

Episodická paměť pro virtuální postavy

Klára Pešková¹, Cyril Brom¹, Jiří Lukavský²

¹Karlova Universita, Matematicko-fyzikální fakulta
Malostranské nám. 2/25, Praha, Česká Republika

²Psychologický ústav Akademie věd ČR
Husova 4, Praha 1, Česká Republika

peskova@braille.mff.cuni.cz, brom@ksvi.mff.cuni.cz, lukavsky@praha.psu.cas.cz

Abstrakt

Episodická paměť je z psychologického hlediska pamětí na osobní události. Problematika episodické paměti v kontextu virtuálních lidí zatím nebyla příliš studována, navzdory tomu, že je poměrně klíčová pro věrohodnost postav z výukových simulací, virtuálního dramatu a určitého typu počítačových her. Postava bez episodické paměti například nedokáže odpovědět na otázku, co dělala včera, a bude mít problém s delším přerušováním úkolů, protože jí informace o přerušovaném úkolu vymizí z krátkodobé paměti.

Příspěvek předkládá původní symbolický model episodické paměti pro virtuálního člověka vycházející z Gibsonovy teorie afordancí a diskutuje prototypovou implementaci. Zabývá se jak aspekty uvěřitelnosti, například tím, jestli postava dokáže odvyprávět svůj „denní příběh“, tak technickými otázkami ohledně velikosti paměti a rychlosti přístupu. Příspěvek se též dotýká fenomenologického rozměru modelu.

1 Úvod

Pojmem *virtuální člověk* se obvykle rozumí počítačový program, který *imituje* lidské chování v *interaktivním virtuálním prostředí* a který disponuje *virtuálním tělem*, prostřednictvím něž vnímá a jedná. Virtuálním prostředím se pak rozumí určitá abstrakce našeho přirozeného reálného světa – většinou půjde o umělý 3D nebo 2D svět [1].

Doménou virtuálních lidí byly zejména počítačové hry. V posledních letech ale pronikli i do „užitečnějších“ aplikací; vystupují jako virtuální komparsisté ve filmu [1], jako aktoři ve výukových aplikacích [16], jako postavy z virtuálního vyprávěčství („virtual storytelling“) [17] či průvodci muzeem. Existují i pokusy o využití při terapiích, např. kognitivně-behaviorální terapii pro pacienty trpící sociální fobií [14].

Výzkum se v kontextu virtuálních lidí soustředí okolo pojmu *uvěřitelnost* („believability“). Ta má mnoho rovin – a podobně je mnohovrstevnatý výzkum. Klíčové otázky se vztahují zejména k řízení chování [např. 8], k umělým emocím [např. 3], k zobrazování 3D modelu postavy,

k simulaci chování davu [např. 25], k modelování sociálních vazeb [např. 18], ke generování příběhu v simulaci [např. 9, 24] a k problému komunikace mezi člověkem a virtuálním člověkem [např. 10]. Otázka episodické paměti v oblasti virtuálních lidí však zatím příliš zkoumána nebyla.

Episodická paměť je z psychologického hlediska pamětí na události (episodes) z vlastního života a typicky se váže k určitým konkrétním místům a okamžikům. Teoreticky ji oddělujeme od sémantické paměti, obsahující (osvojené) znalosti o světě. Zatím není známo, do jaké míry jsou mechanismy obou systémů na úrovni mozku podobné. Hlavní rozdíl mezi oběma systémy je v subjektivních prožitcích při ukládání a vybavování informací: v případě episodické paměti jsou informace vždy vázané k vlastní osobě a jejím prožitkům, u sémantické paměti považujeme zpracovávané údaje za neosobní – objektivní [11].

Vybavíme-li episodickou paměť virtuálního člověka, můžeme čekat, že dokáže zodpovídat (jakkoli v gramaticky nedokonalém formátu) na otázky typu:

- co jsi dělal včera odpoledne?
- kdy jsi naposledy viděl objekt *x*?
- co dělал dnes ráno tvůj soused?
- proč jsi včera dělал *z*?

Tato schopnost by přispěla k zvýšení uvěřitelnosti virtuálních postav, zejména v počítačových hrách, výukových aplikacích a virtuálním vyprávěčství. To je důvod, proč je vyvinutí episodické paměti pro virtuálního člověka cílem našeho výzkumu. Klíčovým problémem je vybalancování architektury paměti tak, aby na jednu stranu umožňovala rychlé vyhledávání informací (neboť aplikace s virtuálními lidmi pracují v reálném čase) a na druhou stranu aby paměť nebyla příliš velká (tzn. například neobsahovala příliš mnoho pomocných struktur urychlujících vyhledávání). Dílčím problémem je udržení koherence mezi pamětí a realitou, potažmo zapomínání, a emoční zhodnocení paměťových záznamů.

V předloženém příspěvku představujeme první verzi modelu episodické paměti, prototypovou implementaci a výsledky základních měření. Soustředíme se zejména na problém rychlého vyhledávání a velikosti, do paměti ukládáme záznamy týkající se činnosti vykonávané

postavou vybavenou pamětí. Zapomínání je zatím implementováno zjednodušeně. Problémy týkající se koherence a emočního zhodnocení událostí představují navazující práci a jsou v tomto textu pouze diskutovány, stejně jako rozšíření modelu, které by postavě umožnilo pamatovat si, co dělaly *jiné* postavy.

V kapitole 2 zmíníme příbuzné práce. V kapitole 3 popíšeme abstrakci světa, se kterou model pracuje, a mechanismus výběru akcí implementované postavy. Poté podrobně rozebereme model krátkodobé a dlouhodobé paměti. V kapitole 4 popíšeme prototypovou implementaci. V kapitole 5 předložíme výsledky dvou provedených testů. V závěru nastíníme možná rozšíření našeho modelu a dotkneme se fenomenologického rozměru modelu.

2 Příbuzné práce

Pokud víme, v současnosti v oblasti virtuálních postav existují o episodické paměti pouze práce [15, 23, 4]. Ta první se však zaměřuje na souvislosti paměti s přežitím postavy, čímž patří spíše do oblasti umělého života. Paměť jako taková je pak příliš nízkourovňová, než aby mohla sloužit k zodpovídání výše uvedených otázek. Do paměti z druhé práce lze zase ukládat pouze objekty a skupiny objektů.

Třetí práce je naše vlastní výchozí aplikace – projekt Enti – simulátor chování lidských bytostí vyvinutý na MFF UK. Paměť těchto bytostí umožňovala zodpovídat pestrou škálu otázek, měla ovšem dva problémy, o jejichž odstranění nám v současném výzkumu jde: Zaprvé postavy ukládaly do paměti kompletní stav okolí (tj. prostředí „snímkovali“), což je jednak nerealistické a jednak to zbytečně zvětšuje obsah paměti. Zadruhé měla paměť strukturu prostých Prologovských faktů, nad nimiž nebyly implementovány žádné rychlé vyhledávací algoritmy. Zodpovědět otázky typu: „držíš v ruce aspoň tři předměty?“ tak trvalo na běžném PC několik vteřin.

