo o robota, agent by mal mať nejaký zmysel existencie, nejakú úlohu, cieľ. Aj automat na lístky má svoj cieľ; jeho cieľom je vydávať ľuďom správne lístky, za ktoré si zaplatia. Bez cieľa by nemal agent nijaký zmysel a pre nás by roboty, ktoré by boli síce samostatné, ale nemali by žiadny zmysel, boli zbytočné. Preto sa k autonómnosti pripája aj racionalita. Racionalitu

môžeme definovať ako schopnosť voliť jednotlivé kroky / akcie tak, aby sa agent čo najefektívnejšie približoval k svojmu cieľu. Teda jednoducho povedané, racionálny agent je taký, ktorý koná tak, aby splnil svoje ciele. Týchto cieľov môže byť samozrejme viacero, ale čím viac cieľov, tým komplikovanejší musí byť riadiaci systém daného agenta, aby bol schopný konať racionálne. Napríklad spomínaný automat na lístky má v podstate len jeden cieľ, jeho riadiaci systém môže byť teda veľmi jednoduchý. Človek naproti tomu má mnoho cieľov – od základných fyziologických až po vyššie, napríklad kariérne – a o človeku vieme, že jeho riadiaci systém je nesmierne zložitý. Dôvodom, prečo riadiaci systém agenta s mnohými cieľmi je zložitý, je viacero. Takýto systém musí riešiť konflikt cieľov, výber najefektívnejších krokov na splnenie viacerých cieľov naraz, či zhodnocovanie situácie z hľadiska viacerých cieľov. Náš mozog musí neustále riešiť tieto problémy, no vďaka jeho sofistikovanosti sa nám to zväčša relatívne dobre darí. Pre umelú inteligenciu je však riešenie týchto problémov veľmi tvrdým orieškom. Mozog má obrovskú výpočtovú kapacitu a bol vyvíjaný veľmi, veľmi dlhú dobu tak, aby čo najefektívnejšie riešil všetky tieto i mnohé iné problémy. Lenže roboty vytvorené ľuďmi zatiaľ nemajú k dispozícii ani len zlomok výpočtovej kapacity mozgu a ani používané algoritmy nie sú zatiaľ tak efektívne ako tie, ktoré používa príroda. Je však naozaj pravda, že riadiaci systém agenta s mnohými cieľmi v zložitom prostredí musí byť zložitý? Ako teda dokázali prežiť jednoduchšie organizmy, primitívnejšie zvieratá, ktorých centrá inteligencie nie sú ani zďaleka tak vyvinuté, ako je tomu u ľudí?

## 1.2 Emócie

Emócie boli od vekov chápané ako opak inteligencie, logiky, racionality. Emotívne správanie sa chápalo a dosť často i v súčasnosti chápe ako iracionálne. Je tomu však naozaj tak? Pozrime sa na to z evolučného hľadiska. Je možné, aby sa v prírode vyvinulo niečo, čo nemá žiadny význam, prípadne práve naopak, má slúžiť len ako záťaž pre daný organizmus? V ojedinelých prípadoch by to teoreticky bolo možné, ale keďže ten istý koncept sa vyskytuje (v mierne obmenenej podobe) vo veľkom množstve rôznych organizmov, je to viac než nepravdepodobné. Emócie teda musia mať nejaký zmysel a s veľkou pravdepodobnosťou to nebude znepríjemňovanie nášho života. Čo by teda mohlo byť zmyslom emócií? Aby sme mohli odpovedať na túto otázku, skúsme si predostrieť nejaký príklad z reálneho sveta, kde hrajú hlavnú úlohu emócie. Prenesieme sa

ale pár tisícročí dozadu, kde naši pradávní predkovia chodili do lesa zbierať rozličné plody a občas aj uloviť nejakého jeleňa. Dôvodom, prečo sa vraciame v čase je, že v minulosti boli ľudia napriek silne vyvinutému neokortexu oveľa citlivejší na emócie a inštinky, nesnažili sa ich natoľko potláčať a vedeli im lepšie „načúvať“. Vďaka tomu môžeme povedať, že i keď mali schopnosť inteligentného myslenia, stále boli ľahko ovládateľní emóciami. Čas od času sa naši predkovia určite dostali do nebezpečných situácií, napríklad stretli v lese šelmu. Predstavme si teda, že máme človeka stojaceho v lese pri strome, z ktorého oberá plody a obďaleč sa z húšťa vyvynorí vlk. V bežnom živote si nevšimneme plno objektov napriek tomu, že sa nachádzajú v našom zornom poli. Ak by mozog spracovával všetky údaje zo všetkých zmyslov aj na tej najvyššej úrovni (t.j. na úrovni vedomia), potreboval by na to veľmi veľa energie a pravdepodobne by musel mať ešte mohutnejšiu výpočtovú kapacitu. Navyše by to ani nebolo rentabilné, pretože naozaj nepotrebujeme vedome vnímať všetko, čo sa okolo nás deje. Na výber toho, čo je podstatné, slúži pozornosť. Pozornosť môžeme ovládať do určitej miery vedome, ale existujú situácie, kde je naša pozornosť podvedome priťahovaná k určitým objektom. Naš mozog je totiž vyvinutý tak, aby primárne detegoval pohyb a určité živočíchy vyhodnocoval ako nebezpečné, i keď sme ich nikdy predtým nevideli a vedome nevieme, či nám môžu ublížiť alebo nie (pravdepodobne podľa určitých vizuálnych črt, preto môžu mať ľudia strach aj z neškodných živočíchov, ktoré sa podobajú na tie škodlivé, napr. jedovaté a nejedovaté pavúky, hady a pod.; na druhej strane sú živočíchy a rastliny, ktoré sa vedia maskovať tak, aby ich človek alebo iné zviera vyhodnotilo ako neškodné, napríklad krásne ale prudko jedovaté exotické rastliny). Predpokladáme, že v takejto situácii sa nachádzal aj náš prapredok, ktorého pozornosť zaujala šelma. Zrýchлил sa mu tep a zrejme došlo k vylúčeniu adrenalínu do krvi. Toto všetko sa stalo behom niekoľkých sekúnd, rýchlejšie, ako bežný súčasný človek dokáže vypočítať veľmi jednoduchú rovnicu  $x + 5 = 2x - 3$ . Nášho starovekého človeka doslova prepadol strach. Ten pritiahol jeho pozornosť (ktorá bola doteraz vedome zameraná na plody na strome) na šelmu a zmobilizoval jeho telo, aby sa pripravilo na to, že bude utekať. Racionálne by človek v tejto chvíli mal začať rozmýšľať nad tým, aké sú jeho možnosti. Vedľa neho je strom, má naň vyliezť? Vie daná šelma liezť po stromoch? Pred ním leží spadnutý konár, má ho chytiť a pokúsiť sa bojovať so šelmou? Skryť sa do krovia? Utekať? Neskoro, šelma si medzi časom všimla človeka, prišla k nemu a ... Ľudstvo by týmto spôsobom už dávno vyhynulo. Čo je racionálnejšie, teda aký krok vedie k cieľu (prežiť) efektívnejšie? Zrejme je už jasné, že je to spomínaný strach (vyvolaný pudom sebazáchovy), ktorý zväčša donútil

človeka v takejto situácii utekať. Útek je tou správnou, racionálnou voľbou, pretože poskytne človeku dostatok času na rozmýšľanie, čo ďalej – v tomto prípade už je možné použiť inteligenciu. Samozrejme, trénovaný človek, ktorý si dokáže zachovať „chladnú hlavu“ a je dobre pripravený na takúto situáciu hneď vie, čo má robiť a zrejme sa dokáže zachovať oveľa racionálnejšie, ako keby sa nechal riadiť emóciami. Avšak nie každý je dobre trénovaný na kritické situácie a nikto nie je dobre trénovaný na všetko. V takýchto prípadoch teda emócie slúžia ako pomoc pre inteligenciu, keď inteligencia nestíha včas vyprodukovať efektívne riešenie alebo ak sa v danej situácii nevie rozhodnúť (toto často nazývame intuícia, nie je to „klasická“ emócia, ale je založená na podobných princípoch ako emócie a inštinkty). V iných situáciách môžu mať emócie dokonca globálnejší význam. Napríklad láska medzi mužom a ženou sa nám môže javiť ako čisto iracionálna, pretože z praktického hľadiska prináša množstvo záväzkov a problémov, no bez nej by sme takisto vyhynuli. Teda pre jednotlivca prináša len málo výhod a veľa nevýhod, no pre druh ako taký je nesmierne dôležitá. Emócie, samozrejme, nie sú vždy spoľahlivé a v mnohých prípadoch nás naozaj usmerňujú k iracionálnym krokom. Veľakrát sa napríklad stane, že človek namiesto utekania stuhne a zostane stáť. Niekedy, keď sa človek takpovediac nechá uniesť emóciami, môže zvoliť príliš riskantné akcie alebo v extrémnych prípadoch pri veľmi silných emočných zážitkoch dokonca psychicky skolabovať, čo má za následok dlhodobé znefunkčnenie intelektuálnych schopností (laicky povedané zblázni sa). Prehnaná emočná reakcia môže mať tiež za následok fobie alebo obsesiu. Väčšina týchto problémov je spôsobená príliš silnou alebo príliš slabou (nedostatok strachu = riskovanie) emočnou reakciou v ľubovoľnej fáze emočného procesu.

No ani inteligencia nie je vždy na sto percent spoľahlivá. Taktiež je dôležité povedať, že inteligencia je efektívnejšia v iných prostrediach ako emócie. Človek, ktorý by sa nechal uniesť emóciami na diplomatickom rokovaní, by asi nedosiahol dobré výsledky, naproti tomu človek vložený do neznámeho prostredia bez predošlých skúseností s prežívaním v prírode, by sa často musel spoliehať na svoje inštinkty a emócie. Najideálnejšou kombináciou pre riadiaci systém racionálneho autonómneho agenta je teda spojenie inteligencie a emócií v správnom pomere, tak, ako je tomu u nás, ľudí.

Ešte predtým, než budeme pokračovať ďalej, považujeme za nutné definovať pojem emócií tak, ako je chápaný v tejto publikácii. Dôvod, prečo tak robíme až na tomto mieste je, že najprv sme chceli čitateľovi predostrieť príklad, kde môže nastať nedorozumenie pri použití slova emócia. V užšom zmysle je emócia chápaná ako to, čomu sa naozaj

v laickom jazyku hovorí emócia, t.j. láska, hnev, atď. Vo výpočtových modeloch emócií sa však pracuje s oveľa širšou skupinou javov, ako napríklad nálada alebo už vyššie spomínané inštinkty, či intuícia. Sú to vlastne procesy, ktoré nie sú síce plne automatickými reflexami, teda dochádza k zložitejšiemu spracovaniu informácií, ale väčšia časť týchto procesov sa odohráva na podvedomej úrovni, pričom ich účinok má dosah na vedomé spracovávanie informácií (myslenie). Modelovanie emócií je spojené s pojmom afektívne programovanie (resp. doslovne afektívne počítanie, z anglického affective computing). Slovo afekt sa v tomto pojme chápe ako nadskupina emócií, teda bežné emócie plus nálada, inštinkty, atď. (i keď zatiaľ neexistuje presná, všeobecne uznávaná definícia ani pre jeden z týchto pojmov), teda možno by bolo vhodnejšie používať v tejto práci termín afekt namiesto emócií, no v slovenčine je aj slovo afekt väčšinou chápané inak, ako je tomu v afektívnom programovaní. Ak teda nebude napísané inak, slovo emócia chápeme ako emóciu v širšom zmysle.

### 1.3 Emócie v počítačoch

Skúmanie emócií je známym predmetom vedeckých disciplín psychológie a filozofie, aj biológia a lekárstvo sa emóciami zaoberajú už mnoho desaťročí. Avšak do informatiky emócie prenikli len pomerne nedávno. Dôvodom prvých pokusov o výpočtové modely emócií však nebolo ich využitie pre samotnú informatiku, resp. umelú inteligenciu, ale skôr exaktnejšie skúmanie procesov spojených s emóciami (najmä) v človeku. Problémom skúmania emócií bola hlavne ich subjektivita. Rovnaký stimul vyvoláva u rôznych jedincov rôzne reakcie a taktiež každá emócia je vnímaná iným spôsobom (táto „vlastnosť“ sa vo filozofii nazýva kvalia). Introspektívne skúmanie emócií je teda veľmi problematické a mnohokrát dáva nejasné či sporné výsledky. Neurológii sa podarilo lokalizovať mnohé centrá mozgu spojené s emóciami, no stále sa nepodarilo bližšie určiť procesy fungovania emócií a ich vplyvu na vnímanie a myslenie.

Výpočtové modely emócií by mali eliminovať problém so subjektivitou a samozrejme, procesy v počítačovom programe sa skúmajú oveľa jednoduchšie, ako procesy v ľudskom mozgu. Avšak ani skúmanie emócií cez počítačové modely nie je ani len zďaleka jednoduché. Stretáva sa s dvomi veľkými, navzájom prepojenými problémami. Prvý problém je, že vytvorenie modelu, ktorý na vonok funguje rovnakým spôsobom ako reálne emócie, nestačí. Rovnaká funkcionálnosť sa dá dosiahnuť rôznymi spôsobmi, a preto



musia byť modely emócií, ktoré sú určené na skúmanie reálnych emócií čo možno najviac podložené dátami z psychológie a biológie. Z toho však vyvstáva druhý problém, že biologickým procesom najpodobnejší model by bol vlastne rovnako komplikovaný, ako tieto procesy a teda aj jeho pochopenie by bolo rovnako náročné. Určiť ideálny pomer medzi konštrukčno-funkčnou podobnosťou s biologickým procesom a abstrakciou od týchto procesov je veľmi ťažké, zväčša sa volí tento pomer podľa aplikácie daného modelu, t.j. kde chceme model použiť alebo aký jav chceme skúmať. V súčasnosti je oveľa väčším problémom zostrojiť systém, ktorý by bol po všetkých stránkach (t.j. vnútorné procesy i vonkajšie prejavy) podobný biologickým emóciám. Neskôr sa ale v odvetví umelej inteligencie vyskytla myšlienka použiť modely emócií aj na iné účely, ako je skúmanie ľudských emócií. Do určitej miery tak odpadla nutnosť pridrižovania sa funkčnej i konštrukčnej podobnosti modelov s biologickým procesom.

Podľa Rolfa Pfeifera ([Pfe88] in [Rue98]) možno využitie emócií v informatike rozdeliť na dve hlavné kategórie:

- a) Rozšírené kognitívne modely
- b) Modely emócií pre umelú inteligenciu

Rozšírené kognitívne modely sú v podstate modely kognitívnych procesov, kde emócie hrajú doplnkovú úlohu. Môže to byť napríklad pomoc pri rozhodovaní. Tieto modely môžu byť využité na skúmanie fungovania a významu biologických emócií. Z hľadiska tejto práce sú zaujímavejšie modely emócií pre umelú inteligenciu, ktoré možno ďalej rozdeliť podľa využitia systému, do ktorého má byť daný model implementovaný. Konkrétne sa môže jednať o systémy, ktorých úlohou má byť detekcia a prejav emócií alebo o systémy, ktoré majú modelovať vnútorné emočné procesy, t.j. majú „prežívať“ emócie. Spojenie týchto dvoch prístupov je samozrejme možné, ale nie je nevyhnutné, dokonca v súčasnosti sa v praxi volí skôr vždy len jeden prístup. Dôvodom je hlavne zjednodušenie systému.

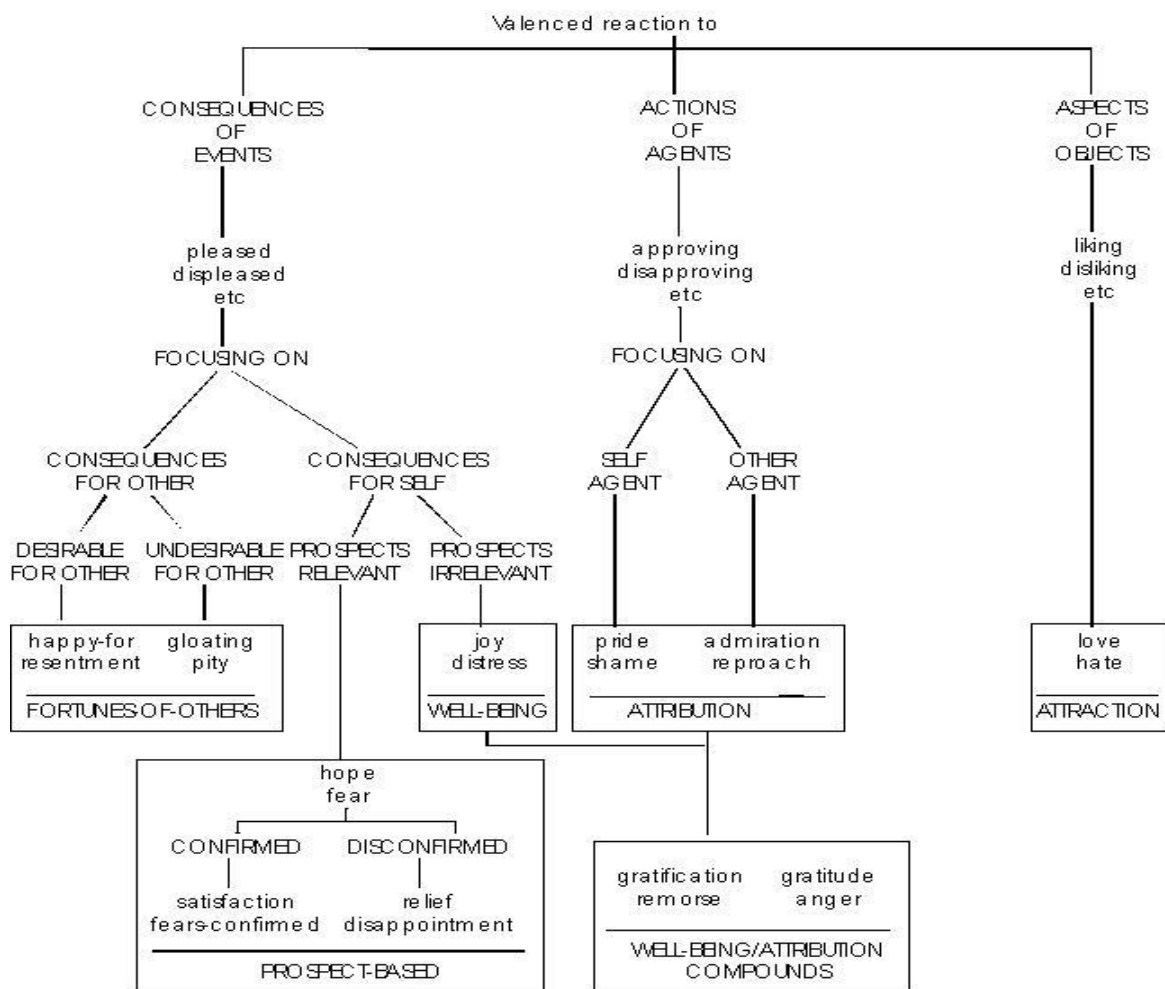
Ak je cieľom napodobniť alebo rozpoznať ľudskú emóciu, systém túto emóciu nemusí vnútorne „prežívať“. Dá sa jednoducho použiť skupina parametrov určujúca danú emóciu – napríklad smiech je spojený s pozdvihnutím obočia, rozšírením alebo pootvorením úst, atď. Tieto črty sa buď vyhľadávajú na snímke (rozpoznávanie emócií) alebo sa aplikujú na virtuálny model agenta (napodobňovanie emócií). Pri napodobňovaní emócií sa zväčša jedná o grafický model ľudskej tváre, prípadne sa pridávajú jednoduché

gestá, ale taktiež sa môže využiť modifikácia hlasového výstupu agenta alebo forma textového výstupu (napríklad negatívne ladené komentáre v nápovedi programu). Vývoj takýchto agentov sa zameriava najmä na „ľudskejší“ prístup počítačov k ľuďom, keďže pre nás je prirodzenejšie komunikovať s entitami, ktoré majú a chápu emócie.

Naproti tomu modely vnútorných procesov týkajúcich sa emócií sú pre umelú inteligenciu zaujímavejšie z hľadiska systémov, ktorých úlohou je vykonávať rozhodnutia, ako sú napríklad riadiace systémy racionálnych autonómnych agentov. V takomto prípade sa nevyžaduje, aby bol agent schopný rozpoznať alebo napodobniť ľudskú emóciu, ale aby v ňom mali emócie nejakú funkciu. Ako sme už uviedli, dôvod prečo sa v predchádzajúcom prístupe nezvykne implementovať funkčný vnútorný model, je zbytočná komplikácia systému. V tomto prípade je tomu však trochu inak. V predošlom prístupe totiž ide prakticky o modely ľudských emócií, zatiaľ čo tieto modely by sa mali skôr volať modely inšpirované emóciami (nie len ľudskými). Iste by bolo zaujímavé, keby bol robot schopný svoje emócie prejať aj navonok, ale problém je, že by to museli byť „robotie“ emócie. Tieto modely sú totiž funkčne inšpirované procesmi spojenými s emóciami a príbuznými javmi v mozgu zvierat, ale štruktúrou sú zväčša veľmi rozdielne. Často sa elementy reprezentujúce klasické emócie ako šťastie, hnev a pod. vôbec nepodobajú na ich ľudské ekvivalenty a ich pomenovanie je skôr na naznačenie úlohy daného elementu (t.j. aké správanie môžeme zhruba očakávať od agenta, u ktorého dominuje daná emócia). V mnohých modeloch sa dokonca elementy podobné klasickým emóciám ani nenachádzajú. Navyše, keďže roboty a virtuálne agenty majú iné „telá“ ako ľudia, aj emócie, ktoré môžu prežívať a spôsoby ich prejavu sú iné, ako tie naše. Ľudia boli po dlhé veky presvedčení, že ostatné živočíchý nemajú emócie, no najnovšie výskumy dokázali, že i v mozgu niektorých zvierat dochádza k procesom podobným ľudským emóciám. Mnohé zvieratá teda tiež pravdepodobne prežívajú emócie, problémom je ale to, že my sme prispôbení hlavne na rozoznávanie emócií ostatných ľudí. Rovnaký problém by sme teda zrejme mali pri umelých emóciách, ktoré by prejavovali roboty. Z týchto dôvodov sa v súčasnosti pri implementácii modelov emócií do riadiacich systémov vynecháva schopnosť prejavovať emócie.

## 1.4 Aplikácie emočných modelov

V súčasnosti už existuje mnoho emočných modelov a ich aplikácií. Zo skupiny systémov rozpoznávajúcich a napodobňujúcich ľudské emócie sú to napríklad rôzne hry, ktorých umelé postavy sú schopné vyjadrovať emócie. Napríklad hra Facade [Fac], ktorej postavy sú schopné emočného zafarbenia svojich reakcií na hráčove vstupy – napríklad môžu reagovať nahnevane alebo naopak láskavo, podľa vstupu hráča (vstup je textový, výstup grafický). No ako sme už spomenuli vyššie, v takýchto aplikáciách sa zväčša nepoužíva vnútorný emočný model a rovnako je tomu i v tejto hre, napriek tomu, že zobrazované emočné prejavy môžu pôsobiť veľmi hodnoverne i z hľadiska širšieho kontextu (dejovej línie hry).



**Obrázok 1.1** [Rue98] Schéma modelu OCC. V závislosti od typu vstupu (agent, udalosť, objekt) a jeho vlastností si agent vytvorí postoje a k nim prislúchajúce emócie.

