

UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY
A INFORMATIKY

MULTIAGENTOVÝ MODEL ŠÍRENIA SA EMÓCIÍ V DAVE

Diplomová práca

2014

Bc. Matej Fandl

**UNIVERZITA KOMENSKÉHO V BRATISLAVE
FAKULTA MATEMATIKY, FYZIKY
A INFORMATIKY**

MULTIAGENTOVÝ MODEL ŠÍRENIA SA EMÓCIÍ V DAVE

Diplomová práca

Študijný program: Kognitívna veda

Študijný odbor: 2503 Kognitívna veda

Školiace pracovisko: Katedra aplikovanej informatiky

Školiteľ: RNDr. Kristína Rebrová, PhD.

Bratislava 2014

Bc. Matej Fandl



Univerzita Komenského v Bratislave
Fakulta matematiky, fyziky a informatiky

ZADANIE ZÁVEREČNEJ PRÁCE

Meno a priezvisko študenta: Bc. Matej Fandl
Študijný program: kognitívna veda (Jednoodborové štúdium, magisterský II. st., denná forma)
Študijný odbor: 9.2.11. kognitívna veda
Typ záverečnej práce: diplomová
Jazyk záverečnej práce: slovenský

Názov: Multiagentový model šírenia sa emócií v dave

Cieľ: Cieľom diplomovej práce je navrhnuť, implementovať a vyhodnotiť multi-agentovú simuláciu šírenia sa "emócií" v dave. V prvom rade je úlohou študenta naštudovať problematiku šírenia sa emócií z empirického hľadiska ako aj existujúce výpočtové modely v tejto oblasti. V praktickej časti študent navrhne multi-agentovú simuláciu vrátane jednoduchého dizajnu jednotlivého agenta, ktorý bude jednať na základe dvoch primitívnych emócií a variabilnej emočnej nákazlivosti. Cieľom práce je sledovať šírenie emócií pri rôznych nastaveniach parametrov agentov. Súčasťou implementácie práce je tiež štúdium a výber vhodnej multi-agentovej platformy z dostupných možností.

Anotácia: Je známe, že emócie vplyvajú takmer na všetky ostatné kognitívne procesy vrátane vyšších kognitívnych kapacít ako je usudzovanie, či plánovanie. Zaujímavým fenoménom je šírenie sa emócií v skupine agentov (ľudí). V určitých situáciách správanie jednotlivcov v dave v krátkom čase dospeje k niečomu, čo sa javí ako konsenzus medzi nimi. Najextrémnejšími z takýchto prípadov sú napríklad panika pri požiari, rabovanie alebo násilné protesty. Za jeden z faktorov ovplyvňujúcich dynamiku davu je považovaná aj emočná nákazlivosť, teda nevedomé "imitovanie" prežívanej emócie na základe pozorovania iného jednotlivca. Fenomén šírenia emócií možno skúmať empiricky ako aj pomocou výpočtového modelovania, pomocou multi-agentových systémov.

Kľúčové slová: výpočtové modelovanie, multi-agentový systém, šírenie emócií, emočná nákazlivosť

Vedúci: RNDr. Kristína Rebrová, PhD.
Katedra: FMFI.KAI - Katedra aplikovanej informatiky
Vedúci katedry: doc. PhDr. Ján Rybár, PhD.
Dátum zadania: 06.12.2012

Dátum schválenia: 06.12.2012

prof. RNDr. Pavol Zlatoš, PhD.
garant študijného programu

.....
študent

.....
vedúci práce

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

.....
Bc. Matej Fandl

Chcem sa poďakovať svojej školiteľke RNDr. Kristíne Rebrovej, PhD. za cennú pomoc, rady konzultácie a čas, ktorý mi venovala počas písania mojej diplomovej práce.

Abstrakt

V tejto práci navrhujem a implementujem výpočtový model šírenia sa emócií v dave, ktorý má byť využitý na simuláciu dynamiky davu v reálnom čase v počítačových hrách a živej animácii. Model je výsledkom interdisciplinárneho prístupu k štúdiu problematiky dynamiky davu. Analýzou existujúcich modelov a štúdiom súčasných poznatkov z psychológie a sociálnej psychológie som získal teoretický základ a zvolil si predpoklady, z ktorých som vychádzal pri návrhu. Model funguje na základe lokálnych interakcií medzi agentmi a je založený na emočnej nákazlivosti a predpoklade, že emócia je produktom kognície a že tá zároveň ovplyvňuje akčné tendencie organizmu. Implementovaný model je prezentovaný v jednoduchej aplikácii, kde používateľ svojimi akciami môže vyvolať útek alebo útok veľkej skupiny agentov. Model sa vo výsledku ukázal byť parametrami jednoducho nastaviteľný tak, aby modeloval davy viac či menej ochotné vykonať akciu.

Kľúčové slová: multiagentové systémy, afektívne počítanie, emócie, emočná nákazlivosť, výpočtové modelovanie

Abstract

In this work, I designed and implemented a computational model of crowd emotion propagation, which is supposed to be used for real-time simulation of crowd dynamics in computer games and live animation. This model is a result of interdisciplinary approach to studying crowd dynamics. By analyzing existing models and studying contemporary findings from psychology and social psychology I build a theoretical basis and was able to choose certain assumptions, which I used during the design process. Model is performing on local interactions between agents only and is built up on emotional contagion and an assumption, that emotion is a product of cognition and that emotion shapes organisms action tendencies. Implemented model is presented in a simple application, where users input can cause fight or flight behavior of a large group of agents. Evaluation results have shown, that the model can easily be set up to model crowds with various readiness to act by mere change of the parameter values.

Keywords: multi-agent systems, affective computing, emotions, emotional contagion, computational modelling

Obsah

Úvod.....	1
1 Dynamika davu.....	1
1.1 Emergencia nových noriem.....	3
1.2 Sociálna identita.....	3
1.3 Kultúra.....	4
1.4 Sociálne posudzovanie situácie.....	4
2 Emócie.....	4
2.1 Vznik emócií a vzťah emócie a akcie.....	5
2.2 Emočná nákazlivosť.....	7
3 Výpočtové modelovanie.....	8
4 Multiagentový systém.....	9
5 Príklady existujúcich multiagentových systémov.....	10
6 Model.....	11
6.1 Východiská.....	12
6.2 Zamýšľané využitie modelu.....	12
6.3 Teoretický návrh modelu.....	14
6.3.1 Prostredie.....	14
6.3.2 Agent.....	15
7 Implementácia modelu.....	21
7.1 Krátky slovný opis programu.....	21
7.2 Použité technológie.....	22
7.3 Prípady použitia.....	24
7.4 Implementované mechanizmy.....	24
7.4.1 Prostredie.....	24
7.4.2 Agent.....	25
8 Vyhodnotenie simulácie.....	30
9 Záver a diskusia.....	38
Použitá literatúra.....	40
Príloha A - CD.....	43

Úvod

Slovo dav v ľudľoch môže vyvolať protichodné pocity. Niektorí si pod ním predstaví rabujúcich ľudľí, niektorí tlačenicu v klube, niektorí skandujúcich športových fanúšikov. Zatiaľ čo následky, ktoré takéto davy po sebe zanechávajú, sa výrazne líšia, všetky majú čosi spoločné. Davy pôsobia ako samostatné organizmy, ktorých členovia vykazujú podobné vzory správania sa bez toho, aby boli centrálné koordinovaní (Reicher, 2008). V tejto diplomovej práci si kladím za cieľ skúmať dôvody a mechanizmy, ktoré tento fenomén spôsobujú a na základe tých navrhnúť a implementovať multiagentový výpočtový model správania sa davu. Výsledný model je postavený výlučne na báze lokálnych interakcií jednotlivcov, ktorí sú súčasťou davu. Mechanizmy fungovania modelu sú získané z viacerých vedeckých disciplín, konkrétne psychológie, sociológie a multiagentovej simulácie. Zamýšľané využitie modelu je v simulácii v reálnom čase a živej animácii. Dôraz je teda kladený na uveriteľnosť správania, ktoré sa pomocou neho dá u veľkej skupiny agentov dosiahnuť. Pri slove dav sa obmedzujem na situácie, v ktorých sa nachádza veľká skupina organizmov na jednom mieste. Vzdialenosť medzi nimi je dostatočne nízka na to, aby sa mohli navzájom vnímať a rozpoznávať emócie druhých iba za pomoci interných zmyslových orgánov. Model je postavený na mechanizmoch emočnej nákazlivosti, psychologických teóriách, ktoré považujú kogníciu a zhodnotenie situácie organizmom za faktory, ktoré spôsobujú vznik emócií a na predpoklade, že emócie ovplyvňujú akčné tendencie organizmu.

1 Dynamika davu

Zo situácií, ktoré sa dejú v reálnom svete je zrejmé, že ak je človek súčasťou väčšej skupiny ľudľí, nemusí reagovať na udalosti vo svojom okolí rovnako, ako keby ich prežíval sám. Niektoré veľké skupiny ľudľí sa nazývajú davmi a situácie, ktoré so sebou prinášajú, sa nazývajú davovými. (Reicher, 2008). Príklady takých situácií sú rôzne, od neškodných a dokonca pozitívnych, ako napríklad standing-ovation na koncerte, či spoločná eufória na festivale, až po nebezpečné, v extrémnych prípadoch katastrofické situácie ako panika pri vypuknutí požiaru v uzavretom priestore, násilie na športových podujatiach, rabovanie, alebo

vzbura. Zdá sa, že vzory správania sa šíria naprieč davom bez centrálnej kontroly a sú dynamické, teda menia sa vzhľadom na situáciu, v ktorej sa dav nachádza. Dav potom pôsobí ako organizmus sám osebe, ktorý reaguje na svoje okolie. Skúmaním príčin a mechanizmov, ktoré stoja za týmto fenoménom, sa venuje viacero vedeckých disciplín, ako napríklad psychológia, sociológia, kriminológia a umelá inteligencia. Jednu z najznámejších publikácií o správaní sa davu napísal Le Bon (1895). Ten vo svojej práci opisuje dav ako primitívny a iracionálny. V davovej situácii sa podľa neho znižuje intelekt jednotlivcov a ich aktivity sa sústreďujú na naplnenie ich základných potrieb a násilie. Emócie sú podľa neho infekčné a šíria sa medzi ľuďmi v dave nákazou bez ich vedomého pričinenia sa. Jeho práca ovplyvnila veľa známych diktátorov a demagógov, ako Goebelsa, Hitlera a Mussoliniho (Reicher, 2008) a doteraz formuje populárny pohľad na dav aj napriek súčasnejším výskumom, ktoré ukazujú, že jeho teória nie je schopná vysvetliť mnohé pozorované vlastnosti davu. Zároveň neberie do úvahy spoločenské faktory, úlohu kultúry v správaní sa davu a podobne, o ktorých budem písať neskôr.

Ďalší z historických pohľadov na psychológiu davu tvrdí, že psychológia davu neexistuje, pretože nie je v ničom iná od psychológie jednotlivca. Jednotlivec v dave sa teda správa rovnako, akoby sa správal sám, iba intenzita jeho konania je väčšia. (Allport, 1924) Tento pohľad trpí podobnými problémami akými trpí teória navrhnutá Le Bonom. Reicher (2008) spomína prípad vzbury, na ktorej sa dá demonštrovať problematickosť tvrdenia, že dav je iracionálny. Ide o vzburu v časti Bristolu s názvom St. Paul's. Dav, ktorý sa sformoval počas vzbury v tejto štvrti sa správal násilne voči polícii, ktorá sa snažila dať situáciu do poriadku a ktorá bola podľa niektorých predpokladov jej priamou príčinou, ale zároveň vykazoval správanie, ktoré je v neprospech iracionality davu. V prípade že niektorý člen davu hodil kameň do príslušníkov polície, iní členovia davu sa k nemu pridali. Keď však iný člen davu hodil kameň do autobusu ktorý prechádzal okolo, nielen že sa ostatní členovia davu nepridali, ale dokonca sa snažili jeho správanie potlačiť. Ďalší zaujímavý fakt je, že dav príslušníkov polície prenasledoval iba po hranice St. Pauls. Ak by dav bol iracionálny, ako by sa dalo vysvetliť, že si bol schopný identifikovať skupinu, ktorú považoval za nepriateľskú a že jeho akcie preň mali zmysel iba na území, ktoré považoval za svoje? V nasledujúcich častiach mojej práce sa pokúsím stručne zhrnúť faktory, ktoré podľa súčasných výskumov ovplyvňujú

správanie sa a dynamiku davu a zvolím si východiská pre model, ktorý v tejto práci navrhujem a implementujem.

1.1 *Emergencia nových noriem*

Iné teórie sa správanie sa davu pokúšajú vysvetliť na základe tendencie ľudí správať sa na základe noriem. Dav je ale situácia, ktorá je neštandardná a tieto normy pre ňu neexistujú. Vzniká teda ambivalencia, ktorá je postupne vyriešená jednotlivcami, ktorí vykonávajú definitívne akcie. Reicher (2008) týchto jednotlivcov označuje slovom „keynoter“ (hlavný rečník). Ostatní členovia davu si postupne začínajú osvojovať ich vzory správania a dav po chvíli pôsobí jednotne. Formovanie tejto jednotnosti istý čas trvá, čo sedí s empirickými poznatkami o dave, kde definitívnej akcii predchádza niečo, čomu Reicher hovorí „milling“ a ja to voľne prekladám ako mletie. Limitáciou tejto teórie však je, že nevysvetľuje, ako môže ostať dav jednotný aj pri zmene podmienok. Skúsenosti získané pozorovaním situácií z reálneho sveta ukazujú, že ak už je dav sformovaný, vzory správania sa vykazované jeho členmi sa menia veľmi rýchlo v prípade zmeny podmienok a že tieto smerujú k jednote podobne ako pri formovaní davu. Fáza mletia sa už počas týchto zmien nevyskytuje.

