

Agentově orientované modelování a simulace

Znalostní technologie III
materiál pro podporu studia

OBSAH

ÚVOD	3
CO JE AGENT?	3
POTŘEBA AGENTOVĚ ORIENTOVANÉHO MODELOVÁNÍ.....	4
ABMS	4
HLAVNÍ MYŠLENKY ABMS	5
AGENTOVĚ ORIENTOVANÉ MODELOVÁNÍ VE VĚDĚ.....	7
TOPOLOGIE JAKO ZÁKLAD SOCIÁLNÍCH INTERAKCÍ	8
APLIKACE AGENTOVÉHO MODELOVÁNÍ A SIMULACÍ.....	8
JAK VŮBEC PROVÁDĚT AGENTOVÉ MODELOVÁNÍ A SIMULACE?.....	9
OBJEVUJEME A ZKOUMÁME AGENTY.....	9
VÝVOJOVÉ NÁSTROJE PRO AGENTOVĚ ORIENTOVANÉ MODELOVÁNÍ A SIMULACE	10
PROČ A KDY ABMS?	11
ZDROJE.....	12
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	12
SEZNAM TABULEK	12

Úvod

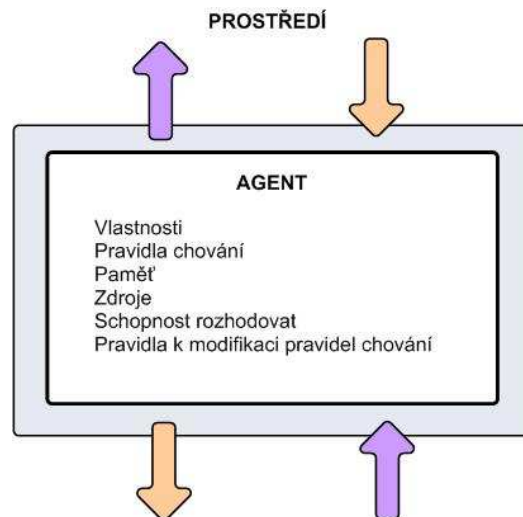
Agentově orientované modelování a simulace (Agent-based modelling and simulation – ABMS) je novým přístupem pro modelování systémů zahrnující autonomní a interagující agenty. Využitelnost agentů je celkem velká, od modelování chování agentů na kapitálových trzích, předpovídání šíření epidemií, zkoumání nebezpečí biologických válek, modelování chování zákazníků až k odhalení důvodu zániku starodávných civilizací.

Co je agent?

Univerzální definice pojmu agent není, ale jejich různé podoby mají některé vlastnosti společné. Někteří považují za agenta jakoukoliv nezávislou komponentu, ať už se jedná o program, model, jedince, ...) (Bonebeau 2001). Taková nezávislá jednotka může vykazovat poměrně jednoduché chování od primitivních reakcí na různé podněty až ke komplexnímu chování a inteligenci. Jiní tvrdí, že abychom agenta mohli považovat za agenta, musí vykazovat schopnost adaptace (Mellouli et al. 2003). Má být tedy schopný učit se na základě interakce s prostředím a na základě informací získaných z těchto interakcí přizpůsobovat své chování. Casti (1997) tvrdí, že agent by měl obsahovat dva typy pravidel. První skupinou pravidel jsou tzv. base-level rules zajišťující reakce agenta na prostředí. Druhou skupinou pravidel je skupina s názvem higher-level rules zajišťující adaptaci agenta změnou stávajících pravidel. Jennings (2000) nám dává pohled na to, jaké základní vlastnosti by měl agent mít a které by zajišťovaly jeho autonomní chování. Hlavním znakem agenta je jeho schopnost provádět nezávislá rozhodnutí. To znamená, že by agent neměl jen tiše sedět v koutku a pasivně přihlížet. Měl by být aktivní jednotkou.

Z praktického úhlu pohledu lze definovat následující hlavní vlastnosti agenta:

- Agent je identifikovatelný: má vlastnosti a pravidla definující jeho chování a schopnost rozhodovat;
- Agent je soběstačný;
- U agenta by mělo být jasně definováno, jaké jsou jeho části a kde jsou jeho hranice;
- Agent je situovaný tj. žije v určitém prostředí, kde interaguje s ostatními agenty; agent disponuje protokoly zajišťující interakce s prostředím, např. se může jednat o komunikační protokoly a odpovědi na podněty; mají mít také schopnost rozpoznávat a rozlišovat vlastnosti jiných agentů;
- Agent je jednotkou cílově orientovanou tj. má stanoveny cíle, kterých má dosáhnout s ohledem na své schopnosti a způsoby chování;
- Agent je autonomní a řídí se sám; může fungovat nezávisle na svém prostředí;
- Agent je flexibilní a může mít schopnost učit se a adaptovat své chování, to samozřejmě předpokládá existenci určité paměti; může disponovat pravidly, které modifikují jeho stávající pravidla chování.



