

Význam emocí pro umělé bytosti

Michal Bída, Rudolf Kadlec, Cyril Brom¹

Abstrakt. Ačkoli jsou emoce neodmyslitelnou součástí kognitivních procesů lidí a pravděpodobně i vyšších zvířat, při vytváření počítačových modelů organismů jsou uplatňovány pouze zřídka. V příspěvku uvedeme některé psychologické teorie vysvětlující vznik a význam emocí a poté budeme z infromatického pohledu diskutovat přínosy umělých emocí pro modely organismů. Předložené teze budeme ilustrovat na dvou původních projektech.

1 Úvod

Emoce provázejí téměř každý aspekt naší činnosti. Díky nim víme, co se nám líbí a čemu se příště raději vyhneme. Usměrnují naše myšlení, ovlivňují pozornost a jsou nám zdrojem motivace. Vnější projevy emocí, jako třeba výraz obličeje nebo držení těla, dávají našemu okolí tušit, v jaké jsme náladě a jak s námi pro tuto chvíli jednat.

Je přirozené klást si otázku, zda by se mechanismy podobné emocím nedaly použít i ku prospěchu autonomních agentů případně počítačových systémů obecně. Možný přínos emocí vidíme zejména ve dvou oblastech:

- *Zlepšení výkonu autonomních agentů působících ve vysoce proměnlivých a nepřátelských prostředích:* Autonomním agentem rozumíme počítačový systém fungující v nějakém prostředí a schopný samostatně provádět akce tak, aby splnil úkoly, ke kterým byl zkonstruován [1]. Takovýmto agentem může být robot, postava z počítačové hry nebo simulovaná myš. Jelikož jsou proměnlivá a nepřátelská prostředí podobná našemu světu, kde emoce vznikly jako jeden z mechanismů adaptace [2] (str. 20), je logické domnívat se, že by mohly pomoci i autonomním agentům.
- *Zlepšení interakce člověka s počítačem* („Human Computer Interaction“ – HCI): Za prvé může být výhodné učinit počítačové systémy obecně schopné pracovat s lidskými emocemi. Umět odhadovat emoce člověka pracujícího se systémem a následně adekvátně zareagovat by mohlo pomoci zvýšit efektivitu práce stejně jako uživatelské pohodlí. Za druhé může být v určitých případech výhodné vytvářet určité softwarové systémy tak, aby ony samy projevy emocí imitovaly. Například v počítačových hrách by mohla tato imitace zlepšit uvěřitelnost simulovaných postav.

V prvním případě se skutečnými emocemi inspirujeme a vytváříme nové, umělé emoce. Umělé emoce se snaží postihnout základní charakteristiky a funkce skutečných emocí, ale jsou přizpůsobeny prostředí agenta a úkolům, které má vykonávat. V druhém případě se snažíme imitovat projevy lidských emocí nebo emoce podle jejich fyziologických projevů odhadovat.

V sekci 2 budeme nejprve hlouběji analyzovat funkce emocí v přírodě a zamyslíme se nad tím, které z nich by se daly přenést do prostředí agentů. Dotkneme se přitom vybraných teoretických modelů pracujících s emocemi ze světa psychologie i

¹ Katedra software a výuky informatiky, Matematicko-fyzikální fakulta Univerzity Karlovy v Praze, Malostranské nám. 25, Praha 1, 118 00, E-mail: michal.bida@seznam.cz, brom@ksvi.mff.cuni.cz.

informatiky. Možné přínosy emocí budeme analyzovat ze dvou hlavních hledisek – z hlediska HCI a z hlediska konstruování autonomních agentů. V sekci 3 poté ukážeme naše dva původní modely. První z nich je zaměřený na vytváření věrohodného chování protivníka z počítačové hry. Na druhém zkoumáme možný význam emocí pro učení.

2 Emoce a stroje

Vymezení pojmu emoce bývá často ovlivněno předmětem zkoumání a občas vede k nejasnostem. Pro nás budou *emoce* (podle [3]) vyjadřovat subjektivní vztah jedince k předmětům a jevům objektivní reality i k sobě samému, který je prožíván v široké škále pocitů od výrazně kladných, přes neutrální, až k výrazně záporným pocitům.

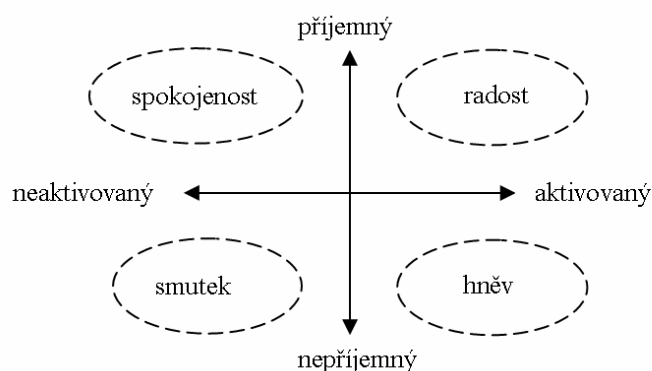
2.1 Přístupy ke zkoumání emocí

V současnosti jsou patrné dvě hlavní tendence ve studiu emocí – diskrétní přístup a dimensionální přístup.

Diskrétní přístup [4] popisuje vlastnosti jednotlivých funkčně oddělených (diskrétních) emocí. Emoce dělí na primární a sekundární. Primární chápe jako vrozené a většinou mezi ně řadí štěstí, hněv, smutek, strach, znechucení a zahanbení. Sekundární emoce pak vznikají směsicí primárních emocí a mohou být naučené, příklady jsou žárlivost, láska nebo závist.

Naproti tomu *dimensionální přístup* [5] (str. 14-15) pracuje s emocionálním prostorem definovaným pomocí různých dimenzí. Nejčastějšími dimenzemi jsou intenzita (aktivovaný – neaktivovaný) a valence (příjemný – nepříjemný). Emocionální stav je pak charakterizován polohou v emocionálním prostoru. Diskrétní emoce můžeme chápat jako určité oblasti v tomto prostoru.