1.2 *Sociálna identita*

Ďalšie z vysvetlení ponúka *teória sociálnej identity*. Tá hovorí, že správanie sa davu je výsledkom toho, že človek nereaguje na situáciu z pohľadu seba ako jednotlivca, ale z pohľadu seba ako člena skupiny (Stets, Burke, 2000). Člen davu podľa tejto teórie nezhodnocuje udalosti ktorých je svedkom s ohľadom na seba ako jednotlivca, ale pýta sa sám seba otázku, čo pre neho daná situácia znamená, ako pre člena skupiny. Človek sa teda správa ako člen špecifickej kategórie, v ktorej sa ocitá na základe samokategorizácie, čo je podľa tejto teórie základom skupinového správania sa. Normy skupiny a teda aj z nich vyplývajúce správanie sa väčšiny jej členov sú odvodené z inštrukcií a akcií tých, ktorí sú videní ako typickí členovia danej skupiny (Reicher, 2008). Von Scheve (2013), ktorý pracuje na teórii skupinových emócií tvrdí, že skupinovo založené emócie sú vyvolané udalosťami týkajúcimi sa jednotlivcovej sociálnej identity. Skupina s ktorou sa človek identifikuje sa nazýva členská

skupina (ingroup). Jej doplnkom je cudzia skupina (outgroup). Emócie prežívané jednotlivcom sa dajú rozdeliť na emócie cítené jednotlivcom súvisiace s jeho identifikáciou sa s členskou skupinou a emócie smerované voči cudzej skupine. Von Scheve (2013) spomína v súvislosti s členskou skupinou aj *tvárové dialekty*. Členovia rovnakej skupiny vykazujú podobné expresívne správanie v situáciách tvárou v tvár, čo môže posilňovať emočnú nákazlivosť.

1.3 Kultúra

Vo vzťahu so sociálnou identitou je aj kultúra. Tá má podľa Von Scheveho (2013) vplyv na emocionálne reakcie na špecifické situácie alebo objekty. Dôvody podľa neho sú, že

- členovia sú si podobní,
- majú zdieľané poznanie,
- spoločné hodnoty a normy
- a sú v živote vystavovaní rovnakým alebo podobným udalostiam.

1.4 Sociálne posudzovanie situácie

Ak konanie človeka je výsledkom zhodnotenia jeho situácie, potom ďalší faktor, ktorý môže výrazne vstupovať do dynamiky davu je sociálne posudzovanie situácií (Von Scheve, 2013). Posudzovanie situácie jednotlivca je ovplyvnené emóciami a posudzovaním iných pomocou toho, že tieto sú medzi jednotlivcami zdieľané a toho, že jednotlivci sú svedkami behaviorálneho výstupu týchto procesov u iných jednotlivcov.

2 Emócie

Emóciám venujem samostatnú časť tejto práce. Na základe môjho štúdia dynamiky davu a analýzy požiadaviek, ktoré kladiem na svoj model, som si ich zvolil ako základný princíp na ktorom je postavený tento fenomén. Na začiatku sa budem venovať ozrejmeniu toho, čo vo svojej práci budem mať pod slovom emócie na mysli. Cowie (2006) vypracoval obsiahly dokument, v ktorom sa venuje technologickému a konceptuálnemu objasneniu slovného

spojenia emocionálny život. Je to dokument určený pre ľudí, ktorí sa vo svojej práci venujú afektívnemu (niekedy označovanému aj ako emočne-orientovanému) počítaniu. Pod túto hlavičku spadá aj moja práca. Emócie sú výraz, ktorému väčšina ľudí rozumie a dokáže ho správne používať, respektíve pochopiť v konkrétnej situácii. Uchopiť tento výraz je však celkovo problematické, čoho dôkazom je nielen rozdiel v používaní tohto slova v bežnom živote a vo vedeckých publikáciách, ale aj nekonzistentnosť medzi jednotlivými vedeckými publikáciami. Cowie (2006) ponúka nasledovné rozdelenie emócií

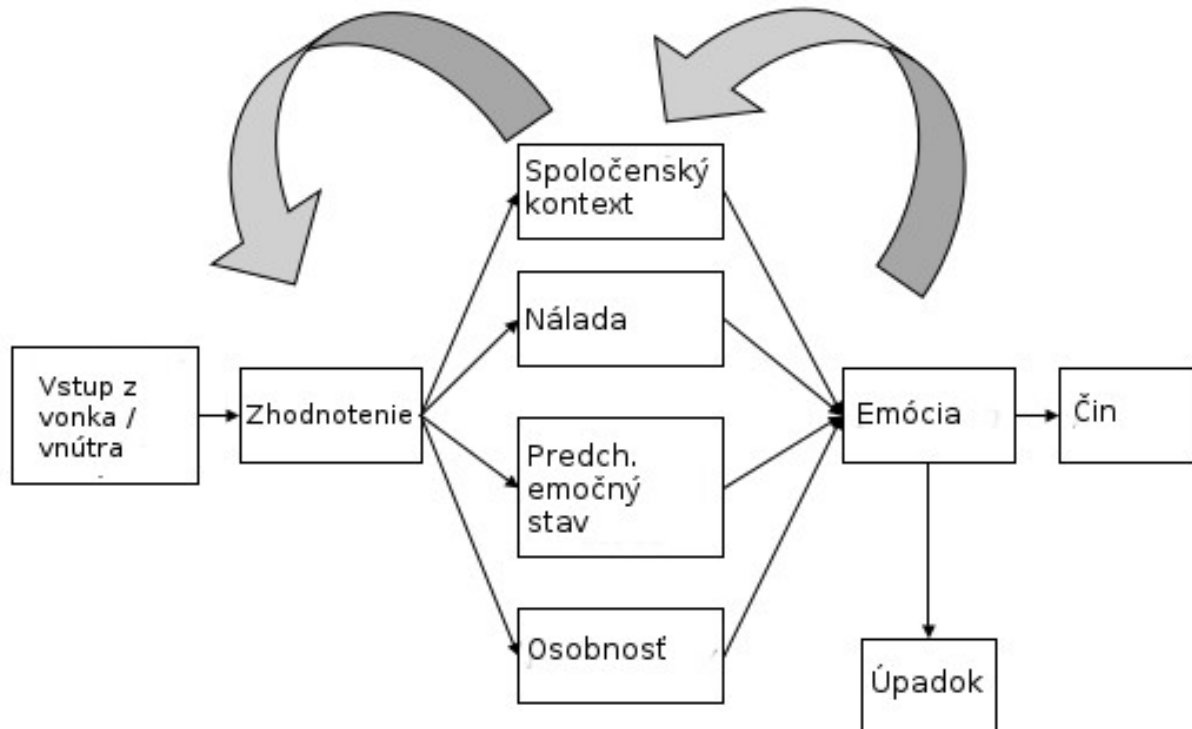
- Emergentné emócie sú emócie v silnom slova zmysle, tak ako ich používame v bežnom jazyku. Scherer (2014) konceptuálne definuje emócie ako „epizódy masívneho, synchronizovaného zapojenia mentálnych a telesných zdrojov umožňujúce adaptovať sa alebo sa vysporiadať s udalosťou subjektívne posúdenou ako veľmi relevantnou pre potreby, ciele a hodnoty jednotlivcov. Emergentné emócie sú tie, ktoré spadajú pod túto definíciu.“
- Pervazívne emócie sú tie, ktoré zafarbujú zvyšok emocionálneho života.
- Bezemočné stavy sú tie stavy, ktoré nezahŕňajú ani emergentné ani pervazívne emócie.

V mojej práci mám na mysli pod slovom emócie práve prvú spomenutú skupinu. Emóciu od nálady delím tak, že emóciu považujem za pocit, ktorý má subjekt. Teda emócia sa narozdiel od nálady niečoho konkrétneho týka, je orientovaná na konkrétny objekt alebo udalosť (napríklad hnevám sa na svoje mini-prasiatko).

2.1 Vznik emócií a vzťah emócie a akcie

Vzniku emócií, ich vplyvu na kogníciu, respektíve vplyvu kognície na ne sa venovalo niekoľko výskumov. Známa sa stala debata Roberta Zajonca a Richarda Lazarusa v rokoch 1980 až 1987, ktorú títo vedci viedli o tom, či sú emócie primárne a nezávislé od kognície (Zajonc), alebo sekundárne a vždy závislé od kognície (Lazarus). Súčasné teórie sa prikláňajú tomu, že sa kognícia a emócie vzájomne ovplyvňujú a nie sú jasne oddeliteľné. Vo svojej práci sa inšpirujem teóriami, ktoré tvrdia, že emócie sú výsledkom subjektívneho posúdenia situácie, teda že kognícia predchádza emóciám, z pohľadu

- významnosti udalosti pre organizmus,
- jeho schopnosťou zvládnuť danú situáciu.



Obrázok 1: Príklad teórie opisujúcej stav kognície a emócií (Rubenstrueck, 2004)

Hlavnými elementmi tohto procesu sú kritériá posudzovania, akčné tendencie, vysporiadavanie sa so situáciou a regulácia emócií. Pri tvorbe takejto teórie, ale aj pri tvorbe výpočtového modelu je dôležité nájsť odpoveď na otázku, aké sú kritériá posudzovania udalostí. Snaha je vytvoriť minimálnu množinu týchto kritérií, ktorá by bola schopná vysvetliť elicitáciu a diferenciáciu emócií. Významný prínos do týchto teórií mali magda Arnold, Richard Lazarus, Klaus Scherer, Nico Frijda, Andrew Ortony, Gerald Clore, Allan Collins.

Príklad teórie vysvetľujúcej vzťah medzi emóciou a kogníciou je zobrazený na obrázku 1. Vstup z prostredia, v ktorom sa agent nachádza, je posudzovaný na základe kritérií posudzovania. Tieto sú ovplyvnené aktuálnym spoločenským kontextom, náladou, predchádzajúcim emočným stavom a osobnosťou organizmu. Výsledok posudzovania vyústi do emócie a tá ovplyvňuje akčné tendencie organizmu, výber jednej z ktorých vyvrcholí do

vykonanej akcie. Intenzita emócie zároveň s časom klesá.

Ak je teda jednotlivec obklopený inými jednotlivcami, ich konanie je pre neho súčasťou vstupu z prostredia, ktoré je schopný vnímať pomocou svojich senzorov. V prípade, že je tento jednotlivec rovnakého druhu, prípadne z rovnakej sociálnej skupiny, alebo súčasťou rovnakej kultúry ako ostatní jednotlivci, dá sa predpokladať, že ich kritériá posudzovania budú mať prienik. Toto môže viesť k elicitovaniu podobnej emócie u týchto jednotlivcov a následne k vykonaniu rovnakej alebo podobnej akcie, čo môže byť pozorovateľom opísané ako konsenzus. Je teda možné, že už samotné posudzovanie situácie jednotlivcami na jednom mieste bude faktorom, ktorý výrazne ovplyvňuje dynamiku davu.

2.2 Emočná nákazlivosť

Emočná nákazlivosť môže byť opísaná ako

- fenomén, pri ktorom sú emócie jednotlivca ovplyvnené emóciami iných jednotlivcov v jeho okolí bez toho, aby si toho bol vedomý (Tsai, 2013),
- šírenie sa emócie z jednej osoby na druhú (Coenen, 2012), alebo
- tendencia automaticky imitovať a synchronizovať výrazy tváre, vydávaný hlas, postoje a pohyby s inou osobou a na základe toho emočne konvergovať (Yin, 2012)

Von Scheve (2013) vo svojej teórii kolektívnych emócií tvrdí, že expresívne správanie a nákazlivosť sú výraznými zložkami kolektívnych emócií. Výskum emočnej nákazlivosti sa robí hlavne na pároch (Dimberg, 2012), ale existuje empirická evidencia o tom, že emočná nákazlivosť sa do dá nájsť aj v „reťaziach“ dlhších ako iba dvaja ľudia. Toto skúmal napríklad Dezechache (2013) pomocou merania tvárového feedbacku ľudí, ktorí pozorovali iných ľudí pozorujúcich ešte iných ľudí, ktorý ukazovali nahnevané alebo veselé výrazy tváre. Ako už bolo spomenuté vyššie, Von Scheve (2013) hovorí o tvárových dialektoch, ktoré sú podobné u jednotlivcov vrámci členskej skupiny viac ako u jednotlivcov z rôznych skupín, a zvažuje podiel týchto na podpore emočnej nákazlivosti medzi jednotlivcami členskej skupiny. Coenen a Broekens (2012) študovali experimentálne získané poznatky o faktoroch ovplyvňujúcich emočnú nákazlivosť za účelom vytvorenia výpočtového modelu emočnej nákazlivosti. Tieto

faktory rozdelil do troch kategórií:

- individuálne rozdiely (osobnosť, pohlavie),
- interpersonálne faktory (podobnosť, príslušnosť k skupine)
- rôzne.

Významným poznatkom v individuálnych rozdieloch sa zdá byť rozdelenie ľudí na „vysielačov“ a „prijímačov“ emócií. Tí, ktorí spadajú do prvej skupiny, majú vrodenu schopnosť komunikovať ich emócie okoliu výraznejšie a tým pádom majú silnejšiu schopnosť nakaziť emóciou iných. Na druhej strane, jednotlivci spadajúci do duhej skupiny sú tí, ktorí venujú viac pozornosti iným a sú tým pádom lepší v čítaní emócií iných a náchylnejší na ich imitovanie a teda emočné konvergovanie smerom k ich emócií. Ženy podľa ich údajov majú zvýšenú aj šancu nakaziť, aj šancu byť nakazené emóciou.

Medzi interpersonálne faktory patrí podobnosť v postojoch (attitude) a podobnosť v situácii, v akej sa jednotlivci nachádzajú. Oba tieto faktory zvyšujú šancu jednotlivca byť nakazený inými jednotlivcami s ktorými si je v týchto ohľadoch podobný, avšak čo sa týka podobnosti postojov, efekt bol nájdený iba pre pozitívne emócie.

V tretej kategórii sa zmieňujú iba o už predtým existujúcej pozitívnej nálade, ktorá zvyšuje šancu jednotliva byť nakazený emóciami iných.

3 Výpočtové modelovanie

Model, ktorý opisujem v ďalších častiach tejto práce, spadá pod hlavičku výpočtového kognitívneho modelovania. Kognitívne výpočtové modely, ako napovedá názov, sú používané na modelovanie kognitívnych procesov. Sú založené na dopredu daných vstupoch, na ktorých vykonávajú interné operácie, ktorých výsledkom je správanie. Toto je merateľné, alebo pozorovateľné (Fum et al, 2007). Modelovanie kognitívnych procesov je ale modelovanie procesov, ktoré sú ľudským zmyslom skryté a iba ťažko, ak vôbec, determinovateľné presne. Braitenberg (1984) pomenoval markantný rozdiel v zložitosti indukcie a dedukcie ako Zákon

stúpajúcej analýzy a klesavej invencie (Law of uphill analysis and downhill invention). Pri dedukcii majú ľudia tendenciu nadhodnocovať zložitosť mechanizmov, ktoré stoja za javmi, ktorých podstata nie je jasná.