Obrázek č. 1: Agent

Agentově orientované modelování je nazýváno různě, např.

- Agent-based modelling (ABM);
- Agent-based systems (ABS);
- Individual-based modelling (IBM);
- Agent-based modelling and simulation (ABMS).

Je zde rozdíl mezi ABMS a tzv. mobilními agenty (mobile agents). Mobilní agenty jsou softwarem poskytujícím různé funkce uživateli se schopností chovat se autonomně. ABMS je něco jiného než objektově orientované simulace, ale objektově orientovaný přístup je užitečný jako základ pro agentové modelování. Agent může být vnímán jako objekt schopný řídit se sám. Má navíc schopnost výběru akce. ABMS má základ v multi-agentových systémech (MAS) a robotice – tedy v oblasti umělé inteligence (AI). ABMS není orientováno jen na návrh a porozumění agentům. Jedním z cílů a důvodů existence ABMS je modelování sociálního chování nebo porozumění rozhodování jednotlivců. V modelech lze zachytit sociální interakce, spolupráci, skupinové či emergentní chování.

Potřeba agentově orientovaného modelování

Agentově orientované modelování je všeobecně rozšířené. Proč? Je to z důvodu narůstající complexity našeho světa. Systémy, které potřebujeme analyzovat, jsou čím dál tím více složitější. To znamená, že tradiční nástroje pro modelování nejsou příliš vhodné pro modelování complexity. Příkladem může být deregulace elektřiny nebo modelování ekonomických systémů (např. trhů). Cílem je získat realističtější pohled na tyto složité systémy. Řešením pro to může být využívání ABMS.

ABMS

ABMS je spojené s různými vědními disciplínami, např. komplexitou (přesněji: complexity science), počítačovou vědou (computer science), teorií systémů (systems science, systems theory), dynamikou systémů (systems dynamics), managementem (management science), sociálními vědami (social science), simulacemi a modelováním. ABMS čerpá z těchto a

dalších vědních disciplín. ABMS má své kořeny v komplexních adaptivních systémech (complex adaptive systems – CAS). CAS řeší takové otázky jako např. jak vzniká komplexní chování (a jaké má takové chování vlastnosti) mezi autonomními agenty.

Motivací pro CAS byl výzkum adaptace a emergence biologických systémů. CAS mají schopnost samoorganizace a dynamické reorganizace svých komponent způsobem, který takovým systémům umožní lépe existovat nebo i vynikat ve svém prostředí.

John Holland, průkopník tohoto oboru, definuje hlavní vlastnosti CAS:

- Agregace: dovoluje formování skupin;
- Nelinearita systémů
- Toky: dovolují přenos a transformaci zdrojů a informací;
- Rozmanitost: dovoluje, aby se agenti chovali navzájem odlišně – zajištění robustnosti systému;

John Holland dále definuje hlavní mechanismy CAS:

- Značení (tagging): možnost agenty pojmenovávat a rozpoznávat
- Interní modely: umožňují zajistit schopnost agenta uvažovat o světě;
- Stavební bloky: systém je tvořen různými úrovněmi tvořenými jednoduššími komponentami.

Tyto vlastnosti a mechanismy poskytují základ pro návrh agentově orientovaných modelů. Za zmínku stojí, že John Holland vyvinul koncepci genetických algoritmů při výzkumu CAS.