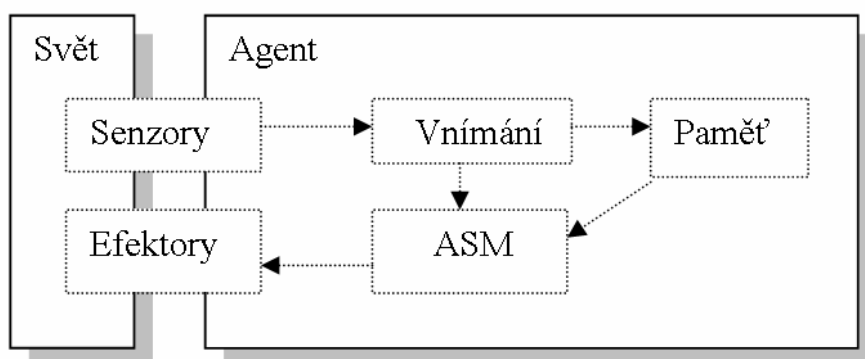
Ani jeden z výše zmíněných přístupů není universální teorií. Jsou to rozdílné pohledy na věc, které se spíše doplňují.



Obrázek 1. Vztah dimensionálního a diskrétního přístupu.

2.2 Možný přínos emocí pro autonomní agenty

Jaký může být přínos emocí pro autonomní agenty? Pro zodpovězení této otázky nejdříve zavedeme zjednodušený a velmi obecný model agenta, podíváme se, z jakých vrstev se skládá a jak pracuje. Poté se inspirováme funkcí emocí v živých organismech a navrheme jejich analogické uplatnění v našem modelu.



Obrázek 2. Typická architektura agenta

Obecnou architekturu agenta a jeho pracovní cyklus ilustruje obrázek 2. Agent nejdříve zjistí stav prostředí pomocí senzorů. Proces vnímání přeloží údaje ze senzorů do reprezentace, která je vhodnější pro další rozhodování (např. nalezení určitých objektů na obrázku z kamery). Na základě těchto údajů a faktů z paměti pak mechanismus výběru akcí („Action Selection Mechanism“ – ASM) vybere nejvhodnější akci, kterou agent provede svými efektory. Učící se agent navíc vyhodnotí efekt provedených akcí a podle toho upraví paměťové záznamy nebo další parametry svého modelu.

Nyní probereme, v čem a jak by mohly emoce na jednotlivých úrovních (vnímání, ASM, paměť a učení) výše popsaného modelu agenta pomoci. Jde spíše o nástin možností, nikoli o kompletní výčet.

Usměrnění vnímání a uvažování. U lidí je usměrnění vnímání a uvažování patrné zejména na vlivu strachu a hněvu. Tyto emoce způsobují, že některé podněty z okolí nevědomě přehlídíme, zatímco jiným věnujeme veškerou naši pozornost. Tento stav bývá označován jako tzv. „tunelové vidění“ [5] (str. 89-93). Zároveň se zužuje i náš akční repertoár.

Pro agenta mohou emoce plnit funkci filtru, který například v situaci vyvolávající strach potlačí nepodstatné podněty a umožní tím věnovat více výpočetní kapacity na hledání únikových cest nebo zdrojů potenciálního nebezpečí. Jednoduchý emoční filtr, který mění důležitost objektů podle nálady, se objevuje například v práci [6].

Rychlost ASM. U lidí je emoční zhodnocení nastalé situace velmi rychlé a předchází vyšším kognitivním procesům [7]. To umožňuje téměř okamžitou reakci na základě obecných rysů situace. Pozdější vědomé zhodnocení pak většinou naše jednání určitým způsobem koriguje.

Pro agenty může být tento mechanismus užitečný v prostředích, kde je důležitá rychlost reakce. Agent si v situaci ohrožení nemůže dovolit dopodrobna rozpracovávat plán úniku; musí zareagovat okamžitě. Pokud se bude cítit ohrožen, může okamžitě začít provádět obecný a tudíž jen přibližný plán úniku (pohybu se ve směru od nebezpečí) a teprve potom jej začít zpřesňovat (najdi dveře a ukryj se za ně). Emoce tak mohou sloužit jako heuristika.

Vztah emocí a paměti. Experimenty potvrzují, že si s větší pravděpodobností vybavíme událost, kterou jsme si zapamatovali ve stavu odpovídajícím našemu současnému rozpoložení [5] (str. 70-79). Tento jev bývá označován jako efekt kongruence s náladou. O jeho vysvětlení se pokusil například Bower [8]. Bower vidí paměť jako síť různých uzlů. Některé uzly odpovídají předmětům reálného světa (např. hrnek), jiné jsou svázány s emocemi (strach, štěstí atd.). Spoje mezi uzly vyjadřují, s jakou pravděpodobností si vybavíme předmět nebo emoci uzlu, pokud bude aktivní sousední uzel. Při souhlasné aktivaci dvou uzlů se spojení mezi nimi posílí. Jde vlastně o asociativní síť, ve které vystupují i emoce.

S ohledem na agenty vede existence tohoto jevu k myšlence využití emocí jako kontextu pro vyhledávání v paměti. Uzel pro hrnek může být aktivován tím, že agent právě vidí hrnek stát na stole. Pokud bude mít zároveň strach, spojení mezi uzly „hrnek“ a „strach“ se posílí. Aktivace se spojením může přelévat v obou směrech. Příště emoce strachu zvýší šanci, že si agent vzpomene na hrnek a naopak vizuální vjem hrnku u něj může vyvolat strach. V prvním případě emoce pomohou vybavit si vzpomínky získané v situaci, která byla alespoň v nějakém aspektu (zde stejném emocionálním stavu) podobná té současné. Agent si pod vlivem strachu začne vybavovat, co všechno zažil, když měl strach minule, a třeba mu to pomůže nalézt řešení jeho situace. V druhém případě vnější situace ovlivní emoce agenta a tím i jeho chování.

Učení a propojování znalostí. Pozitivní emoce pomáhají propojit nově získanou zkušenost se starou zkušeností, přispívají k nalézání souvislostí. Negativní emoce tuto vlastnost nemají, zkušenost pak často není zasazena do širšího kontextu. Tím se stane nedostupnou pro uvažování a bude zapomenuta [2] (str. 123).