Výpočtové kognitívne modelovanie prináša výhody umožňujúce vyhnúť sa mnohým problémom jednoducho preto, lebo pre prepísanie teórie do programu je nutná jednoznačná špecifikácia reprezentácie informácií a mechanizmov ich manipulácie. Už iba tento proces môže pomôcť pri identifikácii skrytých predpokladov, ktoré by mohli spôsobiť problémy v teórii. Okrem toho je vďaka výpočtovým modelom možné robiť dôkladnú analýzu príčin správania sa v prípade, že táto nie je na prvý pohľad zrejmá, odhaliť princípy spájajúce doposiaľ nesúvisiace fakty, sledovať komplexné formy dynamickej interakcie a generatívnu silu lokálnych pravidiel, ktorá môže spôsobiť emergenciu komplexného správania sa celku tvoreného časťami, ktoré sa na základe týchto pravidiel správajú (Fum et al, 2007). Problematickým pri výpočtovom modelovaní býva problém irelevantnej špecifikácie. Teoreticky irelevantné detaily, ako napríklad voľba konkrétnych dátových štruktúr, môže mať na výkon implementovaného modelu výrazný vplyv. Ďalší problém opisuje Boniniho paradox (Starbuck, Dutton, 1971), ktorý hovorí, že s rastúcou komplexnosťou modelu klesá schopnosť ľudí porozumieť mu, čím sa pre niektoré prípady jeho využiteľnosť blíži využiteľnosti procesu reálneho sveta ktorý je modelovaný.

Informácie spomenuté v tejto časti ma teda vedú k špecifikovaniu prípadu použitia tu prezentovaného modelu, čo mi pomôže vyhnúť sa problémom a zahrnúť doň také časti, aby boli pre prípadných ľudí, ktorí ho budú využívať, alebo na ňom stavať, viac nápomocné ako mätúce.

4 Multiagentový systém

Multiagentové systémy tvoria jednotlivé inštancie inteligentných agentov, ktoré spolu prichádzajú do kontaktu, sú schopné sa navzájom vnímať, reagovať na seba a svoje okolie, sú autonómne a majú schopnosti, ktoré im umožnia dosiahnuť ich cieľ. Ferber (1999) vo svojej teraz už klasickej publikácii píše o štyroch hlavných využitíach multiagentových systémov,

ktorými sú

- decentralizované riešenie problémov,
- multiagentová simulácia,
- konštrukcia syntetických svetov a
- kolektívna robotika.

Tento druh modelu je pri celi, ktorý si kladiem, logickou voľbou, pretože mi umožňuje postaviť celú simuláciu z heterogénnych jednotiek ktorým definujem iba pravidlá na lokálne interakcie a zároveň mi umožní sledovať a vyhodnocovať správanie vykazované jednotlivcami v dave z vyššej úrovne, teda ako správanie sa celku. Dav môže byť podľa doteraz spomenutých informácií klasifikovaný ako komplexný dynamický systém. Faktory, ktoré ovplyvňujú jeho správanie sú ťažko, ak vôbec, opísateľné matematicky na úrovni davu. Multiagentový systém mi umožní vyhnúť sa takémuto postupu. Zároveň mi dovolí zaviesť do jednotlivých inštancií agentov heterogénnosť, čo je možnosť vytvoriť pre diváka zážitok bližší k realite a v neposlednom rade aj zvýšiť reálnosť celej simulácie.

Navrhovaný model bude zložený z dvoch základných častí. Jednou z nich bude prostredie, druhou jednotlivý agent. V kapitole *Teoretický návrh modelu* teoreticky opíšem tieto časti, spôsob, akým sú tieto časti implementované v iných modeloch a spôsob, akým ich budem implementovať ja. Navrhovaný model však nie je závislý od implementácie. V praktickej časti mojej práce implementujem simuláciu dynamiky davu, v ktorej využijem môj navrhnutý model spolu s konkrétnymi mechanizmami na báze ktorých budú pracovať jednotlivé jeho moduly.

5 Príklady existujúcich multiagentových systémov

Luo a kol. (2008) navrhli a implementovali multiagentový model evakuácie v núdzovej situácii. Jednotliví agenti v ich modeli sa skladajú z inferenčného stroja, ktorý tvoria modul správania sa davu a modul správania sa jednotlivca, a z fyzikálneho modulu agenta. Modul správania sa davu operuje s atribútmi na úrovni skupiny a modul správania sa jednotlivca s

internými atribútmi konkrétneho agenta. Súčasťou agenta je aj modul uvedomenia si situácie (toto je dosiahnuté kombináciou vnímania, uvažovania a pamäte), ktorý je jedným zo vstupov do inferenčného stroja.

Dorner a kol (2006) simulovali situáciu, kedy je v prostredí príliš veľa inštancií agentov a teda dochádza k niečomu ako „preľudneniu“, v ich prípade je však jednotlivec myš. Emócie modelovali ako moduláciu kognitívnych a motivačných procesov. Napríklad hnev definujú ako stav vysokej prebudenosti, výnimočného vnímania, rýchleho plánovania, a vysokej pripravenosti konať. Považujú ho nie za faktor, ktorý ovplyvňuje myslenie, ale za špeciálne „zafarbenie“ myslenia a iných kognitívnych a motivačných procesov.

Minh a kol (2012) podobne modelovali evakuáciu v núdzovej situácii a za jednotku ich multiagentového systému si zvolili emocionálneho agenta. Agent získaval percepciou informácie z prostredia a zároveň ho svojim konaním ovplyvňoval, čo bolo pozorovateľné inými agentmi. Každý agent mal databázu poznatkov, ktorú používal pri zhodnotení informácií o prostredí získaných perцепčným komponentom. Emócia v ich modeli je ovplyvnená týmto zhodnotením a priamo emócia vyberá akciu, ktorú agent vykoná.

Bosse a kol (2009) vytvorili multiagentový model absorpcie emócií jednotlivými agentmi, teda vytvorili model emočnej nákazlivosti. Táto sa u nich deje v pároch a je inšpirovaná termodynamickými procesmi.

Coenen a Broekens (2012) navrhli a implementovali model emočnej nákazlivosti, pri dizajne ktorého berú do úvahy experimentálne identifikované faktory ovplyvňujúce emočnú nákazlivosť.

Yin a kol (2012) navrhli model skupinových emóci založený na emočnej nákazlivosti, v ktorom predpokladajú, že emócia jednotlivca je výrazne ovplyvnená nie externým stimulom, ale emóciou iných členov v skupine, v ktorej sa nachádzajú. Toto považujú za výsledok vedomej a nevedomej indukcie emočných stavov.

6 Model

V predchádzajúcej časti mojej práce som predstavil moje teoretické východiská, ktoré som

identifikoval. V tejto časti na ich základe navrhнем teoretický multiagentový model, určený na simulovanie dynamiky davu. Ďalším krokom v mojom výskume je praktická realizácia tohto modelu. Spomínaný teoretický model nie je všeobecný, ale mechanizmy každej jeho časti je potrebné implementovať tak, aby vzhľadom na prípad jeho použitia dávali zmysel. V tejto časti mojej práce teda opíšem teoretický model, mnou identifikovaný konkrétny prípad použitia, mechanizmy, ktoré som si zvolil pre jednotlivé spomenuté moduly a reprezentáciu hodnôt, ktoré sú mechanizmami spracúvané. Následne vyhodnotím výsledky simulácií.

6.1 Východiská

Na základe poznatkov opísaných v predchádzajúcich častiach som si zvolil východiská, na základe ktorých budem pristupovať k návrhu výpočtového modelu, ktorý chcem implementovať. Ako už bolo spomenuté vyššie, ako základný princíp mechanizmov spôsobujúcich dynamiku davu som si zvolil emóciu prežívanú jednotlivcami v ňom. Mojimi východiskami sú tieto predpoklady:

- Emócie sa šíria medzi jednotlivcami v skupine pomocou mechanizmu emočnej nákazlivosti. Emočná nákazlivosť nie je pod kontrolou jednotlivca, ale rôzni jednotlivci majú rôznu schopnosť nakaziť svojou emóciou iných, alebo náchylnosť byť nakazený ich emóciou.
- Emócie sú výsledkom procesu, v ktorom jednotlivec posudzuje situáciu, v ktorej sa v danej chvíli nachádza. Posudzuje ju na základe toho, čo pre neho daná situácia znamená, v akom je vzťahu k jeho cieľom a ako sa s ňou dokáže vysporiadať.
- Emócie ovplyvňujú akčné tendencie jednotlivcov a teda majú priamy vplyv na ich konanie.

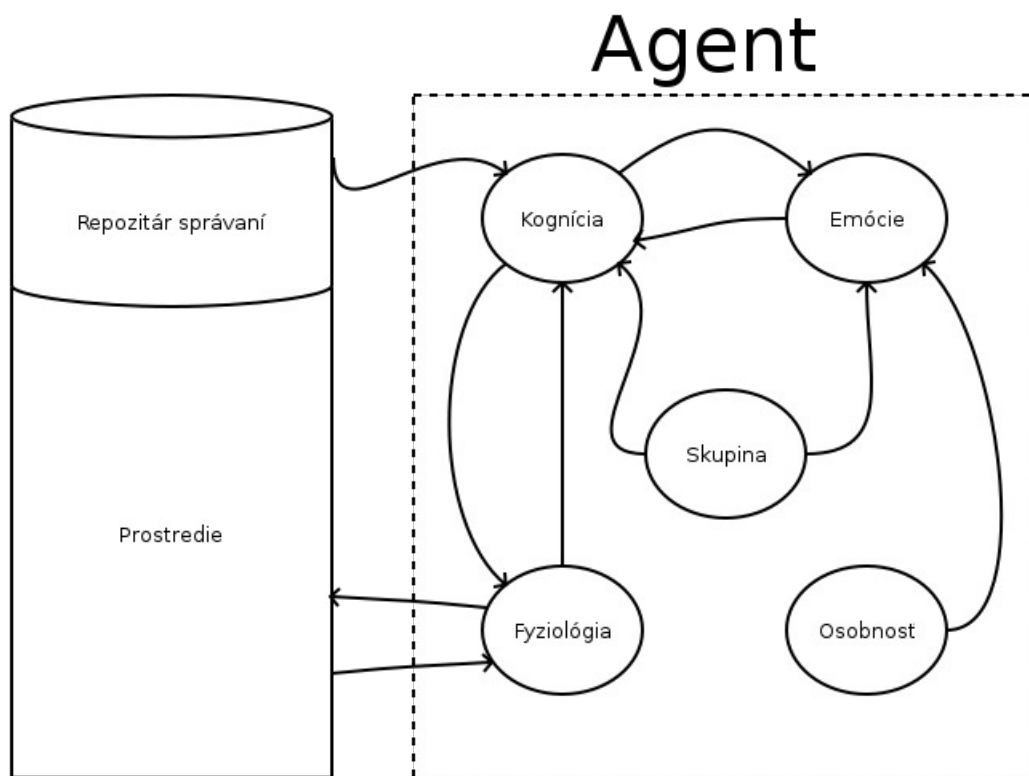
6.2 Zamýšľané využitie modelu

Model navrhujem za účelom jeho možného využitia v simulácii v reálnom čase a živej

animácii, teda napríklad v počítačových hrách alebo interaktívnej dráme. Hlavnou úlohou modelu je vykazovať také správanie, ktoré je uveriteľné pre používateľa alebo diváka. Cieľom je vytvoriť intenzívnejší zážitok z diela a väčšie vtiahnutie diváka do deja. Pri uveriteľnosti ako hlavnej požadovanej charakteristike správania vykazovaného modelom otázka biologickej plauzibilnosti procesov prebiehajúcich v dave samotnom alebo v agentoch ktoré sa v ňom nachádzajú nie je na prvom mieste. Skúmanie procesov reálneho sveta a hľadanie ich podstaty však bola pred návrhom modelu logická cesta, ak som nechcel navrhnuť model iba na vlastných predpokladoch. Mechanizmy spracovania informácií a výstup procesov však musia byť jednoduché a čitateľné pre človeka, ktorý má model používať. Je to nutnou podmienkou k tomu, aby sa tento dal efektívne využívať a pomocou parametrov nastavovať tak, aby sa hodil do danej situácie.

Situácie, na simulovanie ktorých je navrhovaný model určený sú také, kde dav je skupina inteligentných agentov umiestnených vo virtuálnom priestore v dostatočnej fyzickej blízkosti takej, aby táto medzi nimi umožnila interakcie „tvárou v tvár“. Očakávané výsledné správanie je, aby pri správnom vstupe používateľa (útok na člena davu, alebo krádež pri ktorej je používateľ prichytený), jednotlivci uveriteľne reagovali ako dav ľudí konajúci emočne. Pod emočnou reakciou mám na mysli napríklad hnevom vyvolaný útok alebo strachom vyvolaný útek.

6.3 Teoretický návrh modelu



Obrázok 2: Diagram vzťahov medzi modulmi modelu

6.3.1 Prostredie

Prostredie je entita, v ktorej jednotlivé inštancie agenta vykonávajú svoju činnosť. Spôsoby, ktorými je možné modelovať prostredie sú rôzne. Niektoré práce používajú reprezentáciu v tvare dvojrozmernej mriežky, po ktorej sa agenti môžu pohybovať, kde jeden štvorec je buď rezervovaný pre jedného agenta, alebo má určenú maximálnu kapacitu umožňujúcu existenciu v ňom pre viacerých agentov. Výhodou takejto reprezentácie prostredia je nižšia výpočtová zložitosť a pre práce, ktorých cieľom je iba skúmať modelovaný jav, nie spájať ho s animáciou, ktorá má pôsobiť realisticky, je dostatočná. V mojej práci však potrebujem poznať presnú polohu agenta v každej situácii kvôli mechanizmom detekcie kolízie a počítaniu presnej vzdialenosti medzi agentmi. Vytvoriť ďalšiu vrstvu, ktorá by predstavovala mriežku

nad spojitým prostredím, by pre mňa nemalo zmysel a navyše by zvýšilo výpočtovú zložitosť. Prostredie reprezentujem nie diskkrétne, ale spojite (aspoň do takej miery, ako mi to implementačné mechanizmy dovoľia). Agenty sa v prostredí teda môžu pohybovať ľubovoľným smerom a ľubovoľnou rýchlosťou (obmedzenie prináša telo agenta) do takej miery, akú dovoľí reprezentácia reálnych čísel v použitej technológii. Toto umožní realistický pohyb po prostredí a teda pomôže v dosiahnutí uveriteľného správania vykazovaného modelom. Prostredie nesie informáciu o všetkých agentoch a je jedinou entitou, ktorá v navrhovanom modeli vie v každom čase o celkovom počte agentov a o pozícii každého agenta v ňom. Zároveň je prostredie entita, ktorá má ponúkať informáciu agentovým senzorom a v prípade, že si to prípad použitia žiada, reagovať na pokus agentových efektorov vykonať akciu (napríklad sťažený terén alebo prekážka na ceste k miestu, kam sa chce agent presunúť).