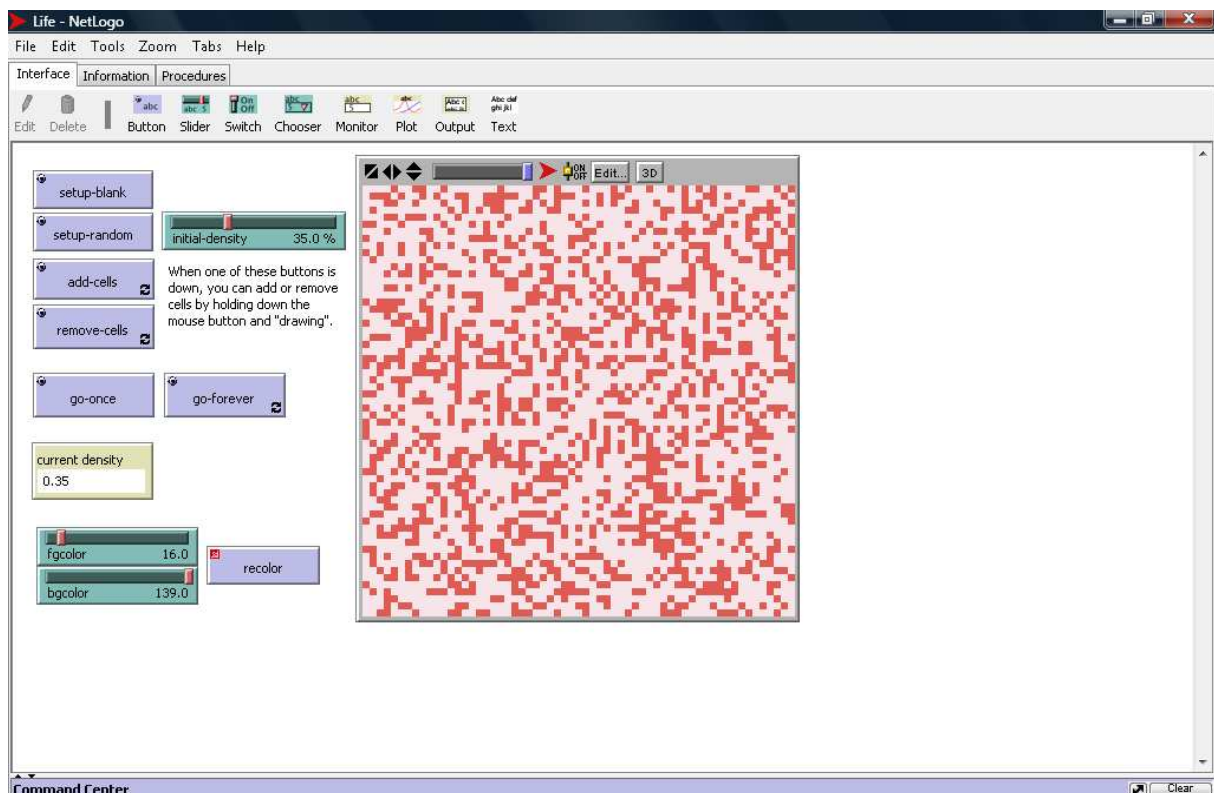
Hlavní myšlenky ABMS

Pro ilustrování hlavních myšlenek agentově orientovaného modelování je vhodné zmínit podstatu tzv. celulárních automatů (cellular automata – CA), resp. Hru života (Game of Life), která je na celulárních automatech založena. Původní název Celulární automat pochází od fyzika Stanisława Ulama, který chtěl reagovat na otázku, kterou položil kdysi John von Neumann. Otázka zněla: „Může být stroj naprogramován tak, aby byl schopný vytvářet své kopie?“ Je tedy možné vytvořit takovou logickou strukturu, která by byla dostatečně složitá na to, aby v ní byly obsaženy všechny instrukce pro samotnou replikaci? Odpověď zní ano a řešením jsou, již zde výše zmíněné, celulární automaty. Typický celulární automat je dvoudimenzionální mřížka tvořená buňkami. Každá buňka má konečný počet stavů. Jednoduchá pravidla určují hodnotu každé buňky, přičemž tato hodnota je založena na jejím předchozím stavu. Každá buňka mění svoji hodnotu podle těchto pravidel. Následující hodnota buňky závisí na současné hodnotě buňky a hodnotách přímo sousedících (osmi) buněk. Každá buňka je stejná co se týká definovaných pravidel měnících jejich stavu.