Ve světě agentů se emocionální zhodnocení dá použít jako zdroj odměny při zpětnovazebním učení. To platí zejména pro prostředí, kde efekt akcí není známý. Příkladem je projekt CMatie [9].

Emoce by také mohly být použity jako heuristika, která nám řekne, kolik času se vyplatí věnovat kategorizaci nové zkušenosti.

Výše popsané přístupy předpokládaly přítomnost nějakého *emočního generátoru*, modulu, který na základě vnitřního stavu agenta a informací o stavu prostředí určí emocionální zhodnocení situace. Oprávněnost existence takového centra je podpořena neurologickými nálezy, které potvrzují důležitou roli amygdaly v emočním prožívání [7] (str. 72-75).

V informatice se objevuje ale i opačný přístup, který emoce chápe jako emergentní jevy složitého systému [10]. Například Minsky ve své koncepci myslí jako společenství specializovaných výpočetních jednotek („cloud of resources“) chápe emoce jako vyjádření stavu těchto jednotek (rádců) [11]. Emoce podle něj odpovídají aktivaci různých rádců. Pokud o agentovi řekneme, že je rozezlený, není to podle Minského proto, že by někde v jeho modelu byl nastaven přepínač hněvu na „zapnuto“, ale proto, že je aktivní určitá podmnožina rádců a zbylí rádcí jsou potlačeni.

2.3 HCI

HCI („Human-computer Interaction“) je interdisciplinární obor spojující informatiku s mnoha dalšími vědními obory, zejména psychologii, lingvistikou a sociálními vědami. Obecně řečeno obor zkoumá, jakými způsoby člověk může interagovat a jak interaguje

s počítačem. Z praktického hlediska to zahrnuje především návrh, výrobu a vyhodnocování rozhraní mezi člověkem a počítačem. Tato rozhraní mohou být jak hardwarová tak softwarová. Podrobnější definici HCI lze nalézt v [12].

V poslední době se obor HCI začíná soustřeďovat mimo jiné i na *virtuální lidi* (obrázek 3), což jsou počítačové programy, které imitují lidské chování ve virtuálním prostředí, a které disponují virtuálním tělem [13]. S virtuálními lidmi též úzce souvisí problematika emocí. Intenzivní výzkum v této oblasti probíhá například v rámci evropské sítě HUMAINE [14].



Obrázek 3. Příklad virtuálních lidí z virtuálního dramatu Façade. Přejato z [15].

Využití emocí z hlediska HCI můžeme rozdělit do dvou hlavních kategorií:

Schopnost odhadovat a kategorizovat emoce. Přínos odhadování a kategorizování emocí tkví v možnosti počítačových systémů (virtuálních lidí i aplikací obecně) přizpůsobit se emočnímu rozpoložení uživatele a zvýšit tak efektivitu práce, zábavy nebo učení. Analýza emocí se dá provádět například na základě čidel monitorujících fyziologický stav člověka nebo na základě textových promluv [20].

Schopnost imitovat emoce. Ve výukových simulacích, v počítačových hrách a v jiných aplikacích pracujících s virtuálními lidmi hraje klíčovou roli termín *uvěřitelnost*. Tento pojem má mnoho rovin. V kontextu emocí se jím rozumí míra toho, jak dobře daná postava imituje emoční jevy – tedy jestli je schopna transparentně vyjádřit svůj vnitřní emoční stav (obecně se termínem *uvěřitelnost* a podmínkami, které musí virtuální člověk splňovat, aby působil přesvědčivě, zabývá práce [16]).

V současné době probíhají například výzkumy zabývající se automatickým vyjadřováním emocí pomocí gestikulace a obličejového výrazu [17]. S tím souvisí otázka, jakým způsobem taková gesta nebo výrazy reprezentovat. V rámci skupiny HUMAINE probíhá projekt [19] s cílem vytvořit univerzální způsob zápisu těchto

projevů (základem je jazyk XML). Emoce ovšem mohou vyjadřovat nejen virtuální lidé, ale i roboti, jak ukazuje například projekt Kismet [18].

Obě zmíněné schopnosti spolu souvisí a mohou se doplňovat. Zejména pro autonomní agenty přímo interagující s člověkem by byly přínosné obě. Například pro graficky vtělené konverzační agenty (ECA – „Embodied Conversational Agent“) a pro „chatovací“ agenty (dorozumívající se s uživatelem jen pomocí textové konzole) bylo výhodné umět jak rozpoznávat emoce uživatele tak vyjadřovat emoce vlastní. Vyjadřování emocí zde může zahrnovat doprovodnou gestikulaci a obličejové výrazy při mluveném projevu (ECA) nebo změnu stylu a obsahu textových odpovědí (chatovací agenti).

Hlavní přínosy emocí pro obor HCI tedy vidíme zejména ve dvou oblastech. Zaprvé ve zlepšování uvěřitelnosti projevů virtuálních lidí ve výukových aplikacích, počítačových hrách a podobných programech. Zadruhé ve zlepšování schopnosti počítače rozpoznávat a odhadovat emoce člověka a na základě tohoto přizpůsobovat své chování.

3 Řešené projekty

V této sekci představíme dva původní projekty, které při modelování agentů využívají emoce. První projekt je používá ke zvýšení věrohodnosti protivníka z počítačové hry a spadá tedy pod kapitolu HCI. Druhý projekt se týká umělé inteligence; zkoumá možné provázání emocí a procesu učení.

3.1 Projekt UT Emotion Bots

Projekt emočních botů si kladl za cíl vytvořit uvěřitelný emoční model pracující v postavě v akční videohře. Akční hry typicky simulují dynamická a nedeterministická 3D prostředí (města, staré továrny ap.), ve kterých se pohybují antropomorfní postavy ovládané buď hráči nebo počítačem (viz obr. 4). Těmto postavám se říká *boti*. Cílem hry je splnit určitý úkol – dobýt základnu, získat vlajku soupeře atp. V této sekci budou popsány základní vlastnosti vyvinutého emočního modelu a nastíněny závěry prvních experimentů. Podrobnější shrnutí lze nalézt v práci [21].

Celková uvěřitelnost botů v akčních hrách je ovlivněna zejména dvěma faktory: zaprvé kvalitou grafického zpracování bota (jak dobře chodí, otáčí se, apod.), zadruhé uvěřitelností botových akcí z hlediska jeho motivů (například když je bot zraněn, měl by se pokusit utéct).