6.3.2 Agent

Agenty majú vykonávať pozorovateľné akcie. Nasledujúce moduly som identifikoval ako tie, ktoré dostačujúco určujú správanie sa agentov vzhľadom na požadovanú heterogénnosť a schopnosť vnímať a hodnotiť udalosti odohrávajúce sa v ich okolí. Pre implementáciu nie je modulárna architektúra dôležitá, navrhované správanie je implementovateľné v rámci jedného modulu. Rozdelenie na moduly však pri opise vedie k jednoduchšiemu objasneniu úlohy každej časti, ktorá sa podieľa na celkovom správaní sa agenta a jeho vlastnostiach a zároveň uľahčuje návrh modulárnej implementácie agenta. Tá je vhodná z hľadiska robustnosti riešenia a jednoduchej úpravy už implementovaného systému, napríklad zmenením modulu emočnej nákazlivosti za iný.

6.3.2.1 Fyziológia

Fyziologický modul predstavuje telo agenta a jeho schopnosť hýbať sa. Tento modul je jedným z tých, ktoré umožňujú jednoducho prispieť k heterogénnosti agentov. Už zdanlivo malé zmeny v ich vlastnostiach, ako napríklad maximálna rýchlosť, ktorú môžu dosiahnuť, dokáže priniesť výraznú zmenu v uveriteľnosti simulovaného davu. Fyziologický modul v jednom z analyzovaných existujúcich modelov (Luo et al, 2008) sa skladá z úrovne zdravia

agenta, množstva zostávajúcej energie, ktorú agent má, diaľky, do ktorej je schopný agent vnímať zmeny vo svojom okolí a rýchlosťou, ktorou je agent schopný kráčať. Aj napriek tomu, ako jednoducho takáto konfigurácia fyziologického modulu pôsobí kvôli nízkemu počtu vlastností ktoré sa môžu meniť, je vďaka nej možné vytvárať zaujímavé kombinácie. Príkladom môže byť prepojenie rýchlosti kráčania a úrovne zdravia pre spomalenie zranených agentov. Úroveň zdravia a úroveň energie môžu slúžiť ako vstup pri zhodnocovaní situácie v ktorej sa agent nachádza.

Dvoma hlavnými časťami tohto modulu sú aj senzory a efekторы agenta. Tieto môžu byť definované napríklad tak, ako v príklade spomenutom vyššie, teda hodnotami rýchlosti kráčania, alebo diaľkou, do ktorej agent vidí. Komplexnosť senzorov a efektorov agenta však môže podľa potreby stúpať. Vytvorením rôznych senzorov, ktoré by z prostredia získavali informácie, by sa dala v jednotlivých agentoch dosiahnuť lepšia schopnosť rozlišovať rôzne stimuly z prostredia a tým aj komplexnejšie správanie. To isté platí pre efekторы. Čím viac efektorov agent má, tým viac vzorov správania dokáže vykazovať a tým rôznorodejšie môže reagovať na meniacu sa situáciu.

6.3.2.2 Kognícia

Emócie sú základným prvkom prezentovaného modelu a ja staviam na predpoklade, že elicitácia emócie je výsledkom posúdenia situácie. Práve posúdenie situácie je jednou z dvoch hlavných úloh kognitívneho modulu. Vstupom pre posudzovanie sú hodnoty získané z fyziologického a emočného modulu, kde spôsob, akým sú tieto vyhodnotené nie je daný a je závislý od situácie, v ktorej má byť model použitý. Výstupy kognitívneho modulu sú dva. Jedným z nich je úprava emočného stavu, v ktorom sa agent nachádza, tým druhým je výber behaviorálnej odozvy (nevykonanie žiadnej výraznej akcie, teda napríklad státie na mieste a nehýbanie sa, tiež považujem za behaviorálnu odozvu).

Zaujímavým problémom je reprezentácia všetkých možných behaviorálnych odoziev,. Luo et al (2008) použili globálny repozitár správání. Túto možnosť považujem za vhodnú, pretože

- umožňuje jednoduchú reprezentáciu správání naprieč agentami nachádzajúcimi sa v prostredí a tým, že je repozitár spoločný, zároveň zaručuje, že správanie agentov bude

ovplyvnené iba stavom prostredia a vnútorným stavom agenta, nie inými mechanizmami a

- umožňuje v prípade potreby modelovať situácie v ktorých sa stretávajú rôzne kultúry iba vytvorením rôznych repozitárov správania pre každú z nich.

V repozitári správania by malo byť definované aj to, aký je vzťah správania, ktoré sa v ňom nachádzajú k agentovmu ohodnoteniu situácie.

6.3.2.3 Emócie

V množstve modelov, ktoré som pri svojom výskume objavil, boli emócie implementované odlišne. Reprezentované boli vždy s ohľadom na to, aký bol prípad použitia daného modelu, alebo vzhľadom k postaveniu výskumnej otázky jeho autorov.

Luo et al (2008) vo svojej simulácii evakuácie používajú dve hodnoty, ktoré nazývajú emočnými atribútmi – intenzitu paniky a intenzitu príťažlivosti. Intenzita príťažlivosti modeluje individuálnu mieru, do ktorej agenta priťahujú „lákavé“ objekty alebo udalosti počas normálnych situácií. Intenzita paniky modeluje instantnú úroveň strachu agenta v núdzovej situácii. Ďalší zdroj (Coenen, 2012) referuje, že množstvo štúdií skúmajúcich faktory ovplyvňujúce emočnú nákazlivosť používalo na reprezentáciu emočného stavu iba dve nekonkrétne emócie – pozitívnu a negatívnu. Autori článku vo svojom modeli emočnej nákazlivosti využívajú faktorový model založený na Pleasure (pôžitok) Arousal (prebudenosť) Dominance (dominantnosť) faktorovom modeli. Každý z faktorov P, A, D môže nadobúdať hodnoty v rozmedzí od -1 do 1. Emočný stav sa konštantnou lineárnou zmenou v čase približuje smerom k nulovým hodnotám (P: 0, A: 0, D: 0).

Emočný „stroj“ použitý v ďalšom modeli (Aydt et al, 2011) je založený na teóriách, ktoré považujú emóciu za výsledok posúdenia situácie jednotlivcom. Agenti v ich simulácii zhodnocujú stimuly na základe ich relevancie, implikácií, schopnosti vysporiadať sa s nimi a významnosti z uhlu pohľadu agenta. Autori používajú dva druhy mapovania. Jedno určuje vzťah medzi perceptom a jeho zhodnotením (ďalej mapovanie percept-zhodnotenie), druhé určuje vzťah medzi zhodnotením a elicitovanou emóciou (ďalej mapovanie zhodnotenie-emócia). Mapovanie zhodnotenie-emócia je v ich práci nezávislé od scenára, ktorý sa

odohráva v programe kde je model použitý, teda je fixné pre všetky scenáre. Mapovanie percept-zodnotenie je ale závislé od scenára, čo umožňuje elicitáciu rôznych emócií v rôznych prípadoch. Minh a kol. (2012) implementovali simuláciu dynamiky emócií v skupine agentov pri evakuácii. V ich práci považujú emóciu za mentálny stav ktorý je spustený individuálnym vyhodnotením stimulov. Vyhodnotenie stimulov sa deje pomocou databázy poznatkov, v ktorej agent hľadá pravidlá týkajúce sa stimulu, ktorý vníma. V ich simulácii majú definované dva druhy stimulov, kde každý je vyhodnotený príslušným spôsobom a vrcholí zmenou emočného stavu agenta.

Emočný stav nie je stabilný a intenzita emócie s časom klesá, toto je modelované napríklad v (Coenen, 2012) alebo (Aydt, 2011). Aydt (2011) používa termín polčas rozpadu emócií. Táto hodnota predstavuje čas, za ktorý sa polovica emócie stratí. V ich simulácii sa môže medzi agentmi táto hodnota líšiť, čím modelujú osobnosť agenta.

Momentálne sa mi pre jednoduché situácie sa zdá byť dostatočná reprezentácia emočného stavu ako jednej hodnoty pre konkrétnu emóciu, s hodnotami v rozmedzí napríklad od 0 do 1. 0 by v takom prípade predstavovala bez-emočný stav a 1 stav, kedy je emócia agentom pociťovaná do maximálnej možnej miery. Toto by dovolilo agentom pociťovať hnev v rôznej intenzite, čo prináša výhodu oproti iba dvojhodnotovej reprezentácii v doplnení prídavnej informácie pre kognitívny modul.

6.3.2.4 Emočná nákazlivosť

Mechanizmy emočnej nákazlivosti sú veľmi dôležitou súčasťou mnou nvrhovaného modelu, pretože v nich vidím potenciál na simulovanie práve extrémnych situácií, ktoré sa v davových situáciách vyskytujú. Tsai a kol. (2013) sa venovali porovnaniu dvoch súčasných modelov emočnej nákazlivosti pomocou porovnania ich výkonu pri simulovaní evakuácie a ich porovnávaním s ďalším simuláciou evakuácie ESCAPES (Tsai, 2011). ESCAPES nebol stredobodom záujmu tohto provonania, ale slúžil ako skúšobný stav pre hodnotenie ostatných dvoch modelov. Na hodnotenie ich výkonu použili reálne dáta. Prvým z porovnávaných bol model založený na epidemiologických modeloch nákazlivosti chorôb (Durupinar, 2010). Počet nakazených agentov nachádzajúcich sa v okolí agenta v tomto modeli zvyšuje jeho šancu

infikovať sa. Intenzita emócie je definovaná binárne, teda agent buď je, alebo nie je nakazený. Druhý model (Bosse a kol, 2009), ktorý bol porovnávaný, je dynamický systém založený na iterovaní cez všetkých agentov a úpravou ich emócie v pároch (agent vysielajúci emóciu, agent prijímajúci emóciu), na základe ich interných parametrov, ako

- aktuálna úroveň emócie vysielajúceho agenta
- úroveň, do akej vysielajúci agent prejavuje svoju emócie
- sila kanála vedúceho od vysielajúceho agenta k prijímajúcemu agentovi
- aktuálna úroveň emócie prijímajúceho agenta,
- a agentova otvorenosť, respektíve citlivosť na prijímanú emóciu.

Tento model je inšpirovaný modelom rozptylu tepla známym z termodynamiky.

Výsledkom testov ktoré vykonávali Tsai a kol. (2013) je, že z troch modelov ktoré boli porovnávané, ten ktorý navrhli Bosse a kol (2009) dokázal najbližšie zachytiť situáciu z reálneho života, ktorú použili na overenie modelov.

Coenen a kol. (2012) navrhli model emočnej nákazlivosti založený na experimentálne identifikovaných faktoroch ovplyvňujúcich tento fenomén. Tiež modelujú nákazlivosť ako prenos emócie z vysielajúceho agenta na prijímajúceho agenta a predpokladajú, že prúd emočnej nákazlivosti je smerovaný od jednotlivcov s vysokou spoločenskou silou k tým, ktorí majú spoločenskú silu nižšiu.

Model propagácie emócií ktorí použili Minh a kol (2012) je založený na ich modeli agentov, ktorý v simulácii používajú. Ich agent zhodnocuje stimuly ktoré sú výsledkom činnosti iných agentov. Agent reagujúci na okolie teda vyjadruje svoju aktuálnu emóciu jeho správaním, čo môže byť následne videné inými agentmi.

6.3.2.5 Osobnosť

Osobnostný modul ponúka možnosť modelovať tendenciu agenta zhodnocovať stimuly, elicitovať emócie, alebo správať sa špecificky z dlhodobého hľadiska. Je to ďalšia možnosť v mnou navrhovanom modeli, okrem fyzikálneho modulu, ako dosiahnuť heterogénnosť

jednotlivých agentov. Coenen a kol. (2013) nazývajú osobnosťou vektor váh ovplyvňujúci emočnú nákazlivosť, hodnoty ktorého determinujú agentovu schopnosť nakaziť svojimi emóciami iných a byť nakazený emóciami jeho okolia. V inej práci (Aydt a kol, 2011) autori modelovali osobnosť nastavovaním hodnoty polčasu rozpadu emócií a rozdieloch v „spúšťačoch emócií“. Yin a kol (2012) definovali agentom dve hodnoty, z ktorých jedna je hodnota emočnej expresívnosti, teda schopnosti nakaziť iných a druhá je ich náchylnosť byť nakazený, čo je prístup podobný tomu, ktorý použili Coenen a kol. (2013). Okrem týchto prístupov sa ponúkajú aj mnohé ďalšie, napríklad nastavovanie maximálnej možnej hodnoty ktorú môže výška pociťovanej emócie dosiahnuť.

Hodnoty, ktoré ponúka osobnostný modul ovplyvňujú emočný stav agenta a teda sa nepriamo ale aktívne podieľajú na vzoroch správania, ktoré agent vykazuje.