Významnou prací z oblasti kognitivních agentů je [22]; autoři se snaží universální kognitivní architekturu Soar [20] rozšířit o generickou episodickou paměť. Tato paměť je ovšem v duchu Soaru budována jako universální, což neumožňuje použít určité prvky specifické doméně virtuálních lidí, které mohou paměť zefektivnit. V budoucnu nicméně bude zajímavé porovnat výkonnost této paměti s naším modelem.

3 Model episodické paměti

Model episodické paměti úzce souvisí s pohybem virtuálního člověka ve světě – s tím, které činnosti vykonává a kterých předmětů si všímá. Proto v této kapitole nejprve popíšeme model světa a způsob, jakým se vybírají akce, které bude virtuální člověk vykonávat.

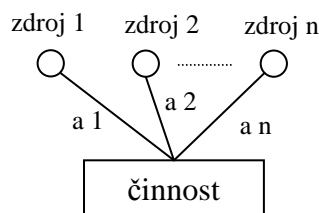
Teprve poté přejdeme k popisu modelu episodické paměti. Paměť má dvě složky, kterým se budeme věnovat postupně: krátkodobou a dlouhodobou.

3.1 Model světa a mechanismus výběru akcí

Úvodem je třeba zdůraznit, že jsme se v naší práci soustředili především na paměť jako takovou. Vlastnímu virtuálnímu světu a ostatním aspektům virtuálního člověka jsme se věnovali pouze v rozsahu bezprostředně nutném pro implementaci modelu paměti.

Abstrakce světa. Model paměti je zamýšlen pro diskrétní i spojitě virtuální světy. Pro účely prototypu jsme ovšem prostor i čas diskretisovali. Jedno kolo simulace představuje jednu minutu ve virtuálním světě. Prostor je reprezentován maticí místností 3x3, přičemž každá místnost je tvořena čtvercovou sítí 3x3 polí, na kterých mohou ležet různé předměty. Některé místnosti jsou propojeny dveřmi. V rámci zjednodušení v našem modelu virtuální člověk nechodí po místnosti, ale „dosáhne“ (a vidí) na všechny předměty v místnosti.

Representace chování vychází ze symbolicko-relační representace ISMA („intention – suitability – materialisation – advice“) [5,6], jež staví na Gibsonově teorii afordancí („affordances“) [12]. Jedná se o percepční teorii, která bývá označována jako ekologická v tom smyslu, že popisuje vnímání organismu na úrovni jeho interakce s prostředím. V jistém smyslu abstrahuje kognitivní procesy, přesněji zahrnuje je do procesů percepčních, což představuje přesně tu úroveň abstrakce, která je vhodná pro simulace virtuálních lidí. Zjednodušeně řečeno Gibson tvrdí, že máme (lidé a zvířata) tendenci vnímat svět nikoli prostřednictvím fyzických vlastností objektů (má to čtyři nohy, desku a opěradlo, tudíž jde o židli), nýbrž skrze afordance. To jsou jakési nabídky, které nám prostředí činí. Teorie dále tvrdí, že jsou afordance vnímány přímo, tedy jinými slovy – metaforicky –, že přímo vnímáme smysl objektu, to jest k čemu se hodí, nikoli objekt samotný.



Obr. 1. Činnost má určeno, jaké afordance jsou potřeba k jejímu splnění. K afordancím (a 1 až a n) jsou v průběhu simulace připojovány předměty (zdroje činnosti). Každá činnost může mít 0 až n zdrojů.

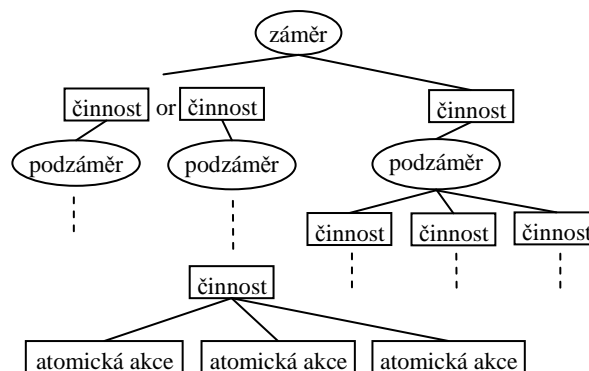
Myšlenka afordancí je přenesena do modelu následovně. Virtuální člověk může provádět tzv. *činnosti*. Ty mají určeno, které typy předmětů potřebují k tomu, aby mohly být provedeny. Pro každý typ předmětu činnost disponuje *slotem*. Na sloty poukazují konkrétní předměty (Obr. 1). Tomuto „poukazu“ říkáme *afordance* (sloty si lze představit jako parametry, za které je možné dosadit jednotlivé proměnné – předměty). Pokud se virtuální člověk rozhlíží, vidí přímo afordance předmětů. Předmět může mít (a typicky má) více afordancí. O předmětech tedy lze hovořit jako o entitách, které „nabízí“ činnosti, na něž poukazují (například jablko nabízí, že ho lze sníst – „eatability“ – nebo že s ním lze házet – „throwability“).¹

Hlavní výhodou tohoto modelu je možnost jednoduše rozšiřovat prostředí. Pokud přidáme do prostředí nový druh předmětu, stačí definovat jaké má afordance. Virtuální člověk se nemusí složitě učit, k čemu předmět slouží a může ihned nový předmět používat k plnění svých cílů.

Řízení virtuálního člověka. Modelovaný virtuální člověk je řízen hierarchickým reaktivním plánováním. Jedná se o jeden z možných způsobů řízení autonomních agentů. Agent nemá předem určenou žádnou sekvenci akcí, které by vedly ke splnění cílů. Rozhoduje se reaktivně, v závislosti na okolnostech, které ve světě nastaly, a podle změn svých interních vlastností. Díky tomu agent může reagovat i na zásahy do světa „zvenčí“ (například na změny, které ve světě provede jiný agent, nebo které ve světě provede uživatel).

Pokud chce virtuální člověk něco provádět, říkáme, že má určitý *záměr*. Záměry jsou realizovány právě prostřednictvím činností. Ke splnění jednoho záměru je potřeba splnit jednu činnost (za předpokladu, že nedojde k chybě), typicky ovšem máme na výběr mezi více různými činnostmi. Například záměr „jíst“ může být splněn dvěma různými činnostmi – „uvařit večeři“ a „jít do restaurace“. Další činnosti se použijí v případě, že prvně vybraná činnost selže.

Při splňování činností dochází ke vzniku dalších záměrů, či přesněji řečeno podzáměrů. Vzniká tak AND-OR strom, který má v kořeni původní záměr, listy jsou tvořeny atomickými akcemi, které lze provést v jednom kole simulace, a na cestě z kořene do listu se pravidelně střídají záměry a činnosti (Obr. 2).



Obr. 2. AND-OR strom – hierarchie záměrů a činností.

