

Virtuální lidé: jak representovat jejich znalosti

Cyril Brom¹

¹Karlova Universita, Matematicko-fyzikální fakulta
Malostranské nám. 2/25, Praha, Česká Republika
brom@ksvi.mff.cuni.cz

Abstrakt. Fenomén virtuálních lidí proniká v poslední době i mimo oblast počítačových her. Jedná se o softwarové agenty, kteří imitují lidské chování v nějakém virtuálním světě a mají simulované, obvykle graficky zobrazené tělo. V tomto článku je představen studentský softwarový projekt IVE, zaměřený na modelování rozsáhlých světů s virtuálními lidmi. V rámci projektu jsou řešeny hlavní problémy: a) jak representovat svět tak, aby byl snadno rozšiřitelný, tedy mimo jiné aniž by bylo nutné používat pro agenty technik strojového učení, b) jak automaticky zjednodušovat simulace v místech, kam se uživatel „nedívá“. Řešení obou problémů je v článku nastíněno.

1 Úvod

Virtuální lidé jsou inteligentní softwarové agenti (ve smyslu Wooldridge [14]), kteří imitují lidské chování v prostředí simulujícím přirozený svět a kteří mají virtuální tělo modelující tělo lidské. Prostředí a agentovo tělo jsou obvykle zobrazeny graficky.

Cílem článku je seznámit čtenáře s tímto fenoménem, představit studentský softwarový projekt IVE [6] (*intelligent virtual environment*) a problémy, které jsou v jeho rámci řešeny. Kapitola 2 blíže pojednává o virtuálních lidech – je zpřesněna jejich definice, jsou zasazeni do kontextu softwarového inženýrství a aplikované umělé inteligence a jsou popsány oblasti aplikací. Kapitola 3 vymezuje problémy, na něž se projekt IVE zaměřuje. Kapitoly 4 a 5 nastiňují, jakými způsoby jsou problémy řešeny. Příbuzné práce a práce, ze kterých IVE těží, jsou diskutovány průběžně.

2 Virtuální lidé – co jsou zač?

Každý virtuální člověk (*artificial human, virtual being*) jedná ve virtuálním světě a vykonává úkoly, jež předem vymezil programátor nebo designér. Rozhraním do světa je *umělé tělo*. Pro označení řídicí funkce agenta se často používá pojem *umělá mysl* (*artificial mind*). Jde o funkci, která řeší problém výběru akcí (*action selection problem*) – tj. co má agent provést v dalším kroku simulace v závislosti na aktuálním stavu svého těla, své náladě a záměrech (tj. stavu mysli) a stavu okolního prostředí. Typicky jedná virtuální člověk v následujícím cyklu: 1) přijme podněty od prostředí, 2) zpracuje podněty, 3) vybere následující akci, 4) odešle své rozhodnutí prostředí.

V následujícím textu bude termín „virtuální člověk“ volně zaměňován za „aktor“ (*virtual actor*).

Následující vlastnosti dobře vymezují virtuální lidi od podobných softwarových agentů:

- virtuální lidé pouze *předstírají*, že se chovají jako lidé; mají uživatele *oklamat*, tj. chovat se uvěřitelně (*believable*), uspět v Turingově testu (prožívání skutečnosti, proces myšlení ap. do domény virtuálních lidí nepatří),
- mají tělo a simulují většinou performativní akce, tj. akce, jejichž efekt je „fyzicky vidět“ (šachový program není virtuální člověk, leda by měl tělo a pohyboval figurkami po 3D/pseudo-3D šachovnici),
- jednají v prostředí, jenž je dynamické (tj. mění se i bez přičinění agenta a nečeká se, až agent naplánuje, co bude dělat), nedeterministické (tj. výsledek akce nelze vždy přesně předpovědět) a pouze částečně pozorovatelné (agent vnímá svými senzory vždy jen část prostředí, nikoli celé prostředí naráz); obvykle dochází na interakci s člověkem,
- očekává se, že virtuální lidé budou navrhováni designéry, konstruktéry nebo umělci, tedy nikoli lidmi s hlubokým IT vzděláním.

Virtuální lidé pronikají posledních několik let i mimo oblast počítačových her. Přehled udává například [12], v následujícím je vyjmenováno několik nejtypičtějších oblastí použití. Některé projekty jsou čistě výzkumné, jiné jsou již nasazeny v praxi.