6.3.2.6 Príslušnosť k skupine

Tento modul nie je pre navrhovaný model v mnohých situáciách nutný a teda jeho zahrnutie do implementovaného modlu je voliteľné, ale v prípade, že simulovaný dav má vykazovať správanie voči inej skupine, respektíve členom inej skupiny, tak treba jednotlivých agentov odlíšiť. Keďže prezentovaný model je založený na lokálnych interakciách medzi agentmi, preferovaná cesta je skôr označenie jednotlivých agentov známkou ako ich rozdelenie do množín. V prípade, že táto známka jednoznačne určuje príslušnosť agenta k skupine, ponúka prakticky tie isté možnosti, ako rozdelenie do množín. Lemons a kol (2013) však spomínajú model, ktorého riešenie rozdelenia agentov do skupín ponúka rozšírené možnosti. V spomínanej práci je príslušnosť agenta k skupine modelovaná pomocou desatinného čísla (známky) z $U(0,1)$ a prahovej hodnoty, kde agenti spadajúci do členskej skupiny sú definovaní ako tí, ktorí spadajú do $|Z_v - Z_a| < P$. Z_v je vlastná známka agenta, Z_a je známka iného agenta a P je prahová hodnota. Tento prístup ponúka rovnaké možnosti ako prístup porovnávania rovnosti hodnôt priradených známok, ale povolí ďalšie experimenty s dynamickým upravovaním prahovej hodnoty v rôznych situáciách.

6.3.2.7 Poznámka k modulom

Tieto moduly jednotlivého agenta a zároveň prostredie, ktoré spomínam, nie sú implementačne definované. Slúžia iba ako východisko pri tvorbe simulácie, ktorá má vykazovať správanie sa davu, respektíve simulovať dynamiku davu. Nie sú teda unifikovaným modelom a pri implementácii konkrétnej simulácie treba dbať na prípad jej použitia, scenár a na základe toho vybrať vhodné algoritmy. V prípade, že používateľ chce modelovať nákazlivosť iba negatívnych emócií, nie je potrebné implementovať faktory ovplyvňujúce iba nákazlivosť pozitívnych emócií. Ak bude dav implementovaného systému obsahovať agentov ženského aj mužského pohlavia, bude stáť za zváženie zahrnutie rozdielov v ich nákazlivosti ktoré objavili Coenen a kol (2012). Voľba implementácie znižovania sa hodnoty emócie v čase je tiež závislá od konkrétneho prípadu použitia. Rovnako v prípade kognitívneho modulu, je na zvážení potreby, či akcie v akčnom repozitári budú priamo naviazané na emóciu, alebo hodnota emócie iba ovplyvní pravdepodobnosť vybranej akcie.

Príklady riešenia implementácie týchto, alebo podobných modulov, prípadne ich častí v iných modeloch môžu slúžiť ako odrazový mostík. Dizajnér konkrétneho modelu by sa však nemal zastaviť iba pri nich a hľadať podobné práce riešiace jeho problém. V neposlednom rade, priestor pri implementácii ostáva aj fantázii. Výhodou výpočtového modelovania je, že úprava alebo pridávanie nových parametrov, mechanizmov, dátových štruktúr a následné vyhodnocovanie dôsledkov vykonaných zmien sa dá robiť veľmi rýchlo, čo je efektívne. V nasledujúcej časti mojej práce sa budem venovať práve implementácii modelu a opisu konkrétnych mechanizmov ktoré som zvolil pre modelovanie správania sa davu v jednoduchej situácii.

7 Implementácia modelu

7.1 Krátky slovný opis programu

Implementovaný program bude jednoduchá interaktívna situácia, v ktorej sa používateľ ocitne. Bude môcť kontrolovať jedného agenta v hre pomocou myši, ktorého budem ďalej nazývať

antagonickým agentom. Antagonický agent bude vedieť nasledovné – hýbať sa a vykonať akciu. Prostredie v ktorom sa tento agent bude pohybovať bude dvojrozmerný karteziánsky koordinátový systém, v ktorom sa pre jeho pohyb nebudú nachádzať žiadne prekážky. Okrem antagonického agenta sa budú v prostredí pohybovať ďalšie agenty, ktoré nebudú ovládané používateľom. Tieto agenty sa budú náhodne pohybovať a budú schopné vnímať ďalšie agenty okolo seba, vrátane používateľom kontrolovaného agenta. Akcia, ktorú dokáže vykonať antagonický agent, bude vnímaná ostatnými agentmi v dostatočnej blízkosti a spôsobí zmenu ich emocionálneho stavu a prípadnú behaviorálnu odozvu.

Agenty, ktoré nie sú kontrolované používateľom, budú v jednej chvíli môcť cítiť iba jednu emóciu z dvoch možných. Používateľ bude zmeny príslušnej hodnoty v zdrojovom kóde vybrať, o ktorú emóciu sa má jednať a zároveň bude môcť v zdrojovom kóde nastavovať hodnoty parametrov ovplyvňujúcich simuláciu. Na výber bude z dvoch základných emócií, konkrétne hnevu a strachu. Agent pociťujúci hnev bude mať tendenciu útočiť a agent pociťujúci strach bude mať tendenciu utekať pred antagonickým agentom.

7.2 Použité technológie

Výber použitých technológií sa ukázal byť dlhým procesom, ktorý začal analýzou existujúcich riešení používaných na implementáciu multiagentových systémov. Do užšieho výberu sa dostali dva nástroje, ktoré si nachádzajú široké uplatnenie v modelovaní takýchto systémov pre vedecké účely. Konkrétne ide o systémy NetLogo¹ a MASON². NetLogo je integrované vývojárske prostredie a zároveň programovací jazyk, dialekt programovacieho jazyka Logo³. Známe prostredie pre vývoj programov v jazyku Logo používané na výučbu programovania Comenius Logo⁴ bolo vyvinuté na Univerzite Komenského v Bratislave.

NetLogo sa do užšieho výberu dostalo najmä kvôli popularite, ktorej sa teší a s tým súvisiacej prípadnej podpore od komunity jeho používateľov a vďaka jednoduchosti, s akou sa v ňom dá vyvinúť simulácia spolu s integrovaným zberom dát a modulmi na zobrazovanie grafických

1 <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

2 <http://cs.gmu.edu/~eclab/projects/mason/>

3 <http://el.media.mit.edu/logo-foundation/logo/programming.html>

4 <http://www.comlogo.input.sk/>

reprezentácií týchto dát, ako napríklad grafov. Zo zámeru využiť NetLogo som však nakoniec napriek jeho výhodám ustúpil. Jedným z menej vážnych dôvodov bolo, že neovládam jazyk Logo a potreboval by som sa ho učiť. Vážnejším dôvodom bolo, že by sa ho potrebovali naučiť ľudia, ktorí by chceli mnou implementovaný model použiť vo svojej práci. Zamýšľané využitie modelu v počítačových hrách ma viedlo k hľadaniu riešenia ktoré využíva programovací jazyk v ktorom sa počítačové hry vyvíjajú, alebo sa na takéto jazyky aspoň syntakticky a sémanticky podobá. Známe jazyky, v ktorých sa v súčasnosti vyvíjajú počítačové hry sú C++, C#, Java, Python, prípadne Lua. Pre svoju znalosť programovacieho jazyka Java a jeho podobnosti s jazykmi C# a C++, ktoré sú momentálne najvyužívanejšie pre tvorbu hier, som sa rozhodol, že budem hľadať riešenie postavené na ňom.

Ďalší z nástrojov v užšom výbere bol MASON, ktorý ponúka podobné možnosti ako NetLogo a zároveň dovoľí v ktorejkoľvek fáze behu programu vykonať serializáciu objektov a následne ich uložiť na disk. To by umožnilo napríklad presunúť náročnú už bežiacu simuláciu na stroj s vyšším výkonom bez toho, aby sa stratili doterajšie výpočty. MASON zároveň integruje výkonný generátor náhodných čísel založený na algoritme Mersene Twister. Zo zámeru použiť MASON som však nakoniec tiež upustil kvôli neštandardným dátovým štruktúram ktoré používa. V čase vývoja tohto nástroja boli podľa autora dátové štruktúry spadajúce pod Collections jazyka Java príliš pomalé, čo bol dôvod, ktorý ho priviedol k myšlienke naprogramovať si vlastné takéto štruktúry. Kvôli tomu MASON ešte doteraz využíva namiesto štandardnej dátovej štruktúry ArrayList vlastnú štruktúru s názvom Bag. Integrácia modelu naprogramovaného pomocou tohto jazyka by teda bola príliš zložitá.

Konečné rozhodnutie padlo na využitie nástroja Processing⁵. Processing je programovací jazyk postavený na jazyku Java a zároveň integrované vývojové prostredie, ktoré je primárne navrhnuté pre vizuálnych umelcov. Ponúka jednoduchú možnosť vykresľovať štruktúry na obrazovku v dvoch aj troch rozmeroch, generátor náhodných čísel (ktorý je však založený na Math.random() a preto nie veľmi výkonný), simplexný šum, ktorý je rýchlejšou alternatívou k Perlinovmu šumu (oba pochádzajú od toho istého autora), vektorovú algebru a iné. Dá sa však použiť aj ako knižnica pre jazyk Java, čo je cesta, ktorú som si zvolil ja. Napriek tomu že tento

5 <http://processing.org/>

nástroj nie je určený na programovanie multiagentovej simulácie, tak fakt, že mi umožní jednoduché vykresľovanie a prácu s vektormi bez toho, že by výsledok pôsobil ako naprogramovaný v inom jazyku, som si ho zvolil za technológiu, pomocou ktorej model implementujem. Ďalšie výhody, ktoré tento nástroj prináša je export do appletu použiteľného na webe, export do JavaScriptu a export pre platformu Android, čo umožní ľahké prezentovanie a testovanie modelu na rôznych platformách. Použité technológie teda sú Java 7 a Processing verzie 2.2.1. Na zber dát som použil knižnicu opencsv⁶ verzie 2.4.

7.3 Prípady použitia

- **Pohyb používateľom kontrolovaného agenta.** Pre pohnutie používateľom kontrolovaného agenta používateľ presunie myš na miesto, kam chce antagonistického agenta presunúť. Systém začne agenta hýbať v smere od súčasnej polohy agenta k novej požadovanej polohe na základe hodnôt a mechanizmov, ktoré definuje fyziológia agenta.
- **Vykonanie akcie agentom, ktorý je kontrolovaný používateľom.** V ktorejkoľvek časti okna programu používateľ stlačí a drží ľubovoľné tlačidlo na klávesnici. Počas držania tohto tlačidla je agent v stave, kedy vykonáva akciu a ostatní agenti v jeho okolí sú ju schopní vnímať. Typ vykonávanej akcie je určený aktuálnym nastavením programu.

6 <http://opencsv.sourceforge.net/>

7.4 Implementované mechanizmy

7.4.1 Prostredie

Prostredie v ktorom agenty operujú je implementované ako dvojrozmerný karteziánsky koordinátový systém, s pevne stanovenou výškou a šírkou. Prostredie si zároveň drží informáciu o všetkých agentoch, ktoré sa v ňom nachádzajú a je jedinou entitou, ktorá má prístup k tejto informácii v akomkoľvek čase behu informácie a pri ľubovoľných nastaveniach parametrov. Informácia o agentoch je reprezentovaná ako zoznam, konkrétne dátová štruktúra ArrayList z balíka java.util. Prostredie zároveň definuje hodnotu modifikátora emočnej nákazlivosti, ktorý je jednou z informácií, s ktorou mechanizmy emočnej nákazlivosti pracujú. Ich opis a zároveň úlohu tohto modifikátora popíšem v časti určenej ozrejmieniu týchto mechanizmov. Informácia týkajúca sa používateľom kontrolovaného agenta je v prostredí uložená samostatne, mimo zoznamu ostatných agentov.

7.4.2 Agent

Fyziológia

Fyziológia v implementovanom modeli sa skladá z dvoch hlavných častí – agentovej percepcie a jeho pohybových schopností.

Agent je schopný vnímať agentov vo svojom okolí dvoma spôsobmi. Prvý je abstrakcia agentovho videnia, kde agent vníma všetkých agentov vo svojom okolí, ktoré je určené kruhom s koordinátmi stredu totožnými s koordinátmi agentovej polohy a polomerom, ktorý určuje agentov dohľad. Agent vníma rovnako dobre agentov, ktorí sú vrámci tohto kruhu, bez ohľadu na to, či sa nachádzajú v smere jeho pohybu, teda pred agentom, alebo za ním. Agent ale vníma aj vzdialenosť medzi agentmi, s ktorou pracuje mechanizmus emočnej nákazlivosti. Tento bude popísaný v príslušnej časti mojej práce.

Druhým spôsobom, ako agent vníma svoje okolie, je detekcia kolízie. Miesto, kde ku kolízii dochádza je určené kruhom, ktorý obklopuje agenta. Tento kruh je sústredný s kruhom

reprezentujúcim agentove videnie. V prípade, že sa v tomto kolíznom kruhu nachádza iný agent, vykoná sa príslušná akcia. V súčasnej implementácii je pre nás kolízia zaujímavá iba v prípade, že obaja kolidujúci agenti vykonávajú behaviorálnu odozvu spojenú s ich emóciami a akciami používateľom ovládaného agenta. Je to teda buď v prípade že obaja agenti na používateľa útočia, alebo pred ním unikajú. Ak takáto kolízia nastane, tak v prípade útoku, agent ktorý je bližšie k používateľom kontrolovanému agentovi má prednosť, v prípade úniku je tomu naopak.

Pohyb agenta je založený na báze vektorov. Agent teda nemá orgány, ktorými vykonáva nejakú činnosť na základe ktorej by pomocou prípadnej simulácie fyziky vznikol pohyb. Miesto, na ktoré sa agent v každej iterácii presunie je jednoznačne dané jeho predošlou polohou a vektorom rýchlosti, ktorý určuje smer a vzdialenosť presunu v danej iterácii. Každý agent má pri jeho vytvorení definovanú maximálnu rýchlosť. Táto sa už počas jeho „života“ nemení. Aktuálna rýchlosť agenta sa však meniť môže a to nasledovne. Agent má vždy počas simulácie nejaký cieľ, ku ktorému sa snaží dostať. Tento je buď náhodná poloha v prostredí určená jej súradnicami, alebo súradnice, na ktorých sa nachádza používateľom kontrolovaný agent. V každej iterácii sa vypočíta vektor smerujúci od polohy agenta k polohe jeho cieľa ako rozdiel vektorov polohy tohto cieľa a polohy samotného agenta. Tento vektor je následne normalizovaný a vynásobený výškou agentovho zrýchlenia, čo je skalárna hodnota reprezentovaná ako číslo s pohyblivou desatinnou čiarkou. Výsledkom tohto násobenia je vektor zrýchlenia, ktorý je pripočítaný k rýchlosti. V prípade, že je dĺžka vektora rýchlosti väčšia ako maximálna rýchlosť, vektor rýchlosti je upravený tak, aby sa jeho smer nezmenil, ale dĺžka sa rovnala maximálnej rýchlosti.