Chování modelovaného virtuálního člověka je reprezentováno lesem takových AND-OR stromů. Kořen každého stromu představuje jeden možný tzv. *hlavní záměr*. Jejich množina je předem známá. Každý hlavní záměr má předem definovanou svojí *aktivitu* – funkci v čase, která určuje, jak moc chce virtuální člověk daný záměr splnit. V určitém čase virtuální člověk vykonává ten záměr, který má v tomto čase nejvyšší aktivitu – tento záměr označujeme jako *aktivní*.

3.2 Krátkodobá paměť

Krátkodobá paměť slouží k ukládání informací po dobu několika málo minut, většinou po dobu provádění určité činnosti. Její charakteristiky v hrubém přiblížení odráží základní vlastnosti lidské krátkodobé paměti. Paměť byla navržena tak, aby se do ní ukládaly pouze relevantní informace – tj. informace, které jsou pro virtuálního člověka důležité, jinými slovy projdou *filtrem pozornosti*. Nepodstatné informace ze svého okolí virtuální člověk vůbec nebere na vědomí. To mu za prvé umožňuje více se soustředit na věci, které jsou pro něj důležité, a za druhé výrazným způsobem zmenšuje velikost paměti (oba body v posledku snižují výpočetní náročnost algoritmů).

Krátkodobá paměť se skládá ze tří částí – percepčního pole, procesní části a paměťové části. Do percepčního pole se ukládají „odrazy“ předmětů z vnějšího světa, které postava vnímá, tzn. jejich afordance, pozice a stav. Tyto kopie jsou deiktické neboli index-funkční jednotky (tzn. odkazující k vnějšímu objektu) ve smyslu [1] a v modelu ISMA jim říkáme *fantomy*. V procesní části jsou činnosti, které chce virtuální člověk vykonat nebo které právě vykonává. Paměťová část je analogií percepčního pole pouze s tím rozdílem, že se v ní nachází fantomy předmětů zrekonstruované z dlouhodobé paměti.

¹ Oproti původní reprezentaci ISMA [5, 6] dochází k jistému zjednodušení: nepracujeme s vhodnostmi a radami. Rovněž poukaz předmětu na slot činnosti je označován jako afordance pouze v tomto článku.

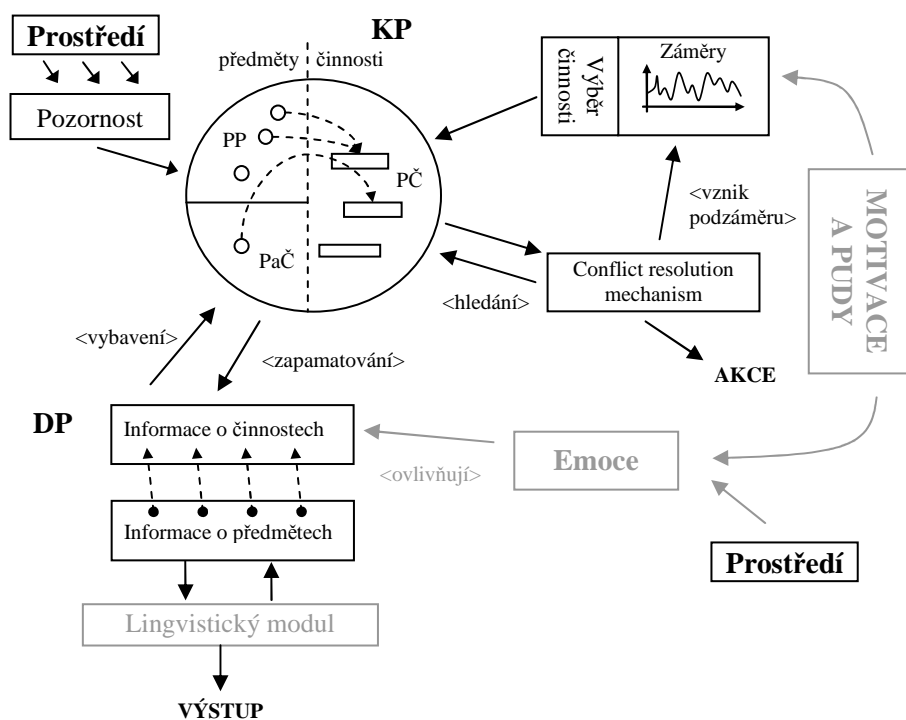
Procesní část. Pokud se v procesní části objeví činnost, znamená to, že ji postava chce vykonat, tj. že na ni „myslí“. V procesní části může být více činností, ale vždy je pouze jedna z nich *aktivní* – ovlivňuje v tomto kole výběr akce či podzáměru postavy. Ostatní nazýváme *preaktivní*.

Do procesní části se generují činnosti dvěma způsoby. Zaprvé jako výsledek procesu *výběru činnosti* k záměru (viz Obr. 2) – to jsou činnosti, které postava chce vykonat. Zadruhé se může činnost objevit spontánně jako reakce na nějakou událost, např. spatření zajímavého předmětu (viz níže). Pokud je ovšem tato spontánně evokovaná činnost dlouho *preaktivní*, tzn. pokud se neprosadila mezi ostatními činnostmi v procesní části, po deseti kolech z krátkodobé paměti opět vymizí („fade-out“).

Percepční pole. Do percepčního pole se ukládají fantomy předmětů, které projdou filtrem pozornosti. To mohou být buď předměty, které virtuální člověk *aktivně* vyhledal, protože je potřebuje pro splnění nějaké činnosti v procesní části (a to aktivní nebo i *preaktivní*), nebo předměty, které ho *pasivně* zaujaly, neboť jsou obecně

zajímavé. Vyhledáním se rozumí *aktivní vnímání*, tj. rozhlížení se za účelem spatření věci s určitou afordancí. *Zajímavost* předmětu se skládá ze dvou složek – statické a dynamické. Statická zajímavost je pro každý předmět pevně definovaná a neměnná (např. jasně červený předmět je zajímavý). Dynamická část se mění v závislosti na záměrech virtuálního člověka (např. jestliže chce splnit činnost „sněž něco jedlého“, zajímavost jedlých věcí se zvětší).

Pokud je do percepčního pole vložen fantom, který byl aktivně vyhledán, je automaticky přiřazen ke všem činnostem z procesní části, k jejichž splnění by mohl být použit. Pokud je do percepčního pole vložen fantom zajímavého předmětu, jsou do procesní části přidány všechny činnosti, na které předmět poukazuje. Pokud tedy má virtuální člověk hlad a rozhodne se ho utiшит tím, že něco sní, a spatří jablko, fantom jablka poukáže na činnost „sněž něco jedlého“. Pokud jde člověk náhodou kolem jablka a to ho zaujme, objeví se v procesní části jak činnost „sněž něco jedlého“, tak „hod něčím, čím lze házet“. Tak se může stát, že virtuální člověk vykoná i jiné činnosti, než které odpovídají základním.