- **Výukové aplikace** (*educational applications*): Pedagogičtí aktoři učí studenty pracovat s drahým zařízením (př. vysokotlaký kompresor) nebo jednat v situaci, kterou lze jen obtížně nasimulovat (př. voják v Bosně uklidňuje matku, jejíž dítě srazilo armádní auto – viz obr. 1). Vše se odehrává ve virtuálním prostředí.
- **Virtuální vyprávění** (*virtual storytelling*): Jde o „přehrání příběhu na počítači“, přičemž příběhem se myslí např. krátká novela nebo divadelní hra. Jedná se o



Obr. 1: Výuková aplikace pro vojáky mírové mise v Bosně. Armádní vozidlo přejelo bosenského chlapce. Vidíme jeho matku a lékaře (chytře agenty), v popředí seržanta (tutora, který žáka–vojáka provádí lekci) a v pozadí dav zvědavců (jednoduché agenty). Převzato z [5].

aplikace z pomezí umění. Často je uživateli dovoleno zasahovat do průběhu děje. Narozdíl od počítačové hry je kladen silný důraz na narativní strukturu děje.

- **Film:** Virtuální lidé nahrazují komparsisty při davových scénách. Ovšem stovkami postav nepohybuje animátor obrázků po obrázku, nýbrž má každá postava svůj program a vlastnosti a výsledná interakce vzniká emergentně (představme si například souboj dvou armád).
- **Virtuální performance:** Jde o čistě umělecké projekty, jejichž médiem je virtuální realita.
- **Léčba fobií:** Při léčení fobií je možné použít metodu, kdy je pacient opakovaně vystavován situacím navozujícím jeho fobii. Ukazuje se, že pacienti reagují, i když jsou situace modelovány ve virtuálním prostředí s virtuálními aktory.
- **Verifikace návrhu strojů.** Inženýři, kteří navrhnu v nějakém CAD systému model stroje, si kladou otázku, jestli je stroj navržen dobře z hlediska ovládání. Tím se myslí, jestli může stroj ovládat jak malý, tak velký člověk, jestli ovládání není nebezpečné (př. horká plocha těsně vedle často používané páčky) atp. Verifikaci modelu lze provést ve virtuálním prostředí provedením série experimentů s virtuálními lidmi.

Podle typu aplikace musí vývojáři řešit některé z následujících problémů:

- **Návrh struktury chování.** Je třeba říci, jaké úkoly bude virtuální člověk provádět a jak budou strukturované.
- **Problém výběru akcí.** Řeší se, jak v daném kontextu vybrat akci, kterou má aktor provést. Problém je, že virtuálnímu člověku nelze předem vložit deterministická procedura, ani se nemůže zastavit a pět minut přemýšlet nad dalším „krokem“ (jako například šachový program). Prostor se mění aktorovi „pod rukama“.
- **Grafická uvěřitelnost.** Agent se musí pohybovat co nejvíce „lidsky“. Ukazuje se, že důležitou roli hrají i takové jemnosti jako exprese emocí či pohyb očí.
- **Věrohodná fyzikální simulace.** Agenti jednající v 3D prostředí nemohou například procházet skrze předměty.
- **Udržení dějové linie.** Je-li povolena interakce s uživatelem, může tento mít tendenci jednat proti smyslu předem navrženého děje.
- **Komunikace.** Speciálně ve výukových aplikacích musí virtuální učitelé mluvit přirozeným jazykem studenta a také porozumět psané nebo mluvené řeči.

V každém případě musí být výsledek výpočetně efektivní; virtuální lidé nejsou teoretické modely, ale reálně pracující aplikace.

Šíře aplikací a řešených problémů ukazuje, že virtuální lidé jsou interdisciplinární fenomén. Přibližně lze obory, do nichž virtuální lidé spadají, vymezit následovně. Hlavními disciplínami jsou softwarové inženýrství, počítačová grafika a aplikovaná umělá inteligence. Vzhledem k tomu, že předlohou modelům je skutečný člověk, přichází silná inspirace z psychologie a etologie (jde např. o teorii lidského chování nebo modelování emocí). Nezanedbatelný je i vliv biologie a neurologie. K simulaci 3D světů jsou nutné fyzikální modely.