Zo skupiny modelov emócií pre riadiace systémy je veľmi významný tzv. OCC koncept (obr. 1.1), nazvaný podľa jeho autorov. Ortony, Clore a Collins navrhli model priamo určený na implementáciu do riadiaceho systému. V ich modeli si agent vytvára

väzby, resp. postoje (náklonnosť, znechutenie, súhlas, nesúhlas) k objektom či udalostiam na základe svojich záujmov a presvedčení. Na základe takto „ohodnotených“ objektov alebo udalostí sa potom agent môže rozhodnúť, ako bude ďalej konať.

Ďalším známym príkladom využitia emócií v agentoch je Fungus Eater [Tod98] & [Rue98]. I keď Masanao Toda tento koncept nikdy neimplementoval, je výbornou ilustráciou prípadu, kde je emočné rozhodovanie lepšou voľbou, ako logické. Fungus Eater sú biomechanické roboty, ktorých úlohou je na cudzej planéte ťažiť uránovú rudu. Pomenované sú podľa spôsobu získavania energie – živia sa hubami, ktoré sa na tejto planéte nachádzajú. Nedostatkom klasického riadiaceho systému (databáza znalostí a inferenčný mechanizmus), ktorý načrtnol Toda je, že tieto roboty by sa na cudzej planéte museli potýkať s veľkým množstvom problémov, na ktoré by ich v podstate ani nebolo možné dostatočne pripraviť, keďže prostredie je z väčšej časti neznáme. Veľkým problémom by bol aj konflikt záujmov – ťažba uránu a zbieranie húb. Robot je odmeňovaný iba za ťažbu uránu, takže z hľadiska úžitkovej funkcie, ktorá by hodnotila jeho výkonnosť, by bol najúspešnejší ten, ktorý vyťaží najväčšie množstvo rudy. V takom prípade ale robot riskuje, že minie svoju energiu – nedá sa pevne určiť, kedy sa má vydať hľadať huby, pretože nepozná ich rozloženie a ak sú ďaleko, môže to znamenať zánik robota. Robot sa tiež nachádza v reálnom prostredí, čiže v mnohých situáciách musí jednať rýchlo, ale zároveň čo najracionálnejšie. Riadiaci systém vyvinutý podľa klasických prístupov by musel byť veľmi zložitý a zrejme by si vyžadoval veľké množstvo energie, čo by nemuselo byť rentabilné. Podľa Todu by teda takýto robot musel byť naprogramovaný tak, aby bol viac emotívny ako inteligentný. Todov koncept zahŕňa jednoduché nutkania (anglicky urge), ktoré sú obdobou emócií alebo pudov. Objekty, prípadne udalosti, môžu aktivovať tieto nutkania a tie spúšťajú k nim priradené podprogramy. Ak je viacero nutkaní aktivovaných naraz, vyberie sa to, ktoré má priradenú najvyššiu prioritu určenú podľa predpokladanej relevantnosti k prežitiu agenta. Napríklad ak robot zaregistruje predátora, aktivuje sa nutkanie „strach“ a to spustí procedúru vedúcu k úteku pred predátorom. Takýto pomerne jednoduchý agent by mal byť schopný prežiť i v neznámom prostredí.

## 2. Emočný model a riadiaci systém

V tejto časti práce vysvetlíme z teoretického hľadiska postup návrhu nášho emočného modelu a taktiež celého riadiaceho systému, ktorého je model súčasťou.

### 2.1 Emočný model

Pri návrhu emočného modelu sme sa snažili riadiť našimi znalosťami a skúsenosťami z reálneho sveta, teda našim cieľom je, aby sa model správal podobne, akoby sme to v danej situácii očakávali od človeka, resp. od zvierat'a. Z tohto dôvodu budeme pri každom komponente modelu uvádzať aj krátku motiváciu (príklad z reálneho sveta), prečo sme sa rozhodli, že daný komponent bude fungovať práve takým spôsobom.

Taktiež sme sa pri návrhu inšpirovali aj vyššie uvedenými modelmi (OCC a Fungus Eater) a konceptom emočnej pamäte z modelu Juana Velásqueza [Vel98]. Náš model bude teda obsahovať jednoduché potreby, ako je tomu v Todovom koncepte, ale zároveň bude vyhodnocovať svoje postoje k objektom podobným spôsobom, ako je tomu v modeli OCC. Navyše bude obsahovať emočnú pamäť, aby bol schopný adaptácie na neznáme prostredie. Vychádzali sme tiež z výsledkov našej predošlej práce [Sko10], kde sme testovali základné princípy emočných modelov.

#### 2.1.1 Funkcia emočného modelu

Ako sme už spomenuli, podobne ako je tomu v OCC, náš model si bude vytvárať určitý postoj či väzbu voči jednotlivým objektom v okolí agenta. Túto väzbu si bude vytvárať na základe svojho vnútorného stavu – takzvaných „potrieb“ – a na základe svojich doterajších skúseností prostredníctvom emočnej pamäte. Tieto postoje alebo väzby sa vypočítavajú z emočných reakcií na dané objekty (podložených výstupmi z emočnej pamäte a vnútorného stavu) – ide samozrejme len o obdobu emočnej reakcie, t.j. reakcie nie sú biologicky prípustné, ale konceptuálne, resp. funkčne sa podobajú reálnym javom. Výstupom nášho modelu sú teda (emočne) ohodnotenú objekty. Toto ohodnotenie sa ďalej posúva do druhej časti riadiaceho systému na „zváženie“, kde sa rozhodne, ktorý objekt je najdôležitejší, teda agent sa má zamerať na tento objekt. Samozrejme, nie celý vnútorný

stav – potreby – musí mať spojitosť s nejakými objektmi z vonkajšieho prostredia. Potreby, ktoré nie sú viazané na vonkajšie objekty, sú spracovávané samostatne a takisto sú posunuté ďalej do pod systému, ktorý vyberá aktuálne ciele agenta. O tomto pod systéme však budeme hovoriť neskôr. Najprv vysvetlíme, akým spôsobom náš emočný model ohodnocuje objekty.

### 2.1.2 Emócie

V našom modeli používame tri základné emócie: radosť, zármutok a strach. Opäť upozorňujeme, že ide len o konceptuálne obdoby skutočných emócií. Pod každou z týchto troch emócií si teda môžeme z funkčného hľadiska predstaviť to, čo vieme o skutočných emóciách daného druhu. Dôvod, prečo sme použili práve tieto tri emócie je, že predpokladáme, že tieto emócie zohrávajú zásadnú rolu pri jednoduchom, každodennom rozhodovaní. Iste, aj iné emócie sú často používané pri rozhodovaní, napríklad náklonnosť, hnev a pod. ovplyvňujú ľudské rozhodovanie. My sa však prikláňame k teóriám, ktoré opisujú emócie ako spojité javy, teda že emócie sa nevyskytujú jednotlivo ako aktivácie navzájom nesúvisiacich komponentov. Ide skôr o jeden systém generujúci skupinu navzájom prepojených javov. Jednoduchšie povedané, emócie vznikajú ako rôzne aktivácie rôznych súčastí toho istého systému a to, čo voláme napríklad radosť, či náklonnosť, sú len extrémny týchto aktivácií. Preto sme schopní pociťovať rôzne intenzity emócií, variácie (napríklad nie je radosť ako radosť) a kombinácie emócií – niekedy i také, čo by sa logicky mali vylučovať, ako radosť i smútok zároveň (zväčša sa každá emócia vzťahuje na separátne aspekty udalosti či objektu, no aktivujú sa naraz). Vďaka týmto vlastnostiam emócií si v našom modeli môžeme dovoliť malé zovšeobecnenie emócií na práve tieto tri emócie. Teda napríklad pri náklonnosti pociťujeme radosť, keď sme s osobou, voči ktorej náklonnosť pociťujeme. Obdobne môžeme transformovať hnev na zármutok. Je pravda, že hnev vyvoláva v človeku aj agresivitu, čo má za následok ďalšie ovplyvnenie správania, no tento aspekt emócií nás pri našom modeli nezaujíma, preto si ho dovoľíme ignorovať (v komplexnejšom systéme by však mal byť zakomponovaný). Väčšina emócií sa teda dá transformovať na spomenuté tri emócie, ak nám ide len o jednoduché, intuitívne rozhodovanie. Teraz si povieme, akým spôsobom budú tieto emócie ovplyvňovať správanie agenta.

Objekty, spôsobujúce radosť, nášho agenta priťahujú, lákajú ho priblížiť sa a preskúmať ich, podobne, ako by sme to očakávali v reálnom svete, keby sme ľuďom ukázali napríklad nejakú peknú maľbu, chceli by prísť bližšie a „pokochať sa“ ňou. Naproti tomu stoja objekty, ktoré agenta zarmucujú. V našom modeli možno zármutok chápať v podstate ako kombináciu smútku a pocitu nepohodlia. Teda zarmucujúce objekty vyvolávajú v agentovi akýsi nepokoj, nepohodlie. Opäť, tak, ako by sme to očakávali u ľudí, ak nás niečo zarmucuje, nechceme sa k tomu priblížiť a manipulovať s tým, naopak, vyhýbame sa tomu. Ak máme napríklad nejakú fotku, ktorá nás núti spomenúť si na zarmucujúcu situáciu, teda fotka v nás vyvoláva zármutok, tak pravdepodobne túto fotku niekde založíme a snažíme sa vyhýbať pohľadu, či dokonca myšlienke na ňu. Preto aj náš agent si bude takpovediac „nevšimáť“ zarmucujúce objekty. Napokon sú tu objekty vyvolávajúce strach. V prípade zarmucujúcich objektov stačilo na vyhýbanie sa im jednoduché ignorovanie, no v prípade strach vyvolávajúcich objektov je tomu inak. Ak nás niečo vystraší, najprirodzenejšia a aj najracionálnejšia reakcia je útek. Takisto i agent, ak sa v jeho okolí vyskytne hrôzu naháňajúci objekt, bude pred ním utekať.

### **2.1.3 Emočná pamäť**

Jedným z najdôležitejších aspektov pre efektívne prežitie akéhokoľvek tvora v reálnom svete je schopnosť adaptácie. Tá môže mať rôzne formy, najzákladnejšia forma (vývojovo najstaršia) je genetická adaptácia – t.j. fyziologické prispôsobenie sa organizmu na prostredie. Táto forma síce nevyžaduje aktívnu účasť organizmu na procese adaptácie, je teda „použiteľná“ aj pre veľmi primitívne formy života, no je taktiež veľmi pomalá a hlavne orientovaná skôr na celú populáciu organizmov, nie na jednotlivcov. Teda ak by sme chceli vyrobiť robota, ktorý by mal prežiť v cudzom prostredí, nebola by to veľmi vhodná metóda na jeho adaptáciu, pretože by sme robotov museli vyrobiť pomerne veľa a mnohé z nich by boli počas procesu adaptácie zničené, čo by zrejme nebolo veľmi žiaduce. Učenie je iná forma adaptácie – forma, kde sa organizmus prispôsobuje prostrediu nie fyziologicky, ale jeho poznávaním a prispôbovaním svojho správania a schopností (zručností) na prostredie. Táto forma je silne orientovaná na jednotlivca a preto v prípade nášho robota v cudzom prostredí je veľmi vhodná. Pre učenie je však nevyhnutná pamäť, či už ide o explicitnú (vieme, čo si pamätáme) alebo implicitnú (vieme ako niečo robiť, ale nevieme prečo). Keďže našim cieľom je emočný model, budeme používať implicitnú

pamäť. Ak sa vyskytne nejaká emotívna udalosť, náš riadiaci systém (mozog) automaticky vygeneruje emočnú reakciu, teda môžeme hovoriť, že emočné reakcie sú „uložené“ v implicitnej pamäti. Samozrejme, táto „pamäť“ je trochu iná, ako klasická implicitná pamäť (kde sa ukladajú napríklad naše zručnosti), no funkčnosťou sa na ňu podobá. Iste, často vieme explicitne povedať, že to či ono nás hnevá alebo teší, no tu nejde o generovanie emočnej reakcie, ale o naše explicitné zapamätanie si, ako sme sa správali pri kontakte napríklad s nejakým objektom. Nevybavujeme si samotnú emóciu, len udalosť spojenú s ňou. Je to tak, ako pri klasickej implicitnej pamäti – explicitne vieme, že sa vieme bicyklovať, ale samotná schopnosť bicyklovania je uložená inde – v implicitnej pamäti.

Emočný model by teda bez pamäte nebol schopný adaptácie na cudzie prostredie. Cieľom nášho riadiaceho systému je však práve schopnosť prežitia v cudzom prostredí, preto sme sa rozhodli do nášho modelu implementovať emočnú pamäť. Tá sa skladá v podstate z dvoch komponentov.

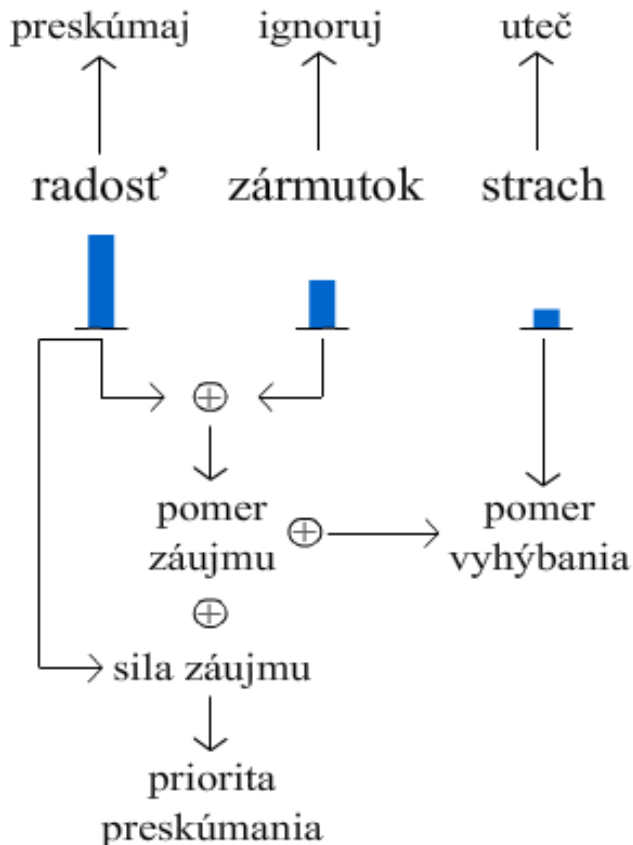
Prvý komponent má na starosti zapamätávanie si a generovanie emočných reakcií na jednotlivé objekty z vonkajšieho prostredia. Samozrejme, pamäť potrebuje pri vyhľadávaní, či v našom prípade skôr generovaní patričnej informácie niečo, podľa čoho sa vyhľadávanie / generovanie bude riadiť. Inak povedané, ak si chceme na niečo spomenúť, musíme mať nejakú počiatočnú informáciu, vstup pre pamäť. Pri našej emočnej pamäti bude vstupom určitým spôsobom zakódovaný objekt, teda každý objekt bude mať priradený unikátny reťazec príznakov. Na výstupe potom budú rôzne aktivácie spomínaných emócií. Samozrejme, presnosť každej pamäte závisí od presnosti vstupu – vyhľadávacieho kľúča, teda mnohokrát sa aj nám stane, že si nevieme spomenúť na niečo, pričom problémom nie je, že by sme hľadanú informáciu nemali, ale zlyhanie rozpomätávacieho procesu a jedna z príčin môže byť to, že sa takpovediac zle pýtame, teda nemáme korektnú vstupnú informáciu. Toto môže byť problémom aj pre našu pamäť. My sa však zameriavame len na riadiaci systém agenta, nie na celkové prevedenie fyzického agenta a správne spracovanie vstupu, teda správne zakódovanie objektu závisí od senzorických schopností agenta, predspracovania vstupov a nakoniec od správneho vyhodnotenia týchto vstupov. Návrh systémov zodpovedných za tieto kroky nie je našim cieľom a preto ich vynecháme a zakódovania objektov budeme generovať „manuálne“ tak, aby naša pamäť dávala čo najkonzistentnejšie výsledky.



Druhý komponent našej emočnej pamäte bude mať na starosti generovanie emočných reakcií na vnútorný stav agenta, čiže jeho potreby. Dôvody, prečo je toto separátny komponent, sú v zásade dva. Prvý je, že bude mať odlišné vstupy, pretože vnútorný stav nebude mať priradený žiadny reťazec príznakov, ale bude napojený viacerou priamo na emočnú pamäť. Podobne ako v našom mozgu, napríklad objekty, ktoré vidíme, musia najprv prejsť rozpoznávacím procesom a až keď mozog identifikuje objekt, môže dôjsť k vyvolaniu emočnej reakcie. Avšak pokiaľ nedokážeme rozpoznať objekt (zlé videnie, prílišná vzdialenosť, prípadne čiastočné prekrytie iným objektom), nemôže dôjsť ani k emočnej reakcii. Naproti tomu „senzory“ nášho vnútorného stavu sú priamo zapojené do mozgu a ten „vie“, akú časť tela, či akú potrebu monitoruje ten-ktorý senzor. Informácie zo senzorov siete prechádzajú určitým procesom vyhodnocovania (napríklad pokles množstva rôznych látok v tele znamená zrejme, že sme dlho nejedli a preto vyvolá hlad). No toto predspracovanie v prípade robota by mali mať na starosti opäť systémy mimo riadiaceho systému a do neho príde napríklad už len informácia o stave batérie, ktorá slúži ako zdroj energie. Je určite možné skombinovať tieto dva komponenty do jedného, no podľa nás je to nepotrebné, ba dokonca zbytočne komplikované. Druhým dôvodom je, že tento komponent bude mať len jeden výstup. V zásade je podobný ako predošlý komponent, keby by boli zármutok a strach vždy nulové. Je teda logicky jasné, že výstupom bude vyššia či nižšia aktivácia radosti. Toto sa môže zdať máťúce, keďže vlastne čím bude mať agent menej energie, tým „radostnejší“ bude. Vysvetlenie je však jednoduché. Výstupom tohto komponentu emočnej pamäte nie je samotná emócia, ktorú by agent pocíťoval v danej situácii, teda agent sa neteší z nedostatku energie, ale ide skôr o silu emočnej reakcie pri uspokojení danej potreby, teda ako sa bude agent cítiť, keď si dobije batériu. Pre tento prístup sme sa rozhodli preto, lebo v druhej fáze generovania emočnej reakcie dôjde ku skombinovaniu emočnej reakcie na objekt s emočnou reakciou z vnútorného stavu. Teda pre každú potrebu z vnútorného stavu sa jej emócia sčíta s emóciou objektu, ktorý s touto potrebou súvisí. Ak sme napríklad hladní a uvidíme naše obľúbené jedlo, dostaneme naň oveľa väčšiu chuť, ako keby sme boli najedení. Vnútorný stav teda ovplyvňuje reakciu na vonkajšie objekty a udalosti.

## 2.1.4 Ohodnocovanie objektov

Na jednoduchšie vysvetlenie predkladáme schému ohodnocovania objektov (obr. 2.1). Na začiatku procesu ohodnocovania stoja už spomínané tri emócie. Vstupné emócie sú výsledkom kombinácie výstupu z emočnej pamäte (predošlé skúsenosti s objektom)



**Obrázok 2.1** Schéma emočného vyhodnocovacieho procesu objektov

a vnútorného stavu. Ku každému objektu z agentovho okolia sú teda priradené určité aktivácie každej z týchto troch emócií – napríklad tak, ako je tomu na obrázku 2.1 (obdĺžniky ukazujú veľkosť aktivácie danej emócie). Ako sme už vysvetlili a ako je to napísané aj na obrázku, každá z týchto emócií podporuje v agentovi určitú voľbu správania sa voči objektu, teda radosť vzbudzujúce objekty ho budú nútiť preskúmať objekt, zarmucujúce objekty bude ignorovať a pred strach vyvolávajúcimi objektmi bude utekať. Ako sa nakoniec naozaj rozhodne, záleží na niekoľkých faktoroch vypočítaných z emócií, ktoré budú slúžiť ako vstup pre inú

časť riadiaceho systému (samotné emócie teda už nepokračujú ďalej v procese rozhodovania). Tieto faktory sú pomer záujmu, sila záujmu, priorita preskúmania a pomer vyhýbania. Pomer záujmu (PZ) sa vypočíta ako pomer rozdielu a súčtu radosti a zármutku, teda  $(R - Z) / (R + Z)$ . Tento faktor rozhoduje o tom, či sa má agent danému objektu venovať alebo či ho má ignorovať. Ak je zármutok väčší ako radosť, bude pomer vždy záporný. V takom prípade bude agent objekt ignorovať. Ak nám niečo spôsobuje viac bolesti ako radosti, tak sa tomu snažíme vyhnúť. Ak je však radosť väčšia, chceme to preskúmať. Samozrejme, pomer, ako veľmi máme o daný objekt záujem závisí od pomeru veľkosti aktivácie radosti a zármutku. Preto aj tento faktor má takú vlastnosť, že jeho veľkosť závisí od pomernej veľkosti rozdielu radosti a zármutku. Teda nejde len o samotný rozdiel, ale o to, aký veľký je rozdiel voči aktiváciám. Napríklad ak má radosť aktiváciu 3

a zármutok 2, je medzi nimi rozdiel len 1, teda číselne je rozdiel veľmi malý, no percentuálne je radosť o polovicu väčšia ako zármutok. Podľa nášho vzorca by v tomto prípade bol pomer záujmu 0.2. Ak by boli ale aktivácie 7 a 5, je medzi nimi rozdiel 2, čo je viac ako v predošlom prípade, no percentuálne je rozdiel menší. Pomer záujmu v tomto prípade vyjde 0.166 periodických, čo je menej, ako v predošlom prípade, napriek tomu, že aritmetický rozdiel bol väčší. Agent teda uprednostní druhý objekt, ktorý mu síce dodá menej radosti, ale zároveň i menej zármutku. Podobne by zrejme postupoval aj človek. Ak máme možnosť voľby, väčšinou radšej volíme menej radostné činnosti ako tie, ktoré nám síce spôsobia viac radosti, ale je s nimi aj nespočetne viac starostí, najradšej však volíme činnosti, ktoré spôsobujú veľa radosti a žiadne starosti. Rovnako je to i v našom modeli: pre prípad hodnôt 7 a 2, čiže veľa radosti a málo zármutku, vyjde výsledný pomer 0.5 periodických, čo je ďaleko viac než predošlé prípady. Samozrejme, sila nášho záujmu je priamo úmerná hlavne sile radosti. Tento fakt možno využiť na rozlíšenie prípadov, kedy je pomer záujmu pre dva objekty s rôznymi aktiváciami radosti a zármutku totožný. Napríklad pre aktivácie 6 a 3 pre jeden objekt a 4 a 2 pre druhý objekt. Oba prípady dajú výsledný pomer 0.3 periodických. Ktorý objekt je teda „zaujímavejší“? Aby sa model vedel rozhodnúť i v takýchto prípadoch, vynásobíme pomer záujmu a silu záujmu, teda radosť a tak dostaneme finálnu prioritu preskúmania pre každý objekt. V našom prípade to bude 1.9 periodických a 1.3 periodických. Prvý objekt bude mať teda väčšiu prioritu a teda v prípade rozhodovania len medzi týmito dvoma objektmi si agent zvolí na preskúmanie prvý objekt.