Grafické zpracování bota závisí zejména na vybrané platformě a v našem projektu mu nebyla věnována velká pozornost (vytváření kvalitních animací je časově náročné a vyžaduje dobré programové vybavení). Projekt se místo toho soustředil na vytvoření emočního modelu, který rozšířil běžné motivy botů z akčních her o aspekt emocí, jimiž jinak postavy z her většinou nedisponují.

Výsledkem projektu jsou mimo vlastní prototyp bota s emočním modelem také poznatky o tom, na jaké aspekty emočního modelu se při vývoji soustředit. Předjímáme, že se jedná o způsob kategorizace emocí a o adaptační schopnosti modelu. Na závěr sekce budou tyto aspekty rozebrány podrobněji.

Jako testovací prostředí pro bota jsme zvolili 3D svět z akční hry Unreal Tournament (UT). Výhoda UT je v tom, že má částečně otevřený kód, díky čemuž umožňuje kontrolovat agenta externími mechanismy, a že obsahuje bohatou škálu různých prostředí.

Projekt dále využívá softwarové platformy POGamUT [22]. V rámci ní je k prostředí UT připojena reaktivně plánovací architektura POSH („Parallel-rooted, Ordered Slip-stack Hierarchy“) [23], v níž je napsaná řídicí struktura bota. Vlastní emoční model je pak psán v jazyce Python [24].

Emoční model vychází z modelu A. J. Champandarda [25]. Jádrem modelu je, že všechny emoce jsou zjednodušeny na několik základních emocí dle Plutchikova kruhového modelu [4] (s drobnými úpravami). V rámci našeho modelu se pracuje se třemi základními entitami: emocemi, pocity a city:



Obrázek 4. Prostředí hry Unreal Tournament. Přejato z [26].

- *Emoce* – reprezentují déle trvající stav „mysli“ bota, pomocí nich zjišťujeme, jak se bot momentálně cítí (zda je šťastný, smutný apod.). Model obsahuje osm emocí ve čtyřech komplementárních párech – strach („fear“) a hněv („anger“), radost („joy“) a smutek („sorrow“), pýchu („pride“) a stud („shame“) a pobavenost („amusement“) a utahanost („weariness“). Emoce se mohou nacházet v základním stavu, středně excitovaném stavu a maximálně excitovaném stavu. V rámci komplementárního páru může být v excitovaném stavu jen jedna emoce, druhá je automaticky v základním stavu.
- *Pocity* – zprostředkovávají okamžitou reakci na stimuly z prostředí – lze je tedy chápat jako nízko-úrovňové. Na základě aktivních pocitů se poté mění emoce. Model obsahuje osm pocitů – překvapení („surprise“), očekávání („anticipation“), přitažlivost („attraction“), odpor („disgust“), bolest („pain“), potěšení („pleasure“), zmatenost („confusion“) a objevení („discovery“ – pocit při objevení nějakého nového objektu).
- *City* – reprezentují vztah bota k jiným objektům ve hře (především k ostatním hráčům a botům). City slouží jako další dodatečné hledisko při generování pocitů na základě herních událostí. Model obsahuje 4 city – přitažlivost („attraction“), odpor („disgust“), nenávisť („hatred“) a lítost („pity“).

Model pracuje následovně: Přímá reakce na změny v prostředí je zprostředkována pocity. Na základě pocitů se poté generuje případná změna emocí. Vždy dva aktivované pocity způsobují s určitou pravděpodobností zvýšení jedné emoce. Po zvýšení emoce jsou příslušné dva pocity nastaveny zpět na výchozí hodnotu nula.

City jsou asociovány k určitým objektům ve hře. V přítomnosti těchto objektů, jsou na základě citů generovány další nízko-úrovňové pocity, jež mohou následně ovlivnit emoce. City jsou generovány na základě statistik, které si bot během hry ukládá. Ve statistikách figurují i některé neměnné atributy, uveďme například přitažlivost (míra toho, jak se botovi daný objekt líbí). City jako takové představují vrstvu, pomocí které se model adaptuje na prostředí.

Ilustrujme nyní fungování modelu na příkladu. Řekněme, že bot byl zasažen střelou a je zraněn, aniž by v okamžiku zásahu viděl nějakého protivníka. Z prostředí UT přijde zpráva o zranění, na kterou se zareaguje vygenerováním pocitu „bolest“. Jelikož bot nikoho neviděl, kromě pocitu bolesti se vygeneruje také pocit „překvapení“. Kombinace pocitů bolesti a překvapení může situaci s určitou pravděpodobností způsobit zvýšení excitace emoce „hněv“.

Čím častěji je hněv stimulován, tím pravděpodobněji může přejít do vyššího excitovaného stavu. Na druhou stranu pokud by byla stimulována komplementární emoce ke hněvu – „strach“ – došlo by ke snížení pravděpodobnosti přechodu do vyššího stavu emoce hněv a ke zvýšení pravděpodobnosti přechodu do vyššího stavu emoce strach. Nemůže tedy dojít k tomu, že by byly obě emoce ve vyšším stavu. Pokud jedna do vyššího stavu přejde, pak stimulace komplementární emoce způsobí nejprve snížení první emoce do základního stavu a až následně zvýšení excitace komplementární emoce.

Hlavním projevem změny aktuálních emocí je změna chování bota. Tato změna může být velmi jednoduše implementována díky architektuře POSH. Změna chování zahrnuje zejména změnu způsobu, jakým bot vykonává jednotlivé akce. Konkrétně se jedná například o změnu stylu mluvy bota, změnu v jeho prioritách, případně také změnu jeho základních vlastností (přesnosti a rychlosti). Například při excitované emoci strach se bot bude snažit utéct už při prvním spatření protivníka.

Bot může mít zároveň aktivní chování jen pro jednu emoci. Komplementární páry emocí byly proto ohodnoceny určitou prioritou, která se používá při výběru mezi dvěma emocemi se stejnou úrovní excitace.