Je třeba jasně říci, že virtuální lidé nejsou a nemají být vševědoucí golemové ani živé bytosti. Každý virtuální člověk jedná v omezené doméně a jeho návrháři řeší pouze problémy, které bezprostředně vyplývají ze zamýšleného použití. Od

virtuálních lidí nelze očekávat „skutečnou inteligenci“. Jako příklad si vezměme e-Františka sedícího ve virtuální kanceláři za účelem navození situace, v níž pacient trpí úzkostí. E-František se nebude zabírat tím, co bude dělat večer, nýbrž bude „přemýšlet“, jak se má „poošít“ v další vteřině, aby vypadal jako člověk, jehož bolí záda.

3 IVE – problémy a motivace

Projekt IVE [6] je studentský softwarový projekt, realizovaný od listopadu 2004 na MFF UK, Praha. Finálním cílem je vytvořit universální nástroj na prototypování chování virtuálních lidí jednajících v rozsáhlých světech. V tuto chvíli se řeší pouze první fáze, jejímž cílem je navrhnout obecnou architekturu virtuálního světa, která bude umožňovat snadnou rozšiřitelnost a efektivní simulaci rozsáhlých světů, a implementovat prototyp. Nyní budou blíže vysvětleny pojmy *snadná rozšiřitelnost* a *efektivní simulace*.

Problém 1: Snadná rozšiřitelnost. Aplikace s virtuálními lidmi bývají typicky vyvíjeny inkrementálně, často je požadována pozdější rozšiřitelnost (uvažme např. plug-iny v počítačových hrách). Vzniká tak potřeba mechanismu, který umožní virtuálním lidem interagovat i v novém prostředí, např. s předměty, které přibýly a žádný aktor se s nimi dosud neseťkal. Ovšem není možné požadovat po uživateli nebo designérech, aby přepisovali kvůli novému objektu či úkolu kompletně celou simulaci. Natož pak aby používali složité techniky umělého učení (pokud jejich použití není hlavním záměrem aplikace). Jde tedy o adaptabilitu na nové podněty, respektive o její předstírání.

Snadnou rozšiřitelností se rozumí to, že do virtuálního světa bude možno přidávat předměty nebo úkoly pro virtuální lidi jako plug-iny, aniž by se používalo techniky učení nebo se výrazně modifikovalo to, co už bylo naprogramované dříve. Kapitola 4 popisuje, jak je tento požadavek v IVE řešen.

Problém 2: Efektivní simulace rozsáhlých světů. Existuje mnoho teoretických modelů lidského rozhodování. Problém je, že modelují systém (člověka), který je do značné míry paralelní. Prostým přenesením modelu na PC se sériovou architekturou získáme NP-úplné algoritmy. To nemusí vadit, je-li aktor sám, ovšem většinou jich ve virtuálním světě jedná více.

Efektivní simulaci rozsáhlého světa se intuitivně rozumí to, že relativně veliký svět (řádově desítky postav) poběží na současném běžném PC „rozumě“. Neznamená to ale nezbytně, že algoritmy řízení virtuálních lidí budou polynomiální. Kapitola 5 popisuje, jak je tento požadavek v IVE řešen.

Stojí za podotknutí, že i izolované řešení pouze těchto dvou problémů (tj. aniž by existoval proklamovaný universální prototypovací nástroj) je přínosné. Snadná rozšiřitelnost je požadavkem téměř všech aplikací s virtuálními lidmi a efektivní simulace (ve výše uvedeném smyslu) většiny počítačových her a virtuálních vyprávění.

4 Snadná rozšiřitelnost = vhodná reprezentace

Klíčem k snadné rozšiřitelnosti virtuálního světa je jeho reprezentace. Uvědomme si, že jednání virtuálního člověka je determinované množinou objektů a jejich stavů a povolených transformací stavů objektů. Jsou to právě tyto objekty a transformace (dále *akce*), které je nutné representovat na počítači.