Doteraz sme však nespomenuli strach. So strachom je spojený pomer vyhýbania. Ten sa vypočíta ako rozdiel pomeru záujmu a strachu, teda  $(PZ - S)$ . Keďže hraničné aktivácie emócií sú rovnaké, znamená to, že pomer záujmu bude vždy relatívne malé číslo, zakiaľ strach môže naberať veľké hodnoty – maximálne hodnoty sú síce rovnaké (pri maximálnej radosti a nulovom zármutku má pomer záujmu rovnakú hodnotu ako maximálny strach), no pre pomer záujmu je oveľa menšia pravdepodobnosť (kvôli závislosti od dvoch premenných), že bude mať maximálnu hodnotu. Inak povedané, pomer vyhýbania bude kladný len v prípade nulového alebo veľmi malého strachu a silnej aktivácie radosti. Taktiež, ak bude vysoký zármutok, bude malý pomer záujmu a teda na záporný pomer vyhýbania budú stačiť menšie hodnoty strachu. Ako je už zrejme jasné, záporné hodnoty pomeru vyhýbania budú agenta nútiť k úteku pred objektom, ktorý ho vyvolal. Agent sa teda bude správať tak, že ak je strach nulový a pomer záujmu kladný

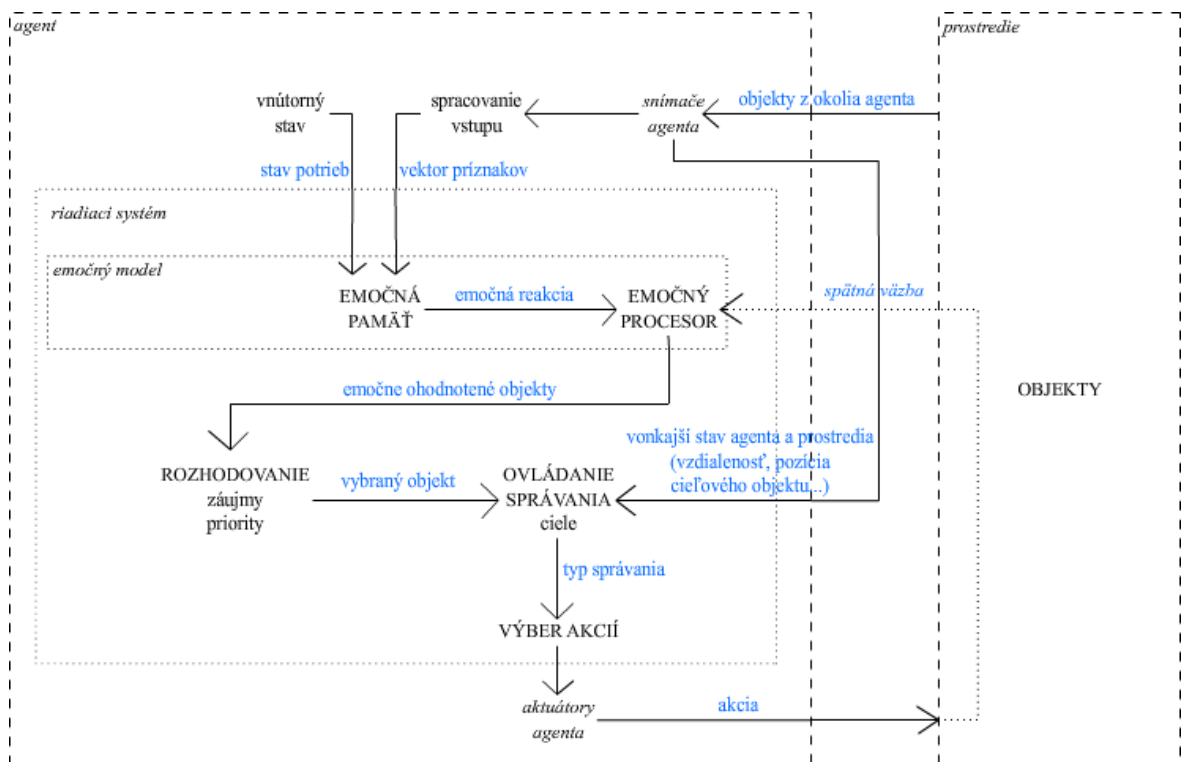
(teda viac radosti ako zármutku), bude chcieť objekt preskúmať, ak bude pomer záujmu záporný, bude objekt ignorovať. Pomer vyhýbania sa nevypočítava, keďže strach je nulový, je pomer vyhýbania irelevantný a nastavený na nulu. Ak je strach nenulový, pre akúkoľvek zápornú hodnotu pomeru záujmu bude aj pomer vyhýbania záporný, teda agent sa bude snažiť utiecť od objektu, samozrejme, čím väčší strach a čím zápornejší pomer záujmu, tým väčšiu prioritu pre utečenie bude mať daný objekt. Ak bude pomer záujmu kladný, bude pomer vyhýbania závisieť hlavne od sily strachu, keďže pomer záujmu naberá zväčša menšie hodnoty. To znamená, že objekty, ktoré sú pre agenta veľmi „zaujímavé“ a vzbudzujú len nepatrné množstvo strachu, bude chcieť agent preskúmať, no pri znižujúcom sa záujme a narastajúcom strachu sa bude chcieť agent objektom vyhnúť.

Po vypočítaní týchto štyroch faktorov dochádza ešte k aplikácii priorít. Priority sú v podstate číselné hodnoty reprezentujúce percentuálne zvýšenie priority pre daný objekt alebo potrebu. Najprv sa určí výsledný postoj či väzba k objektu – číselná hodnota, t.j. buď priorita preskúmania alebo pomer vyhýbania podľa toho, ktorý z týchto dvoch faktorov je pre daný objekt relevantný a k výsledku sa pripočíta určité percento z neho na základe požadovaného zvýšenia priority. To spôsobí napríklad, že ak máme dva objekty, ktoré by vyvolali rovnakú väzbu, potom ak jeden z nich má zvýšenú prioritu, bude skôr preskúmaný alebo od neho agent skôr utečie, keďže jeho výsledná väzba bude väčšia. Ak má nejaký objekt zvýšenú prioritu, ale napriek tomu má výslednú väzbu stále nižšiu, nebude vybratý pred iným objektom bez zvýšenej priority, ale s vyššou väzbou. Prioritu môžeme teda chápať ako koeficient zosilnenia väzby k daným objektom. V našom modeli sú dva druhy priority – priorita viazaná na druh objektu a priorita viazaná na vnútorný stav (potrebu). Obe ovplyvňujú tú istú hodnotu, teda sa sčítavajú, ale rozdiel je v tom, kedy sa používajú. Prioritu viazanú na objekty môžeme napríklad priradiť pre všetky jedlé huby a agent bude paušálne uprednostňovať jedlé huby, keď ich zbadá vo svojom okolí. Prioritu viazanú na vnútorný stav môžeme priradiť napríklad spánku a agent bude uprednostňovať uspokojenie spánku pred uspokojením hladu. Priority sa nastavujú „ručne“ a slúžia na doladovanie systému, keď napríklad chceme, aby sa agent viac zameriaval na prácu, zvýšime prioritu práci (ako potrebe agenta). Prípadne, ak máme napríklad agenta, ktorý má ťažiť rudu v bani, kde sa nachádza viacero druhov týchto rúd, pričom chceme aby ťažil všetky rudy, avšak aby uprednostňoval jeden druh rudy pred ostatnými, môžeme mu pre túto konkrétnu rudu zvýšiť prioritu. Tak zabezpečíme, že keď sa dostane do situácie, že zbadá viacero druhov rúd, pričom jedna z nich bude preferovaná, je zvýšená šanca, že si vyberie na

ťaženie práve túto rudu. To samozrejme závisí ešte aj od iných faktorov, napríklad bohatosť, či prístupnosť rudy môže ovplyvňovať vybudenie radosti spojené s daným ložiskom rudy. V takom prípade, ak je preferovaná ruda ťažko prístupná a len v malom množstve, môže sa agent rozhodnúť pre ťažbu inej rudy, teda zvýšená priorita nezabezpečuje absolútne preferovanie určitého objektu v každej situácii.

## 2.2 Riadiaci systém

V tejto kapitole vysvetlíme, ako funguje celý riadiaci systém agenta a ako je do neho zakomponovaný náš emočný model. Riadiaci systém sa v podstate skladá z emočného procesoru spojeného s emočnou pamäťou (obe súčasti spolu tvoria náš emočný model), rozhodovacieho systému, systému ovládania správania (agenta), výberu akcií a globálneho riadiaceho systému. Posledná súčasť má v podstate na starosti len preposielanie dát medzi ostatnými komponentmi. Do riadiaceho systému vstupujú dve skupiny vstupov – vnútorný stav agenta a objekty v okolí agenta, zakódované špecifickým vektorom príznakov. Výstupom riadiaceho systému je presná akcia, ktorú má agent v danom momente vykonať.



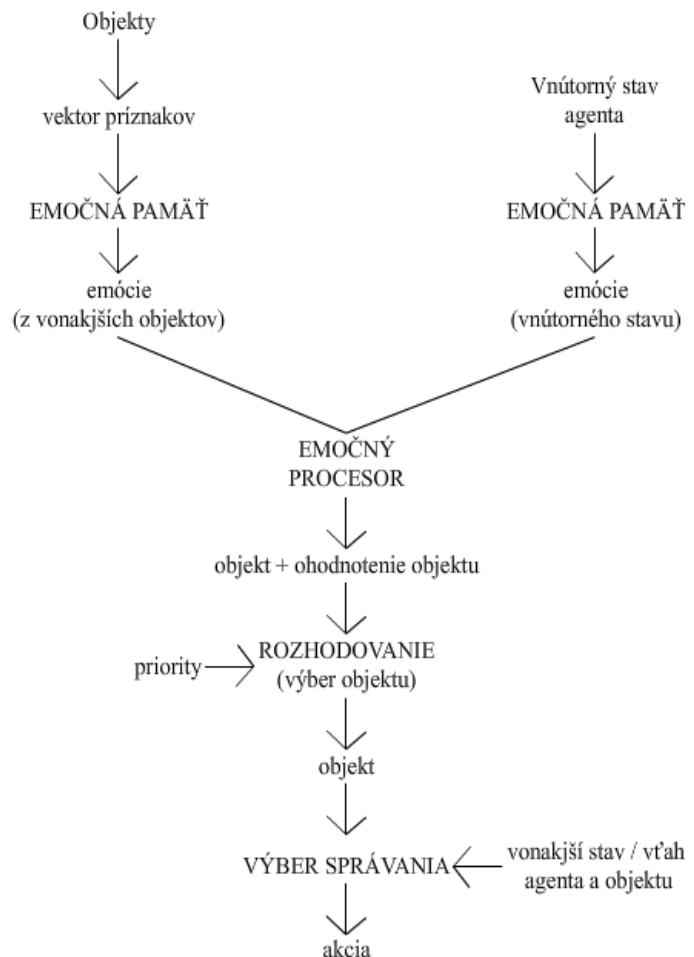
Obrázok 2.2 Schéma riadiaceho systému

V nasledujúcej časti podrobne popíšeme jednotlivé komponenty riadiaceho systému. Prvé dva úzko späté podsystémy sú emočný procesor a emočná pamäť. Tieto dva systémy sú vlastne implementáciou emočného modelu. Emočná pamäť je práve emočnou pamäťou na generovanie emočných reakcií pre objekty z vonkajšieho prostredia a emočný procesor v sebe zahŕňa emočnú pamäť pre vnútorný stav agenta a celý vyhodnocovací mechanizmus. Zároveň spĺňa úlohu „hovorca“ so zvyškom riadiaceho systému. Do neho teda vstupujú zakódované objekty z vonkajšieho prostredia a vnútorný stav agenta, tieto dáta posúva ďalej emočnej pamäti, prijíma z pamäte emočné reakcie k objektom a potrebám, vyhodnocuje ich a posúva ďalej ostatným komponentom riadiaceho systému. Keďže v predošlej časti je celý tento proces podrobne opísaný, nebudeme sa mu na tomto mieste viac venovať a prejdeme na ďalší komponent riadiaceho systému.

Rozhodovací systém má za úlohu rozhodnúť, ktorému objektu z jeho okolitého prostredia sa má agent momentálne venovať. Rozhoduje sa na základe výstupov emočného procesora. Ako sme už povedali, tieto výstupy sú pomer záujmu, sila záujmu, priorita preskúmania a pomer vyhýbania a taktiež celkové ohodnotenie objektu – väzba alebo postoj. Rozhodovací systém prejde postupne každý ohodnotený objekt zo vstupu a vykoná nasledovný jednoduchý proces: Zisti, či je pomer vyhýbania väčší alebo rovný nule, ak áno, tak zisti, či je pomer záujmu menší ako nula. Ak sú obe podmienky splnené, agent má tento objekt ignorovať a preto je vyradený zo zoznamu. Ak je však pomer vyhýbania väčší alebo rovný nule, teda objekt nevzbudzuje v agentovi strach a zároveň je pomer záujmu väčší ako nula, teda objekt vzbudzuje v agentovi záujem (radosť), potom objekt pokračuje ďalej do „zlosovania“ o najväčšiu prioritu preskúmania. Ak však objekt vzbudzuje strach a teda pomer vyhýbania je menší ako nula, zaradí sa objekt do druhého zoznamu, kde budú objekty zoradené práve podľa pomeru vyhýbania. Rozhodovací systém teda má dva zoznamy, v jednom sú objekty, o ktoré by agent mohol mať záujem a v druhom sú objekty, ktoré vzbudzujú v agentovi strach. Z oboch zoznamov vyberie rozhodovací systém objekt s najsilnejšou väzbou, pričom z opisu emočného modelu vieme, že v prvom zozname závisí sila väzby od priority preskúmania a v druhom zozname od pomeru vyhýbania a obe hodnoty sú ovplyvnené ešte koeficientmi – prioritami. V prípade, že je druhý zoznam prázdny, je voľba rozhodovacieho systému jasná – víťazný objekt z prvého zoznamu. Ak sa však nachádza aspoň jeden objekt aj v druhom zozname, systém musí ešte porovnať silu väzieb týchto dvoch vybraných objektov. Keďže objekty vyvolávajúce strach sú pre agenta životne nebezpečné, je pre neho prioritné, aby sa zaoberal hlavne takýmito objektmi. Náš

riadiaci systém preto preferuje strach vzbudzujúce objekty, no nie nutne v každej situácii. Pri porovnávaní s objektom vzbudzujúcim záujem sa hodnota tohto objektu zníži na určité percento koeficientom, ktorý nazývame koeficient strachu (napríklad na 20% pôvodnej hodnoty). To znamená, že ak ide len o veľmi malé vybudenie strachu a teda pomer vyhýbania je veľmi nízky, rozhodovací systém bude preferovať radšej zaujímavý objekt. Toto môžeme vysvetliť tak, že i keď sa v našom okolí nachádza niečo mierne strašidelné (napríklad vchádzame do mierne strašidelnej budovy), no pred nami sa nachádza niečo veľmi zaujímavé, radostné, sme schopní to strašidelné ignorovať a zamerať sa na to radostné. Prirodzene, ak ide o niečo, čo v nás vzbudzuje pomerne silný strach, ignorujeme všetko zaujímavé a zameriame sa na únik pred tým strašidelným. Teda i náš riadiaci systém pripúšťa v istých situáciách, kde sa predpokladá, že je to vhodné, ignorovať strach vzbudzujúci objekt a zamerať sa na zaujímavý objekt. Výstupom rozhodovacieho systému teda bude v závislosti od výsledku porovnání jeden objekt z celého zoznamu objektov v okolí agenta. Týmto objektom sa má agent momentálne zaoberať. Akým spôsobom, to určí nasledovný podsystém riadiaceho systému. Avšak nie vždy musí rozhodovací systém vybrať nejaký objekt. Samozrejme, ak nie sú v okolí agenta žiadne objekty, potom rozhodovací systém nemá z čoho vyberať. Rozhodovací systém sa však môže rozhodnúť pre nevybratie žiadneho objektu aj v prípade, že sa nejaké objekty v okolí agenta nachádzajú. Tento prípad môže nastať vtedy, keď sú všetky potreby agenta dostatočne uspokojené, jeho vnútorný stav je teda vyrovnaný a zároveň agenta nič neohrozuje. Keďže agent nepotrebuje uspokojiť žiadnu zo svojich potrieb, môže sa voľne pohybovať po krajine. Nejde však o bezcieľne blúdenie krajinou. Agent sa v tomto prípade riadi stavom špecifických potrieb stresu a kuriozity (zvedavosti), o ktorých si povieme neskôr. Ďalší špecifický prípad nastáva, ak má agent už nejaký cieľ vybraný. Za normálnych okolností by pomerne často mohlo dochádzať k fluktuácii cieľov, t.j. agent by si v jednom okamihu vybral jeden cieľový objekt, no ešte pred dokončením činnosti spojenej s týmto objektom by zbadal objekt, ktorý je len o niečo málo zaujímavejší a preto by sa jeho pozornosť upriamila na tento nový objekt. Je to akoby malé dieťa behalo po lúke plnej kvetov a chcelo si niektorý z nich odtrhnúť, no vždy tesne predtým, než by dobehlo k jednému, zbadalo by iný, krajší, zabudlo by na ten predošlý a bežalo by k tomu novému. Takéto správanie by sme od nášho agenta určite nechceli. Ak sa rozhodne ísť za nejakým cieľom, bolo by efektívnejšie k tomuto cieľu najprv prísť a potom hľadať nový cieľ. Samozrejme, môže nastať prípad, kedy chceme, aby agent svoj cieľ zmenil. Keby sme boli stratení v lese, o hlade a smäde a zbadali by sme strom s ovocím, rozbehli by sme sa k nemu, ale

po ceste by sme si všimli studňu s vodou, určite by sme sa najprv rozbehli ku studni, pretože vodu potrebujeme častejšie a preto smäd by bol v našom prípade oveľa silnejší ako hlad. Pre takéto prípady teda budeme chcieť, aby agent zmenil svoj cieľ. Aby sme teda zabezpečili určitý stupeň udržiavania si cieľa, ale zároveň schopnosť jeho flexibility v potrebných prípadoch, bude rozhodovací systém umelo zvyšovať prioritu cieľového objektu a tým zvýši jeho hodnotu oproti tej, ktorú by mal za normálnych okolností, keby nebol aktuálnym cieľom. Tým dosiahneme to, že len v prípade, že agent zbadá objekty, ktoré sú oveľa hodnotnejšie, ako súčasný cieľ, sa agent rozhodne pre zmenu cieľa a pre ostatné objekty si cieľ ponechá. Opäť však musíme myslieť i na strach vzbudzujúce objekty. V ich prípade by si agent mal vždy vybrať ten „najstrašnejší“, pretože je pravdepodobné, že ten bude mať najhoršie následky na agentovo „zdravie“. Z toho dôvodu, ak súčasný cieľ vzbudzuje radosť, teda je to cieľ zaujímavý a v okolí agenta sa vyskytne strach vzbudzujúci cieľ, rozhodovací systém vždy zmení cieľ na tento objekt. Ak už je cieľom agenta strach vzbudzujúci objekt, dôjde k zmene podľa toho, ktorý objekt má silnejšie ohodnotenie.



**Obrázok 2.3** Tok dát v riadiacom systéme. Na obrázku je zjednodušene ukázané, ako sú spracovávané dáta v riadiacom systéme.

Systém ovládania a určovania správania agenta určuje v každom momente aktuálne správanie agenta. To určuje na základe aktuálneho cieľového objektu, na ktorý sa má agent zameriavať. Správanie agenta môžeme chápať ako krátkodobé ciele. Keď je napríklad cieľovým objektom huba, bude cieľom agenta túto hubu zjesť. Aktuálne správanie agenta teda bude snaha o zjedenie danej huby. Je však pravdepodobné, že takýto cieľ nie je možné



okamžite splniť, napríklad preto, lebo sa huba nenachádza v dosahu agenta, čiže ju nemôže zjesť. Na splnenie tohto cieľa je nutné k hube najprv prísť. Systém ovládania správania teda najprv získa zo senzorov informáciu o vonkajšom stave agenta a cieľového objektu, teda kde sa voči agentovi daný objekt nachádza. Na základe tejto informácie sa potom rozhodne, ako konať ďalej a toto svoje rozhodnutie posunie systému, ktorý už vyberie konkrétnu akciu v závislosti od mechanického prevedenia agenta, teda od jeho pohybových možností. Samozrejme, druh správania závisí aj od kategórie objektu, napríklad ak ide o objekt z kategórie „zaujímavých“ objektov a bol vybraný na základe jeho priority preskúmania, agent sa bude snažiť najprv dostať čo najbližšie k objektu. V momente, keď bude dostatočne blízko pri objekte, pokúsi sa s objektom vhodným spôsobom interagovať, napríklad v prípade huby ju zje. Ak však ide o objekt z kategórie strach vzbudzujúcich objektov a bol vybraný na základe jeho pomeru vyhýbania, bude sa agent snažiť dostať čo najďalej od tohto objektu a keď bude objekt dostatočne ďaleko, teda agent bude v bezpečí, môže naň zabudnúť a pokračovať ďalej. Ako sme už spomenuli, nie vždy musí mať agent za cieľ konkrétny objekt. Ak dôjde k situácii, že agent nemá cieľ, systém ovládania správania zvolí ďalšie správanie na základe už spomínaných špeciálnych potrieb, ktoré vysvetlíme neskôr. Systém výberu akcie napokon len tlmočí zvolenú akciu motorickému systému agenta a ten danú akciu vykoná.

## 2.3 Učenie

Dôležitou schopnosťou takmer každého tvora je schopnosť adaptácie. Náš agent by sa mal byť schopný adaptovať na prostredie pomocou emočnej pamäte, kde si bude takpovediac podvedome zapamätávať emočné udalosti spojené s objektmi a na základe toho by mala emočná pamäť postupne generovať korektnejšie emočné reakcie na objekty, ale aj vnútorný stav agenta. V tejto časti popíšeme proces učenia emočnej pamäte.

Nevyhnutnou súčasťou učenia sú, samozrejme, nejaké dáta, z čoho sa daný subjekt má niečo naučiť. Teda aj náš agent potrebuje nejaké „učivo“, z čoho sa jeho emočná pamäť naučí generovať čo najpresnejšie emočné reakcie. Odkiaľ bude náš agent získavať tieto informácie? V časti tejto práce, kde sme popísali model emočnej pamäte, sme hovorili o jej dvoch komponentoch. Podľa týchto komponentov môžeme rozdeliť aj vstupy do emočnej pamäte na dve hlavné kategórie: vonkajšie vstupy a vnútorné vstupy. Pri každej z týchto

kategórií bude agent získavať dáta na učenie iným spôsobom. Povedzme si teda najprv o vonkajších vstupoch.

Vo svete simulácií získavanie učebných dát nie je žiadny problém. Stačí jednoducho agentovi postupne predložiť všetky objekty a povedať mu pri každom správnu odpoveď. To však v reálnom svete nejde, nemôžeme agentovi ukázať všetky objekty na svete, navyše chceme urobiť agenta, ktorý bude schopný existencie v neznámom prostredí, teda by sme v podstate ani nemali vedieť, aké presne tam budú objekty. Preto si nemôžeme dovoliť postupovať takýmto spôsobom ani my, ak chceme, aby náš koncept mohol mať nejaké potenciálne využitie v reálnom svete. V skutočnom svete, ak sa nachádza okolo nás skupina nejakých neznámych objektov, dozvieme sa o nich viac až pri interakcii s nimi. Ak je napríklad vedľa nás strom s neznámym ovocím, nevieme len z pozorovania ovocia povedať, či bude ovocie chutné alebo nie (pri skúsenostiach s podobným ovocím to ale môžeme odhadnúť, i keď pravdivosť nášho odhadu nie je nikdy istá). Až keď si ovocie odtrhneme zistíme, či je sladké a šťavnaté a aby sme sa vrátili k nášmu modelu – jedenie tohto ovocia nám bude spôsobovať radosť – alebo je trpké a horké až nám ústa skrívá a teda jeho jedenie nám spôsobí skôr zármutok.