Obr. 3. Celková architektura našeho virtuálního člověka. KP – krátkodobá paměť, DP – dlouhodobá paměť, PP – percepční pole, PČ – procesní část krátkodobé paměti, PaČ – paměťová část krátkodobé paměti. Fantomy jsou znázorněny kroužky, poukazy na sloty činností čárkovanou šipkou. Šedivě znázorněné moduly nejsou zatím implementovány. Emoce mohou ovlivňovat retenci informací v paměti. Lingvistický modul slouží k vytváření vět o tom, co postava dělala na základě informací z paměti.

Pokud virtuální člověk přejde do jiné místnosti, přestane okamžitě vnímat předměty, které byly v původní místnosti, a tyto jsou odstraněny z percepčního pole. Pokud virtuální člověk nějaký předmět vnímá, ale nepoužívá ho (předmět není přiřazen k žádné činnosti), dochází k tzv. habituaci – virtuální člověk si na podnět zvyká, věnuje mu stále menší pozornost a předmět je po deseti kolech z percepčního pole úplně odstraněn. Kapacita percepčního pole je teoreticky neomezená, ovšem díky výše popsaným procesům počet fantomů obvykle nepřekročí 10 (srov. s [19]).

Paměťová část. Fantomy v paměťové části představují vzpomínky na objekty zrekonstruované z dlouhodobé paměti během procesu *vybavování*. Tento proces je volán tehdy, pokud postava chce splnit nějakou činnost z procesní části, ovšem z percepčního pole na ni nepoukazuje žádný fantom (pokud není záznam nalezen ani v dlouhodobé paměti, postava začne předmět hledat náhodně).

Dále se fantomy v paměťové části chovají analogicky fantomům z percepční části, pouze nejsou zapomínány okamžitě při přechodu mezi místnostmi, a naopak jsou odstraňovány, pokud se ukáže, že nejsou validní (předmět není tam, kde měl být).

Pokud shrneme, mechanismus výběru akcí a jejich provádění je následující:

Výběr akcí a jejich provádění:

- 1) K aktivnímu záměru je vybrána činnost, kterou se bude záměr splňovat, tato činnost je přidána do procesní části krátkodobé paměti.
- 2) Pokud jsou v percepčním poli předměty, které je možné použít ke splnění činnosti (mají požadované afordance), poukážou na sloty činnosti.
- 3) Z činností v krátkodobé paměti je vybrána aktivní činnost, která se bude vykonávat; ostatní zůstávají preaktivní.
- 4) Pokud jsou v percepčním poli všechny předměty potřebné k vykonání činnosti, činnost se vykoná. Skoč na krok 1
- 5) Pokud zdroje činnosti nejsou v percepčním poli, vznikne nový záměr, jehož cílem je nalezení předmětu s požadovanou afordancí.
- 6) Nově vytvořený záměr dědí aktivitu a ostatní vlastnosti svého rodičovského záměru; v příštím kole soupeří s ostatními záměry.
- 7) Skoč na krok 1

3.3 Dlouhodobá paměť

V dlouhodobé paměti jsou zaznamenány informace o polohách předmětů a provádění činností tak, aby bylo možné zodpovědět následující otázky:

Co jsi dělal v časovém intervalu (A,B)?

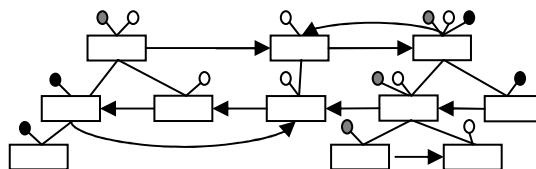
Kde byl předmět X v časovém intervalu (A,B)?

Kde jsi naposledy viděl předmět X?

Kdy jsi prováděl činnost P?

Virtuální člověk je především schopen převyprávět, co dělal v určitém časovém intervalu. U starších událostí si nepamatuje všechny detaily činností („jedl jsem“ vs. „hledal jsem jablko, pak jsem ho sebral, pak jsem ho snědl“). Model teoreticky dokáže paměť zodpovědět i na otázku „proč“ („protože jsem měl hlad“), neboť postava chápe základní souvislosti mezi záměry a činnostmi díky AND-OR stromům reprezentujícím chování (má záměr a k němu vybírá nejvhodnější činnost). Tato „kausální inference“ však zatím není implementována.

Ukládání. Do dlouhodobé paměti jsou zaznamenávány informace právě z krátkodobé paměti. V paměti je zaprvé zaznamenán strom všech činností, které virtuální člověk v průběhu simulace prováděl. Zadruhé jsou ke slotům činností přiřazovány poukazy od fantomů předmětů, které byly při splňování činností použity (Obr. 4). Činnosti jsou propojeny ukazateli s informací o čase, kdy byly přidány do procesní části krátkodobé paměti. Přidání záznamu o činnosti do dlouhodobé paměti tak fakticky znamená pouze přiřazení poukazů mezi fantomů a sloty činností a vytvoření časového ukazatele od poslední činnosti v paměti na nově přidávanou činnost.



Obr. 4. Uspořádání činností v paměti. Kroužky znázorňují fantomy, obdélníky činnosti, šipky časové ukazatele mezi činnostmi.

Vyhledávání. Virtuální člověk je schopný v paměti díky její struktuře efektivně vyhledávat informace. Je schopen jednak využívat informace ze své paměti k zefektivnění svého pohybu po světě a jednak odpovídat na otázky, které se týkají jeho minulosti. Obě tyto skutečnosti velkou měrou přispívají k věrohodnosti virtuálního člověka.

Zejména je paměť optimalisovaná na vyhledávání informací o tom, který typ předmětu se naposledy používal jako zdroj činnosti a kde to bylo. Tyto informace postavě pomáhají při plnění jeho záměrů, a jak ukazují naše testy (Kap. 5), vedou k poměrně výraznému zrychlení. Dále dokáže virtuální člověk poměrně efektivně odpovídat na otázky popsané výše týkající se jeho minulých aktivit.

Zapomínání. Jednou z důležitých částí modelu paměti je zapomínání. Za prvé zapomínání zabraňuje tomu, aby velikost paměti stále rostla, za druhé zvyšuje důvěryhodnost virtuálních lidí. Zřejmě čím starší je informace v paměti, tím méně detailů si o ní pamatujeme, pokud jde ale o informaci, která v nás vyvolala silné emoce, je pravděpodobné, že si ji budeme pamatovat i po velmi dlouhé době, včetně všech detailů. Stejně tak by to mělo být i v případě virtuálních lidí.

V našem modelu probíhá zapomínání formou „konsolidace“ vždy o půlnoci. Z paměti odstraníme nejnižší patro stromu činností, tj. zapomeneme detaily provádění činností.

Abychom se více přiblížili zapomínání v lidské paměti, plánujeme v budoucnu realizovat zapomínání založené na emocích. Toto rozšíření modelu budeme podrobněji diskutovat v závěru článku.