Typický přístup je *symbolický*, kdy zjednodušeně řečeno objektům, které chceme simulovat, přiřadíme nálepky jako „konev12“, „pozice_v_mapě27_12“ a relace jako „množství_vody(konev12, 25)“. Není cílem se zde pouštět do debaty o tom, jestli je tento přístup biologicky plausibilní, či jestli již byl nebo nebyl překonán, faktem nicméně zůstává, že z hlediska designu virtuálních lidí je nevhodný. Důvod je prostý: symboly jsou právě jenom nálepky a mají význam pouze pro designéra, avšak nikoli pro virtuálního člověka. S takovou formální reprezentací se dá dobře plánovat, ale to je asi tak vše. Chceme-li přidat hadici, se kterou lze zalévat podobným způsobem jako s konví, musíme každému aktorovi, který s hadicí může přijít do styku, tento fakt „sdělit“ – tj. přímo ho zapsat do jeho umělé mysli – nebo to aktora naučit. Navíc jelikož je virtuální svět jen omezeně vnímatelný, musí si aktor pro potřeby rozhodování vytvářet v paměti kopii světa (symbolů). Pomněme, co se asi tak stane, když přijde virtuální zahradník k záhonu, kde roste 150 mrkví.

Problém je, že výše uvedeným způsobem se pouze budují jakési ontologie objektů a jejich vlastností založené na fyzikálním chápání světa. Virtuální lidé ale málokdy něco takového potřebují. Podstatná informace je, že předmět lze sebrat a že s ním lze zalévat, nikoli, že leží na dlaždici27_12 a je v něm 25 jednotek vody. Jiná klíčová informace může být, že na zahradě je možné provést určité akce, které způsobí, že aktor bude držet v ruce jídlo (např. mrkev). Zkrátka: je třeba jiný typ (symbolické) reprezentace.

Tato reprezentace vychází z chápání světa prostřednictvím ontologie akcí (nebo, chceme-li, služeb), které nám předměty mohou poskytnout. Aktor tak má určité záměry (např. najíst se, zalévat) a předměty okolo něj mu nabízí („křičí“ na něj), že tyto záměry uspokojí a jak. Dá se říci následující:

1. Předmět je agent (ve smyslu Wooldridge [14]), který obsahuje kompletní návod pro aktora, jak provést danou interakci (tj. obsahuje řídicí skript). Obsahuje i zobrazovací informace pro grafický prohlížeč.
2. Aktor, který chce naplnit daný záměr, se „rozhledne“ po světě, nalezne předmět, který nabízí, že uspokojí jeho záměr, „napojí“ se na něj a nechá se jím dále navigovat. Nové předměty uspokojující již existující záměry tedy mohou být nahrávány do prostředí jako plug-iny, aniž by byl nutný zásah do mysli aktora.

Pochopitelně nemizí potřeba převodu fyzikální reprezentace (v konví je 25 jednotek vody) na reprezentaci orientovanou na akce (konev uspokojí záměr zalévat). Ovšem tento problém nyní neřeší mysl aktora, nýbrž konkrétní předmět – problém výběru akcí byl dekomponován. Svět (předměty) nyní „hovoří“ přímo jazykem záměrů. To je novinka, v klasické reprezentaci svět hovořil jazykem fyzikálních vlastností, se kterými si mysl musela nějak poradit.

Tento přístup se nazývá metoda chytrých předmětů (*smart object approach*), byl navržen v [7] a úspěšně implementován a rozšiřován mj. v [1, 8, 11]. Chytré předměty

není těžké hierarchicky vnořovat (dveře nabízí otevření a v rámci toho klika nabízí stisknutí) – tím lze lehce vyřešit problém se stovkami mrkví. Aktor totiž mrkve vůbec neuvidí, uvidí pouze záhon nabízející buď přímo uspokojení hladu, nebo zisk předmětu, jenž hlad uspokojí. V druhém případě za aktora vybere mrkev k vytrhnutí a spustí skript, jenž způsobí, že se mrkev ocitne v aktorově ruce.

Přístup lze rozšířit na pravděpodobnostní (aktor pokaždé jedná trochu jinak) – a takové implementace také existují. Řeší se i problémy s viditelností a s pamětí (aktor chce sebrat konev, ví kde je, ale nevidí ji).

Metoda chytrých předmětů je založena na teorii afordancí, což je teorie lidského vnímání percepčního psychologa J. J. Gibsona [4] (1979). Gibson tvrdí, že máme (lidé a zvířata) tendenci vnímat svět nikoli prostřednictvím fyzických vlastností objektů (má to čtyři nohy, desku a opěradlo, *ergo* jde o židli), nýbrž skrze afordance. To jsou jakési nabídky, které nám prostředí činí – „...the *affordances* of the environment are what it *offers* the animal, what it *provides* or *furnishes* [4, p.127]“. Klíčové je, že jsou relativní k aktorům (pes má jiné afordance než člověk) a trvalé a nezávislé na záměrech agenta, ba dokonce ani na schopnosti je vidět. Umět vidět afordance a mít určité afordance jsou dvě různé věci. Bližší vzhled podá např. [3].