Náš agent bude mať samozrejme iné kritériá na vyhodnocovanie objektov, hlavne pri potrave ho nebude zaujímať chuť, ale skôr výživová hodnota, no princíp, že sa o objekte dozvie viac až pri interakcii s ním, platí i pri našom agentovi. Podľa spôsobu vyhodnocovania vieme, že agent bude chcieť s niektorými objektmi interagovať a s niektorými nie. To by mohlo byť problematické, ak by agent od samého začiatku považoval niektoré objekty za nezaujímavé, prípadne by od nich utekal, znamenalo by to, že sa o nich nikdy nič nedozvie, pričom by tieto objekty mohli byť pre agenta dôležité. Jeho rozhodnutie zutekať by bolo nesprávne a to bez akejkoľvek možnosti napraviť ho. Samozrejme, riešenie tohto problému by mohlo byť viacero, no príroda nám opäť ponúka jedno veľmi jednoduché, implicitné riešenie, ktoré v bežnej reči zvykneme nazývať „zvedavosť“. Malé deti, ale takisto i väčšina zvierat, hlavne mladých, sú veľmi zvedavé. Čokoľvek nové je pre nich lákavé a majú veľký záujem o interakciu s každým objektom, či už ide o vec pre človeka dôležitú alebo nepodstatnú, dokonca aj nebezpečnú. Následne ak zistia, že lízanka je sladká a chutná, budú s ňou chcieť „interagovať“ aj naďalej a to isté bude platiť o jej podobných predmetoch, napríklad kus plastu v tvare lízanky, ak ho okúsia, po čase zistia, že ten nemá žiadnu chuť a v budúcnosti sa podobným objektom pravdepodobne zaoberať nebudú. Ak sa však dotknú horúcej platne na šporáku, popália sa,

čo im spôsobí veľmi nepríjemný pocit a už sa viac žiadnej platne nedotknú. Podobne teda skúsime postupovať i pri našom agentovi. Na začiatku bude mať len radostné emočné reakcie na okolité objekty, podobne, ako je tomu u dieťaťa, jednoducho bude na všetko zvedavý. To samozrejme spôsobí spočiatku nie veľmi dobré, prípadne zlé výsledky, no zároveň sa agent nedostane do pasce večnej ignorácie životne dôležitých objektov. Ako ale bude agent získavať informácie o správnej emočnej reakcii na objekty? V reálnom svete, ak by sa jednalo o robota, bola by korektná reakcia generovaná podľa výsledku interakcie s objektom. Teda prospešné objekty, ako napríklad zdroj energie, iný agent a podobne budú v agentovi vyvolávať dobré emócie, čiže ak bude agent interagovať s takýmito objektmi, dostane spätnú väzbu so silnou aktiváciou radosti. Neprospešné objekty, ako napríklad potrava, ktorá bude agentovi spôsobovať nejaké problémy, budú ohodnocované aktiváciou zármutku v spätnej väzbe. Na tomto mieste je vhodné poukázať na rozdiel medzi strachom a zármutkom v našom emočnom modeli. Ako sme povedali, objekty ako zlá potrava, budú spôsobovať zármutok. Zarmucujúce objekty bude agent ignorovať, pretože aj v skutočnosti, ak nám nejaké jedlo spôsobuje nevoľnosť, tak na to, aby sme tomu zabránili v budúcnosti stačí, aby sme ho nejedli a keď sa vyskytne v našej blízkosti, budeme ho proste ignorovať a nič sa nám nestane. To isté však nemôžeme spraviť s nejakou šelmou. Ak sa stretneme so šelmou, môže nás pohryzť aj napriek tomu, že ju budeme ignorovať. Preto pri takýchto objektoch budeme musieť reagovať inak – útekom. Ako teda máme rozoznať, kedy ignorovať a kedy utekať? Oba druhy objektov majú spoločné to, že nám ubližujú, no pri jednom type iniciujeme interakciu my a pri druhom objekte je iniciátorom samotný objekt. Teda objekty, ktoré s nami budú nevrelé interagovať napriek tomu, že my sme ich ignorovali, nám budú naháňať strach a v budúcnosti ich nebudeme len ignorovať, ale budeme pred nimi utekať. Tu spravíme malú odbočku na vysvetlenie určitých aspektov nášho agenta a simulácie, do ktorej ho vložíme. Keďže skutočný svet je už beztak plný smutných a zlých udalostí, v našom svete sa nebude umierať a keď sa stretne niekto so šelmou, tak ho iba pohryzie a nič iné sa mu nestane. Je nám jasné, že takýto prístup nie je úplne vhodný, keďže sme doteraz v celej práci propagovali podobnosť so skutočným svetom, na našu obranu teda povieme, že áno, v skutočnom svete by v takejto situácii došlo pravdepodobne k fatálnemu poškodeniu agenta. No na to, aby sa dalo predísť takejto situácii, by bolo potrebné implementovať aj genetickú adaptáciu, teda postupne by sa vyvinuli agenty, ktoré by prirodzene mali strach zo života nebezpečných objektov. Takýto prístup by si ale vyžadoval implementáciu genetických algoritmov a to je už ďaleko nad rámec našej práce, no v prípade budúceho

využitia nie je žiadny problém implementovať takýto algoritmus do nášho systému. Ďalšia možnosť, ak by sme posielali takéhoto agenta do cudzieho prostredia, je ho najprv predtrénovať na niektoré nebezpečné objekty z nášho známeho okolia. Ak je emočná pamäť dobre implementovaná, teda schopná korektnej generalizácie, mal by byť potom agent schopný určiť nebezpečné objekty aj v cudzom prostredí. Tu môžu ale nastať problémy spojené s jednotvárnym učením, teda agent by mohol považovať za nebezpečné aj nie nebezpečné, prípadne všetky objekty. To by sa mohlo dať vyriešiť trénovaním na väčšej skupine rôznorodých objektov z nášho okolia. Podobne, ako by sme učili dieťa pohybovať sa v našom známom prostredí, aby sa bolo neskôr schopné samostatne pohybovať a správne orientovať kdekoľvek na svete. Tento postup si však nevyhnutne vyžaduje podobnosť objektov cudzieho prostredia s našim okolím. Ak je tomu tak, nemal by byť s agentom problém, v opačnom prípade sa môžeme buď spoliehať na to, že sa agent v neznámom prostredí naučí rozpoznávať nebezpečenstvo skôr, ako dôjde k jeho zničeniu alebo implementujeme spomenutý evolučný algoritmus. Aby sme sa však vrátili späť, v našej simulácii nedôjde k poškodeniu agenta pri strete so šelmou, ale agent dostane spätnú väzbu, ako keby sa tak stalo. Teda pre testovacie účely bude tento prístup dostatočný, pričom sa zároveň vyhneme nutnosti implementácie genetických, či iných algoritmov zabezpečujúcich prežitie našej (malej) testovacej vzorky agentov. Agent bude teda presne tak, ako sme to opísali určovať, či má objekt vyvolať strach, alebo len zármutok a na základe toho sa bude v budúcnosti rozhodovať, či bude pred objektom utekať alebo ho len ignorovať. Takýmto spôsobom by teda fungovalo určovanie správnych emočných reakcií vo fyzickej implementácii nášho riadiaceho systému, ak by sa jednalo o robota. V našej simulácii bude však agent dostávať korektné emočné reakcie od podsystému, ktorý ale nebude súčasťou agenta. Tento podsystém našej simulácie bude explicitným spôsobom generovať unikátne emočné reakcie pre každý objekt, bude teda vždy presne vedieť, o aký objekt sa jedná a bude mať k dispozícii všetky informácie o objekte a na základe nich určí, akú emočnú reakciu by mal agent mať na tento objekt. Tu samozrejme narážame na problém určenia presných emočných reakcií, keďže od tohto podsystému bude závisieť i presnosť emočnej pamäte agenta a tým i celého rozhodovacieho systému. O tom však viac povieme neskôr.

Teraz predstavíme iný problém a síce problém, ako vlastne takúto emočnú pamäť implementovať. Od spôsobu implementácie pamäte bude totiž závisieť i spôsob a vlastnosti učenia. Zopakujme si teda, čo od emočnej pamäte vyžadujeme v našom

modeli. V prvom rade chceme, aby bola schopná prijímať určité charakteristické črty objektov a na základe nich generovať aktivácie troch rôznych emócií (vždy všetky tri naraz pre každý objekt). Druhá nevyhnutná vlastnosť je schopnosť učenia sa, teda postupného korigovania emočných reakcií a tretia je schopnosť generalizovať naučené vedomosti. Teda chceme, aby bol riadiaci systém schopný správne ohodnotiť aj objekty, s ktorými sa predtým nestretol, avšak sú podobné s niektorými objektmi, s ktorými sa už stretol (a preto sa dá predpokladať, že majú podobné vlastnosti). Z dôvodu požiadavky generalizácie nebudú klasické vedomostné databázy vhodnými kandidátmi na našu pamäť. Sú síce schopné učenia, dokonca rýchlejšieho a presnejšieho, ako iné systémy, no na generalizovanie by bolo potrebné implementovať komplikované procedúry a požiadavkou na náš celkový riadiaci systém je, ako sme už v úvode písali, spontánnosť a rýchlosť pri rozhodovaní. Inak povedané, pomalé emócie sú zbytočné, pretože v tom prípade by bolo už výhodnejšie implementovať exaktný rozhodovací systém, ktorý by bol rovnako rýchly a dával by presnejšie rozhodnutia. Zo zostávajúcich prístupov sa na splnenie všetkých podmienok asi najlepšie hodí umelá neurónová sieť, aj keď je možné použiť i pravdepodobnostné siete (napríklad bayesovské siete), no my sme sa rozhodli pre neurónovú sieť, keďže nám sa zdá pre tento prípad najvhodnejším riešením. Pretože objekty majú rôzne vlastnosti s rôznymi koreláciami (pozitívnymi i negatívnymi) k ich výsledným emóciám, klasický perceptrón či iná forma jednovrstvovej siete by určite nebola schopná dostatočného rozlišovania a mala by problém naučiť sa správne určovať emócie pre rozličné objekty. Iným, z biologického hľadiska možno zaujímavým a elegantným riešením, by mohla byť implementácia dvojvrstvovej siete s hebbovským učením (jednovrstvová sieť by mala rovnaké problémy ako perceptrón). Takáto sieť by mala na vstupe jednu sieť, spojenú na výstupe s viacerými podsietami, pričom každá podsieť by bola schopná vyhodnotenia určitého druhu objektu. Takýto prístup by však bol veľmi komplikovaný a pri testovaní sme zistili, že by nebol dostatočne efektívny, hlavne z hľadiska ďalších vlastností systému, napríklad predtrénovanosti na radosť zo všetkých objektov, kde by sa potom následne musela pri niektorých objektoch radosť znižovať a zvyšovať aktivácie iných emócií. Preto asi najvhodnejším riešením je dopredná viacvrstvová neurónová sieť. Takýmto spôsobom sme teda implementovali emočnú pamäť pre vonkajšie objekty aj v našom modeli. Otázkou teda už zostáva len spôsob učenia. My sme zvolili učenie s učiteľom. To má oproti iným technikám v našom systéme niekoľko výhod. Prvá je, že implementácia takéhoto učenia nám umožní jednoduché predtrénovanie systému na objekty zo známeho prostredia (v prípade, že chceme, aby mal agent nejaké

základné znalosti pred vstupom do neznámeho prostredia), bez nutnosti akejkoľvek úpravy systému. Druhý dôvod, prečo je takýto spôsob učenia vhodný je, že síce s oneskorením, ale vždy budeme mať k dispozícii presný výstup, aký mala emočná pamäť dať pri ohodnocovaní objektu. Budeme mať teda dvojicu vzorov – vstup a výstup a to možno využiť najjednoduchšie pri učení s učiteľom. Pri implementácii nášho systému do robota v reálnom prostredí by ale bolo asi vhodnejšie učenie s posilňovaním, prípadne možno nejaká kombinácia týchto dvoch – teda voľba spôsobu učenia podľa typu objektu. Dôvod je, že napríklad akákoľvek pri výživovej hodnote potravy bude mať agent pomerne presnú informáciu (radosť bude priamo úmerná k množstvu energie, ktorú potrava doplnila), pri objektoch ako je predátor môže byť vhodnejšie posilňovanie, z dôvodu komplikovanejšieho výpočtu korektnej emočnej reakcie (i keď v tomto prípade by to teoreticky bolo možné podľa množstva poškodenia, ale to nemusí platiť v každej implementácii, prípadne pri každom objekte).

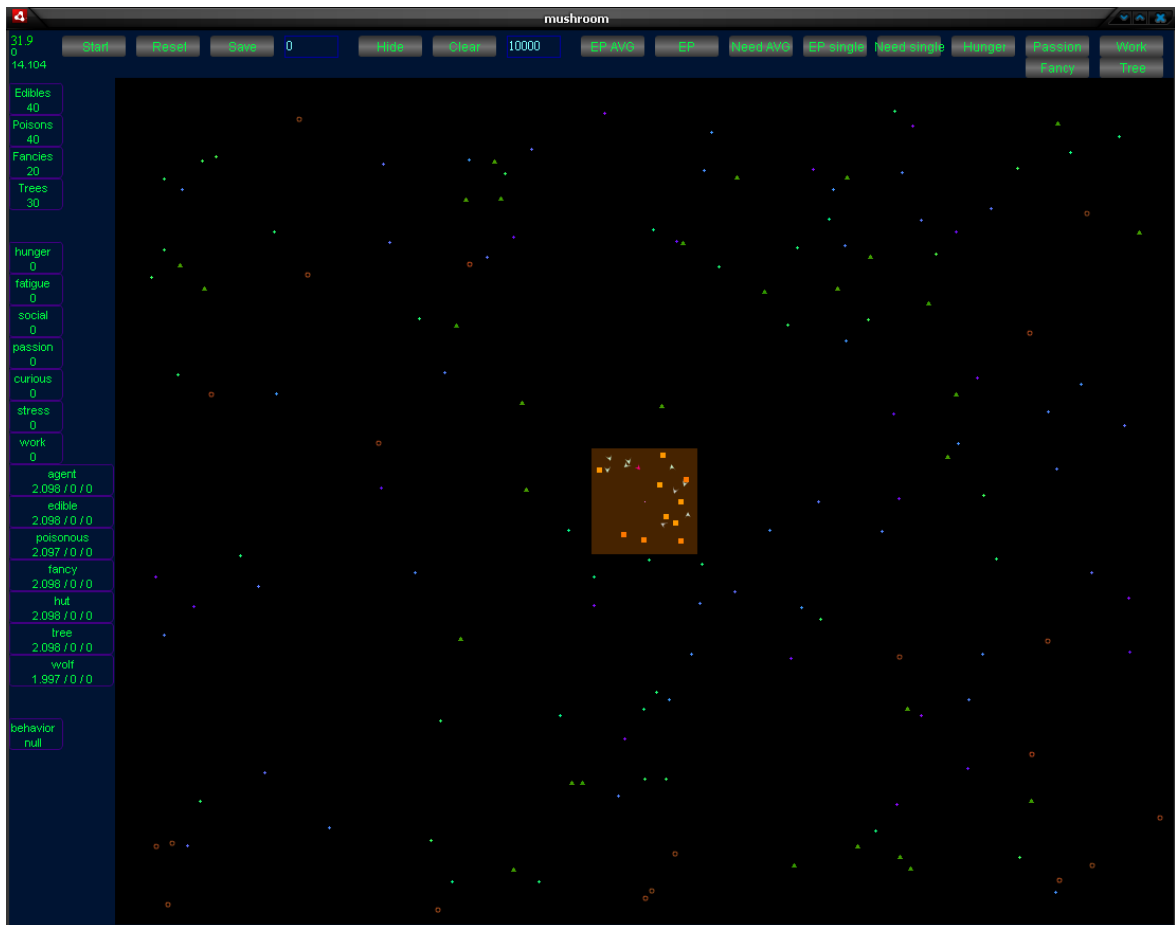
Prejdime teraz na druhý typ vstupov – vnútorné vstupy, teda vnútorný stav agenta. Ako sme spomenuli vyššie, bolo by možné spojiť ohodnocovanie oboch typov vstupov, ale bolo by to zbytočne komplikované a nemalo by to v zásade žiadne výhody. Vstupom teda v tomto prípade bude stav určitej potreby agenta a výstupom, ako bolo uvedené, emočná reakcia, ktorú by mal agent mať pri uspokojení danej potreby, teda v zásade len jedna emócia – radosť. V tomto prípade však nemáme k dispozícii presnú emočnú reakciu, ktorú by mala emočná pamäť vygenerovať. Preto nemožno použiť učenie s učiteľom. Výhodou ale na druhej strane je, že máme len jeden vstup a jeden výstup, pričom vstup bude vždy rovnakého druhu a dokonca vieme, že vzťah medzi vstupom a výstupom bude vždy priama úmera. Na základe týchto informácií bude zrejme najefektívnejšie implementovať túto časť emočnej pamäte v podstate ako jednoduchú, jednovrstvovú umelú neurónovú sieť s hebbovským učením. V princípe pôjde len o upravovanie jedenej váhy, čiže sieť bude konvertovať hodnotu potreby na hodnotu emočnej reakcie. Prezradili sme už, že pôjde o hebbovské učenie, teda budeme v určitých prípadoch zosilňovať väzbu (váhu) medzi vstupom a výstupom, ale kedy by malo dôjsť k tomuto zosilňovaniu? Keďže máme ako vstup potrebu agenta, ktorá bude väčšinu času nenulová a teda i emócia by mala byť nenulová, bol by klasický princíp hebbovského učenia nevhodný, pretože by dochádzalo k nekonečnému posilňovaniu váhy. To určite nechceme, naproti tomu využijeme znalosť, že čím silnejšia bude emočná reakcia vyvolaná potrebou, tým viac bude agent uprednostňovať objekty spojené s touto potrebou a teda tým skôr danú potrebu uspokojí.

Samozrejme, čím silnejšia je potreba (povedzme čím menej energie má agent), tým je aj emócia silnejšia. Ak sú však dve potreby rovnako vysoké, je medzi nimi ťažko rozlíšiť. Aby sme vedeli, ako sa má agent učiť, ktorú emóciu uprednostňovať a akým spôsobom, uvedieme podobný príklad ako v kapitole 2.2. Agent (rovnako ako napr. človek) chodí po lese a už dlho nepil a nejedol. Obe potreby sú teda rovnako vysoké, čiže ak narazí zároveň na zdroj potravy a vody, budú mať oba objekty zhruba rovnakú šancu na to, že si ich agent zvolí. Za normálnych okolností, ak by bola potrava, ktorú agent uvidí chutne vyzerajúca, povedzme šťavnaté ovocie na strome, oveľa prítlačlivejšia ako len čistá voda a agent by sa vybral za ovocím. Keďže agent má obmedzené videnie (a v našom prípade nemá explicitnú pamäť, kde by si vedel zapamätať, že predtým videl aj vodu), môže sa stať, že počas toho, ako pôjde k ovociu sa mu stratí voda z dohľadu a zase bude smädný a nútený dlho putovať lesom, kým sa mu opäť nepodarí nájsť iný zdroj vody. No zakiaľ rôznych plodov môže byť v lese veľa, lesný potôčik, či studňu môže byť oveľa ťažšie nájsť. Potreba pitia je tiež väčšia a preto bude táto potreba stúpať rýchlejšie ako potreba jedla. Z tohto by sa náš agent mal poučiť a na budúce si radšej vybrať vodu ako jedlo. Inak povedané, ak agent, resp. jeho riadiaci systém zistí, že nejaká potreba by mala mať prednosť pred inou, mal by ju v budúcnosti uprednostňovať. Zistiť to môže najjednoduchšie tak, že tá potreba, ktorá nie je dostatočne uprednostňovaná, bude nadobúdať oveľa väčšie hodnoty, ako ostatné potreby. Teda naša emočná pamäť sa bude učiť tak, že ak niektorá potreba dosiahne určitú kritickú hodnotu, posilní sa jej váha a tým aj jej emočná reakcia, čiže agent bude v budúcnosti uprednostňovať objekty spojené s uspokojovaním tejto potreby.

### **3. Implementácia**

Teraz popíšeme podrobnejšie, ako sme postupovali pri implementovaní nášho konceptu riadiaceho systému do virtuálneho sveta, teda do multi-agentovej simulácie. Programovací jazyk, v ktorom sme celú aplikáciu naprogramovali, je Adobe AIR, čo je v podstate rozšírená verzia ActionScript 3 a ten je programovacím jazykom pre Adobe Flash. I keď je Flash pomerne známy, ActionScript i AIR [Air] sú oveľa menej známe, preto pre lepšiu predstavu čitateľa, ktorý tieto programovacie jazyky nepozná povieme, že ActionScript je objektovo orientovaný jazyk, vyvinul sa z jazyka C++ a je štruktúrou

programov i niektorými vlastnosťami (napríklad multiplatformovosť a používanie virtuálneho stroja ako interpretera pre programy) dosť podobný jazyku Java. Dôvodom, prečo sme si tento jazyk vybrali, je hlavne naša dlhoročná skúsenosť s týmto jazykom, ale aj niektoré natívne objekty, ktoré uľahčujú tvorbu simulácií (hlavne po grafickej stránke). Aplikácia, v ktorej sme našu simuláciu vyvíjali, sa nazýva FlashDevelop [FD] a ide o voľne šíriteľnú aplikáciu na vývoj Flash a AIR aplikácií s podporou pre niektoré ďalšie populárne programovacie jazyky.



**Obrázok 3.1** Vzhľad aplikácie. Čierna plocha zobrazuje svet simulácie, farebné bodky sú jednotlivé objekty. Po okrajoch sa nachádzajú ovládacie a monitorovacie prvky aplikácie.

### 3.1 Prostredie simulácie

Predtým, než sa pustíme do popisu samotnej aplikácie, v krátkosti načrtáme celkové prostredie našej simulácie, teda ako by celá simulácia mala vyzerať, čo by mala obsahovať a čo bude úlohou agentov.



„Svet“ našej simulácie je obdĺžniková dvojdimenzionálna plocha, po ktorej sa môžu agenti pohybovať v podstate bez fyzického obmedzenia (neobsahuje žiadne pevné prekážky) a na ktorej sa bude nachádzať množstvo objektov niekoľkých druhov. V strede celej oblasti je štvorcová plocha, ohraničujúca takzvanú dedinu – miesto, kde sa agent bude vždy cítiť bezpečne. Objekty, ktoré obsahuje naša simulácia, sú prvom rade tri druhy húb, ktoré bude agent môcť zbierať. Dva druhy húb sa budú dať konzumovať a budú slúžiť pre agenta ako zdroj potravy, pričom prvý druh bude neškodný, druhý bude viac alebo menej jedovatý. Tieto jedovaté huby budú tiež agentovi dopĺňať určité množstvo energie, no zároveň bude po ich požití agentovi nevoľno, budú teda pre neho nepríjemné a mal by sa naučiť preferovať jedlé huby pred jedovatými, resp. v ideálnom prípade požívať iba jedlé huby. Tretí druh húb je okrasný, tento budú agenti zbierať takpovediac len pre potešenie. Tento druh húb sme implementovali jednak kvôli zvýšeniu rozmanitosti prostredia simulácie a činností agenta a tiež, aby sme neskôr, počas testovania mohli na potrebu zbierania ukázať niektoré vlastnosti nášho systému. Tejto problematike budeme venovať viac pozornosti v inej kapitole. Ďalším objektom v našom svete sú domčeky. Tie sa nachádzajú výlučne v dedine a agent sa v nich v prípade únavy môže vyspať. Ďalším objektom sú stromy, z nich môže agent ťažiť drevo. Posledným objektom našej simulácie sú vlci – predátori, ktorí budú agenta „loviť“ a v prípade kontaktu ho aj „hrýzť“, teda budú agentovi naháňať strach.