4 Implementace

Testovací program, na kterém jsme ověřili funkčnost představeného modelu paměti a provedli základní testy, jsme implementovali v jazyce Python. V naší aplikaci jsme se snažili co nejvěrněji namodelovat v naší aplikaci reálné situace, ve kterých se virtuální člověk může ocitnout ve virtuálním vypravěčství, výukové aplikaci nebo počítačové hře s příběhem. Za tím účelem jsme především potřebovali, aby naše testovací virtuální postava byla obklopena velkým množstvím předmětů, vykonávala pestrout paletu úkolů a aby svět byl dynamický.

Svět. Jak bylo již uvedeno, svět, ve kterém se modelovaný virtuální člověk pohybuje, tvoří dvou-rozměrná čtvercová síť velikosti 9x9 polí. Svět je rozdělen na 9 místností (velikosti 3x3 pole), které jsou propojeny dveřmi (Obr. 5). Virtuální člověk může mezi místnostmi přecházet. V rámci zjednodušení v našem modelu virtuální člověk nechodí po místnosti, ale „dosáhne“ na všechny předměty v místnosti.

V místnosti může být libovolný počet předmětů. Každý předmět má určenou svoji afordanci (nebo více afordancí), polohu a statickou a dynamickou složku zajímavosti.

Aplikace umí simulovat několik dní času virtuálního světa. Den trvá 24 hodin, jedno kolo simulace trvá 1 minutu.

Ve světě se nevyskytuje žádný další virtuální člověk, jeho přítomnost je ale imitována prostřednictvím dynamiky světa.

Dynamika prostředí. Snažili jsme se vytvořit svět, který by modeloval prostředí, ve kterém se pohybuje více osob – ať už hráčů nebo ostatních virtuálních lidí.

Dynamika světa přítomnost dalších lidí modeluje. Určuje, jak moc se okolní svět mění bez příčinné zkoumaného agenta. Dynamika světa zahrnuje náhodné přibývání předmětů, mizení předmětů a přemísťování předmětů. Předměty se mění (přibývají, mizí a přemísťují se) náhodně během celého experimentu:

- Na začátku dne se podle následujícího vztahu určí počet předmětů, které se v průběhu dne změní:

$$\text{počet změněných předmětů} = \text{počet všech předmětů na začátku dne} * \text{dynamika}$$

- Náhodně se vyberou kola, ve kterých dojde ke změně nějakého předmětu.
- Ve vybraných kolech se náhodně rozhodne mezi smazáním, přidáním a přemístěním předmětu.
- V případě přidání předmětu se náhodně vybere typ předmětu a vygeneruje se pozice, na kterou se předmět přidá.
- V případě smazání a přemístění předmětu závisí pravděpodobnost toho, že bude změněn konkrétní předmět, na tom, jak často se předmět používá, tj. kolikrát byl sebrán virtuálním člověkem a kolikrát byl přemístěn. Pravděpodobnost vybraní předmětu X je určena vztahem:

$$p_{st}(X) = \frac{pickedUp(X) + moved(X)}{\sum_{x \in Things} (pickedUp(x) + moved(x))}$$

kde $pickedUp(X)$ je počet sebrání předmětu X virtuálním člověkem v průběhu simulace, $moved(X)$ je počet samovolných přemístění předmětu X .

Kromě toho, že se předměty ve světě mění automaticky v rámci dynamiky prostředí, může uživatel měnit předměty ručně – může je přemísťovat, přidávat a odstraňovat a sledovat reakce virtuálního člověka na tyto změny.

Virtuální člověk. Jelikož cílem naší práce nebylo simulovat umělý život, virtuální člověk nemá implementovány žádné motivace ani pudy („drives“) – nemusí se starat o zajištění svých životních potřeb jako je

přijímání potravy, rozmnožování a pod. V tomto ohledu je „nesmrtelný“.

Záměry. Záměry jsme se snažili zvolit tak, aby věrohodně napodobovaly činnost člověka. Virtuální člověk v průběhu dne vykonává sedm *neměnných akcí*. Tyto akce si můžeme představit například jako akce nutné k zajištění biologického fungování člověka – např. jídlo, spánek –, nebo jiné činnosti, které člověk dělá pravidelně každý den přibližně ve stejnou dobu – např. cestu do práce, nebo pravidelnou obchůzku sřezaného území. Záměry neměnných akcí mají předem stanovenou aktivitu jako funkci času.

Navíc má virtuální člověk v průběhu dne vykonat tři *běžné akce*, které simulují přítomnost ostatních virtuálních lidí. Běžné akce virtuální člověk vykonává každý den, ale neví, ve které části dne bude potřeba akci vykonat. Tyto akce jsou náhodně vybrány ze seznamu náhodných akcí a je jim náhodně vygenerován čas, kdy mají být splněny, a míra jejich důležitosti. Může to být například prodání novin kolemjdoucímu.

V průběhu každého dne navíc virtuální člověk provede jednu *překvapivou akci*, což je akce, kterou virtuální člověk v běžném dni neprovádí, tudíž na ni není nijak předem připraven (v paměti nejsou obsaženy žádné

informace, které by zefektivnily provedení překvapivé akce). Překvapivá akce je každý den experimentu jiná.

Neměnné, běžné i překvapivé akce lze jednoduše parametrizovat.

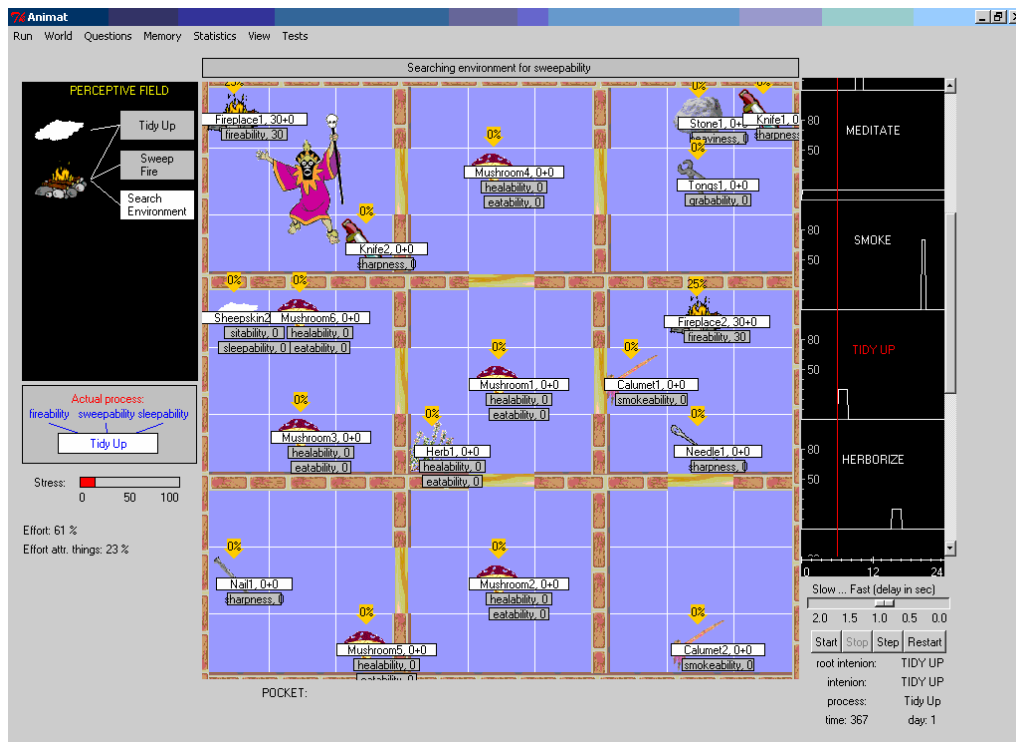
Paměť. Předměty v paměti jsou organizovány ve slovníku („hash“), což umožňuje nalézt polohu předmětu v konstantním čase. Také činnosti jsou v paměti organizovány ve slovníku.