IVE rozšiřuje metodu chytrých předmětů třemi směry. Jsou zavedeny *chytré procesy*, *chytré rady* a *géniové*. V následujícím jsou tato rozšíření popsána.

Chytré procesy. Pokud je „intelligence“ schovaná do chytrých předmětů, zkomplikuje se tím popis interakce mezi více objekty (např. opice shazuje ze stromu banány klackem nebo člověk zavírá pero víčkem). Proto byl zaveden koncept *chytrých procesů*. Jde o podobné agenty jakými jsou chytré předměty, jen nejsou vázány na žádný konkrétní objekt. Spíše jde o jakési „transcendentální entity“, které agentovi nabízí, co ve virtuálním světě může provádět. Proces může popisovat interakci jak mezi aktorem a jedním zdrojem (zde získáváme původní chytré předměty), tak mezi aktorem a více předměty, stejně jako interakci mezi více agenty. Takové objekty nebo aktoři se pak stanou *zdroji* procesu. Neříkáme však „virtuální Pepa má skript A, který pracuje se zdrojem B“, nýbrž „virtuální Pepa má záměr Z, který může být uspokojen nějakým procesem, který může pracovat s nějakými objekty – a to právě takovými objekty, které mohou figurovat v daném procesu jako zdroje.“

Chytré rady. Uživatel často očekává, například na základě grafické vizualizace, že různí aktoři se ve stejných situacích budou chovat různě. Tak např. tlustá Barka, chtěla uspokojit záměr „najíst se“, dá přednost hromadě cukroví, zatímco sportovec Pepa by raději salát. Pro řešení tohoto problému jsou v IVE zavedeny speciální funkce, *rady*, které radí aktorům, jaký proces nebo variantu procesu mají provádět v daném kontextu, aby uspokojili nějaký záměr. Výkonnou část rady lze vidět jako fuzzy if-then pravidlo operující nad vlastnostmi aktora a objektů, jež se mají účastnit daného procesu. Dá se říci, že chytré rady zprostředkovávají aktorům vidění těch správných (resp. správně instanciovaných) procesů. Ilustrováno je to ve scénáři na obr. 2.

Géniové. Aktoři se musí rozhodovat nejen jaký proces (resp. jak instanciovaný proces) mají spustit za účelem naplnění daného záměru (tzv. *means-ends reasoning*), ale také jaký záměr budou uspokojovat (tzv. *deliberative reasoning*). V tom jim chytré rady mohou pomoci, ale ne vždy je tento základní typ rozhodování vhodný.

1. Jsem aktor líná Barka. Mám hlad. Je tu někdo, kdo mi ho „uspokojí“?
2. Ano, jsem proces, co uspokojí tvou žravost. Mám tu koláče a salát. Co bys raději?
3. Barka: Nevím. Nevíš o někom, procese, kdo by mi poradil?
4. Proces. Ano, mám tady chytrou radu. Tady ji máš.
5. Barka spouští chytrou radu a předává jí vektor svých vlastností.
6. Chytrá rada: V tvém případě rozhodně doporučuji koláče.
7. Barka: Procese, uspokoj mě prostřednictvím koláčů.
8. Proces se spustí na objektu „hromada koláčů“.

Obr. 2. Ukázka komunikace dvou agentů (aktora a procesu) a chytré rady tohoto procesu. Na příkladu je vidět, že aktor se dokáže najít, aniž by musel „vidět“ byt' jen jediný konkrétní koláč. Podobná komunikace může proběhnout i při obecném aktorově rozhodování mezi libovolnými n procesy.

Rady jsou pouze fuzzy if-then pravidla a občas je třeba použít jinou techniku (např. podívat se pomocí dopředného plánování, jak akce pravděpodobně dopadne). Obecně se dá říci, že pro různé kontexty se hodí jiné techniky. Proč?