Hlavnou úlohou agenta v tejto simulácii bude čo najefektívnejšie prežiť v neznámom prostredí a teda čo najlepšie sa adaptovať na prostredie. Agent si bude musieť dopĺňať energiu z potravy (húb) a tiež spánkom, z času na čas nazbierať nejaké huby na potešenie a občas sa „porozprávať“ s ostatnými agentmi a samozrejme vyhýbať sa vlkom. Druhou úlohou, resp. prácou pre agenta bude ťažba dreva. Môžeme si teda predstaviť, že ide o roboty, ktoré sme poslali do neznámeho prostredia s úlohou ťažiť v tejto oblasti drevo. Dôvodom, prečo majú agenti v našej simulácii takúto úlohu je ukázať, že náš riadiaci systém implementovaný v agentovi je schopný adaptovať sa na prostredie, ale zároveň aj plniť nejakú užitočnú činnosť. Nepôjde teda len o „bezduché“ prežitie v cudzom prostredí.

## 3.2 Štruktúra aplikácie a funkcie jej komponentov

Ešte predtým, než sa dostaneme k spôsobu implementácie agenta a jednotlivých objektov, je dôležité povedať, ako je vlastne štruktúrovaná celá aplikácia. Keďže použitý programovací jazyk je objektovo orientovaný, znamená to, že aj celá aplikácia je podľa tohto štruktúrovaná – bude to teda hierarchia objektov a ich inštancií. Na pozadí celej aplikácie stojí hlavná (aplikačná) trieda. Tá obsahuje všetky ostatné objekty a umožňuje zobrazovanie simulácie na obrazovke počítača. Priamo v nej sú všetky ovládacie prvky simulácie, ako aj samotný objekt zapuzdrujúci celú simuláciu. Jej súčasťou sú aj objekty slúžiace na testovanie simulácie, o tých si však povieme až v časti o testovaní. Simuláciu zapuzdruje jeden objekt, ktorý má na starosti komunikáciu medzi ostatnými objektmi a samozrejme beh celej simulácie, ako aj vykresľovanie jednotlivých objektov. Simulácia resp. agenty sú synchronne, t.j. všetky súčasti simulácie sú aktualizované vždy po jednotlivých krokoch. Z technických príčin (sériovosť programovacieho jazyka aj počítača) nejde o paralelné spracovanie, to znamená, že objekty sa neaktualizujú úplne naraz, ale postupne. Vo väčšine prípadov by to však nemalo vadieť, v podstate jediný skutočný problém nastane, keď sa dva agenty budú nachádzať v blízkosti toho istého objektu, ktorý bude možné nejakým spôsobom zobrať. Potom agent, ktorý bude aktualizovaný skôr, vždy bude brať tento objekt prvý a druhému agentovi tento objekt ukradne, čiže z neho druhý agent nebude mať žiadny prospech a jeho skóre sa mierne zhorší. Takéto situácie však určite nebudú nastávať často – agenty budú pravdepodobne často súperiť o objekty, no zo zrejmych dôvodov bude takmer vždy jeden agent bližšie k objektu a ten zoberie objekt ako prvý bez ohľadu na poradie aktualizácie. Preto sú takéto konflikty zanedbateľné a na simuláciu sa v podstate môžeme pozerieť ako na paralelnú. Na pravidelnú aktualizáciu obsahuje objekt simulácie objekt „hodiny“, ktorý v pravidelných intervaloch volá hlavnú aktualizáciu procedúru simulácie. Tá potom kaskádovo volá aktualizáciu funkcie jednotlivých podobjektov simulácie a ich podobjektov. Na prvej úrovni tejto kaskády sú objekty „svet“ a „riadenie agentov“.

Objekt svet má na starosti aktualizáciu a fungovanie všetkých objektov prostredia okrem agentov a objekt riadenie agentov má, ako je už zrejmé, na starosti aktualizáciu agentov. Povedzme si najprv, čo sa deje pri aktualizácii „sveta“. Svet má teda na starosti huby, stromy, domy a vlkov. Tie sú hneď pri inicializácii simulácie určitým spôsobom roztrúsené po celej ploche, ktorá tvorí minisvet našej simulácie. Objekt svet má potom následne na starosti pri každej aktualizácii kontrolovať počet húb a stromov (počet domov

a vlkov sa nemení) a v prípade potreby, t.j. keď ich počet klesne pod určitú hodnotu, vytvoriť a umiestniť na plochu nové. Stromy a huby sú umiestňované na plochu sveta náhodne (resp. nie úplne náhodne – vždy sa kontroluje, aby bola medzi jednotlivými objektmi určitá vzdialenosť, čím sa zabezpečuje rovnomernejšie rozmiestňovanie objektov a taktiež žiadny objekt, okrem domu nemôže byť umiestnený do oblasti dediny). To môže zapríčiniť, že časť z nich bude umiestnená na okraji minisveta a niektoré z takýchto objektov môžu byť „strážené“ vlkami, teda agent by musel prejsť okolo vlka, aby sa k nim dostal. Takéto rozloženie môže spôsobiť, že k niektorým objektom sa agenti po dlhú dobu alebo prípadne vôbec nikdy nedostanú. Keďže počet húb i stromov je i zhora ohraničený, mohlo by to znamenať, že agenti po čase vyčerpajú huby a stromy v strede plochy a všetky ostatné budú koncentrované na jej okraji, navyše často strážené vlkami. Z tohto dôvodu má každá huba a strom premennú určujúcu ich životnosť a ak ich žiadny agent do vypršania tejto životnosti nezoberie, budú jednoducho odstránené – vďaka čomu sa budú môcť vytvoriť nové so šancou, že budú vložené bližšie ku centrálnej oblasti minisveta. O toto všetko sa stará objekt svet. Navyše ešte tento objekt ovláda aj vlkov, o ich činnosti však povieme viac pri podrobnejšom popise objektov vo svete našej simulácie. Posledná úloha tohto objektu je generovanie zoznamu objektov prostredia v okolí daného agenta, tomu sa však tiež budeme venovať neskôr.

Druhým objektom, ktorý je priamo aktualizovaný objektom simulácie, je kontrola agentov. Tento objekt si neslobodno pomýliť s riadiacim systémom agenta. Kontrola agentov má na starosti len vytvorenie agentov na začiatku simulácie, ich aktualizáciu pri každom kroku a takisto generovanie zoznamu agentov v okolí daného agenta (podobne ako predchádzajúci objekt generuje zoznam ostatných objektov prostredia). Na proces, ktorý sa deje počas aktualizácie agentov, sa pozrieme v nasledujúcej časti tejto práce.

### **3.3 Agent**

Každý objekt triedy agent obsahuje objekt riadiaci systém, riadenie potrieb a zaznamenávanie skóre. Okrem toho má tento objekt sadu procedúr, ktoré umožňujú pohyb agenta a jeho interakciu s ostatnými objektmi z jeho prostredia. Objekt riadiaci systém obsahuje implementovaný riadiaci systém z predošlej časti tejto práce spolu so zabudovaným emočným modelom. Riadenie potrieb má na starosti postupné zvyšovanie hodnôt potrieb – pri každom kroku, ale aj pri rôznych činnostiach – a taktiež ich

znižovanie pri činnosti, ktorá ich má uspokojovať (jedenie, spánok, atď.). Skóre sa pri rôznych činnostiach zaznamenáva pre potreby testovania výkonu agenta.

V každom kroku simulácie dochádza k zavolaniu aktualizáčnej procedúry agenta. Na jej začiatku si agent vyžiada všetky objekty (t.j. aj ostatných agentov) zo svojho blízkeho okolia. Tieto objekty reprezentujú objekty, ktoré agent „vidí“ a teda sa nimi môže zaoberať. Agent následne posúva objekty riadiacemu systému. Ten z každého objektu extrahuje jeho vektor príznačkov a vytvorí pre každý objekt „balík“ – objekt, ktorý bude obsahovať typ a príznaky daného objektu, emočnú reakciu a ďalšie parametre, ktoré sa v našom emočnom modeli používajú na vyhodnocovanie objektov. Tieto dáta sa budú do balíka pridávať postupne počas priebehu vyhodnocovania situácie. Najprv sa tento balík posunie emočnému procesoru. Ten, skrze emočnú pamäť ohodnotí objekt patričnou emočnou reakciou. Ako sme už v návrhu riadiaceho systému spomínali, emočná pamäť je tvorená viacvrstvou doprednou neurónovou sieťou (konkrétne má sieť jednu vstupnú, jednu skrytú a jednu výstupnú vrstvu), pričom vstupy sú príznaky objektu a výstupy sú aktivácie troch emócií. Tieto aktivácie sa vložia do balíka každého objektu. Emočný procesor v implementácii obsahuje druhý komponent emočnej pamäte, ktorý má na starosti ohodnocovanie emočnej reakcie pre vnútorný stav agenta. Tie sa určia ešte pred spracovaním balíkov objektov a po ich emočnom ohodnotení sa podľa typu balíka, resp. objektu, pridá k emočnej reakcii na objekt aj emočná reakcia pre patričnú potrebu (samozrejme, len ak je objekt spojený s nejakou potrebou). V prípade, že má agent pozmenené priority, emočný procesor tieto priority nastaví balíkom objektov, ktorých sa to týka a následne spustí procedúru, ktorá vypočíta faktory pre vyhodnotenie väzby agenta k objektu – t.j. pomer záujmu, sila záujmu, pomer vyhýbania a priorita preskúmania. Z týchto faktorov sa potom vypočíta aj výsledná väzba tak, ako je to popísané v predošlých kapitolách. Ohodnotené objekty sú potom vrátené riadiacemu systému a nastáva proces rozhodovania. Riadiaci systém prejde celým zoznamom balíkov a vyhladá v ňom objekty s najvyšším pomerom vyhýbania a prioritou preskúmania. Ak sa v zozname nenachádza žiadny objekt s nezápornou prioritou preskúmania (objekty so zápornou hodnotou tohto parametra sú ignorované), rozhodovací systém pokračuje ďalej vybraním objektu s najväčším pomerom vyhýbania. Ak ani taký nie je v zozname, pokračuje riadiaci systém k ďalšiemu kroku bez výberu objektu. Ak sa v zozname nachádza aj objekt s nezápornou prioritou preskúmania, najprv sa zistí, či je s ním spojená nejaká potreba. Ak áno, zistí sa hodnota tejto potreby. Ak je potreba nižšia ako určitá hodnota, znamená to, že je potreba

uspokojená v dostatočnom množstve a agent sa ňou momentálne nemusí zaoberať. Preto sa aj tento objekt ignoruje a postupuje sa ďalej ako keby sa v zozname žiadny zaujímavý (radosný) objekt nenachádzal – pretože objekt mal najvyššiu celkovú väzbu a tá v tomto prípade závisí od aktivácie radosti a zármutku voči objektu a tiež od aktivácie radosti zo súvisiacej potreby, je viac než pravdepodobné, že objekty, ktorú budú mať menšiu záujmovú väzbu budú mať ešte nižšiu hodnotu aktivácie s nimi spätéj potreby. Z toho dôvodu riadiaci systém automaticky ignoruje aj ostatné objekty. Toto správanie je v našom agentovi implementované preto, aby z času na čas agent mohol len tak preskúmať okolité prostredie a nehnať sa stále za uspokojovaním svojich potrieb, aj napriek tomu, že sú na minimálnej hodnote. Ak však prejde zaujímavý objekt aj týmto krokom a zároveň sa v okolí agenta nachádza aj nebezpečný objekt, rozhodovací systém porovná väzbu oboch objektov, pričom väzba zaujímavého objektu je znížená na 10% jeho pôvodnej hodnoty z dôvodov, ktoré sme uviedli v kapitole o návrhu riadiaceho systému. Víťaz tohto porovnania postupuje k ďalšiemu kroku. Ak sa v zozname balíkov nenachádzal žiadny nebezpečný objekt, postupuje najzaujímavejší objekt k ďalšiemu kroku automaticky. V tejto fáze teda buď má alebo nemá riadiaci systém vybraný objekt z agentovho okolia. Ak bol nejaký objekt vybraný, porovná sa jeho väzba s väzbou aktuálneho cieľového objektu agenta, ak ho má. Ak ho nemá alebo je väzba nového objektu väčšia (pričom neslobodno zabúdať na dočasné zosilnenie väzby aktuálneho cieľa a pravidlá pri porovnávaní nebezpečných objektov uvedené v predošlých kapitolách), určí tento vybraný objekt za nový cieľ. Podľa typu objektu potom určí nové správanie agenta – jedz (jedlá huba), zober (okrasná huba), nasleduj (agent), získaj (strom / drevo), uteč (vlk). Ak zostáva pôvodný cieľ, zostáva aj pôvodné správanie. V prípade, že nastane situácia, kedy agent nebude mať žiadny cieľ, nastaví sa správanie podľa aktuálnej hodnoty stresu a zvedavosti. Ak je zvedavosť väčšia ako stres, nastaví sa správanie bádaj, v opačnom prípade sa nastaví správanie vráť sa. Okrem toho, ak je hodnota stresu alebo zvedavosti väčšia ako určitá hraničná hodnota, zruší sa aktuálny agentov cieľ a postupuje sa podľa predošlého kroku. Naopak ak sú obe potreby nižšie ako určitá hodnota, nastaví sa správanie voľného pohybu a agent sa bude pohybovať úplne náhodne. V poslednej fáze si riadiaci systém agent zistí, kde sa cieľový objekt nachádza a následne, podľa nastaveného správania k nemu buď príde alebo od neho utečie. Ak príde k objektu, opätovne podľa nastaveného správania vykoná patričnú akciu. Ak ide o nasledovanie iného agenta, potom tento agent len pokračuje v nasledovaní. Pri správaní typu bádaj a vráť sa, sa agent natočí smerom od dediny, respektíve k dedine (s určitým faktorom náhodnosti, aby sa nepohyboval vždy presným

smerom) a pohne sa dopredu. Pri interakcii s objektmi zároveň dochádza k trénovaniu emočnej pamäte. Riadiaci systém najprv zistí od nato určeného objektu presnú emóciu, ktorú má objekt v agentovi vyvolať a potom spolu s vektorom príznakov daného objektu predloží tieto dáta emočnej pamäti. Tá, keďže ako sme povedali ide o doprednú neurónovú sieť, sa učí metódou spätnej propagácie chyby. Pre lepšie učenie sa tento proces v prípade menej častých objektov ako sú vlci, zopakuje viackrát.

### 3.3.1 Potreby a záujmy agenta

V predošlých kapitolách sme mnohokrát spomínali vnútorný stav agenta, čiže takzvané potreby (podobne ako ľudské potreby – napríklad potreba prijímať potravu). Konkrétne potreby závisia od samotného agenta, nie od riadiaceho systému. Napríklad pre jednoduchého robota by to mohla byť potreba udržiavať si energiu nad určitou hranicou. Náš riadiaci systém transformuje takéto potreby na záujmy (dlhodobé ciele) a na ich základe potom určuje agentovo správanie (dočasné ciele). Napríklad v prípade potreby prijímať potravu, hovoríme o záujme byť najedený (t.j. udržiavať hlad pod určitou hladinou) a na plnenie tohto záujmu, čiže dlhodobého cieľa môže riadiaci systém vytvárať dočasné ciele, t.j. aktuálne správanie agenta, napríklad zjedz hubu. Takýmto spôsobom teda treba chápať úlohu nášho riadiaceho systému implementovaného do autonómneho agenta.

Agent, ktorého sme použili v tejto simulácii, má sedem základných potrieb: prijímať potravu, dopĺňať energiu spánkom, udržiavať kontakt s ostatnými agentmi, estetickú potrebu, zvedavosť (potrebu skúmať nové), potrebu bezpečia a potrebu pracovať. Potreba prijímať potravu je spojená s požívaním jedlých húb, potreba spánku je spojená so spaním v príbytkoch v dedine, sociálna potreba či potreba kontaktu s ostatnými agentmi je spojená s nasledovaním ostatných agentov, estetická potreba zase so zbieraním okrasných húb a potreba pracovať so získavaním dreva zo stromov. Napokon sú tu dve špecifické potreby – zvedavosť a potreba bezpečia (pre jednoduchosť a pretože sa tak vlastne volá aj vnútorný stav reprezentujúci túto potrebu budeme na túto potrebu ďalej referovať ako na stres). Zvedavosť sa uspokojuje skúmaním prostredia vzdialenejšieho od dediny. Čím je agent ďalej od dediny, tým rýchlejšie sa znižuje hodnota zvedavosti, naopak, čím je bližšie, tým sa znižuje pomalšie, resp. začne rásť. Stres sa zvyšuje tým rýchlejšie, čím je agent ďalej od dediny a znižuje sa len ak je agent v dedine. Tieto dve potreby sme

implementovali do nášho modelu z toho dôvodu, aby boli agenti nútené pohybovať sa po celom prostredí simulácie, ale zároveň aby sa aj vracali naspäť do dediny.

### **3.4 Objekty prostredia**

Ako sme už povedali, v simulácii sa nachádzajú tri druhy húb, stromy, domy a vlci. Každý z týchto objektov si pri vytvorení (keď je pridaný do prostredia) vygeneruje náhodne svoje vlastnosti. Všetky objekty majú určitú farbu. Tá závisí predovšetkým od typu objektu, presný odtieň sa ale určuje náhodne. Pri hubách a stromoch je odtieň určený na základe náhodne vygenerovanej hodnoty objektu. Pri nich teda farba priamo súvisí s hodnotou, čiže aj s emočnou reakciou, ktorú by mal na objekt mať agent. Podobne sú vygenerované aj premenné simulujúce vôňu objektu, jeho veľkosť a hlasitosť zvuku, ktorý vydáva. Tieto vlastnosti tvoria spolu so špecifickým príznakom, ktorý závisí od typu objektu, vektor príznakov, ktorý sa používa ako vstup pre emočnú pamäť.

Špeciálnym typom objektov sú vlci. Na rozdiel od ostatných objektov, ktoré sú statické, vlci vedia sami interagovať s agentmi. Pri každom kroku simulácie sa každému vlkovi dodá zoznam agentov z jeho okolia, v prípade, že sú v jeho okolí nejaké agenty. Vlk si potom náhodne vyberie jedného agenta a prenasleduje ho (vlk sa pohybuje rýchlejšie, než agent, takže ho určite dobehne). Keď je dostatočne blízko, pohryzie agenta, čo vyvolá spätnú väzbu a agent sa tak môže poučiť, že sa má vlkom vyhýbať. Následne, ak sa v jeho okolí nenachádzajú žiadne iné agenty, vlk sa vždy vráti na svoje pôvodné miesto.

## **4. Testovanie modelu**

Poslednou fázou našej práce je otestovanie navrhnutého emočného modelu, ako aj celého riadiaceho systému implementovaného do počítačovej simulácie. Ešte pred samotným testovaním však popíšeme naše hypotézy o tom, ako sa agenti v simulácii budú správať – najprv za normálnych okolností a neskôr pri zmenených nastaveniach riadiaceho systému (význam a zmeny nastavení popíšeme podrobnejšie v neskorších častiach tejto

kapitoly). Potom popíšeme metódy testovania simulácie a nakoniec uvedieme výsledky testovania spolu s našim vysvetlením, čo dané výsledky indikujú.

## 4.1 Hypotéza

V predošlých častiach tejto práce sme už pri opise jednotlivých súčastí modelu približne popisali, ako predpokladáme, že bude model fungovať. Vlastne sme jednotlivé komponenty vyvíjali s tým, že sme chceli, aby fungovali istým spôsobom. Teraz však zhrnieme všetky tieto hypotézy a načrtujeme náš predpoklad pre správanie modelu.

Z celkového hľadiska, samozrejme, predpokladáme, že agenti budú schopné postupnej adaptácie na pre nich predtým neznáme prostredie a efektívne prežitie v tomto prostredí. Konkrétne to teda znamená, že agenti sa budú schopné naučiť rozoznávať jedlé huby od jedovatých a preferovať tie jedlé. Taktiež sa naučia, ktoré jedlé huby sú výživnejšie a budú ich preferovať pred tými menej výživnými. To isté by malo platiť pre zbieranie okrasných húb a pre rúbanie stromov (hodnotnejšie huby a stromy s kvalitnejším drevom). Okrem toho by mali byť schopné postupne určiť správne priority pre potreby (prostredníctvom emočnej pamäte pre vnútorný stav), čo by sa malo prejavovať nižšími okrajovými hodnotami potrieb a teda aj nižším priemerom všetkých potrieb. Taktiež by sa postupne mali naučiť vyhýbať sa vlkom. V tomto prípade ale predpokladáme, že naučenie sa vyhýbať vlkom bude trvať pomerne dlho v porovnaní s ostatnými objektmi a dokonca nemusí nikdy dôjsť k efektívnemu naučeniu sa ohodnocovať vlkov ako nebezpečný objekt. Dôvodom, prečo predpokladáme, že bude riadiaci systém takto fungovať, je nedostatok vzoriek a taktiež nedostatočný kontakt s vlkami. I keď tak, ako i ostatné objekty, agent na začiatku vyhodnocuje vlka ako objekt zaujímavý, vlk sa nespája so žiadnou agentovou potrebou a preto sa agent bude takmer vždy venovať iným objektom ako vlkovi. Jediný spôsob naučenia sa strachu pred vlkom teda je, že sa agent priblíži k vlkovi (napríklad pôjde okolo neho na ceste za iným objektom) a ten ho „pohryzie“, čo v agentovi vyvolá strach pred vlkom. Avšak takýmto spôsobom dôjde ku kontaktu s vlkom len málokedy a keďže umelá neuronová sieť v emočnej pamäti je jedna pre všetky objekty a ostatné objekty v agentovi nevyvolávajú strach, kontakt s ostatnými objektmi bude pravdepodobne znižovať aktiváciu strachu aj pri ohodnocovaní vlka. Ak by však mal agent dostatočne zastúpenú vzorku vlkov vo svojom okolí, mal by byť schopný rýchlejšie sa naučiť vyhýbaniu vlkov. V reálnom svete i v našej simulácii je ale výskyt nebezpečných objektov



oveľa menší ako všetkých iných objektov. Preto, i keď je pri vlkovi učenie zosilnenejšie, budú mať s týmto agenty zrejme problémy.

#### **4.1.1 Emočná pamäť**

Ako sme už viackrát spomenuli, emočná pamäť patrí medzi kľúčové aspekty nášho modelu. Vychádzame z predpokladu, že bez emočnej pamäte agent nebude schopný adaptácie na cudzie prostredie, teda nebude schopný rozlišovať medzi jedlými a jedovatými hubami, nenaučí sa preferovať výživnejšie a hodnotnejšie huby a samozrejme sa vôbec nebude schopný naučiť vyhýbaniu sa vlkom. Keďže rozhodovací systém má k dispozícii hodnoty agentových potrieb i bez emočnej pamäte, mal by byť agent stále schopný do istej miery uspokojovať svoje potreby. Bude ich ale uspokojovať neefektívne a v reálnom prostredí by to s najväčšou pravdepodobnosťou znamenalo, že agent neprežije.