Vyhodnocení a parametrizace modelu

Ukázalo se, že z hlediska uvěřitelnosti emočního modelu (jak model reaguje pomocí změn emocí na události ve virtuálním prostředí) jsou důležité dva aspekty návrhu modelu. Tyto aspekty ovlivňují uvěřitelnost emočního modelu zásadním způsobem. Jedná se zprvu o zvolený způsob kategorizování emocí, zadruhé o adaptační schopnosti modelu. S těmito aspekty dále souvisí parametrizace modelu.

Kategorizace emocí. Způsob kategorizace emocí zahrnuje zprvu způsob, jakým se bude konceptuálně reprezentovat vnitřní emoční stav bota, a zadruhé způsob, jakým se budou vnější události „emočně“ hodnotit. Vybraný způsob kategorizace zásadně ovlivní schopnost emočního modelu zachycovat určité emoční jevy a dále dobu strávenou parametrizací modelu. Různé psychologické teorie nabízejí různé způsoby kategorizace emocí. Záleží pak jen na emočním modelu, zda bude obsahovat jen jeden přístup ke kategorizaci nebo zda zkombinuje přístupů více.

Kategorizace emocí našeho modelu se odvíjí od klasifikace Chamoparda [25]. Ukázalo se, že vytvořený emoční model je dostatečný z hlediska šíře emočních jevů, které je schopný ve hře zachycovat, ovšem na druhé straně jeho emoční zpracování vnějších událostí není příliš psychologicky plausibilní a čas strávený parametrizací modelu může být poměrně dlouhý [21]. Parametrizace je nutná z důvodu zamezení určitých negativních projevů použitého modelu: Zaprvé, při nevyvážené parametrizaci se některé emoce téměř neobjevují. Zadruhé, botův emoční stav může mít tendenci být labilní. S vyřešením těchto problémů úzce souvisí také adaptační schopnosti modelu.

Adaptační schopnosti modelu. Výzkumy ukazují, že adaptační schopnosti emočního modelu jsou klíčové pro zvýšení jeho uvěřitelnosti [29]. Adaptací se zde myslí změna emočních reakcí závislá na předchozích událostech v prostředí.

Při testování emočního modelu se ukázalo, že adaptační schopnosti modelu měly pozitivní vliv na celkovou uvěřitelnost (např. působilo věrohodně, když bot přednostně bojoval s hráči, kteří na něj útočili častěji). Adaptační schopnosti modelu zahrnují především vrstvu s city. Pro lepší výsledky by ale bylo vhodné adaptační schopnosti modelu dále rozšířit, například o emoční habituaci bota. Habituace by v kontextu emočního modelu UT Emotion bots znamenala postupné snižování emočních reakcí na často se opakující podněty.

Shrnutí

V rámci projektu UT Emotion Bots byly lépe stanoveny faktory, které ovlivňují uvěřitelnost bota v akčních videohrách. Dále byly lépe prozkoumány základní aspekty návrhu emočního modelu, na které je dobré se při vývoji soustředit. Přestože výsledky se primárně vztahují na oblast akčních her, domníváme se, že je lze aplikovat i v jiných typech aplikací pracujících s 3D světy s virtuálními lidmi, například ve výukových simulacích.

Mezi největší výhody emočního modelu UT Emotion Bots patří jednoduchá implementace a při úzkém spektru reprezentovaných emocí i únosně dlouhá parametrizace. Dále model obsahuje některé adaptační schopnosti (především vrstvy citů), které přispívají ke zvyšování uvěřitelnosti modelu. Největší nevýhodou je zejména nepříliš psychologicky plausibilní (a někdy též obtížně parametrizovatelné) emoční zhodnocení externích událostí.

Celková uvěřitelnost UT Emotion Bots bota byla negativně ovlivněna zanedbáním grafické stránky problému. Na ni by bylo třeba se soustředit v reálných projektech.

Zajímavé a v jistých ohledech propracovanější alternativy k emočnímu modelu UT Emotion Bots nabízí OCC model [27], Rosemanův model [28] nebo model FLAME [29]. Začlenění některých přístupů z těchto modelů do našeho emočního modelu je námětem do budoucna.

3.2 Emoce a učení – myš Algernon

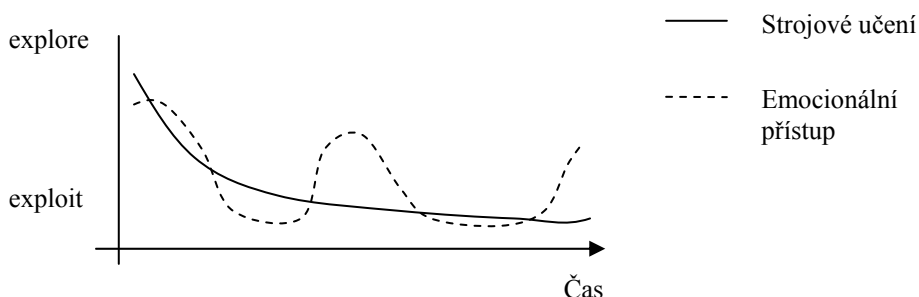
Cílem tohoto projektu bylo prozkoumat možný přínos emocí pro zpětnovazební učení („reinforcement learning“). V této sekci bude popsána základní architektura našeho modelového agenta – virtuální myši Algernon. Detaily implementace jsou popsány v [30].

Zpětnovazební učení je technika inspirovaná učením zvířat. Agent provede akci a za ni „dostane“ od prostředí odměnu nebo je potrestán. Ne vždy ale odměna přijde okamžitě, někdy je nutné k dosažení cíle provést celou sekvenci akcí. Aby takovéto sekvence mohly vznikat, je získaná odměna během učení distribuována i na předešlé akce.

Emoce u Algernon ovlivňují vyvážení mezi využíváním již nalezených strategií a průzkumem nových strategií („explore/exploit problem“). Hlavním cílem agenta není bezesbytku odhalit mechanismus fungování prostředí, agentovi stačí znát jen tolik, aby mohl úspěšně plnit zadané úkoly. Učení je pro agenta prostředkem, nikoli cílem.

S explore/exploit problémem se setkáváme i u algoritmů strojového učení. Úkolem algoritmů strojového učení je pochopit celý svět, projít všechny jeho stavy a vytvořit jeho úplný model. K tomu se často používají různé pravděpodobnostní metody, jako například simulované žíhání u neuronových sítí [31] nebo greedy algoritmus pro q-learning [32]. Jejich společným rysem je, že na začátku více prozkoumávají a ke konci už jen využívají.