Uvažme jako příklad Pepu v hospodě. Pepa bude pít pivo. Ovšem nikoli proto, aby uspokojil svůj záměr „bavit se“ nebo „nemít žízeň“, nýbrž proto, že uživatel očekává, že v hospodě chlap, byt' virtuální, bude pít pivo. Při rozhodování se tedy využije například vlastnost „jak je Pepa veliký opilec“. Na poušti se ovšem pro podobné rozhodování použije vlastnost „biologická žízeň“, jejíž hodnota se v hospodě vůbec nesledovala. Navíc rozhodování dalších aktorů se bude odvíjet od stejného schématu (až na to, že někdo bude např. raději pít pivo černé, jiný vodku atp.).

Je tedy vhodné dekomponovat rozhodování aktorů podle situací, ve kterých se mohou nacházet. Slovy plánovacích technik: každá situace vyžaduje vlastní specifické informace pro rozhodování, jakousi vlastní „heuristiku“. Za tím účelem je v IVE zaveden koncept géníů.

Géníus je samostatná inteligence, která umí po určitou dobu převzít v daném prostředí a situačním kontextu jednoho či více aktorů a řídit je. Původní mysl aktora je buď zcela uspaná, nebo se podílí na řešení dílčích úkolů (např. uhýbání před překážkami). Pepu tak v hospodě bude řídit géníus hospody, zatímco na poušti géníus pouště. Koncept géníů navíc umožňuje rozšiřitelnost, která nám doposud chyběla – o nové záměry.

Této technice se říká předávání rolí (*role-passing*) a byla implementována např. v [10]. Obvykle se ale role předává pouze jednomu aktorovi. Géníus je obecnější koncept. Dokáže řídit více aktorů naráz a tím umožňuje centrální rozhodování a synchronizaci aktorů – například při rozhodování na poušti o tom, kdo dostane láhev s vodou jako první a kdo jako poslední. To umožňuje třeba vygenerování barvitého dialogu (což se lépe, než kdyby všichni aktoři jednali samostatně, provede centrálně). Společný géníus je jakousi sdílenou myslí.

Chytré procesy, chytré rady, zdroje procesů (tj. předměty a aktoři) a géniové tvoří základní strukturu IVE světa. Pro kapitulu 5 bude klíčové, že tato struktura je hierarchická.

Dodejme, že tato struktura může připomínat architekturu Belief-Desire-Intention (viz např. [14]). To je pravda, v IVE je ale myšleno i na jiné přístupy a jejich kombinace. Konkrétně mají aktoři možnost odmítnout chytré rady a „heuristiku“, jež se jim nabízí v podobě hierarchické struktury procesů – a mohou se rozhodnout používat jen takové procesy, které jsou už přímo základními transformacemi vlastností objektů (tzv. *atomické procesy*). To umožňuje imitovat učení. Dále mají možnost odmítnout nechat se vést cizím géniem (např. Pepa se může v hospodě rozhodovat sám, chce-li). Nicméně přístup zvolený v IVE si zatím neporadí s řídicími technikami, jež nejsou založené na hierarchickém rozkladu úloh (např. [9]).

5 Efektivní simulace = ne-simulace

Pro rozsáhlé simulace je charakteristické, že uživatel sleduje pouze část prostředí. To znamená, že ta místa, na než se uživatel „nedívá“, není nutné simulovat přesně – a tedy je možno ušetřit výpočetní prostředky. Tento fakt je hojně reflektován v počítačové grafice používáním techniky úrovně detailů (*level of detail*, dále *LOD*). Není třeba počítat povrch hlavice iónského sloupu, když má celý sloup méně než jeden pixel.

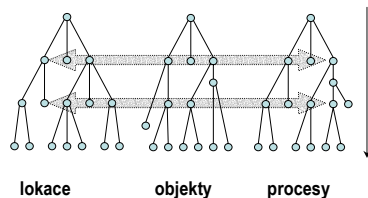
V oblasti simulace chování je faktu občas využíváno v počítačových hrách – leč většinou jenom tak, že se místa mimo výhled uživatele nesimulují vůbec. To často způsobuje nekonzistenci děje – uživatel si „podvodu“ všimne. Můžeme „podvádět“, ovšem uživatel nesmí naše klamy poznat. V IVE je tento problém řešen robustním a kompaktním způsobem, který bude nyní popsán. Klíčové pro řešení je, že znalosti virtuálních lidí jsou reprezentovány hierarchicky prostřednictvím chytrých procesů.

Předně je třeba pro celý virtuální svět určit, jak přesně má být v tom kterém místě simulován. Každé místo musí mít stanovenou *úroveň detailu*. Vyšší úroveň koresponduje s místy, na než se uživatel dívá, s místy sousedícími s výhledem a konečně s místy, kde se odehrávají události důležité pro další průběh děje.