#### **4.1.2 Sociálne učenie**

Dôležitým prvkom multi-agentovej simulácie je nejaký druh interakcie medzi agentmi, inak by šlo v podstate len o testovanie viacerých agentov naraz. Prvým, takpovediac nízkoúrovňovým druhom interakcie medzi agentmi v našej simulácii je to, že navzájom „vyčerpávajú“ zdroje. K tomuto sa ale dostaneme až v ďalšom bode. Druhou, vyššou formou interakcie je zdieľanie emočných zážitkov. Ako sme už hovorili v časti o implementácii, ak nejaký agent prežije určitú emočnú udalosť, teda keď v jeho systéme dôjde k vygenerovaniu nie pamäťovej emočnej reakcie, ale emočnej reakcie pri interakcii s objektom, ostatné agenty v jeho okolí sú schopné zachytiť túto emočnú reakciu a poučiť sa z nej. Teda ak napríklad agent zje jedovatú hubu, bude mu z nej zle a iný agent to uvidí, je schopný tento druhý agent poučiť sa z emočnej reakcie prvého agenta. To znamená, že agenty sú schopné navzájom si uľahčiť učenie sa informácií o novom prostredí „na vlastnej koži“ tým, že budú pozorovať ostatných. V psychológii sa proces učenia informácií jedného subjektu od druhého nazýva sociálne učenie (keďže ide o formu sociálnej interakcie). Preto sme túto formu učenia sa emočných reakcií od ostatných agentov nazvali „emočné sociálne učenie“. Podľa nášho názoru je toto emočné sociálne učenie veľmi dôležitým prvkom pre oveľa efektívnejšie prežitie agentov v neznámom prostredí tak, ako to pri klasickom sociálnom učení predpokladajú mnohí psychológovia (t.j. sociálne učenie

je pravdepodobne dôležitým prvkom rozumového vývoja detí, pričom môžeme povedať, že deti sú po narodení v podobnej situácii ako agenty vložené do nového, neznámeho prostredia). Veľkou podporou pre sociálne učenie - to bežné i emočné - je potreba „socializovať sa“, teda potreba, ktorá sa uspokojuje pri kontakte s ostatnými jedincami. Z tohto dôvodu sme aj my do našich agentov implementovali potrebu socializácie, čo by malo mať za následok, že agenty sa budú z času na čas zdržiavať v okolí iných agentov. To zvýši šancu, že sa navzájom naučia niečo jeden od druhého. Takéto učenie má okrem zrýchleného poznávania prostredia (agent akoby dokázal „odskúšať“ naraz viac objektov) aj to, že ak ide o negatívnu skúsenosť, spôsobí to problémy (napríklad poškodenie pri napadnutí šelmou) len jednému agentovi, napriek tomu, že poučiť sa môže viacero agentov. Z hľadiska skupiny bude teda efektívnosť omnoho lepšia, ako keby sa agenty neboli schopné sociálne učiť. Druhým dôležitým faktorom pre sociálne učenie oboch typov je množstvo populácie. Ak by bolo agentov málo, tak napriek ich schopnosti sociálneho učenia by si mali počínať horšie, ako keby ich bolo viac, pretože budú mať oveľa menej príležitostí pozorovať ostatných agentov. Stále by však mali mať lepšie výsledky, ako v prípade, že by neboli schopné sociálneho učenia.

#### **4.1.3 Zmenené priority**

Takisto ako človek, ak nemá správne určené svoje priority, nebude sa mu s najväčšou pravdepodobnosťou v živote dobre dariť, aj naše agenty by si mali horšie počínať, ak budú mať nevyvážené priority pri emočnom ohodnocovaní objektov. Ak napríklad znížime prioritu pre nejakú potrebu, logicky by to malo znamenať, že agent bude túto potrebu zanedbávať a bude narastať oveľa rýchlejšie ako ostatné potreby. Naopak, ak zvýšime prioritu pre nejakú potrebu, mal by sa jej uspokojovaniu agent venovať viac, ako ostatným potrebám a teda by si mala držať nižšie krajné hodnoty ako ostatné potreby. Ak však zvýšime prioritu pre nejakú potrebu príliš, mal by sa agent venovať výlučne tejto potrebe a táto potreba by mala mať tým pádom nižšie hodnoty, všetky ostatné by mali nadobúdať oveľa vyššie potreby ako by nadobúdali za normálnych okolností.

#### 4.1.4 Populačné problémy

Ako sme už spomenuli, agenty sa ovplyvňujú nielen sociálnym učením emócií, ale aj vzájomným odoberaním surovín a potravy. Keďže huby i stromy musia po ich minútí dorastať, môže sa stať, že pri väčšom výskyte agentov na jednom mieste dôjde k vyčerpaniu potravy alebo stromov. To by malo mať automaticky za následok, že agenty nachádzajúce sa na tomto mieste nebudú mať čo jesť a zbierať. Ich potreby by teda mali značne vzrásť oproti normálu. Keďže agenty nie sú schopné vyhľadávania potravy či iných surovín na väčšie vzdialenosti, jedinou možnosťou je náhodný pohyb pri skúmaní oblasti a „šťastlivé“ nájdenie nového zdroja potravy a surovín. To však znamená, že čím je oblasť, kde došlo k vyčerpaniu surovín väčšia, tým menšia je pravdepodobnosť, že sa agentom podarí nájsť ešte nevyčerpané suroviny. Ak bude teda agentov príliš veľa – presné množstvo závisí samozrejme od veľkosti oblasti, rýchlosti dopĺňania surovín a ich celkového množstva – môže dôjsť k vyčerpaniu surovín v celom okolí (v prípade našej simulácie teda v celom „mini svete“). To by malo mať za následok zhoršené výsledky pri uspokojovaní potrieb spojených so surovinami.

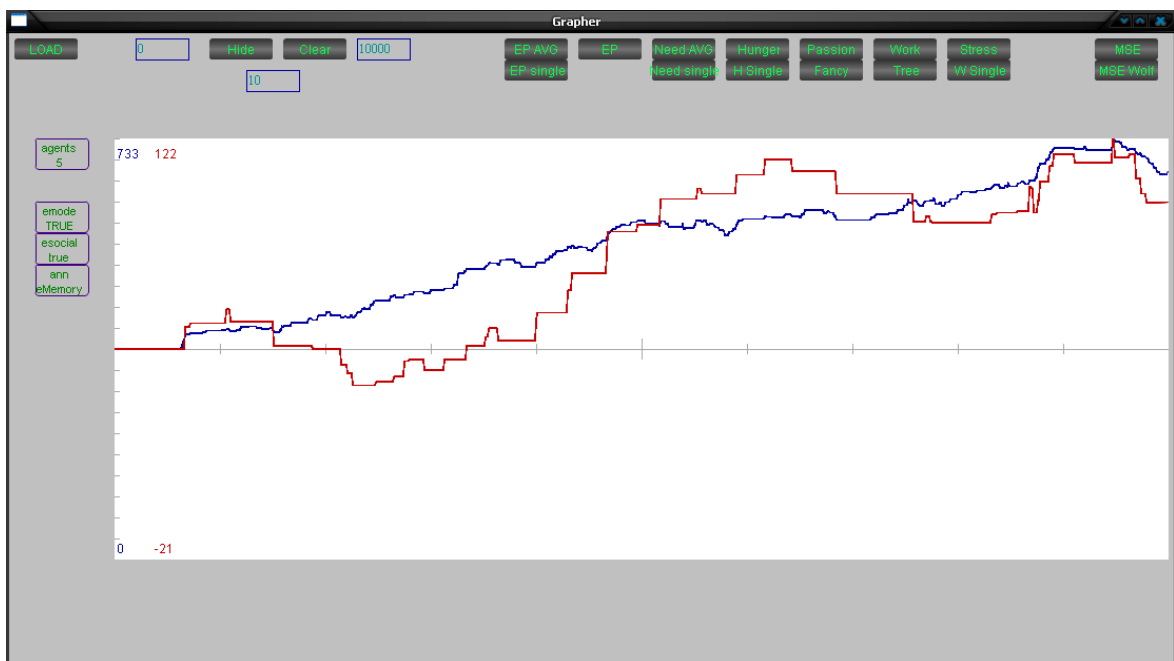
#### 4.1.5 Zvedavosť a stres

Zvedavosť sprevádza človeka už od samotného narodenia. Ak sa pozrieme do histórie, zistíme, že táto vlastnosť hrala významnú rolu v celkovom rozvoji ľudstva. Vďaka zvedavosti sme objavili nové kontinenty, ktoré nám ponúkali nové možnosti a obohatenie našej kultúry o zvyky a skúsenosti z iných kultúr (to, že to zväčša skončilo vojnou má už na svedomí iná ľudská vlastnosť, tú sme radšej do našich agentov neskúšali implementovať). Taktiež sa naša zvedavosť pričínila o vynájdenie rôznych zariadení, či objavenie rôznych princípov a objasnenie prírodných javov. Jednoducho povedané, zvedavosť bola vždy tým motorom, ktorý hnal ostatné ľudské schopnosti a vlastnosti, aby niečo vyprodukovali. Zvedavosť v našich agentoch zrejme nebude mať až také veľkolepé následky, no rozhodne sme presvedčení, že v kombinácii so stresom bude ich dôležitou súčasťou. Agent sa síce môže vybrať po stopách rôznych zaujímavých objektov a tak sa dostať ďalej od dediny, no v zásade hlavným hnacím prostriedkom, ktorý núti každého agenta preskúmať aj oblasti vzdialenejšie od dediny, je zvedavosť. Samozrejme, zvedavosť sama o sebe by zrejme posúvala agenta ďalej a ďalej od dediny. My však chceme, aby sa agent občas vrátil naspäť do dediny. Preto sme implementovali do agenta

aj stres, ktorý sa zvyšuje s agentovou vzdialenosťou od dediny. To by ho malo nútiť vrátiť sa po istom čase naspäť do dediny. Aké má ale toto správanie výhody? Ak by agentov nič nehnalo skúmať vzdialenejšie oblasti, ostávali by pravdepodobnosti v blízkosti dediny a tam by si navzájom aj pri menšej populácii vyčerpali potravu a suroviny, teda by dosahovali oveľa horšie výsledky. Navyše by ponechávali vzdialenejšie oblasti nedotknuté a to by z hľadiska ťažby dreva (alebo aj inej, podobnej úlohy) nebolo žiaduce, pretože by sa jednak znížila ich výkonnosť v ťažbe a potom by mohli nenájsť kvalitnejšie stromy, ktoré by sa nachádzali len hlbšie v divočine. Hlavný dôvod stresu je, aby vracal agentov naspäť do dediny, aby sa tam mohli vyspať (keďže to je jediné miesto, kde sa nachádzajú príbytky). Pri robotoch si to môžeme predstaviť ako miesto, kde si môžu dobiť elektrickú energiu. Ak by sa však jednalo o biomechanických robotov, ako tomu bolo v Todovom Fungus Eaterovi, boli by roboty nezávislé od nejakých dobýjacích staníc a mohlo by sa zdať, že ideálnym správaním by bolo postupné vzdďaľovanie sa robotov od seba a od dediny, pretože tak by mal každý robot dostatočne veľa surovín a zároveň by boli roboty schopné preskúmať celú oblasť, kde boli vyslaní. Takéto správanie by však malo dva veľké nedostatky. Tým, že sa agenty musia vracat' do dediny, dochádza k ich opätovnému zoskupeniu. Pri zložitejších systémoch by si mohli explicitne vymieňať skúsenosti a v jednoduchšom prípade našej simulácie im to umožňuje opätovné vytváranie skupín, ak sa predtým rozliezli na rôzne strany sveta a teda takéto správanie je tiež podporou pre emočné sociálne učenie. Druhý nedostatok je, že či už v prípade našej simulácie alebo aj Todovho konceptu, ale v podstate pri množstve reálnych využití skupiny takýchto robotov od nich chceme, aby niečo získavali a dávali nám to. Či už ide o drevo alebo rudu, vo všetkých prípadoch potrebujeme nejakým spôsobom od robotov tieto suroviny zbierať. Predpokladáme, že je oveľa výhodnejšie zbierať tieto suroviny od robotov tým spôsobom, že ich budú vykladať na jednom mieste, ako keby sme museli chodiť a hlavne hľadať každého agenta v neznámom prostredí a odoberať suroviny od každého zvlášť. Preto je výhodné, že by sa roboty vracali vždy na určité miesto a tam suroviny vykladali. Samozrejme, v rôznych prípadoch môžeme chcieť, aby roboty preskúmavali rôzne veľkú oblasť. To možno nastaviť pomerom priorít stresu a zvedavosti. Teda čím väčšia zvedavosť, tým ďalej bude agent chodiť a čím väčší stres, tým skôr a častejšie sa agent bude vracat'.

## 4.2 Testovacie metódy

Aby sme mohli otestovať naše hypotézy a aj celkovú funkčnosť nášho riadiaceho systému, pridali sme do aplikácie niekoľko komponentov a vytvorili druhú aplikáciu na zobrazovanie grafov. Prvým komponentom je trieda skóre, jej inštanciu obsahuje každý agent, zároveň si pre jednoduchší prístup uchováva statická časť tejto triedy pole so všetkými jej inštanciami. Do tejto inštancie agent počas svojej existencie zaznamenáva určité kľúčové údaje. Agent pravidelne zaznamenáva aktuálny stav svojich potrieb a v prípade interakcie s vybranými objektmi zapisuje do skóre aj čas (počet prechodov simulácie od jej začiatku po udalosť) tejto interakcie spolu s relevantnou hodnotou (v prípade húb a stromov je to hodnota daného objektu, v prípade vlka a agenta sa



**Obrázok 4.1** Ukážka vzhľadu aplikácie na zobrazovanie grafov hodnôt získaných počas behu simulácie.

zaznamenáva len čas). Tým pádom je možné sledovať počínanie si každého agenta počas celého behu simulácie. Do aplikácie sme pridali aj dynamické textové polia, ktoré priebežne zobrazujú určité informácie o vybranom agentovi. Takýmto spôsobom môžeme sledovať momentálny stav agentov, čo sme využili hlavne pri vývoji riadiaceho systému - z týchto základných informácií o agentovi a sledovaním jeho pohybu v prostredí možno zistiť, či a približne aj ako funguje jeho riadiaci systém. V textových poliach sa zobrazuje aktuálny stav agentových potrieb, emočné reakcie, akými agentova emočná pamäť ohodnocuje vzorové objekty z každej kategórie (ide o umelé objekty, s ktorými sa agent vo

svojom prostredí nemôže nikdy stretnúť, čiže sa zároveň testuje aj jeho schopnosť zo všeobecného naučených informácií) a jeho aktuálne správanie (dočasný cieľ). Hodnotiť správanie simulácie, čiže úspešnosť agentov v plnení ich úloh, budeme hlavne na základe spomínaných grafov. Niektoré grafy je možno zobrazovať aj priamo v aplikácii simulácie, no na lepšie narábanie s výsledkami a možnosť neskôršieho prezerania výsledkov sme do aplikácie doprogramovali možnosť uloženia triedy skóre so všetkými jej inštanciami ako aj niektorými ďalšími údajmi o priebehu simulácie. Tieto uložené dáta možno neskôr načítať do druhej aplikácie, ktorá slúži na zobrazovanie všetkých grafov, ktoré sme pri teste použili. Konkrétne nás budú zaujímať nasledovné údaje: pomer hodnôt zjedených jedlých a jedovatých húb, pomer počtu zjedených jedovatých a jedlých húb, priemerná hodnota potrieb a napokon hodnoty vybraných potrieb. Pri pomere hodnôt zjedených húb a priemernú hodnotu potrieb budeme používať graf z hodnotami vypočítanými z údajov jedného agenta i priemerom z celej populácie a pri ostatných spomenutých grafoch sa bude vždy používať priemer z celej populácie agentov.

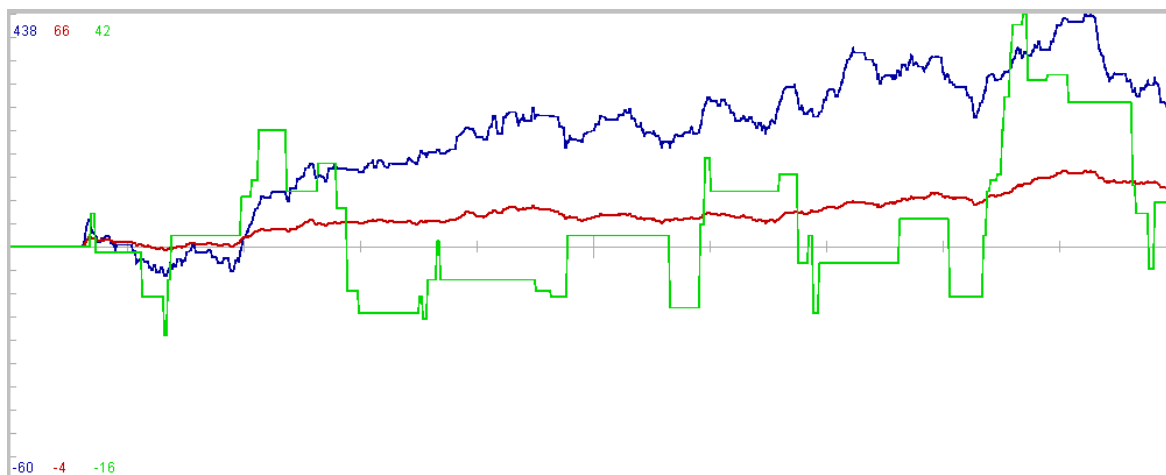
Graf pomeru počtu zjedených jedlých a jedovatých húb bude zobrazovať hodnotu premennej, ku ktorej sa bude pripočítavať jednotka vždy, keď agent zje jedlú hubu a odpočítavať jedna, ak agent zje jedovatú hubu. Na tomto grafe budeme môcť pozorovať schopnosť agenta rozlišovať a preferovať jedlé huby voči jedovatým. Obdobnú informáciu budeme môcť pozorovať i na druhom grafe, grafe pomeru hodnôt zjedených húb, pri tvorbe ktorého sa bude postupovať podobne, ako v predošlom prípade, no nebude sa pripočítavať, resp. odpočítavať jednotka, ale konkrétna hodnota zjedenej huby (čiže v prípade jedlej huby to bude výživnosť a v prípade jedovatej to bude jej jedovatosť). Na tomto grafe bude možné sledovať lepšie schopnosť agenta učiť sa výživnosť húb - čím je huba výživnejšia, tým väčšia hodnota sa pripočíta a tým strmšie bude graf stúpať. Z priemeru potrieb bude možné vyčítať schopnosť agenta uspokojovať spoje potreby. Ide o priemer všetkých potrieb, teda graf bude ukazovať nízke hodnoty aj v prípade, že niektorá potreba bude veľmi vysoká, vyššie hodnoty bude ukazovať len v prípade, že vzrastie viacero potrieb naraz. Táto vlastnosť grafu je pre testovanie výhodná, pretože je pravdepodobné, že agent nebude schopný v každom momente plne uspokojiť všetky svoje potreby, podobne, ako ani my väčšinu nášho života nie sme v takom stave, že by boli úplne všetky naše potreby, vyššie i nižšie, uspokojené. Problémom je to, že v čase, keď sa snažíme uspokojiť jednu potrebu, ostatné potreby vzrastajú, podobne ako agent, ak spí,

nemôže jesť, ak uteká pred vlkom, nemá čas zbierať okrasné huby a keď sa potrebuje rýchlo vrátiť do dediny, nevie pritom zbierať drevo. Napokon grafy pre jednotlivé potreby nám napovedia o schopnosti agentov uspokojovať tieto konkrétne potreby. Význam týchto grafov si ale objasníme až pri testoch, kde budú relevantné.

Veľmi dôležitým a taktiež problematickým faktorom pri testovaní je správne nastavenie parametrov modelu i celej simulácie. Či už ide o spomínanú „emočnú vyváženosť“, nastavenie parametrov neurónovej siete, generovanie správnych emočných reakcií alebo distribúciu a frekvenciu vytvárania objektov, s ktorými agenty budú interagovať, všetky tieto parametre môžu do značnej miery ovplyvniť výsledky testovania a tým aj overovanie hypotéz. Vzhľadom na limitované možnosti je prostredie našej simulácie značne odlišné od reálneho prostredia a teda ani výsledky nemožno považovať za hodnoverné z hľadiska reálneho prostredia. Naším cieľom je ale otestovať koncept, preto sme sa ani nesnažili o nastavovanie parametrov simulácie, aby sa podobali na reálny svet, ale aby bolo možné otestovať kľúčové aspekty nášho modelu. Z toho dôvodu sme napríklad dali na rovnakú frekvenciu „dorastanie“ jedlých a jedovatých húb - ak by niektorý z týchto dvoch druhov dorastal rýchlejšie, napríklad ak by bolo viac jedlých húb, znamenalo by to, že agenty budú nútené požívať tento druh častejšie samotným prostredím a nie ich riadiacim systémom. Taktiež sme dbali na rovnomernú distribúciu objektov, s výnimkou vlkov, ktoré sa nachádzajú len v oblastiach vzdialenejších od centrálnej oblasti prostredia, aby mali agenty dostatočnú voľnosť pohybu. Pokiaľ ide o nastavenia samotného modelu, tie sme volili podľa vlastného zváženía a neskôr sme niektoré z nich doladili počas implementácie modelu. Preto treba povedať, že model v našej simulácii je nastavený len na túto danú simuláciu a pri implementácii do iného prostredia bude zrejme nutné niektoré parametre upraviť.

### **4.3 Výsledky testovania**

Predtým, než budeme testovať jednotlivé hypotézy o súčiastiach simulácie, otestujeme celkovú úspešnosť agentov pri normálnom (t.j. podľa nás najoptimálnejšom) nastavení všetkých parametrov modelu a riadiaceho systému. Začneme pre našu simuláciu najdôležitejším javom – pomer zjedených jedlých a jedovatých húb.