Čas potřebný na zodpovězení otázky „kde je zdroj činnosti?“ závisí na počtu afordancí činnosti, což je zpravidla malé číslo (v řádu jednotek). Na otázku lze tedy odpovědět v čase $O(1)$.

Pro vypsání činností provedených v časovém intervalu (t, s) je potřeba najít prvně provedenou činnost v tomto intervalu (konstanta c) a pomocí časových ukazatelů vypsát další činnosti (kterých je n). Čas této operace je $O(n + c)$.

„Kde byl předmět X v časovém intervalu (t, s) ?“ – je potřeba prohledat všechny záznamy týkající se předmětu X , čas potřebný na zodpovězení této otázky je tedy $O(n)$, kde n je počet záznamů týkajících se předmětu T .

Na otázku „kdy jsi prováděl činnost P ?“ lze díky uspořádání činností do slovníku odpovědět v konstantním čase.



Obr. 5. Ukázka z prototypové aplikace.

5 Testy

Hlavním cílem testů bylo učinit rozhodnutí, zda má smysl episodickou paměť pro virtuální lidi implementovat. Podotýkáme, že se jedná o předběžné testy.

Prvním dílčím cílem testů bylo zjistit, zda použití episodické paměti vede ke zlepšení chování virtuálního člověka ve světě z hlediska času, který je nutný pro splňování záměrů. Tento čas je v naší simulaci ovlivněn délkou hledání předmětů potřebných k provedení koncové činnosti (např. k nalezení jablka, které lze sníst). Provedení různých instancí koncových činností pak vždy trvá stejně dlouho.

Druhým dílčím cílem bylo zjistit velikost dlouhodobé paměti v porovnání s modelem triviální paměti, do které se v každém kole zaznamenávají fantomy všech předmětů, které se nacházejí ve stejné místnosti jako virtuální člověk.

Konkrétní scénář. Pro účely testů jsme vytvořili konkrétního virtuálního člověka – šamana. Šamana si lze představit jako postavu z počítačové hry. Návrhem záměrů jsme se snažili co nejvíce přiblížit možným činnostem, které by postava šamana prováděla:

Šaman sedí ve své chýši a rozjímá. Provádí neměnné akce, jako je spánek, jídlo, úklid chýše; každé ráno se umyje, každé odpoledne se vydává sbírat byliny a večer kouří rituální dýmku.

Během dne k šamanovi přijdou tři virtuální lidé a žádají ho o pomoc. Šaman umí léčit bolavé zuby, vyléčit jakoukoliv nemoc pomocí léčivých bylin, předpovídá budoucnost, umí vysílat informace vzdáleným členům kmene pomocí kouřových signálů, nebo vyrobit voodoo panenku.

Kromě výše popsaných aktivit je šaman nucen čelit nepředvídatelným událostem. Musí být schopen uhasit požár, bojovat se šamanem ze sousedního kmene nebo připravit chýši na příchod silné bouře.

Konkrétní parametry experimentu a záměrů jsou uvedeny v Tab. 1 a 2.

# předmětů celkem	50	# typů předmětů:	17
# typů záměrů celkem/ instancí záměrů proved. během jednoho dne	neměnné: 7/7	běžné: 3/5	překvapivé: 1/3
Prům. hloubka AND-OR stromu	2.13 záměry + 2.13 činnosti		
Prům. # slotů jedné činnosti	1.4		
Prům. # afordancí na objekt	1.2		

Tab. 1. Základní parametry simulace

Jméno	Typ	Hloubka (činnost/záměr)	Trvání (hod.)	Aktivita (1 den)
Spát	neměnný	2/2	7	
Jíst	neměnný	2/2	1	
Umýt se	neměnný	2/2	1	
Meditovat	neměnný	2/2	24	
Kouřit	neměnný	2/2	0.5	
Uklízet	neměnný	3/3	1.5	
Sbírat byliny	neměnný	2/2	1.5	
Vyrobít voodoo panenku	běžný	2/2	0.5 – 2	náhodně
Kouřové signály	běžný	3/3	0.5 – 2	náhodně
Předpovídat budoucnost	běžný	2/2	0.5 – 2	náhodně
Léčit	běžný	2/2	0.5 – 2	náhodně
Léčit zub	běžný	2/2	0.5 – 2	náhodně
Uhasit oheň	překvapivý	2/2	0.5 – 2	náhodně
Bojovat	překvapivý	2/2	0.5 – 2	náhodně
Čelit větru	překvapivý	2/2	0.5 – 2	náhodně

Tab.2. Záměry šamana. Aktivita je vyjádřena jako funkce času.

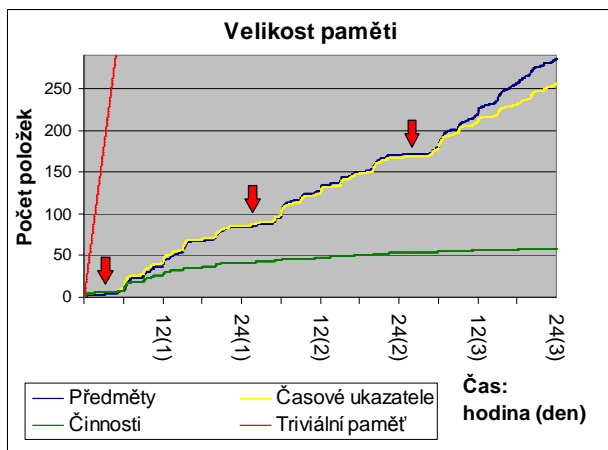
Způsob měření. Testy jsme prováděli na PC 2 GHz, 512 MB RAM, Win XP. Provedli jsme dva testy – v Testu 1 jsme měřili velikost paměti, Test 2 sledoval chování virtuálních lidí bez paměti a s pamětí. Testy jsme prováděli s dynamikou prostředí 0.5, což odpovídá polovině změněných předmětů za den. Sledovali jsme 3 dny života virtuálního člověka. Každý test jsme opakovali 10x. Pozice předmětů byly na začátku každého běhu randomizovány.