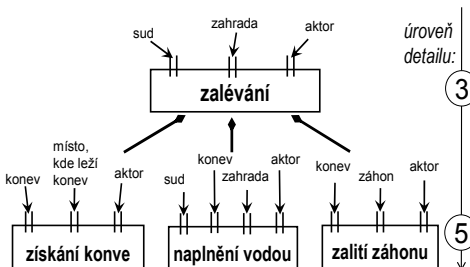
Dále je třeba stanovit, jak konkrétně má simulace pro danou úroveň detailu proběhnout. Právě k tomu je v IVE využito hierarchické dekompozice procesů. Každý proces je přímo asociován se skriptem, jenž provádí požadovanou transformaci světa, a každá úroveň v hierarchii procesů odpovídá jedné úrovni detailu. Čím vyšší detail, tím hlouběji v hierarchii procesů jsme. Například zahradu lze zalít tak, že je odečteno příslušné množství vody ze sudu a je změněna všem záhonům vlastnost „zalitost“ (to je nízká úroveň detailu). Anebo lze na zalévání použít podprocesy pro nalezení a zvednutí konve, pro naplnění konve (opakované) a pro zalití každého jednotlivého záhonu (to je vyšší úroveň detailu). Schématicky je to znázorněno na obr. 4.

Každý proces dokáže odhadnout dobu svého trvání. Pro procesy ve vrstvě korespondující s aktuální úrovní detailu je tento odhad vzat jako skutečná doba trvání a konec procesu je naplánován do simulačního *kalendáře*. Pochopitelně je možné, že proces bude předčasně přerušen, stejně tak může dojít k zvýšení úrovně detailu v průběhu nějakého procesu – tyto situace jsou v IVE řešeny.

Vedle hierarchické dekompozice procesů je třeba reprezentovat ještě další dvě dekompozice. Jednak je nutná dekompozice lokací, k nimž budou vázány úrovně detailů a v nichž budou probíhat procesy. A dále je potřeba dekompozice objektů –



Obr. 3: Při horizontálním řezu hierarchiemi si úrovně vzájemně odpovídají. Procesy a objekty můžeme „nahrávat“ do hierarchie jako plug-iny.



Obr. 4.: Dekompozice zalévání na subprocesy. Každý obdélník značí proces s požadovanými zdroji.

tím se myslí to, že všechny objekty patří k nějaké nadřazené komponentě, což je buď objekt (např. klika je součástí dveří) nebo lokace (např. půllitr je součástí hospody). Při nízké úrovni detailu podřazený objekt nebude existovat. Při zvýšení úrovně bude tento vygenerován nadřazenou komponentou. Objektem se rozumí i aktor; např. virtuální vesničané v místě, které se právě nesimuluje, vůbec nebudou existovat.

Aby celý systém fungoval, je potřeba dekompozice udělat tak, že povedeme-li trojici hierarchií libovolný horizontální řez, dostaneme vždy procesy, lokace a objekty, které spolu vzájemně souvisí (viz obr. 3). Například konev musí existovat s alespoň stejnou úrovní detailu, se kterou existuje i proces zalévání s konví. Obecně zřejmě nelze provést ony tři dekompozice tak, aby řez byl možný; problém budou činit minimálně rekurzivní procesy. Otázka konkrétních podmínek, za kterých dekompozice provést lze, zůstává zatím otevřená.

Nástin, jak použít pro LOD simulace virtuálních lidí hierarchické konečné automaty, je podán v [2], jde ale jen o myšlenku. Částečná implementace založená na technice předávání rolí je popsána v [13]. Přístup v IVE je robustnější, protože počítá i s dekompozicí lokací a objektů – v místech, kam se nikdo ne dívá, nejen že aktor nedostane svou roli a nebude nic provádět, takové místo vůbec nebude existovat.

Existuje mnoho zajímavých situací, které při použití LOD techniky vznikají. Uvažme například přemísťování předmětů mimo jejich nadřazené komponenty (půllitr na zahradě), procesy probíhající ve více lokacích (vozík vyjíždí z dolu, kde je nižší úroveň detailu než v lokaci nad dolem) a koneckonců podstatná je i otázka režie přepínání mezi různými úrovněmi detailu. To vše bude diskutováno v samostatném článku někde jinde.