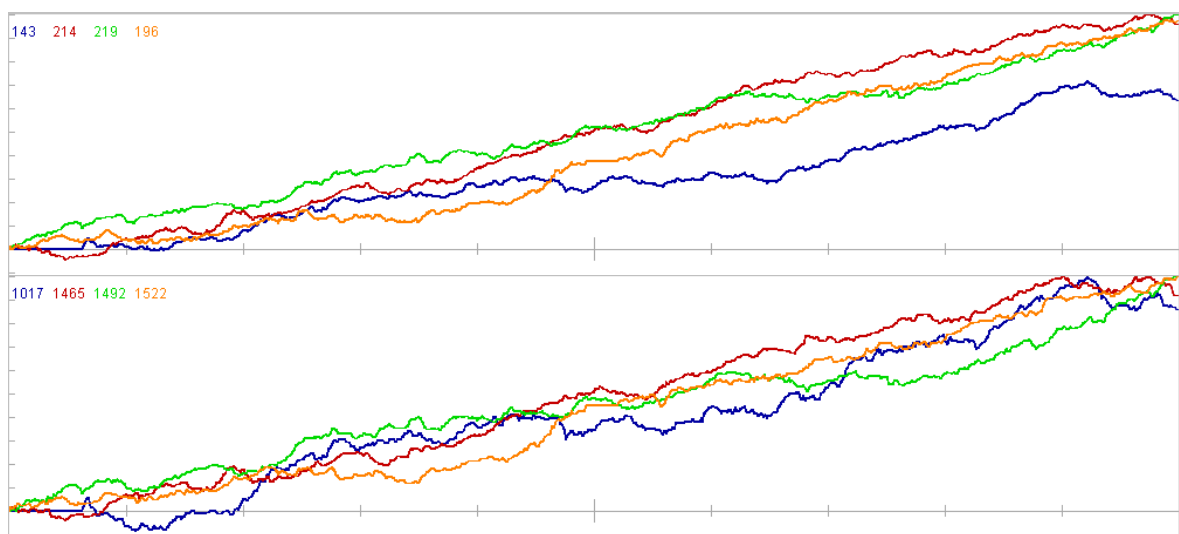


**Obrázok 4.2** Grafy pomerov zjedených jedlých a jedovatých húb

Na prvom obrázku môžeme vidieť schopnosť agentov preferovať jedlé huby pred jedovatými. Modrá krivka ukazuje pomer hodnôt húb za celú populáciu, červená zase pomer množstva jedlých a jedovatých húb za celú populáciu. Zelená krivka je pomer hodnôt zjedených húb pre jedného agenta (ako referenčný agent sa vždy používa prvý agent). V ľavom hornom rohu sú príslušnými farbami zaznačené maximálne hodnoty pre každú krivku a v ľavom dolnom rohu zase minimálne (každý graf je rozlične škálovaný). Graf ukazuje vývoj hodnôt medzi nulovým a 10000-cim krokom simulácie. Spočiatku majú všetky tri grafy nulovú hodnotu, čo je spôsobené len tým, že agentom chvíľu trvá, kým zjedia prvú hubu (pretože ich hlad je spočiatku na veľmi nízkej úrovni a nepotrebujú jesť). Po istom čase začnú všetky tri grafy oscilovať v blízkosti nulovej hodnoty a neskôr začnú naberať čoraz vyššie kladné hodnoty. Referenčnému agentovi síce trvá dlhšie, kým jeho pomer hodnôt húb začne naberať kladné hodnoty, to však môže byť spôsobené nevhodnou lokáciou (priveľa jedovatých húb v jeho okolí), pretože ako vidíme, aj jeho graf má trend naberať postupne kladnejšie hodnoty. Z toho vyplýva, že agenti spočiatku požívajú všetky druhy húb, no neskôr si začnú vyberať len tie jedlé – presne tak, ako sme to od nich očakávali. Na všetkých troch grafoch ale môžeme vidieť oscilácie. Najvýraznejšie to vidíme na zelenom grafe jedného agenta, kde hodnota jeho grafu na niektorých miestach klesá pomerne výrazne aj do záporných hodnôt. To značí, že agenti napriek tomu, že preferujú jedlé huby, občas zjedia jedovatú hubu. Dôvodom je jednak postupné tréningovanie emočnej pamäte, t.j. agent síce i spočiatku preferuje jedlé huby, táto preferencia však nie je dostatočne silná a teda v prípade málo výživnej a mierne jedovatej huby sa agent môže niekedy rozhodnúť pre tú mierne jedovatú. Druhý dôvod je, že ak sa v okolí agenta vyskytujú len jedovaté huby, agent môže niektorú z nich zjesť, pretože v okolí nie je žiadna jedlá huba, ktorú by mohol preferovať a emočná pamäť ešte nie je dostatočne



natrénovaná, aby generovala dostatočne silnú aktiváciu zármutku z jedovatých húb (čo by malo spôsobiť ignorovanie týchto húb). Tretím dôvodom je, že keďže nejde o pevné pravidlá, tak sa môže stať, že ak je agent príliš hladný, zje aj hubu jedovatú. Toto správanie sa nemusí javiť ako vhodné, ale predstavme si, že sme dlho stratení v horách a nájdeme potravu, o ktorej vieme, že nám z nej bude mierne zle, ale zároveň nás zasýti. Je viac než pravdepodobné, že by sme túto potravu zjedli. Nevoľnosť je totižto menším zlom, než zahynutie vyhladovaním. Preto môžeme povedať, že aj v tomto prípade je konanie nášho agenta racionálne. Na ďalšom obrázku sú zobrazené priebehy pomeru počtu zjedených jedlých a jedovatých húb (hore) a pomery hodnôt zjedených húb (dole) pre kroky simulácie 0 až 10000 (modrá), 10000 až 20000 (červená), 20000 až 30000 (zelená) a 30000 až 40000 (oranžová). Podrobnejšou analýzou týchto grafov môžeme uvidieť, že postupne dochádza k zmiernovaniu spomínaných oscilácií a taktiež, že grafy postupne dosahujú vyššie hodnoty, aj keď okrem prvého grafu majú ostatné relatívne podobné maximálne hodnoty (hodnota zjedených húb začína pre každý graf od nuly, nie je teda ovplyvnená hodnotami predošlých grafov). To znamená, že agenti sa pomerne rýchlo

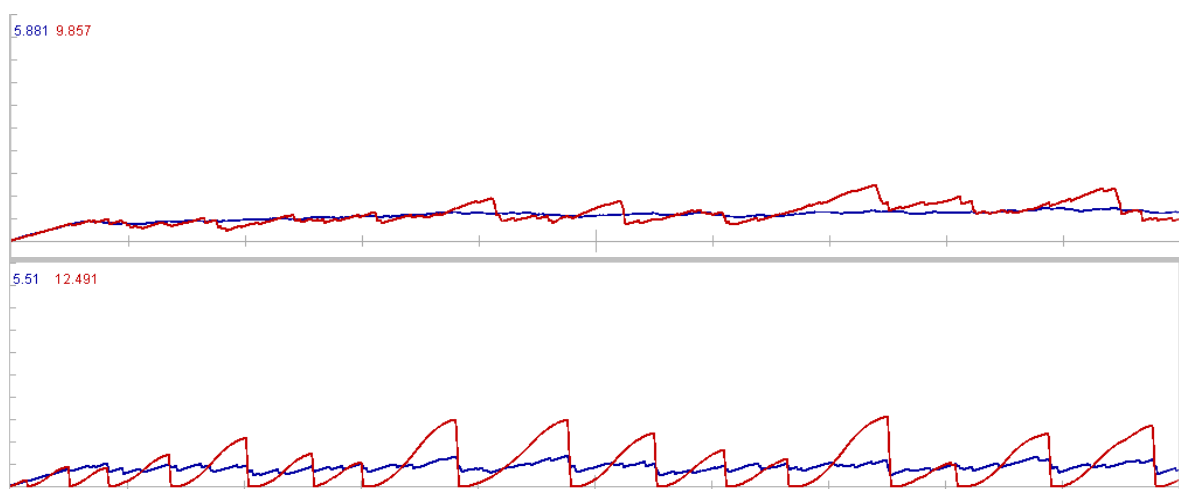


**Obrázok 4.3** Priebeh hodnôt pomer zjedených húb (hore) a pomeru hodnôt zjedených húb (dole) pre kroky simulácie 0 až 40000.

naucia dobre rozlišovať huby, no s postupom času sa táto schopnosť ešte zlepšuje.

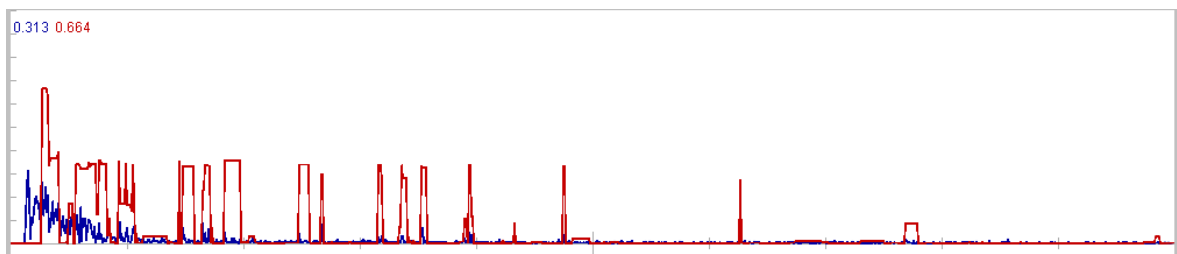
Na obrázku 4.4 je priebeh priemeru všetkých potrieb agentov (modrá) a priemerná hodnota potrieb jedného agenta (červená). Graf začína samozrejme od nuly, pričom každá rýska (na ľavom vertikálnom okraji grafu) predstavuje rozdiel hodnôt o 2. Graf znázorňuje priebeh potrieb od kroku 0 po 10000. Na populačnom priemere potrieb môžeme vidieť, že agenti

sú naozaj schopné udržiavať si potreby na určitých, relatívne nízkych, podkritických hodnotách – kritická hranica potrieb sa pohybuje od 7 po 11, priemer je teda zhruba 9, z grafu možno vyčítať, že priemer sa pohybuje približne v rozmedzí 2 a 6, i keď pre referenčného agenta nadobúda graf na niektorých miestach hodnoty mierne nad kritický priemer. Na grafe možno vidieť relatívne pravidelné výkyvy, ktoré sú lepšie viditeľné na grafe potrieb jedného agenta. Ide pravdepodobne o výkyvy spôsobené stresom, ktorý postupne stúpa počas toho, ako agent vychádza z dediny, no po istom čase núti agenta vrátiť sa späť, kde opäť klesne na nulu, preto sú tieto výkyvy pravidelné. To zrejme tiež spôsobuje väčšie hodnoty potrieb pre jedného agenta (pri priemer z viacerých agentov sa extrémne výkyvy stresu prejavujú menej). Na overenie tohto predpokladu sme vytvorili aj graf stresu, obrázok 4.4 (dole). Červenou je vyznačený graf stresu a modrou priemer potrieb jedného agenta (hodnoty sú iné, pretože sme spustili simuláciu odznova). Na tomto grafe môžeme vidieť jasné korelácie medzi stresom a priemerom potrieb, vidíme, že pri vyšších hodnotách priemeru je vyšší aj stres. Stres naozaj spôsobuje výkyvy v potrebách agentov. Samozrejme, schopnosť agenta udržiavať potreby na určitej hodnote závisí od jeho prostredia a od typu a vlastností potrieb, čo musí agent urobiť na uspokojenie potrieb a ako rýchlo a efektívne sa dajú potreby uspokojovať. V našej simulácii sú všetky objekty spojené s potrebami pomerne ľahko prístupné. Ak by tomu tak nebolo, je možné, že agenty by si počínali o niečo horšie (priemerné hodnoty by boli vyššie). Zhoršenie by sa ale v takom prípade prejavilo takmer určite na agentovi s ľubovoľnou formou riadiaceho systému, preto môžeme považovať naše výsledky za relevantné.



**Obrázok 4.4** Graf potrieb všetkých agentov a referenčného agenta (hore) a graf potrieb referenčného agenta a jeho stresu (dole)

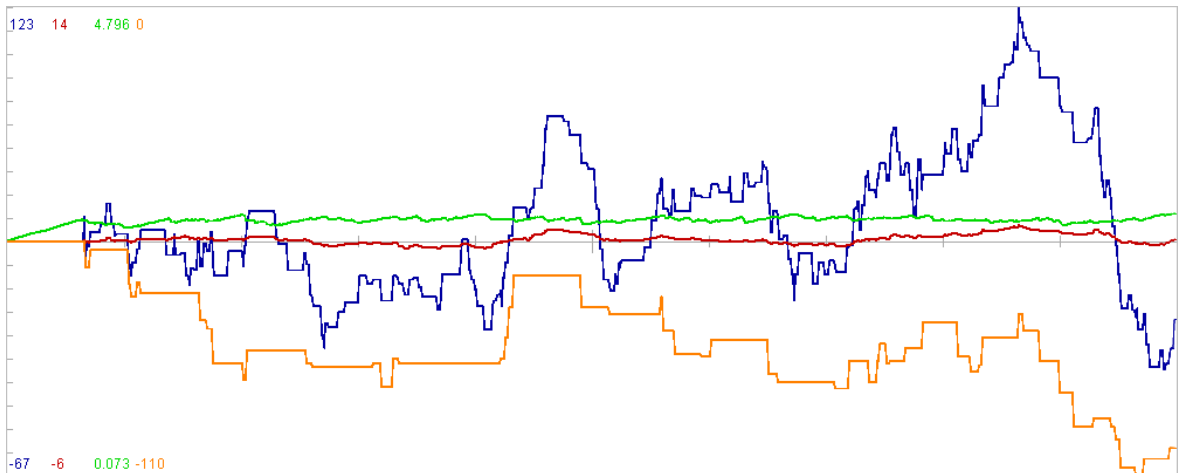
Napokon predvedieme ešte graf ukazujúci strednú kvadratickú chybu emočnej pamäte pre objekty, vypočítanú podľa chyby umelej neurónovej siete. Chyba sa vypočítava len pri učení neurónovej siete, t.j. len ak dôjde k interakcii agenta s objektom. Podľa teórie neurónových sietí by sa táto chyba mala postupne znižovať – sieť bude poskytovať presnejšie výstupné hodnoty. Ako sme však už povedali, predpokladáme, že pre vlkov bude proces učenia pomalší ako pre ostatné objekty. Na nasledovnom obrázku je modrou farbou znázornený graf pre strednú kvadratickú chybu pre všetky objekty a červenou pre vlkov. Chyba nabera hodnoty od 0 (presná odpoveď siete) po 1 (maximálna chyba), pričom graf znázorňuje vývoj chyby počas 50000 krokov simulácie (jeden diel na horizontálnej osi je 10000 krokov). Na grafe môžeme pozorovať, že priemer chyby pre všetky objekty klesne v priebehu prvých 10000 krokov na veľmi nízku hodnotu, menej ako 0.1 a v priebehu ďalších 10000 krokov klesne takmer na nulu a tam ostáva až na niekoľko menších výchyliek. Tie sú spôsobené tým, že proces učenia siete stále pokračuje a napríklad ak sa agent nestretol dlhšie s jedným typom objektov, môže dôjsť k porušeniu správnosti výstupov pre tento objekt vplyvom tréningu siete na iné objekty. Pre vlkov však graf nabera pomerne vysoké hodnoty oveľa dlhšie. Navyše, hneď od začiatku nabera vyššie hodnoty ako priemerná chyba. Toto možno vysvetliť tak, že sieť, ako sme spomínali, je natréňovaná na začiatku generovať radosť z každého predmetu a nulové hodnoty pre ostatné emócie. To znamená, že pre všetky objekty okrem vlka môže byť výstup siete chybný najviac v dvoch výstupoch (radosť a zármutok) a pre vlka je vo všetkých troch, ostatné objekty totiž nevzbudzujú v agentoch strach. Z grafu ale možno vidieť, že agenti sa predsa len postupne učia lepšie odhadovať emočnú reakciu aj pre vlkov, aj keď im to trvá oveľa dlhšie ako pre ostatné objekty. Môžeme teda výsledky zhrnúť do záveru, že naše agenti si naozaj počínali tak, ako sme to od nich očakávali, t.j. boli schopné vykonávať všetky svoje úlohy.



**Obrázok 4.5** Graf strednej kvadratickej chyby pre pri ohodnocovaní všetky objektov a vlkov

### 4.3.1 Emočná pamäť

Teraz otestujeme našu hypotézu o emočnej pamäti. V predošlej kapitole sme mohli vidieť, že agenti na začiatku nie sú schopné rozlišovať medzi jedlými a jedovatými hubami a taktiež nevedia určiť výživnosť húb a preto sa priemerná hodnota zjedených húb spočiatku pohybuje okolo nuly, no časom sa toto agenti naučia a hodnota zjedených húb začne rýchlo stúpať. Na obrázku 4.6 je graf priemernej hodnoty zjedených húb (modrá)

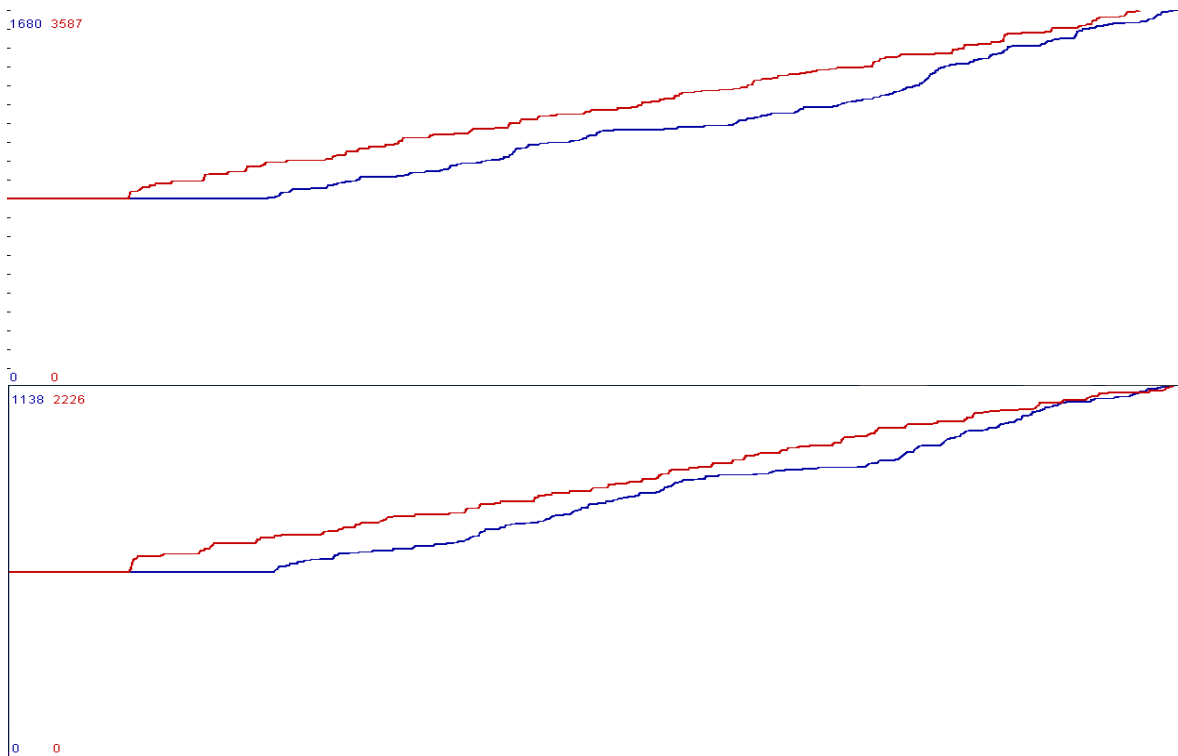


**Obrázok 4.6** Graf pomeru hodnôt zjedených húb a potrieb agentov s vypnutou emočnou pamäťou

a pomeru počtu zjedených jedlých a jedovatých húb (červená), pri neaktívnej emočnej pamäti (vracia nulové aktivácie emócií, agent sa teda riadi len potrebami). Pri pohľade na grafy vidíme, že agenti s väčšími či menšími odchýlkami oscilujú okolo nulovej hodnoty, teda i keď občas zjedia väčšie množstvo jedlých húb, ide skôr o šťastnú náhodu, pretože graf rovnako na niektorých miestach klesá hlboko pod nulu. Hodnoty húb referenčného agenta (oranžová) dokonca klesajú veľmi nízko pod nulu. Taktiež ale môžeme na grafe vidieť priebeh priemernej hodnoty potrieb (zelená) a na tej vidno, že sa udržuje na relatívne nízkej hodnote. Agenty sú teda stále schopné uspokojovať svoje potreby – riadiaci systém agenta aj naďalej funguje, no bez emočnej pamäte nie je dostatočne efektívny. Tým sme dokázali dôležitosť emočnej pamäte v takomto riadiacom systéme.

Pre istotu však ešte ukážeme ďalší graf, kde využijeme to, že agenti zbierajú okrasné huby s rôznou hodnotou a ťažia stromy s rôzne kvalitným drevom. Pri práci by sme chceli, aby agenti postupovali čo možno najefektívnejšie, v našom prípade to znamená výber najhodnotnejších stromov, resp. húb. Na obrázku 4.7 sú grafy súčtovej hodnoty nazbieraných okrasných húb (modrá) a stromov (červená), pričom horný obrázok

ukazuje graf pri zapnutej emočnej pamäti a dolný pri vypnutej. Priebehy oboch grafov sú síce podobné (graf hodnôt nazbieraných okrasných húb i stromov bude vždy neklesajúci, pretože tieto objekty nenadobúdajú záporné hodnoty), no ak sa pozrieme na ich maximálne hodnoty (vľavo hore) vidíme, že horný graf nadobúda oveľa vyššie hodnoty, ako spodný graf, čo značí, že agent s emočnou pamäťou je naozaj schopný vyberať si hodnotnejšie huby a stromy.

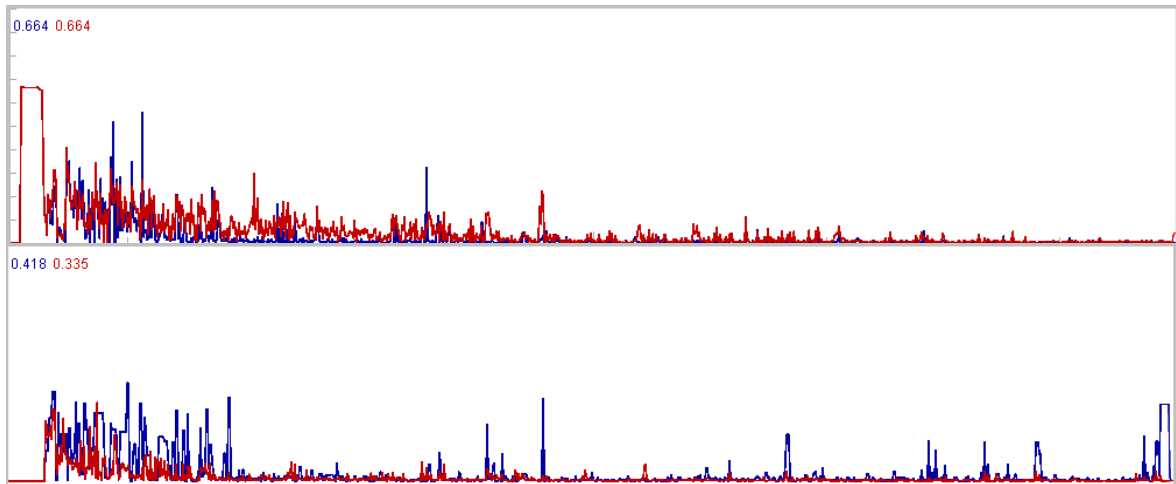


**Obrázok 4.7** Hodnoty nazbieraných okrasných húb a stromov pri zapnutej emočnej pamäti (hore) a vypnutej emočnej pamäti (dole)

### 4.3.2 Sociálne učenie

Sociálne učenie sme testovali dvomi spôsobmi. Najprv sme otestovali rovnako veľkú skupinu (25) agentov so zapnutým a s vypnutým sociálnym učením. Potom sme otestovali dve rôzne veľké skupiny agentov 5 a 50. Pre oba testy sme vytvorili graf ukazujúci strednú kvadratickú chybu emočnej pamäte pre objekty v priebehu 20000 krokov simulácie, aby sme mohli vidieť, ako efektívne sa agenty učia. Na prvom grafe je modrou znázornený priebeh chyby pre agentov so sociálnym učením a červenou bez sociálneho učenia. Z priebehu hodnôt vidno, že pre agenty so sociálnym učením sa chyba ustáli na nulovej hodnote oveľa skôr a oveľa plynulejšie, ako je tomu pre agenty bez sociálneho učenia. Je teda jasné, že sociálne učenie naozaj napomáha pri adaptácii na

neznáme prostredie. Aby sme však otestovali aj vplyv veľkosti populácie agentov, je na druhom grafe znázornený priebeh strednej kvadratickej chyby pre skupiny agentov o veľkosti 5 (modrá) a 50 (červená).