5.1 Test 1 – velikost paměti

V průběhu tohoto testu jsme sledovali počet položek v paměti. Test jsme prováděli bez zapomínání. Porovnávali jsme dva modely paměti – náš model episodické paměti s modelem triviální paměti, ve kterém si virtuální člověk pamatuje všechny informace, které přijímá ze světa.

Výsledky. Ukázalo se, že počet položek v našem modelu episodické paměti sice stále roste, ale v porovnání s triviální pamětí roste velice pomalu. Počet položek v

triviální paměti po určité době přesáhne únosnou mez. Počet činností v paměti zpočátku roste rychle, ale poté, co je do paměti přidána většina činností, již zůstává téměř konstantní. Mění ho pouze překvapivé akce. V noci, kdy virtuální člověk spí a neprovádí žádné akce, neroste velikost paměti vůbec (označeno červenými šipkami). Výsledné hodnoty jsou průměr z deseti opakování testu.



Obr. 6. Výsledek Testu 1. Červené šipky označují pomalý růst paměti v noci, kdy virtuální člověk spí a tedy neprovádí jiné činnosti kromě spánku.

Interpretace. Test ukázal, že velikost paměti roste přijatelnou rychlostí i bez použití zapomínání. Data pro experimenty se zapomínáním zatím nejsou zpracovaná, dá se nicméně předpokládat, že zejména pro simulace delších časových úseků (týdny či měsíce) by zřejmě zapomínání přineslo významnou úsporu. Navíc je zapomínání žádoucí pro rekonstrukci příběhu postavy.

Konstantnost velikosti části paměti pro činnosti není překvapivá vzhledem k tomu, že činností je omezený počet. Po určité době přibývají už jen překvapivé činnosti. Bylo by stejně tak dobře možné nechat v dlouhodobé paměti kompletní AND-OR stromy od začátku simulace.

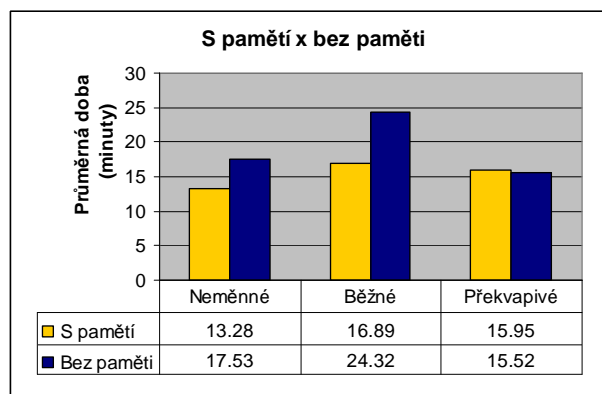
Zajímavý směr budoucího experimentování představuje sledování závislosti velikosti paměti na dynamice prostředí.

5.2 Test 2 – efektivita virtuálního člověka

Ve druhém testu jsme porovnávali virtuálního člověka s naším modelem episodické paměti a virtuálního člověka bez paměti. Měřili jsme, jak dlouho trvá splnění záměru, tj. počet kol od doby, kdy virtuální člověk začne chtít akci provést, do doby, kdy se mu podaří záměr splnit. Připomínáme, že tato doba je ovlivněna pouze délkou hledání předmětů potřebných k provedení koncového

chování. Hypotéza je, že virtuální člověk bez paměti se bude chovat hůře, protože neví, kde se potřebné předměty nachází, zatímco člověk s paměti se to během simulace stihl naučit.

Výsledky. U neměnných a běžných akcí došlo k výraznému zrychlení splňování záměrů – u neměnných akcí o 24% a u běžných akcí dokonce o 31%. U překvapivých akcí ke zlepšení nedošlo.



Obr. 7. Výsledek Testu 2.

Interpretace. Hypotéza byla (neformálně) potvrzena. U překvapivých akcí ke zlepšení nedošlo zřejmě proto, že jde o akce, které virtuální člověk běžně neprovádí a nemá tedy v paměti o potřebných předmětech žádné informace.

Zajímavý směr budoucího experimentování by bylo sledovat závislost změny efektivity postavy s pamětí na dynamice světa. Dá se předpokládat, že při vysokých dynamikách bude růst počet nevalidních záznamů, tzn. klesat výkonnost postavy s pamětí (tato bude chodit na místa, kde už hledaný předmět dávno není). Jiný směr bádání představuje zkoumání závislosti efektivity postavy na míře zapomínání.

5.3 Shrnutí hlavních výsledků

Z výsledků testů vyplývá, že použití našeho modelu episodické paměti pozitivním způsobem ovlivní chování virtuálního člověka při střední dynamice světa (0.5). Dále jsme ukázali, že velikost paměti roste přijatelnou rychlostí i bez použití zapomínání. Paměť tedy má smysl implementovat, i když další bádání bude nutné, zejména stran chování paměti ve světech s různou dynamikou a stran zapomínání.

6 Závěr a diskuse

V příspěvku jsme představili původní model virtuálního člověka s episodickou pamětí vycházející z teorie afordancí a prototypovou implementaci. Paměť měla dvě složky: krátkodobou a dlouhodobou. Cílem bylo opatřit prostřednictvím dlouhodobé paměti člověka schopností reprodukovat své vlastní zážitky. Prozatím je paměť schopna poskytnout odpověď na otázku „co jsi dělal od tehdy do tehdy?“ na různých úrovních abstrakce, což je podklad pro budoucí plnohodnotnou rekonstrukci.

Ačkoli je zatím implementace pouze částečná, výsledky prvních testů již naznačily, že velikost paměti roste přijatelným způsobem, a že se navíc virtuální člověk s pamětí chová efektivněji v porovnání s člověkem bez episodické paměti – tudíž že obecně dává smysl pokračovat ve zkoumání modelu.

Hlavní oblastí, kterou je třeba se v budoucnu zabývat, je zapomínání. Výběr informací, které si pamatujeme, a doba, po kterou je udržujeme v paměti, závisí na tom, za jakých okolností byly do paměti přidány, zejména pak na tom, jak silné emoce jsou s přidáním informace do paměti spojeny. Navržené rozšíření našeho modelu episodické paměti již při zapomínání v dlouhodobé paměti emoce virtuálního člověka zohledňuje. Informace v paměti, které byly přidány s velmi silnými emocemi z paměti nemizí vůbec, nebo mizí velmi pomalu.

Dalším bodem je zkoumání paměti za velikých dynamik světa. S tím souvisí otázka věrohodnosti záznamů v paměti. V současné implementaci se při hledání předmětu používá záznam nejnovější – jistě si ale lze představit situace vyžadující jiné řešení. Máme již navržený model, který problematiku věrohodnosti záznamů řeší pomocí speciálního typu asociativní sítě.