Použitím vektora zrýchlenia na úpravu vektora rýchlosti agenta sa dosiahne plynulá zmena smeru a rýchlosti jeho pohybu. Táto je v prípade výraznej zmeny smeru spojená s pozorovateľným spomalením, čo vytvára dojem krajšieho a realistickejšieho pohybu.

Kognícia

V teoretickom modeli má kognícia za úlohu výber akcie, ktorú agent vykoná a rovnako tomu je aj v realizácii teoretického modelu, ktorú opisujem. Agent sa v jednej iterácii „môže rozhodnúť“ pre vykonanie dvoch akcií z celkových troch možných, kde tieto sú

- nevykonanie žiadnej akcie,
- vykonanie akcie útoku
- a vykonanie akcie úteku.

Agent sa nikdy nerozhoduje medzi útokom a útekem. Či bude vykonaná akcia jednou z týchto je dané na základe globálneho nastavenia, teda nastavenia prostredia. Ak je v prostredí nastavené, že agentmi pociťovaná emócia je strach, vždy bude vybraný buď útek, alebo nevykonanie žiadnej akcie. Ak sa jedná o hnev, bude vybraný útok, alebo nevykonanie žiadnej akcie. Ak sa agent rozhodne v nejakej časti pre vykonanie útoku alebo úteku, do konca simulácie sa už jeho rozhodovanie neopakuje – agent ostane v stave, kedy sa jeho vzor správania nemení. Výber akcie útoku alebo úteku je ovplyvnený

- úrovňou pociťovanej emócie a
- počtom iných agentov v jeho okolí, ktorí útočia alebo utekajú.

Pod agentovým okolím mám na mysli okolie určené jeho fyziológiou, teda vzdialenosťou, do ktorej vidí. Vplyv iných útočiacich agentov na agenta nie je váhovaný. Ak agent vidí dvoch agentov ktorí útočia, z ktorých každý je od neho v inej vzdialenosti, majú na neho rovnaký vplyv. Rozhodovanie agenta je modelované pravdepodobnostne ako násobok náhodného čísla z rozsahu od 0 do 1 a úrovne agentovej emócie. Ak je toto číslo väčšie ako určená prahová hodnota, agent začne útočiť alebo utekať. Počet útočiacich agentov v agentovom okolí ovplyvňuje jeho rozhodnutie tak, že pre každého takéhoto agenta z agentovho okolia sa v prípade, že výsledné číslo neprekročilo hraničnú hodnotu, vykoná tento proces znova. Pri piatich útočiacich agentoch v agentovom okolí sa teda táto kontrola môže vykonať až šesťkrát, šanca na útok je teda šesťnásobne vyššia. Týmto prístupom sa v modeli vyvarujem tomu, aby šanca na útok bola pri vysokom počte útočiacich agentov, ktorými je agent obklopený, 100

percentná.

Zhodnotenie situácie a na základe neho upravená hodnota agentovej emócie je modelované nasledovne. Ak je v agentovej blízkosti používateľom kontrolovaný agent a tento práve vykonáva akciu, hladina agentovej emócie je zvýšená. Pod blízkosťou tentokrát nemám na mysli agentov polomer videnia ani kolízny polomer, ale polomer, ktorý určuje, do akej vzdialenosti má akcia vykonávaná používateľom kontrolovaným agentom dosah. Tento polomer je definovaný v agentovi, ktorého kontroluje používateľ.

S kognitívnou časťou agenta je spojený aj repozitár správania určujúci aktuálnu akčnú tendenciu. Tento je v popisovanej simulácii implementovaný globálne, ako hodnota prostredia, ktorá určuje, či hodnota agentovej emócie je veľkosť jeho hnevu alebo strachu a teda či reakcia ktorú má agent vykonať je útok alebo útek.

Emócie

Hodnotu emócie v implementovanom modeli reprezentuje iba jedno číslo s pohyblivou desatinnou čiarkou. Toto číslo vyjadruje výšku agentovej emócie. O akú emóciu sa jedná je v mojej simulácii určené parametrom prostredia. Emócia môže byť zvýšená na základe emočnej nákazlivosti a na základe zhodnotenia akcií, ktoré sa v agentovom okolí dejú. V opisovanom prípade sa toto obmedzuje iba na akciu hráčom kontrolovaného agenta v dostatočnej blízkosti tak, ako je opísané v implementácii kognitívnej časti agenta. Mechanizmus sčítavania emócií, ktorý je využívaný pri úprave emócií na základe zhodnotenia situácie je implementovaný iba sčítavaním, do budúcnosti by však bolo vhodné zvážiť použitie logaritmických funkcií, ktoré majú klesajúcu strmosť a hornú hranicu. Tieto vlastnosti z nich robia vhodné riešenie pre modelovanie rýchlosti nakazenia sa emóciou u jednotlivých agentov a maximálnej dosiahnuteľnej hodnoty pociťovanej emócie.

Emočná nákazlivosť

Mechanizmus emočnej nákazlivosti je ovplyvnený osobnosťou agenta. Každý agent hrá pri úprave emócií buď úlohu agenta prijímajúceho emóciu, alebo agenta odosielaajúceho emóciu. Pri úprave hladiny emócie konkrétneho agenta je tento iba v roli prijímajúceho agenta a ostatní

agenti v jeho vizuálnom okolí v úlohe odosielaajúcich agentov. Úprava emócie sa počíta nasledovne. Každý agent má dve vlastnosti, ktoré určujú, nakoľko je schopný infikovať svojimi emóciami iných a nakoľko je náchylný byť nakazený emóciami iných. Pre každého agenta v agentovom okolí sa vypočíta hodnota vplyvu daného agenta na aktuálneho ako násobok aktuálnej hladiny emócie odosielaajúceho agenta, jeho schopnosti nakaziť iných a hodnoty medzi 0 a 1 kvadraticky klesajúcej so zvyšujúcou sa vzdialenosťou od aktuálneho agenta. Tieto hodnoty všetkých agentov, ktorí môžu agenta ovplyvniť sa spriemerujú a výsledná hodnota sa ešte prenásobí hodnotou náchylnosti aktuálneho agenta na nakazenie sa emóciami iných. Získaná hodnota je potom pripočítaná k aktuálnej emócii agenta. Ak je táto vyššia ako maximálna hodnota, tak je znížená na jej úroveň.

Osobnosť

Osobnosť agenta je modelovaná ako jeho schopnosť nakaziť iných agentov emóciou a jeho náchylnosť byť nakazený iným agentom. Každá z týchto vlastností je reprezentovaná ako číslo z $\langle 0,1 \rangle$. Tieto hodnoty sú využívané v mechanizme emočnej nákazlivosti. V implementovanom modeli sú pri vytvorení agenta tieto hodnoty vygenerované náhodne.

Identifikácia so sociálnou skupinou

Mnou implementovaná simulácia je prípad, v ktorom identifikácia agenta s nejakou sociálnou skupinou nie je potrebná. Všetci agenti okrem používateľom kontrolovaného agenta spadajú do jednej sociálnej skupiny a teda žiadna úprava emočnej nákazlivosti alebo procesu rozhodovania nie je nutná.

8 Vyhodnotenie simulácie

Pri testovaní implementovaného modelu ma zaujímalo niekoľko otázok, ktoré sa týkali časového priebehu počtu nakazených agentov, ich emócií a podobne. Nechal som teda prebehnúť niekoľko simulácií s rôznymi nastaveniami parametrov a zbieral dáta, ktoré som neskôr vyhodnotil. Parametre modelu, ktoré ostali počas týchto simulácií, boli

- vzdialenosť, do ktorej agent vidí (200),
- vzdialenosť, pri prekročení ktorej iným agentom agent zaznamená kolíziu (2),
- vzdialenosť, určujúcu ako ďaleko má dosah akcia vykonaná antagonickým agentom (10),
- rýchlosť zániku emócie (0,0001),
- modifikátor rýchlosti nákazy (0,01) a
- veľkosť zrýchlenia agenta (0.5).

Parametre, ktoré mali generovanú hodnotu, boli

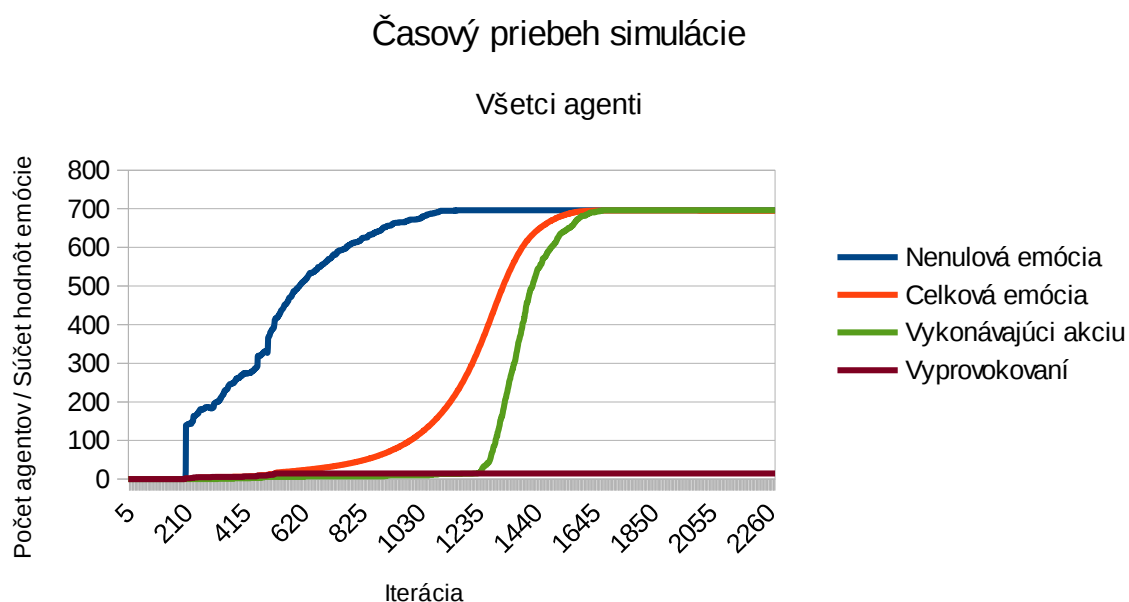
- počiatočná poloha agenta (náhodný bod vo svete),
- cieľ agenta (v prípade, že ním nebol antagonický agent, tak náhodný bod vo svete vždy vygenerovaný znova po jeho dosiahnutí),
- nákazlivosť agenta (náhodná hodnota medzi 0,5 a 1),
- náchylnosť agenta byť nakazený (náhodná hodnota medzi 0,5 a 1),
- maximálna rýchlosť agenta (náhodná hodnota medzi 1 a 2).

Parametre, ktorých hodnoty som medzi simuláciami menil, boli

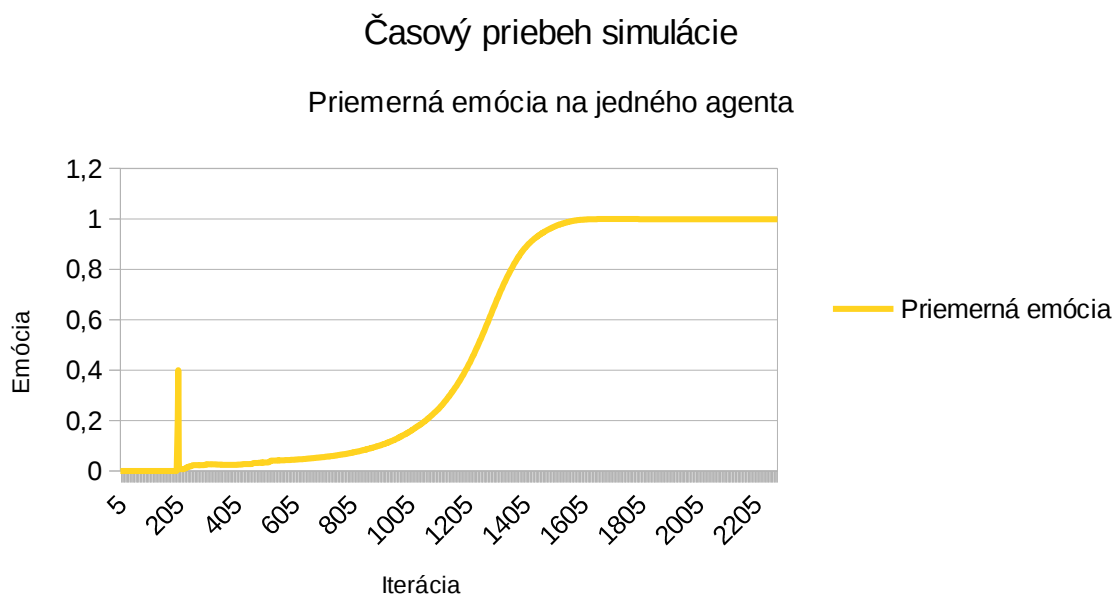
- hraničná hodnota určujúca, aká je pravdepodobnosť, že agent začne útočiť ak je v jeho blízkosti vykonaný stimul antagonickým agentom, alebo vidí útočiť iných agentov vo svojej blízkosti (ďalej iba hraničná hodnota) a

- počet agentov.

Čas, ktorý sa meria nie je reálny, ale logický – jeden časový úsek je rovný jednej iterácii bez ohľadu na to, ako dlho jej vykonanie trvá. Pri simulácii som pre každú iteráciu zaznamenal informácie o tom, aký bol celkový počet agentov, ktorí pociťovali emóciu, aký bol súčet ich emócií, aká bola priemerná emócia agentov, počet agentov, ktorí vykonávali akciu (teda utekali) a počet agentov, ktorí prišli do styku s antagonickým agentom počas toho, ako vykonával stimul.