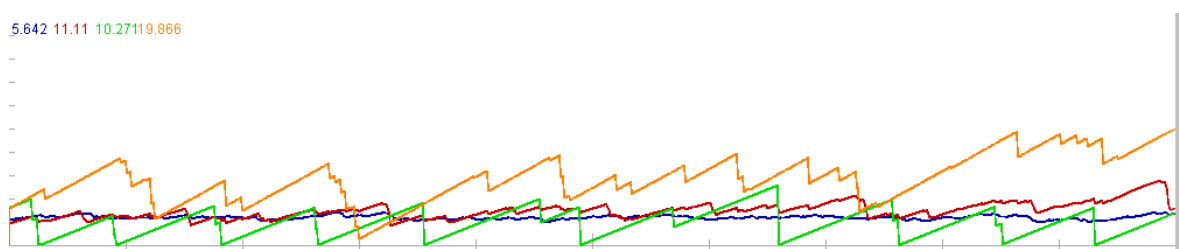
**Obrázok 4.8** Priebeh strednej kvadratickej chyby učenia pre zapnuté a vypnuté sociálne učenie (hore) a pre malú a veľkú skupinu agentov (dole)

Tu rovnako môžeme vidieť, že agenty si podľa predpokladu počínajú lepšie, ak je ich počet väčší – častejšie dochádza k situácii, kedy sa môže jeden agent učiť od druhého. Dokonca je priebeh grafu pre skupinu o veľkosti 50 lepší ako pre skupinu o veľkosti 25. Možno si tiež všimnúť, že skupina o veľkosti 5 so sociálnym učením konverguje k nule rýchlejšie ako skupina o veľkosti 25 bez sociálneho učenia - okrem výkyvov, ktoré ale sú spôsobené stretom s vlkami (čo možno vyčítať z grafov, kde sme testovali učenie odhadu reakcie na vlkov), ktoré sú náhodné, pretože rozloženie vlkov ako i agentov sa generuje náhodne na začiatku každej simulácie. Mohlo teda dôjsť k tomu, že v prípade druhého grafu sa agenty stretali s vlkami častejšie, čo spôsobilo výkyvy v hodnotách chyby emočnej pamäte, ale pre ostatné objekty platí, že naozaj i malá skupina so sociálnym učením je vo výhode oproti agentom bez sociálneho učenia.

### 4.3.3 Priority

Teraz otestujeme vplyv zmien priorít na správanie agentov tým spôsobom, že jednému agentovi upravíme určitú prioritu a budeme sledovať jeho správanie v porovnaní s ostatnými agentmi, ktorých priority budú nezmenené. Vyskúšame vytvoriť pracovitého agenta, ktorý bude nadovšetko uprednostňovať prácu. Na nasledovnom grafe je modrou znázornená priemerná hodnota potrieb všetkých agentov, červenou priemerná hodnota

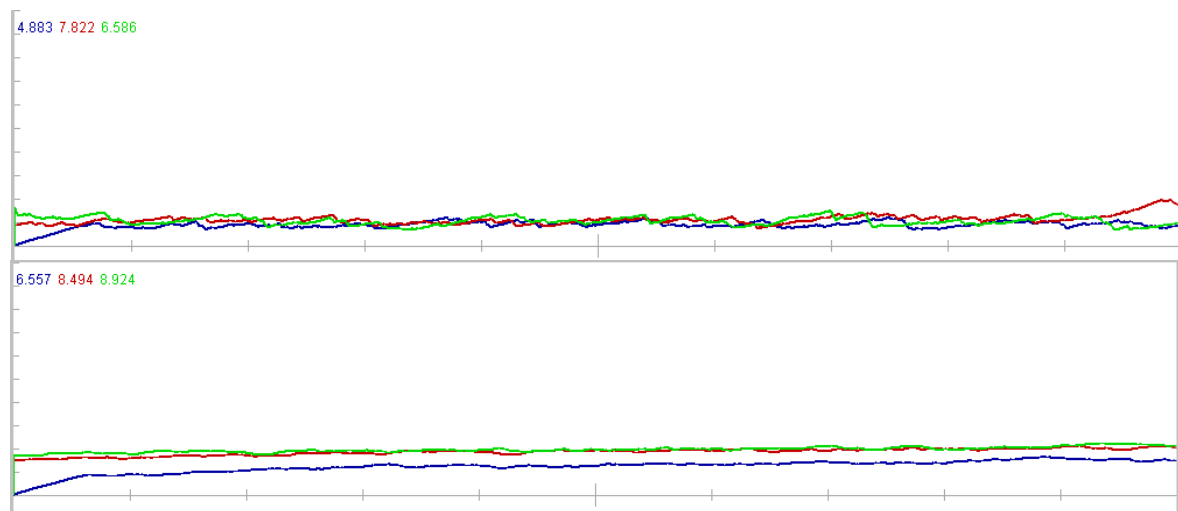
potrieb pracovitého agenta, zelenou hodnota potreby pracovať a oranžovou potreba jesť. Tu môžeme taktiež vidieť priebeh jednotlivých potrieb agentov. Majú pílovitý tvar, pretože každá potreba relatívne plynule stúpa (napríklad hlad stúpa pri pohybe, no keďže agent sa hýbe takmer nepretržite, aj hlad nepretržite stúpa), až kým agent nenatrafí na objekt, ktorý ju môže uspokojiť a potom relatívne rýchlo klesne (to samozrejme závisí od toho, na koľko vie daný objekt uspokojiť potrebu). Samozrejme, efekt priorít sa neprejaví hneď, pretože zo začiatku sú potreby veľmi malé a preto sa agent riadi viac emočnými reakciami na objekty, ktoré sú zase zo začiatku vždy pozitívne, čiže agent sa snaží so všetkým interagovať. Graf je teda posunutý a zobrazuje dáta od kroku 5000 až po krok 15000. Na ňom môžeme vidieť, že potreby pracovitého agenta sú celkovo vyššie, ako je priemerná hodnota potrieb, avšak jeho potreba práce sa pohybuje na hodnotách dokonca nižších ako je priemerná hodnota všetkých potrieb ostatných agentov. Jeho hlad je naproti tomu oveľa vyšší ako populačný priemer. Agent teda naozaj uprednostňuje prácu pred ostatnými potrebami, čo spôsobuje ich horšie uspokojovanie. Riadiaci systém v tomto prípade cez zvýšenú prioritu práce ale uprednostňuje objekty s ňou spojené až 10 násobne oproti ostatným, no napriek tomu sa dá povedať (treba rátať aj s tým, že agent nemusí vždy včas nájsť správny objekt, napríklad jedlo a aj to môže zapríčiniť výkyvy hodnoty danej potreby), že na grafe nie je hlad až taký veľký oproti potrebe pracovať. Predpokladáme, že to zapríčiňuje emočná pamäť pre vnútorný stav. Podľa grafu môžeme povedať, že emočná pamäť síce dovoľí určité uprednostňovanie niektorých potrieb, ale ak to zapríčiňuje nadkritické výkyvy inej potreby, bude mať snahu rozdielne priority vyrovnávať (čo je samozrejme v prípade, že takéto správanie nie je žiaduce, možné odstrániť).



**Obrázok 4.9** Graf znázorňujúci potreby agenta so zvýšenou prioritou práce s porovnaním k potrebám ostatných agentov

#### 4.3.4 Populačné problémy

Podľa hypotézy by mali mať väčšie skupiny agentov problémy s nedostatkom surovín. Aby sme túto hypotézu otestovali, porovnali sme grafy potrieb dvoch skupín agentov. Prvá skupina mala počet agentov 5 (horný graf) a druhá 50 (dolný graf). Oba grafy ukazujú priebeh potrieb pre prvých (modrá), druhých (červená) a tretích (zelená) 10000 krokov simulácie. I keď rozdiel je pomerne malý (10 až 30%), vzhľadom na to, že tento rozdiel sa medzi skupinami udržiava i pri dlhšom behu simulácie, dá sa povedať, že väčšie skupiny agentov môžu mať problémy s vyčerpaním surovín – veľkosť tohto problému a teda rozdiel v hodnotách potrieb samozrejme závisí od počtu a rýchlosti obnovenia surovín v danej oblasti.



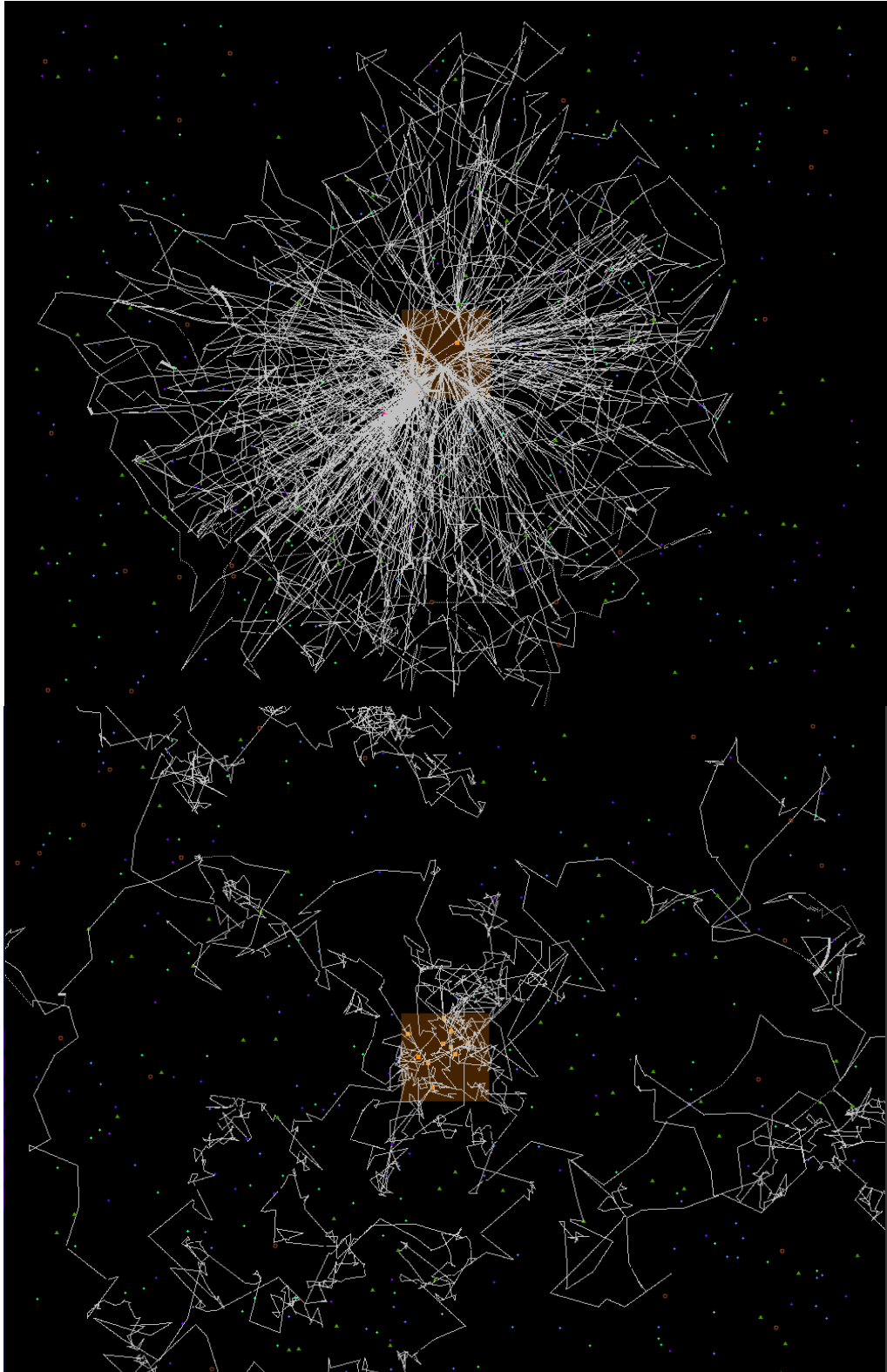
Obrázok 4.10 Priebeh potrieb pre malú skupinu agentov (hore) a veľkú skupinu agentov (dole)

#### 4.3.5 Stres a zvedavosť

Napokon sme otestovali, či sa agenty bez stresu a zvedavosti naozaj nezaobídu, to jest, či bude ich pohyb iný bez týchto potrieb. Na kontrolovanie pohybu samozrejme nebude stačiť graf. Na to budeme potrebovať, aby agenty zanechávali za sebou „stopu“ a tak bude možno z obrazovky simulácie vyčítať, kade sa agenty pohybovali. Pre jednoduchosť a tiež aby nebolo agentov príliš veľa a teda aby nezafarbili celú obrazovku počas pohybu budeme v tejto kapitole používať vždy skupinu 5 agentov. Na nasledujúcom obrázku je znázornený pohyb agentov (biele čiary) za normálnych okolností a na obrázku pod ním je pohyb agentov bez stresu a zvedavosti, v oboch prípadoch po 20000 krokoch.



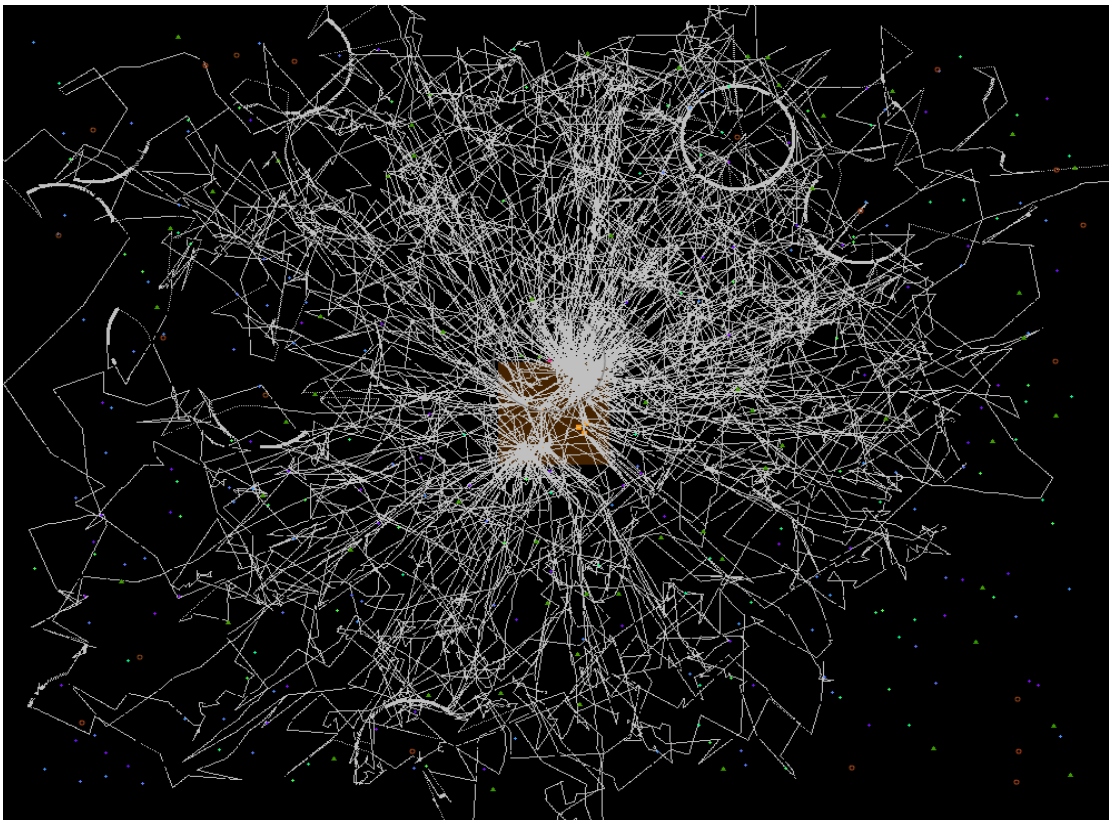
Agenty bez stresu a zvedavosti sa síce pohybujú po rozsiahlejšej ploche, no nepokrývajú ju tak husto, ako agenti s týmito potrebami – dokonca niektoré agenti „utiekli“ z viditeľnej



**Obrázok 4.11** Normálny pohyb agentov (hore) a pohyb agentov bez stresu a zvedavosti

plochy. Ako sme teda predpokladali, ak chceme, aby agenti preskúmali väčšiu oblasť a nepotrebujeme, aby sa niekam pravidelne vracali, nepotrebujú mať agenti implementovaný stres (a zvedavosť). Ak však chceme, aby sa zdržiavali v určitej oblasti, musia mať tieto potreby implementované.

Fakt, že agenti so stresom nepreskúmavajú celé prostredie, ktoré majú k dispozícii, má zrejme za následok príliš rýchle stúpanie stresu. Ako sme už spomínali, rýchlosťou stúpania stresu sa dá ovplyvňovať aj veľkosť oblasti, v ktorej sa agenti budú pohybovať. Znížili sme teda rýchlosť stúpania stresu oproti pôvodnej hodnote a na nasledovnom obrázku možno vidieť pohyb agentov v tomto prípade. Ak porovnáme rozsah oblasti, v ktorej sa agenti pohybujú s oblasťou, kde sa pohybovali agenti s rýchlejším stúpaním stresu, môžeme povedať, že tieto agenti sa pohybujú v rozsiahlejšej oblasti.



**Obrázok 4.12** Pohyb agentov pri zníženom raste stresu

## 5. Diskusia

Po dôkladnom otestovaní simulácie môžeme povedať, že našu snahu o vytvorenie emočného modelu a riadiaceho systému pre autonómneho agenta používajúceho tento emočný model ako mechanizmus rozhodovania, sa nám podarilo dotiahnuť do zdarného konca. I keď tento koncept bude musieť prejsť ďalším vývojom, aby ho bolo možné implementovať do fyzického agenta, sme presvedčení, že aj v reálnych podmienkach bude dosahovať dobré výsledky. Na to, aby mohol fungovať aj vo fyzickom agentovi, bude musieť byť samozrejme vyvinutý systém na transformovanie senzorických vstupov na vstupy vhodné pre emočnú pamäť, ako aj systém schopný určovať, prípadne učiť sa správne akcie spojené s vonkajšími objektmi – náš systém napríklad explicitne vie, že jedlé huby sa dajú jesť, to však pri fyzickom agentovi nemusí byť také jednoduché, pretože jednak agent nemusí byť schopný presne identifikovať každý objekt, ale hlavne sa v jeho okolí môže vyskytovať príliš veľké množstvo objektov na to, aby bolo možné implementovať výber akcie takýmto jednoduchým systémom. Okrem toho bude treba rozšíriť aj systém výberu správania, pretože v reálnom svete sa na ceste medzi agentom a objektom môžu vyskytnúť prekážky, ktoré bude musieť agent obísť, čo súčasný systém nedokáže. Medzi nedostatky tohto riadiaceho systému patrí aj to, že môže agenta dostať do cyklu, v prípade, že sa v blízkosti nebezpečného objektu nachádza objekt zaujímavý. V takomto prípade sa agent, ako sa dalo predpokladať, snažil najprv dostať od nebezpečného objektu, no keď bol v bezpečnej vzdialenosti a zaujímavý objekt bol stále v „dohľade“, agent sa pokúsil k nemu vrátiť späť, to ho však dostalo opäť do blízkosti nebezpečného objektu a situácia sa zopakovala. Tento problém by sa dal vyriešiť napríklad explicitnou pamäťou, kde by si agent mohol zapamätávať niektoré významné objekty, teda aj objekty, ktoré sa nachádzajú v blízkosti nebezpečných objektov a následne tieto ohodnocovať tiež ako nebezpečné. Tým sa dostávame k obohacovaniu nášho, takpovediac „implicitného“ systému o explicitné súčasti alebo z iného pohľadu by sme mohli povedať dopĺňanie emočného systému inteligenciou. Ako sme už na začiatku tejto práce spomínali, podľa nás najlepším riadiacim systémom je taký, ktorý spája emóciami inšpirované komponenty s inteligenciou inšpirovanými komponentmi. Oba prístupy sa totiž dopĺňajú a teda spoločne môžu vytvoriť systém, ktorý bude schopný prežiť i v zložitom, cudzom prostredí, podobne, ako to dokážeme aj my, ľudia.

## 5.1 Interdisciplinarita

Od počiatku vekov sa ľudia v rôznych vedných odboroch, ale aj v každodennom živote, nechávali inšpirovať pozorovaním prírody. Nie je tomu inak ani v dnešnej modernej dobe, ktorá sa silno zameriava na techniku a príroda hrá väčšinou len úlohu poskytovania oddychu. Niet žiadneho divu, že nám príroda už po toľké roky slúži ako inšpirácia v rôznych oblastiach; bola tu totiž oveľa skôr, ako my a mala dostatok času „odskúšať si“ rôzne koncepty a vybrať tie najefektívnejšie.

Preto sme sa aj my v tejto práci nechali inšpirovať emóciami, ktoré vyšli z dielne prírody. Tým sa naša práca zaradila medzi interdisciplinárne projekty. Spojili sme v nej informatiku, resp. umelú inteligenciu, ktorá je už svojím spôsobom tiež interdisciplinárna, pretože jej snahou je vo výpočtových systémoch vytvoriť a využiť inteligenciu, na ktorú má patent opäť príroda, s biológiou a psychológiou, odkiaľ sme čerpali informácie o emóciách a s nimi spojenými procesmi.

## 6. Záver

Cieľom našej práce bolo vytvoriť vlastný emočný model, použiteľný ako rozhodovací mechanizmus pre riadiaci systém racionálneho autonómneho agenta a použiť ho v takomto riadiacom systéme. Ten následne implementovať do autonómneho agenta a odskúšať ho v jednoduchej počítačovej simulácii. Model, ako aj celý riadiaci systém sa ukázal byť funkčný a hypotézy o jeho fungovaní sa nám podarilo pri testovaní potvrdiť. Môžeme teda povedať, že emočné modely sú pre riadiace systémy racionálnych autonómnych agentov použiteľné a preto sme presvedčení, že sú pre umelú inteligenciu perspektívnou témou.

## Zoznam bibliografických odkazov

- [Air] Adobe AIR. <http://www.adobe.com/products/air/> (11.5.2010)
- [Fac] Facade. <http://www.interactivestory.net/> (15.3.2010)
- [FD] FlashDevelop. <http://www.flashdevelop.org/> (11.5.2010)
- [Jon08] Jones, M. T. *Artificial Intelligence: A Systems Approach*, 2008
- [Jin+07] Jiang, H. et al. *EBDI: An Architecture for Emotional Agents*, 2007
- [PFE 88] Pfeifer, R. Artificial Intelligence models of emotion. In V. Hamilton, G. H. Bower & N. H. Frijda (Eds.), *Cognitive perspectives of emotion and motivation*. Dordrecht: Kluwer, 1988.
- [Pfe96] Pfeifer R. *Building "Fungus Eaters": Design Principles of Autonomous Agents*, in Maes P., et al.(eds.), *From Animals to Animats 4*, MIT Press/Bradford Books, Cambridge/London, pp.3-12, 1996.
- [PR09] Petta, P. and Rank, S. *Models of personality and emotion* (lectures), 2009.
- [RN95] Russell, S.J. and Norvig, P. *Artificial intelligence: A modern approach*, 1995.
- [Rue98] Ruebenstrunk, G. *Emotional Computers*, 1998.  
<http://www.ruebenstrunk.de/emeocomp/content.HTM> (27.4. 2010)
- [Sko10] Škoviera, R. *Emotional Mushroom World*, 2010.
- [SP01] Staller, A. and Petta, P. *Introducing Emotions into the computational Study of Social Norms: A First Evaluation*. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation* vol. 4, no. 1, 2001.
- [Tod98] Toda, M. *The Urge Theory of Emotion and Social Interaction: Chapter 6 and 7*, 1998.
- [Ve98] Velásquez, J.D. *When robots weep: Emotional memories and decision-making*. MIT, [www.aaai.org](http://www.aaai.org), 1998.
- [Ven98] Ventura, R.M.M. and Pinto-Ferreira, C.A. *Emotion-based agents*, 1998.

- [Weh94] Wehrle, T. *New Fungus Eater Experiments*. In P. Gaussier, & J.-D. Nicoud (Eds.), *From perception to action* (pp. 400-403). Los Alamitos: IEEE Computer Society Press, 1994.
- [Weh98] Wehrle, T. *Motivation behind modeling emotional agents: Whose emotion does your robot have?* FPSE, University of Geneva. 1998.

## **Prílohy**

Prílohou k tejto práci je CD-ROM. Na optickom médiu je uložená elektronická forma tejto práce, ako aj všetky zdrojové kódy a inštalčné súbory pre obe aplikácie. Na disku je aj textový súbor, ktorý obsahuje stručný návod na obsluhu aplikácií.