Paměť v současnosti zaznamenává informace pouze o činnosti vlastní postavy. Uvažujeme nicméně o rozšíření, které umožní postavě pamatovat si, co dělaly *jiné* postavy. Uvědomme si, že pro postavy řízené počítačem je tato informace v systému dostupná: je známo, které záměry a které činnosti cizí postavy vykonávají a tyto informace tak může postava s pamětí jednoduše „odečíst“. Diskuse o plausibilitě tohoto řešení přesahuje rámec článku, poznamenejme ale alespoň tolik, že se pohybujeme na symbolické úrovni abstrakce, čili abstrahujeme neurální korelát mentálních operací, a že dospělý zdravý člověk má schopnost ve vteřině poznat pozorující běžnou scénu s druhým člověkem, jaký tento člověk má záměr. Problém nicméně přichází se zjišťováním toho, co dělala ve virtuálním světě postava lidského uživatele – zde informace o záměrech známe nejsou. Otevřená otázka je, jestli by je nebylo možné odhadovat, například pomocí markovovského modelu.

Prozatím není implementován lingvistický modul, který by zajišťoval komunikaci s uživatelem. Přestože informace, jež je nám virtuální člověk schopen poskytnout o své minulosti, jsou podobného charakteru, jako informace, které by nám v podobné situaci poskytl člověk, jsou prezentovány jednoduchou formou, ze které je zřejmé, že proti nám nestojí skutečný člověk, ale počítač. Implementace lingvistického modulu by velkou měrou přispěla k zvýšení věrohodnosti virtuálního člověka.

Poslední zajímavou otázkou je porovnání struktury paměti umělého člověka a naší představy o fungování lidské episodické paměti. Pokud víme, neexistuje žádný komplexní psychologický model episodické paměti. Při porovnávání jsme tak odkázáni na případové studie forensní psychologie, jako je studie paměti Johna Deana [21], vlastní introspekci nebo fenomenologické rozborů prožívaných situací, např. [13]. Výpočetní model prezentovaný v tomto textu bez pochyby zachycuje základní charakteristicky lidské paměti jen letmo. Tyto práce nám tak mohou pomoci pochopit, které aspekty lidské paměti ve výpočetním modelu chybí. Jejich implementace může následně dále zvýšit věrohodnost virtuální postavy. Na druhou stranu ovšem rozšiřující se výpočetní model může zpětně inspirovat badatele v oboru psychologie a fenomenologie.

Poděkování

Práce na tomto textu byla částečně podpořena grantovým projektem GA UK 351/2006/A-INF/MFF a grantem „Information Society“ pod číslem projektu: 1ET100300517.

Literatura

1. Agre P. E., Chapman D.: Pengi: An Implementation of a Theory of Activity. In: Proceedings of the Sixth National Conference on Artificial Intelligence, Seattle, USA, 1987, s. 196–201.
2. Softimage/Behavior. Softimage Co. Avid Technology. 2001–2006. Stránka produktu: <http://www.softimage.com/Products/Behavior/v2/> [18.3.2007]
3. Bída, M.: Emoční boti v prostředí hry Unreal Tournament. Bakalářská práce. Matematicko-fyzikální fakulta, Karlova Universita, Praha, Česká Republika, 2006.
4. Bojar O., Brom C., Hladík M., Toman V.: The Project ENTs: Towards Modeling Human-like Artificial Agents. In: 31st SOFSEM Communications – student research forum (Vojtáš P., Bieliková M., Bernadette C., Sýkora O., eds), Slovensko, 2005, s. 111–122.
5. Brom, C., Lukavský, J.: Proč je hranice mezi virtuální bytostí a jejím světem neostrá. In: Sborník příspěvků z konference Kognice a umělý život, Třešť, 2006, s. 97–106.
6. Brom, C.: Řízení virtuálních lidí ve velkých virtuálních světech, disertační práce. MFF UK, Praha, 2007, submitted

7. Brom C., Šisler V., Hoffmann M.: Virtuální lidé. In: Umělá inteligence 5 (Mařík V., Štěpánková O., Lažanský J., eds), Academia, Praha, Česká Republika, 2007, v tisku.
8. Brom C.: Hierarchical Reactive Planning: Where is its limit? In: Modelling Natural Action Selection: Proceedings of an International Workshop (Bryson J. J., Prescott T. J., Seth A. K., eds), Edinburgh, Scotland, 2005, s. 235–242.
9. Brom C., Abonyi A.: Petri-Nets for Game Plot. In: Proceedings of AISB Artificial Intelligence and Simulation Behaviour Convention, Bristol, Vol. 3, 2006, s. 6–13.
10. Chateau, N., Maffiolo, V., Pican, N., Mersiol, M.: The effect of embodied conversational agents' speech quality on users' attention and emotion. In: J. Tao, T. Tan and R. Picard (Ed.), *Affective Computing and Intelligent Interaction*, Springer, 2005.
11. Eysenck, M. W.: *Cognitive Psychology: a student's handbook*. Psychology Press, New York, 2005.
12. Gibson J. J.: *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Muffin, 1979.
13. Havel I.: Prožívání epizodických situací - modality a hraniční případy. In: Sborník příspěvků konference Kognice a umělý život VI, 2006, s. 167 - 180
14. Herbelin B. L.: Virtual reality exposure therapy for social phobia. PhD thesis. EPFL, n. 3351 (Thalmann, D., dir.), Švýcarsko, 2005.
15. Ho, W., Dautenhahn, K., Nehaniv, C.: Autobiographic Agents in Dynamic Virtual Environments - Performance Comparison for Different Memory Control Architectures .In: Proc. IEEE CEC, 2005, s. 573-580.
16. Marsella S., Gratch J., Rickel J.: Expressive Behaviors for Virtual Worlds. Life-like Characters Tools, Affective Functions and Applications. In: Springer Cognitive Technologies Series (Prendinger H., Ishizuka M., eds), Springer, Berlin, 2003.
17. Mateas M.: Interactive Drama, Art and Artificial Intelligence. PhD thesis. Department of Computer Science, Carnegie Mellon University, 2002.
18. McAlinden R., and Clevenger W. A Culturally-Enhanced Environmental Framework for Simulations. In: Proceedings of the 2006 Conference on Behavior Representation in Modeling and Simulation (BRIMS'06). 2006
19. Miller T.: The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, Vol. 63, No. 2, 1956, s. 81–97.
20. Newell A. *Unified Theories of Cognition*. Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1990.
21. Neisser, U.: John Dean's Memory: A case-study. In: *Cognition*, 9, 1981, s. 1–22
22. Nuxoll, A., Laird, J. E.: A Cognitive Model of Episodic Memory Integrated With a General Cognitive Architecture. In: Proc. of Int. Conference on Cognitive Modelling, 2004.
23. Peters, C., O'Sullivan, C.: A Memory Model for Autonomous Virtual Humans. In: Proceedings of Eurographics Ireland 2002, s. 21-26.
24. Reidl M.O., Stern A.: Believable Agents and Intelligent Story Adaptation for Interactive Storytelling. In: Proceedings of TIDSE 2006, Springer, 2006, s. 1-12
25. Thalmann D., Hery C., Ono H., Sutton D., Lippman S., Regelous S.: Crowd and Group and Crowd Animation, a course materials. SIGGRAPH 2004, Los Angeles, 2004