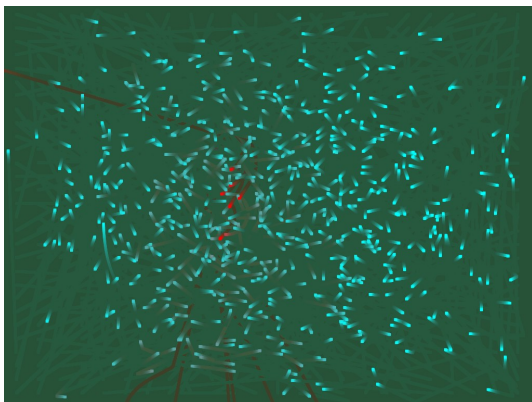


Obrázok 3: Počet agentov: 696, hraničná hodnota: 0,99

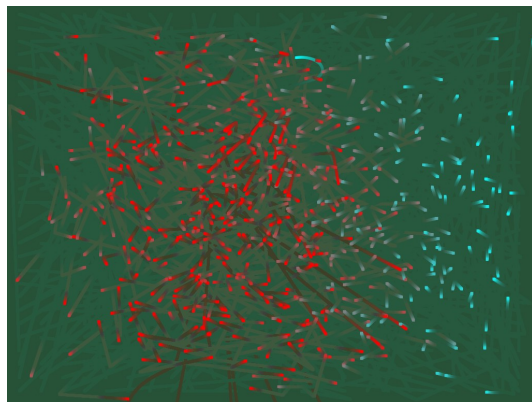


Obrázok 4: Počet agentov: 696, hraničná hodnota: 0,99

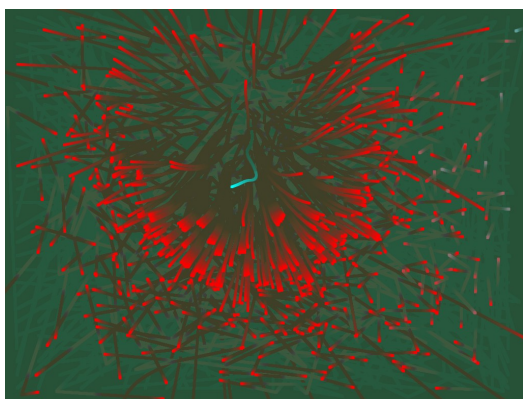
Obrázok 3 ukazuje priebeh simulácie s hraničnou hodnotou 0,99 a 696 agentmi. Obrázok 4 ukazuje časový priebeh vývoja priemernej hodnoty emócie v tej istej simulácii. Modrá čiara ukazuje počet agentov, ktorých emócia je v iterácii nenulová. Táto začne stúpať pri vykonaní stimulu antagonickým agentom v blízkosti iného agenta, alebo agentov, čo u nich spôsobí elicitáciu emócií. Rýchle stúpanie je spôsobené tým, že agenti, ktorí týchto agentov vidia, cítia emóciu vďaka mechanizmu emočnej nákazlivosti. Nerovnomernosť v rozmiestnení agentov, ich rozdielne osobnostné vlastnosti a zánik emócií spôsobujú nehladký priebeh tejto hodnoty, čo je viditeľné na grafe. Celková emócia (červená farba), však stúpa oveľa pomalšie. Hnedá čiara ukazuje, že antagonickým agentom je na začiatku nakazených iba zopár agentov, čiže sa ďalšie zvyšovanie emócií deje v dôsledku emočnej nákazlivosti. S rastúcou hodnotou emócie pribúdajú aj agenti vykonávajúci akciu. Keďže s počtom takýchto agentov rastie šanca, že akciu začnú vykonávať aj iní agenti, táto krivka je veľmi strmá. Nasledujúce obrázky (5 - 8) ukazujú stav simulácie počas iterácií 1020, 1326, 1530 a 1734.



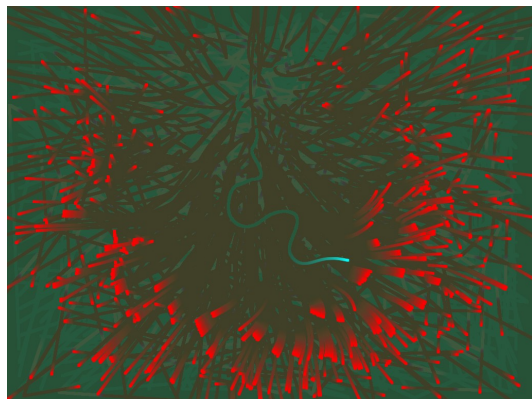
Obrázok 5: Iterácia 1020



Obrázok 6: Iterácia 1326

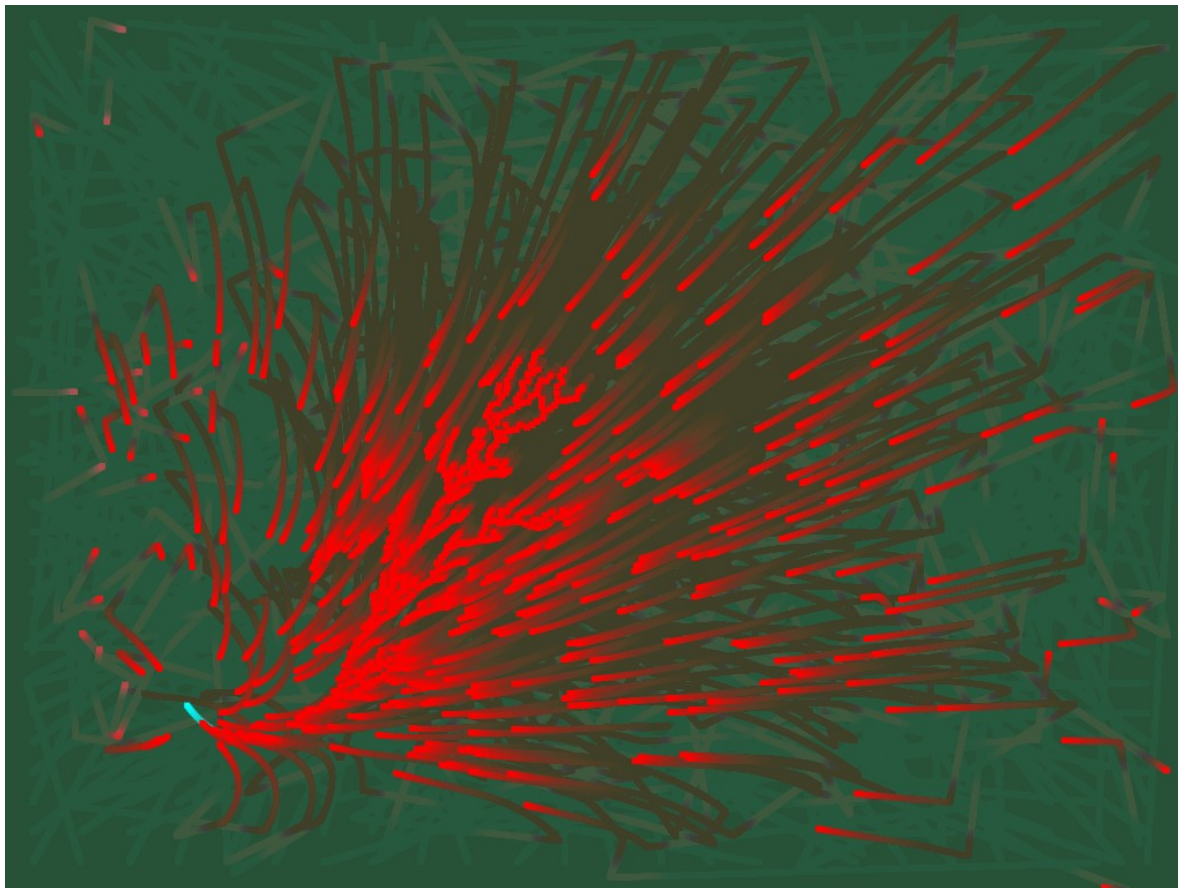


Obrázok 8: Iterácia 1530



Obrázok 7: Iterácia 1734

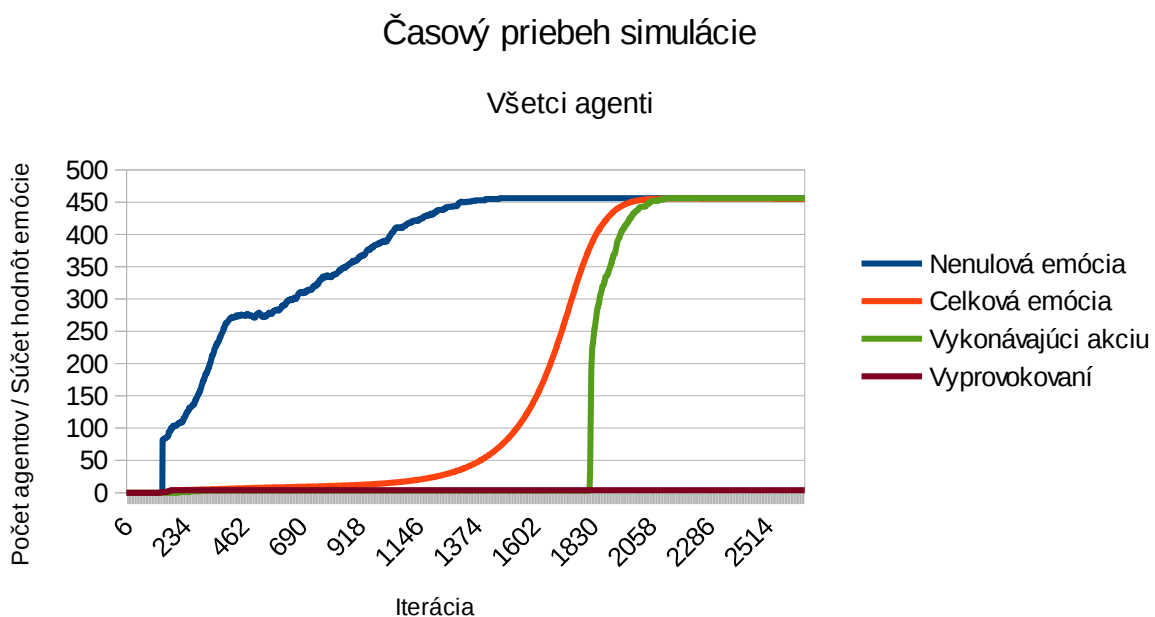
Intenzita červenej farby znázorňuje úroveň pocit'ovanej emócie konkrétneho agenta.



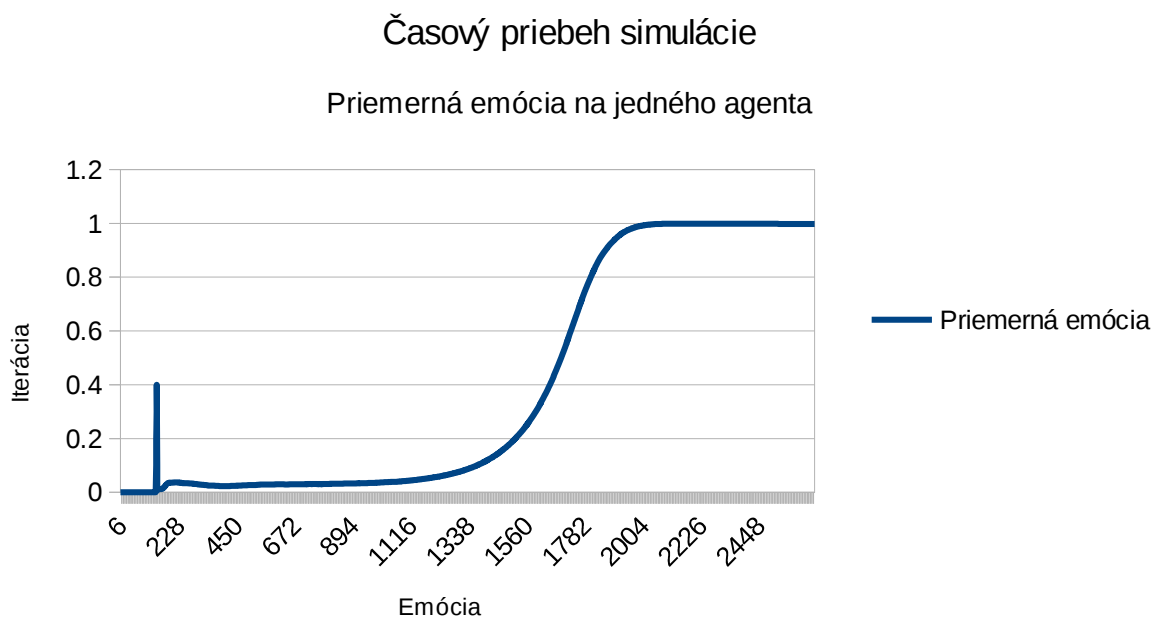
Obrázok 9: Počet agentov: 696, hraničná hodnota: 0,99, iterácia: 1530, emócia: hnev

Pre lepšie znázornenie smeru pohybu na statických obrázkoch agenty za sebou zanechávajú stopu. Obrázok 9, pre porovnanie, zobrazuje agentov v útočiacom stave v iterácii 1530 simulácie s rovnakými nastaveniami parametrov.

Pri ďalšej simulácii som znížil počet agentov z 696 na 456. Predpoklad, že emočná nákazlivosť bude pomalšia a tým pádom aj akcia davu príde neskôr sa ukázal ako správny.