6 Závěr

V tomto článku byl představen fenomén virtuálních lidí a typy jejich aplikací. Mimo počítačové hry jde například o virtuální vyprávění a drama, generování scén do filmu, výukové aplikace či verifikování návrhu strojů. Byl rovněž uveden výčet hlavních problémů, které se v těchto aplikacích řeší.

Dále byl představen studentský softwarový projekt IVE. Zkratka IVE znamená inteligentní virtuální prostředí (*intelligent virtual environment*). Intelligence simulátoru spočívá ve dvou skutečnostech. Za prvé v tom, že prostředí pomáhá řídit virtuální lidi pomocí chytrých procesů. Aktoři sami být inteligentní nemusí, nýbrž se mohou nechat inteligentně řídit okolím – jejich znalosti jsou částečně representovány v prostředí, nikoli v jejich mysli. Tento přístup výrazně usnadňuje design a rozšiřitelnost. Druhý aspekt intelligence IVE spočívá v zjednodušování simulace v místech, kam se uživatel „nedívá“. To je možné díky tomu, že znalosti virtuálních lidí jsou representovány hierarchicky.

Prototypový scénář implementovaný v rámci projektu [6] zahrnuje ves s několika domy, hospodou, dva doly a několik desítek aktorů.

Poděkování. IVE je implementováno na MFF UK, Praha studenty 4. ročníků: O. Šerým, T. Pochem, P. Šafratou, J. Kubrem, J. Kulhánkem a Z. Šulcem, jímž tímto patří dík. Cenné komentáře k článku měli: T. Holan a E. Dufková. Projekt je částečně podpořen grantem „Information Society“ pod číslem projektu: 1ET100300517.

References

1. Badler, N., Allbeck, J., Zhao L., Byun. M.: Representing and parameterizing agent behaviors. In: *Proceedings of Computer Animation*, IEEE Computer Society, Geneva, Switzerland (2002) 133-143
2. Champandard, A. J.: *AI Game Development: Synthetic Creatures with learning and Reactive Behaviors*. New Riders, USA (2003)
3. McGrenere, J., Ho, W.: Affordances: Clarifying and evolving a concept. In: *Proceedings of Graphics Interface 2000*, (2000) 179-186
4. Gibson, J. J.: *The Ecological Approach to Visual Perception*. Boston: Houghton Muffin, (1979)
5. Marsella, S., Gratch, J., Rickel, J. Expressive Behaviors for Virtual Worlds. In: Predigner, H., Ishizuka, M. (eds.): *Life-like Characters Tools, Affective Functions and Applications*, , Cognitive Technologies Series, Springer, Berlin (2003)
6. IVE, projektová stránka: <http://mff.modry.cz/ive/>
7. Kallmann, M., Thalmann, D.: Modeling Objects for Interaction Tasks. In: *Proceedings of EGCS 98*, Lisbon, Portugal, (1998) 73-86
8. Kallmann, M., Thalmann, D. Modeling Behaviors of Interactive Objects for Virtual Reality Applications. In: *Journal of Visual Languages and Computing*, Vol. 13 (2002)
9. Maes, P. The agent network architecture (ANA). In: *SIGART Bulletin*, 2/4 (1991)
10. McNamee, B., Dobbyn, S., Cunningham, P., O'Sullivan, C.: Men Behaving Appropriately: Integrating the Role Passing Technique into the ALOHA system. In: *Proceedings of the Animating Expressive Characters for Social Interactions*. (2002)
11. Peters C., Dobbyn, S., Mac Namee B., O'Sullivan, C.: Smart Objects for Attentive Agents. In: *WSCG 2003 short papers proceedings*, Czech Republic (2003)
12. Prendinger, H., Ishizuka, M.: Introducing the cast for social computing: Life-like characters. In: Predigner, H., Ishizuka, M. (eds.): *Life-like Characters. Tools, Affective Functions and Applications*, Cognitive Technologies Series, Springer, Berlin (2004) 3-16
13. O'Sullivan, C., Cassell, J., Vilhjálmsson, H., Dingliana, J., Dobbyn, S., McNamee, B., Peters, C., Giang, T.: Level of Detail for Crowds and Groups. In: *Computer Graphics Forum*, 21(4) (2002) 733-742
14. Wooldridge, M.: *An Introduction to MultiAgent Systems*. John Wiley & Sons (2002)