Tento přístup však nemusí být pro agenty žijící v nehostinných prostředích vhodný. Fáze průzkumu může být příliš dlouhá. Agent musí brzy po začátku simulace začít uspokojovat své potřeby a nemá čas na podrobný průzkum. Idea použití emocí pro řešení explore/exploit problému je následující: agent se pokusí uspokojit svoje potřeby s tou znalostí, kterou již má, a uvidí, zdali byl skutečně úspěšný – jeho úspěšnost hodnotí (podobně jako u živých organismů) právě emoce. Pokud bude neúspěšný, prožívané emoce budou negativní a to agenta přiměje k hledání nových strategií. Rozdíl mezi navrhovaným přístupem k explore/exploit problému a přístupem běžným u strojového učení naznačuje Obrázek 5.



Obrázek 5. Závislost poměru mezi průzkumem a využíváním na čase. Strojové učení na začátku prozkoumává a postupně přechází k využívání. Emoce naproti tomu poměr adaptivně mění.

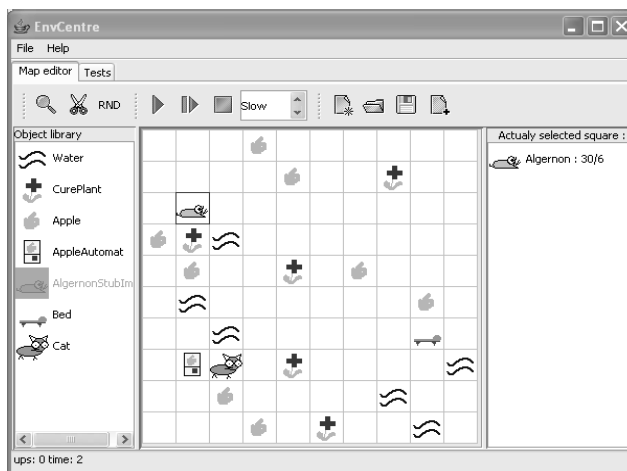
Naší tezí bylo, že adaptivní měnění poměru mezi průzkumem a využíváním, řízené emocemi, povede ke zvýšení efektivity agentova chování.

V zbylé části sekce bude nejdříve popsána neemocionální verze Algernon, její algoritmus výběru akcí a algoritmus učení a nakonec modifikovaná emocionální verze Algernon.

Algernon se snaží přežít v nehostinném světě inspirovaném prostředím Tobyho Tyrrella [33]. Naše implementace prostředí umožňuje vkládání nových, uživatelem vytvořených objektů i agentů (viz. obrázek 6). Svět a agenti fungují jako klient/server aplikace. Zvoleným programovacím jazykem byla Java.

Algernon pracuje v cyklu:

1. Vyber nejdůležitější chování.
2. Proved' akci, která je s ohledem na nejdůležitější chování nejvýhodnější.
3. Informuj paměť o odměně, již akce přinesla.



Obrázek 6. Prostředí, ve kterém je simulována Algernon

Chování odpovídají potřebám, které musí Algernon uspokojovat. Algernon se snaží získávat potravu, pít, udržovat si zdraví, odpočívat a také zkoumat své okolí. Nejdůležitější chování je vybráno na základě hodnoty aktivace – ta je funkcí interních a externích stimulů. Přirozeným interním stimulem je hodnota vnitřní proměnné, která s daným chováním souvisí. Vnitřní proměnné, s nimiž model pracuje, jsou energie, hladina vody, zdraví a únava. Například čím nižší bude energie, tím větší bude aktivace chování pro obstarávání potravy. Externí stimuly vyjadřují příležitosti, které nabízí samo prostředí.

Chování	Vnitřní proměnná
Obstarávání jídla	Energie
Obstarávání vody	Voda
Udržování zdraví	Zdraví
Odpočinek	Únava
Průzkum	bez vnitřní proměnné

Tabulka 1. Chování a jim odpovídající vnitřní proměnné

V současné verzi modelu může Algernon provádět akce: „sněž“, „napij se“, „odpočiň si“, „zmáčkni“, „jdi k“ a „jdi od“. Akce „jdi k“ a „jdi od“ mohou být provedeny na vzdálené objekty, ostatní akce jen na objekty v blízkosti myši.

Algernon si u každé akce pamatuje, jakou odměnu její provedení přinese bezprostředně a jakou odměnu může přinést v budoucnu. Okamžitou odměnou je zde chápána změna vnitřních proměnných, tedy čtveřice čísel, která odpovídá rozdílu vnitřních proměnných před a po provedení akce. Možná odměna je také čtveřice čísel; o jejich výpočtu píšeme níže.

Každý paměťový záznam má následující strukturu: [akce; typ objektu, na kterém má být akce provedena; okamžitá odměna; možná budoucí odměna].

Fungování mechanismu výběru akcí můžeme ilustrovat na následujícím příkladu. Necht' má Algernon žízeň i hlad, přičemž aktivace žízně je o něco málo větší než aktivace hladu. Vítězným chováním se tak stane pití a s ohledem na něj se bude vybírat další akce. Algernon si pamatuje, že na druhé straně mapy je tůň, a proto zvolí akci „jdi k tůni“. Nyní si představme, že Algernon cestou narazí na jablko. Jelikož se myš řídí interními i externími stimuly, může nyní dojít ke zvýšení aktivace potřeby jíst natolik, že se jedení stane nejdůležitějším chováním a pití bude odsunuto na druhé místo. To může Algernon ušetřit mnoho času a energie. Kdyby se totiž aktivace řídila jen interními stimuly, Algernon by jablko minula a pokračovala by k tůni. Teprve po uspokojení žízně, kdy by se nejdůležitějším chováním stalo obstarávání jídla, by se myš vrátila k jablku.