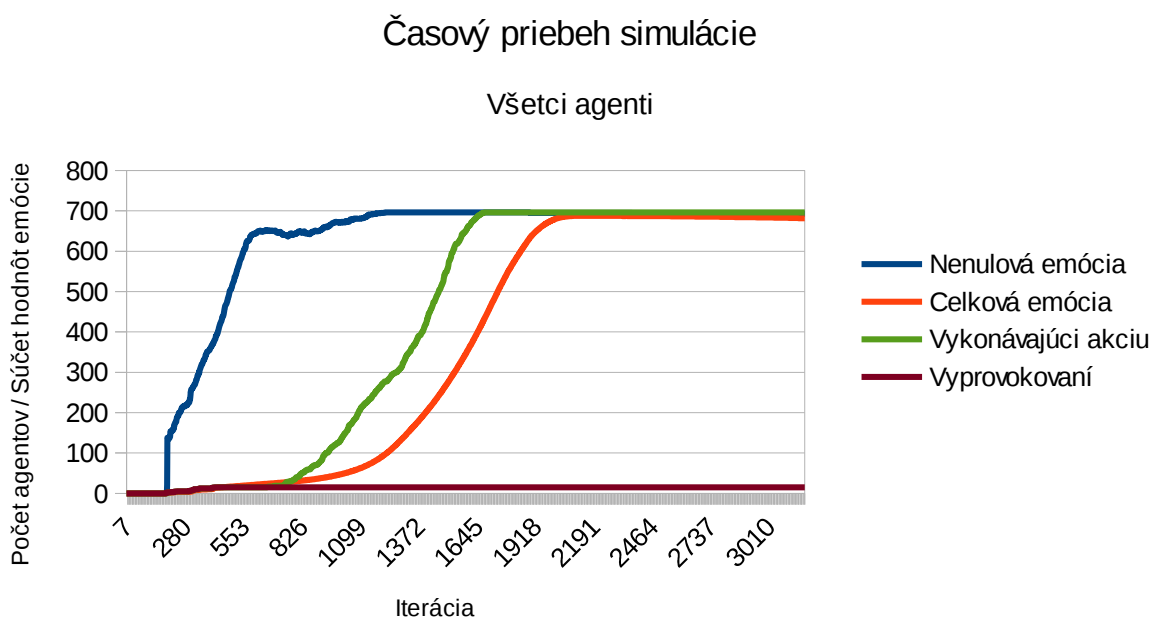
Obrázok 10: Počet agentov: 456, hraničná hodnota: 0,99



Obrázok 11: Počet agentov: 456, hraničná hodnota: 0,99

Grafy na obrázkoch 10 a 11 ukazujú časový priebeh tejto simulácie. Rast emócií u agentov je pomalší a teda aj akcia, ktorú emócie podporujú príde neskôr. Agenty boli náhodne rozmiestnené v rovnakom priestore ako pri simulácii s vyšším počtom agentov, čo spôsobilo, že ich hustota bola nižšia a s tým bol priamo úmerne nižší počet agentov v ich okolí, ktoré kvôli emočnej nákazlivosti pôsobili na ich emócie.

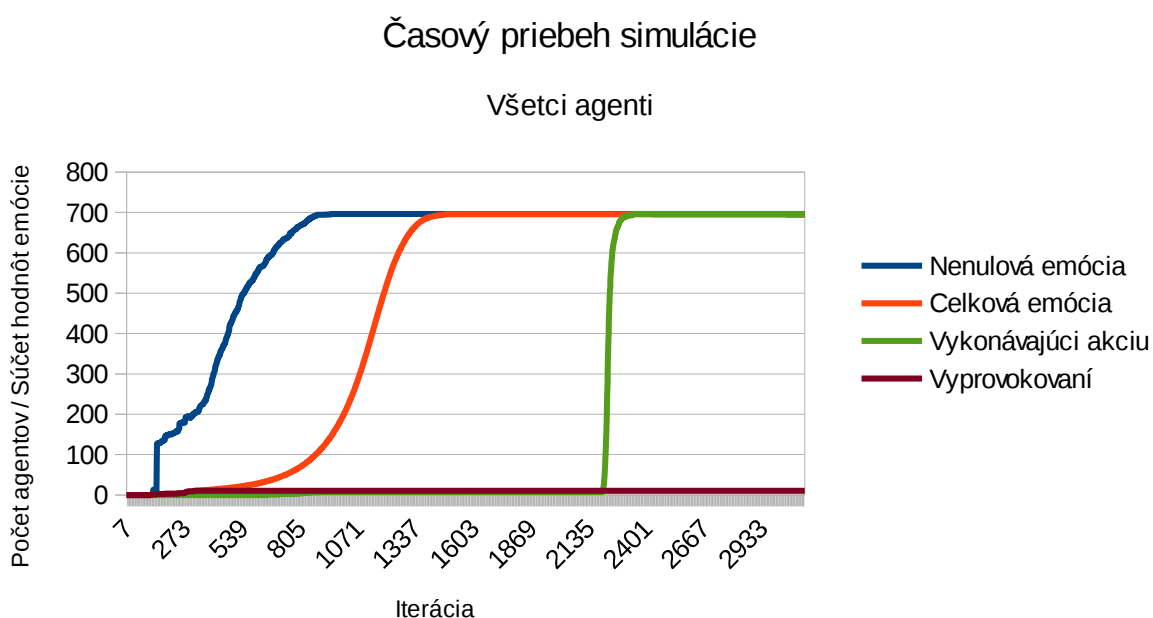
Pri ďalších simuláciách ma zaujímala schopnosť modelovať charakteristiky davu, ktoré by vyvolali v pozorovateľovi dojem, že dav je „kludný“, alebo „akčný“. Inými slovami, v „kludnom“ dave som chcel oddialiť akciu a v „akčnom“, naopak, spôsobiť že akcia davu by sa diala už pri malom impulze zo strany antagonického agenta. Zvýšil som počet agentov na pôvodných 696 a hraničnú hodnotu, určujúcu pravdepodobnosť, že agent zaútočí som pre „akčný“ dav znížil na 0,1.



Obrázok 12: Počet agentov: 696, hraničná hodnota: 0,1

Ako sa dá vidieť na obrázku 12, táto metóda funguje a teda na modelovanie niektorých

charakteristík davu stačí jednoduchá zmena jedného parametra. Na rozdiel od predošlých situácií, už iba pri malom zvýšení celkovej emócie v dave začne rásť počet agentov vykonávajúcich akciu. V tomto prípade dokonca počet takýchto agentov dosiahne maximum ešte predtým, ako je dosiahnutá maximálna hodnota emócie medzi všetkými agentmi v simulácii.



Obrázok 13: Počet agentov: 696, hraničná hodnota: 0,999

Pre kľudný dav som zvolil hodnotu hraničnej hodnoty rovnú 0.999, teda iba jede z 1000 náhodných pokusov, v prípade že emócia je dosť vysoká, spôsobí reakciu agenta. Na grafe z obrázka jajaja sa dá vidieť, že ešte dlho po dosiahnutí maximálnej možnej emócie v dave, väčšina jeho agentov nevykonáva akciu. Zaujímavé je, ako rýchlo sa rozhodnú akciu vykonať všetci agenti. Toto môže byť spôsobené buď chybou generátora náhodných čísel, alebo faktom, že šanca na útok rastie priamo úmerne počtu agentov, ktorí sa pridali a v spomínanom behu simulácie sa ich pridalo naraz väčší počet.

9 Záver a diskusia

V tejto diplomovej práci som si zvolil za cieľ použiť interdisciplinárny prístup na modelovanie správania sa davu. Na základe zvolených teoretických východísk som navrhol teoretický multiagentový model založený na lokálnych interakciách medzi agentmi, ktorý som následne implementoval. Tento teoretický model nie je závislý od implementácie a nie je ani všeobecný. Špecifické prípady použitia si vyžadujú vhodnú voľbu reprezentácií a algoritmov, čo na jednej strane môže spôsobovať nejasnosti, no na strane druhej prináša flexibilitu. Držať sa odporúčaných častí agenta jednotlivca, ktoré sú opísané v teoretickom návrhu modelu, považujem za odrazový mostík pri práci s ním.

V modeli ktorý som navrhol kladím dôraz na uveriteľné správanie sa davu, teda na správanie sa, ktoré používateľ aplikácie, v ktorej je model použitý, presvedčí o tom, že tie entity, ktoré vidí na obrazovke nejednajú samostatne, ale sú davom. Toto nevyžaduje biologickú plauzibilitu použitých mechanizmov ani architektúry modelu samotného. Napriek tomu jej ale prikladám mieru a v budúcnosti sa chcem venovať hľadaniu alebo vývoju nástrojov, ktoré by mi pomohli model validovať a približovať tomu, čo sme schopní zažívať v reálnych situáciách.

Implementovaný model a vyhodnotenie výsledkov ukazuje, že niektoré vzory správania sa davu známe z reálneho sveta je schopný do istej miery reprodukovat'. Týmto mám na mysli fázu, počas ktorej agenti cítia emóciu, vnímajú udalosti okolo seba, ale nekonajú (Reicher, 2008). S pribúdajúcim počtom agentov však tendencia konať rastie aj v agentoch, ktorí sa iba prizerajú a z akcie zopár jednotlivcov sa o chvíľu stane akcia celej masy.

Pri prvom pohľade na toto správanie sa implementovaných agentov som pocítil radosť. V skutočnosti ju cítim stále pri nachádzaní možností, ktoré ponúka zmena parametrov. Tieto umožňujú jednoducho vytvoriť charakteristiky davu, čo by pri simuláciách rôznych regiónov v počítačových hrách s otvoreným svetom mohlo viesť k niečomu, čo by používateľ považoval za charakteristiku obyvateľov daného regiónu. No jediný správny prístup k modelu, ktorý som implementoval, je ostať kritický.

Viac práce by malo byť venovanej zahrnutiu rôznych emócií a mechanizmov, ktoré dovoľia,

aby sa celková emócia davu menila na základe meniacej sa situácie. Spôsob, ako sa emócie sčítavajú, by mal byť implementovaný tak, aby poskytol uveriteľné výsledky. Cestu znova vidím vo výskume, ktorému sa venujú iné vedecké disciplíny, hlavne psychológia a neuroveda. Ďalej stojí za zmienku vplyv kultúry. V mojom modeli odporúčam pre správanie sa skupiny voči skupine implementovať príslušný modul a netvrdím, že nevidím prienik medzi ním a modelovaním kultúry. No napriek tomu, že prienik vidím, nevidím jednotu. Kultúra a ľudstvo na mňa pôsobia ako dynamický systém s dvoma zložkami, ktoré sa navzájom formujú a opomenúť tento vplyv pri modelovaní správania sa davu by mohla byť vážna chyba.

Modelovanie komplexnejšieho správania jednotlivých agentov bude veľmi pravdepodobne viesť k neočakávaným výsledkom. Dav je fascinujúce pozorovať v realite, no písanie tejto diplomovej práce ma presvedčilo, že fascinujúcejšie je ho tvoriť synteticky a skúmať. Fenoménov, ktorých vznik a zmysel nie je známy, je toľko, že modelovanie správania sa davu sa môže stať pre človeka, ktorý s tým raz začne, prácou na celý život.

Použitá literatura

- Reicher, S. (2008). The Psychology of crowd dynamics. Blackwell Handbook of Social Psychology Blackwell Publishers Ltd.
- Scheve, C. v., & Ismer, S. (2013) Towards a Theory of Collective Emotions. *Emotion Review*, 5, 406-413.
- Burke, P. J., & Stets, J. E. (2000) Identity Theory and Social Identity Theory. *Social Psychology Quarterly*, 63, 224-237.
- Cowie, R. (2006), Emotional life: Terminological and conceptual clarifications. FP6 project 507422: HUMAINE Human-Machine Interaction Network on Emotions
- Scherer, K., Wranik, T., Tran, V., Scherer, U. (2004) Emotions in everyday life, *Social Science Information* 43, No. 4, 499 – 570
- Rubenstruck G. (2004) Emotional machines. Presentation held at V2_Lab workshop in Rotterdam, January 2014
- Tsai, J., Bowring, E., Marsella, S., & Tambe, M. (2013) Empirical evaluation of computational fear contagion models in crowd dispersions. *Autonomous Agents and Multi-Agent Systems*, 27, 200-217.
- Coenen, R., Broekens, J., (2012) Modeling Emotional Contagion Based on Experimental Evidence for Moderating Factors, *Proceedings of the Workshop on Emotional and Empathic Agents in the 11th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, Valencia, 26-33,
- Aydt, H., Lees, M., Luo, L., Cai, W., Low, M.Y.H, Kadirvelen, S.K., (2011) A Computational Model of Emotions for Agent-Based Crowds in Serious Games, *Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI_IAT)*, IEEE/WIC/ACM International Conference on, vol. 2, 72 - 78
- Yin, Y., Tang, W., Li, W., (2012) Modeling Group Emotion Based on Emotional Contagion, *Intelligent Information Processing VI*, vol. 385, 240-247

- Dimberg, U., & Thunberg, M. (2012) Empathy, emotional contagion, and rapid facial reactions to angry and happy facial expressions. *Psych Journal*, 1, 118-127.
- Tsakiris, M. Evidence for Unintentional Emotional Contagion Beyond Dyads. *PLoS ONE*, e67371.
- Fum, D., Missier, F. D., & Stocco, A. (2007) The cognitive modeling of human behavior: Why a model is (sometimes) better than 10,000 words. *Cognitive Systems Research*, 135-142.
- Braitenberg, V. (1984). *Vehicles, experiments in synthetic psychology*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Luo, L. et al, (2008) Agent-based human behavior modeling for crowd simulation. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 19, 271-281.
- Minh, L. V. et al., (2012) Simulation of the Emotion Dynamics in a Group of Agents in an Evacuation Situation, *Principles and Practice of Multi-Agent Systems*, 7057, 604-619
- Tsai, J., Fridman, N., Bowring, E., Brown, M., Epstein, S., Kaminka, G., Marsella, S., Ogden, A., Rika, I., Sheel, A., Taylor, M.E., Wang, X., Zilka, A., & Tambe, M. (2011). ESCAPES: evacuation simulation with children, authorities, parents, emotions, and social comparison. In *AAMAS-11*, 457–464, New York: ACM Press.
- Durupinar, F. (2010). *From audiences to mobs: Crowd simulation with psychological factors*. PhD dissertation, Bilkent University, Department of Computer Engineering.
- Bosse, T., Duell, R., Meon, Z. A., Treur, J., van der Wal, C.N. (2009) A multiagent model for mutual absorption of emotions. *Proceedings 23rd European Conference on Modelling and Simulation ECMS-09*
- Lemos, C., Coelho, H., Lopes, R. J. (2013), Agent-based modeling of social conflict, civil violence and revolution: state-of-the-art-review and further prospects. *EUMAS 2013*, 124 - 138

- Ferber, J. (1999) Multi-Agent System: An Introduction to Distributed Artificial Intelligence
- Doerner, D., Gerdes, J., Mayer, M., Misra, S., (2006) A simulation of Cognitive and Emotional Effects of overcrowding, In Proceedings of the 7th International Conference on Cognitive Modelling
- Le Bon, G. (1895, trans. 1947) The Crowd: A Study of the Popular Mind. London: Ernest Benn
- Allport, F. (1924) Social Psychology. Boston: Houghton Mifflin.
- Starbuck, W.H. and Dutton J.M. (Eds.) (1971), Computer Simulation of Human Behavior, Wiley.

Príloha A - CD