Aby ovšem tento jednoduchý koncept dobře fungoval, museli jsme Algernon vybavit dvěma speciálními interními stimuly: jedním je bonus za persistenci a druhým absolutní hodnota změny příslušné vnitřní proměnné (podle hesla „s jídlem roste chuť“). Konstantní bonus za persistenci si přičte pouze chování, které bylo posledním vítězem. To způsobí, že pravděpodobně vyhraje vícekrát za sebou, a proto bude moci provést delší sekvenci akcí. Tím se zvýší jeho šance na získání konečné odměny (kterou je v případě výše voda či energie získaná sněžením jablka). Absolutní hodnota změny vnitřní proměnné plní podobnou funkci jako bonus za persistenci. Kdyby tyto stimuly nebyly brány v potaz, v každém kole by mohlo vyhrát jiné chování a Algernon by vyhladověla uprostřed cesty mezi jablkem a tůní.

Ted' víme, jakými pravidly se řídí výběr nejdůležitějšího chování. Tento mechanismus je předem naprogramovaný a žádné učení v něm neprobíhá. Učení nastupuje na úrovni výběru akcí pro jednotlivá chování (až na chování pro průzkum, které je předem naprogramované).

Jak bylo řečeno, každému chování odpovídá jedna vnitřní proměnná (viz Tab. 1). Nejvhodnější akce se vybere podle složky odměny příslušející vybranému chování (např. pití si bude vybírat podle změny vody). Akce se seřadí podle okamžité odměny a chování se pokusí najít tu nejlepší, která se dá v současné pozici provést. Pokud se nedá provést žádná akce, která by okamžitě přinesla kladnou odměnu (např. „napij se vody“), tak se začne vybírat podle očekávané budoucí odměny akcí. Akce se opět setřídí a vybere se ta nejlepší proveditelná (např. „jdi k vodě“).

Odměna, kterou Algernon získá provedením akce, se proporcionálně distribuuje až na pět posledně provedených akcí. U posledně provedené akce se modifikuje hodnota okamžité odměny, u starších akcí hodnota možné budoucí odměny. Nejstarší akce dostane nejmenší díl odměny, zatímco předposlední největší. To umožňuje vytvářet sekvence typu „dojde k pasti na myši“, „zneškodni ji“ a „sněz sýr“. Tento přístup je opodstatněn myšlenkou, že předešlé akce dovedly Algernon do stavu, kde mohla provést akci přinášející skutečný užitek.

Náš algoritmus je v některých ohledech podobný známému algoritmu Q-učení [34]. Q-učení ale používá jiný mechanismus distribuce odměny a kromě samotného výsledku akcí si pamatuje i kontext, v jakém byly provedeny. Náš algoritmus je jednodušší než Q-učení, protože pracuje s menším stavovým prostorem. Kvůli tomu se Algernon nemůže naučit komplikovanější sekvence akcí, na druhou stranu učení probíhá rychleji.

Jakou roli v modelu hrají umělé emoce? Emocionální model Algernon vychází z dimenzionální teorie. Emocionální stav má jedinou dimenzi – valenci. Podmínkou pro užitečnost emocionálního modelu je, aby věrohodně hodnotil současný stav Algernon. Emocionální stav je pozitivně ovlivňován především úspěšností při plnění cílů aktivního chování, naopak negativní vliv má souběžná vysoká aktivace několika různých chování a neúspěch při jejich uspokojování – to se dá přirovnat ke stresu. Model se dále snaží postihnout některé základní charakteristiky přirozených emocí, jako například habituaci (zvykání na podněty) a saturaci (maximální hodnota jednotlivých dimenzí).

Provedené experimenty [30] naši hypotézu o užitečnosti emocí pro řešení problému explore/exploit potvrdily pouze částečně. V nepřívětivých prostředích (tedy v těch, kde se agenti dožívali nízkého průměrného věku) byla emocionální varianta Algernon lepší než neemocionální. V přívětivějších prostředích tomu bylo naopak. Tyto nejednoznačné výsledky přisuzujeme zaprvé příliš jednoduchému prostředí, ve kterém byla Algernon simulována, a zadruhé problémům s parametrizací modelu, které vedly k nestabilitě procesu učení. Nedostatek času nám bohužel nedovolil provést opakované pokusy s komplexnějším prostředím a lepší parametrizací procesu učení.

Přidáním emočního modulu jsme tak sice získali nástroj, jak ovlivňovat parametry učení a tím možná zlepšit výkon celého agenta, tento modul ovšem přináší řadu nových parametrů, jejichž manuální nastavení je nesmírně zdoluhavé. Nabízí se proto myšlenka pokusit se o automatickou parametrizaci pomocí genetických algoritmů.

4 Závěr

V tomto článku jsme přehledově shrnuli soudobé poznatky o významu emocí pro člověka a snažili se nalézt analogické využití emocí v doméně autonomních agentů a počítačových systémů obecně. Rozbor jsme prováděli ze dvou hledisek; jednak z hlediska zlepšení interakce mezi člověkem a počítačem (HCI) a jednak z hlediska lepší adaptace autonomních agentů na proměnlivá virtuální prostředí.

Předložené myšlenky jsme ilustrovali na původních projektech využívajících emoce na těchto dvou úrovních. Projekt UT Emotion Bots používá emoce jako prostředek pro zvýšení uvěřitelnosti chování protivníků v 3D akční videohře. Druhý projekt, myš Algernon, používá emoce jako prostředek zvyšující efektivitu agentova chování.

V oboru HCI spatřujeme možný přínos emocí zaprvé ve zlepšování uvěřitelnosti projevů virtuálních lidí ve výukových aplikacích, počítačových hrách a podobných programech, a zadruhé ve zlepšování schopnosti počítače rozpoznávat a odhadovat emoce člověka a na základě toho přizpůsobovat své chování. V oboru umělé inteligence by emoce zase mohly pomoci v konstrukci agentů určených pro „reálný svět“, tedy takových agentů, kteří se budou muset potýkat se zašuměnými vstupy, nejistotou a přemírou stimulů. Je ovšem třeba podotknout, že k praktickému využití systémů s umělými emocemi ještě povede dlouhá cesta – což koneckonců ilustrují i naše projekty.

Poděkování

Chtěli bychom poděkovat všem, kteří buďto radou, nebo kritickou poznámkou přispěli k napsání toho článku, zejména Ivě Stuchlíkové, Anně Českové a Ruth Aylett.

Tato práce byla částečně podpořena grantem GA UK 351/2006/A-INF/MFF, grantem GA UK 1053/2007/A-INF/MFF a grantem „Information Society“ pod číslem projektu: 1ET100300517.

Literatura

- [1] Wooldridge, M., Jennings, N. R.: Intelligent Agents – Theories, Architectures, and Languages. In: *Volume 890 of Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Springer-Verlag, 1995.
- [2] Stuchlíková, I.: *Základy psychologie emocí*, Portál, Praha, 2002.
- [3] Gillerová, I.: *Slovník základních pojmů z psychologie*, Fortuna, Praha, 2000.
- [4] Pluchik, R.: *Emotion: A Psychoevolutionary synthesis*, Haper & Row, New York, 1980.
- [5] Berkowitz, L.: *Causes and Consequences of Feelings*, Cambridge University Press, 2000.
- [6] Foltýn, L.: *Realization of Intelligent Agents Architecture for Artificial Life Domain*, Master thesis, Czech Technical University in Prague, 2005, 28 – 31.
- [7] Damasio, A.: *Hledání Spinozy: Radost, strast a citový mozek*, Dybbuk, Praha, 2004.
- [8] Bower, G. H.: Mood and memory. In: *American Psychologist*, 36, 1981, 129-148.
- [9] McCauley, L., Franklin, S.: An Architecture for Emotion. In: *Emotional and Intelligent: The Tangled Knot of Cognition*, Menlo Park, CA: AAI Press, 1998, 122 – 127.
- [10] Coutinho, E., Miranda, E. R., Cangelosi, A.: Towards a Model for Embodied Emotions. In: *Proceedings of the Workshop on Affective Computing: Towards Affective Intelligent Systems*, Covilhã, 2005.
- [11] Minsky, M.: *The Emotion Machine*, draft, [25.1.2007], web.media.mit.edu/~minsky/
- [12] ACM SIGCHI: Curricula for Human-Computer Interaction, 1992, [25.1.2007], www.sigchi.org/cdg/
- [13] Brom, C., Šisler, V., Hoffmann, M.: Virtuální lidé. In: (Mařík V., Štěpánková O., Lažanský J., eds): *Umělá inteligence 5*. Academia, Praha (v tisku)
- [14] HUMAINE: Human-Machine Interaction Network on Emotion, Network of Excellence in the EU's Sixth Framework Programme, in the IST (Information Society Technologies) Thematic Priority IST-2002-2.3.1.6 Multimodal Interfaces (2004-2008), www.emotion-research.net
- [15] Mateas, M., Stern, A.: Façade: An Experiment in Building a Fully-Realized Interactive Drama, In: *Game Developers Conference*, 2003.
- [16] Loyall, A. B.: *Believable Agents*. Ph.D. thesis, Tech report CMU-CS-97-123, Carnegie Mellon University, May 1997.
- [17] Hartmann, B., Mancini, M., Pelachaud, C.: Towards affective agent action: Modelling expressive ECA gestures. In: *Workshop on Affective Interactions at IUI 2005*, San Diego, 2005.
- [18] Kismet, [23.1.2007], www.ai.mit.edu/projects/humanoid-robotics-group/kismet/
- [19] Kopp, S., Krenn, B., Marsella, S., Marshall, A., Pelachaud C., Pirker, H., Thorisson, K., Vilhjalmsón, H.: Towards a Common Framework for Multimodal Generation in ECAs: The Behavior Markup Language. In: J. Gratch et al. (eds.): *Intelligent Virtual Agents 2006*, LNAI 4133, Berlin: Springer-Verlag, 2006, 205-217.

- [20] Zhang, L., Barnded, J. A., Hendlez, R. J., Wallington, A. M.: Affect Detection from Open-Ended Improvisational Text. In: *Proceedings of AISB 2006*, University of Bristol, III, 78 – 85, 2006.
- [21] Bída, M.: *Emoční boti v prostředí hry Unreal Tournament*, Bakalářská práce, Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze, 2006.
- [22] Brom, C., Gemrot, J., Bída, M., Burkert, O., Partington S. J., and Bryson, J. J.: POSH Tools for Game Agent Development by Students and Non-Programmers. In: *Proceedings of CGAMES 06*, Dublin, Ireland, 2006, 126 – 135
- [23] Bryson, J. J.: POSH (Parallel-rooted, Ordered Slip-stack Hierarchical) Reactive Plans, 2005, [25.1.2007], www.cs.bath.ac.uk/~jjb/web/posh.html
- [24] Python, [25.1.2007], www.python.org
- [25] Champandard, A. J.: *AI Game Development: Synthetic Creatures with Learning and Reactive Behaviors*, New Riders, 2003.
- [26] Epic MegaGames: Unreal Tournament, 1999, [9.4.2006], www.unrealtournament.com
- [27] Ortony, A., Clore, G. L., Collins, A.: *The Cognitive Structure of Emotions*, Cambridge University Press, 1988.
- [28] Roseman, I. J., Antoniou, A. A., Jose, P.E.: Appraisal Determinants of Emotions: Constructing a More Accurate and Comprehensive Theory. In: *Cognition and emotion*, 10, 1996, 241-277.
- [29] El-Nasr, M. S., Yen J., Ioerger, T.: FLAME - A Fuzzy Logic Adaptive Model of Emotions, In: *Autonomous Agents and Multi-agent Systems*, III, 2000, 219-257.
- [30] Kadlec, R.: *Adaptivní agenti a emoce*, Bakalářská práce, Matematicko-fyzikální fakulta, Univerzita Karlova v Praze, 2006.
- [31] Wikipedia: Simulated annealing - Wikipedia, the free encyclopedia [online]. 2006 [cit. 2006-05-19]. en.wikipedia.org/wiki/Simulated_annealing
- [32] Richard, S.: Generalization in reinforcement learning: Successful examples using sparse coarse coding. In: *Advances in Neural Information Processing Systems* 8, 1996, 1038-1044.
- [33] Tyrrell, T.: *Computational Mechanisms for Action Selection*, PhD thesis, University of Edinburgh, 1993.
- [34] Christopher, W.: *Learning from delayed rewards*, PhD thesis, University of Cambridge, Psychology Department, 1989.