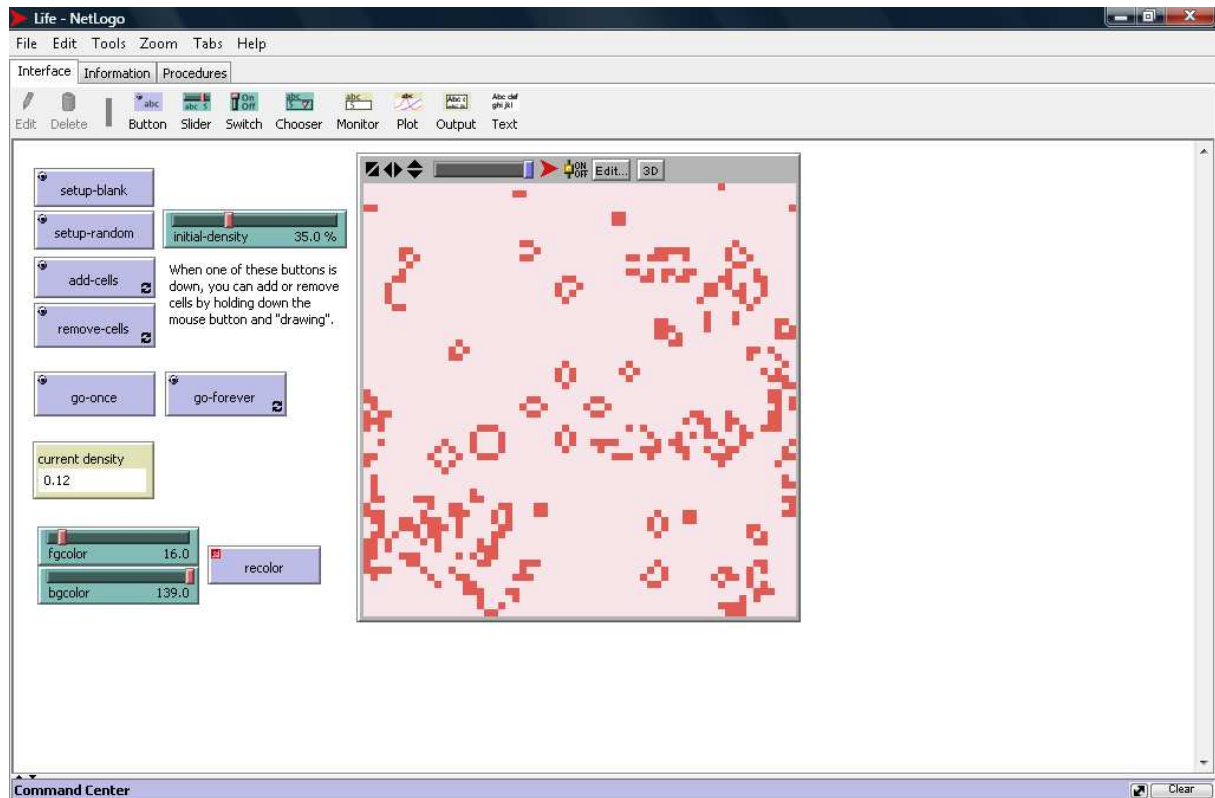
Hra života (Game of Life), jejímž autorem je matematik John Conway, obsahuje tři pravidla určující následující stav každé buňky:

- Buňka bude mít stav On (1) v další generaci, když přesně tři buňky z jejích osmi sousedů mají také stav On (1);
- Buňka si bude udržovat svůj současný stav, když přesně dvě buňky z jejích sousedů mají stav On (1);
- Jinak bude mít buňka stav Off.

Zpočátku jsou buňky rozdělené náhodně. Po několika aktualizacích jejich stavů se objevují zřetelné vzorky. V multiagentovém prostředí NetLogo je možné si vyzkoušet několik celulárních automatů, např. v sekci: Computer Science/Cellular automata/Life. Obrázek č. 2 ukazuje náhodné rozdělení buněk a obrázek č. 3 ukazuje už nápadnější struktury.



Obrázek č. 2: Hra života (1)



Obrázek č. 3: Hra života (2)

Důležité je vědět, že každý stav buňky je založen jen na současném stavu buňky a stavech buněk přímo s danou buňkou sousedící. Vzorky se mohou objevit v simulaci, když jsou zcela popsány jednoduchými pravidly. Vzorky, které se objeví, mohou být extrémně citlivé na původní podmínky modelu. Wolfram zmiňuje, že pravidla v celulárním automatu produkují emergentní chování buněk. Wolfram dále tvrdí, že jednoduchá pravidla mohou být použita k porozumění složitosti, která se v objevuje v realitě. Jak je patrné, tak i systémy bez centrálního řízení mohou (možná zdánlivě) vykazovat kolektivní inteligenci¹.

Agentově orientované modelování ve vědě

Agenty, ve spojení se sociálními procesy, mohou reprezentovat např. lidi nebo skupiny lidí. Vztahy mezi agenty reprezentují procesy sociálních interakcí (Gilbert a Troitzsch 1999). Thomas Schelling vytvořil první simulaci orientovanou na sociální procesy, ve kterých agenty reprezentují lidi a interakce mezi agenty sociální procesy. Agentově orientované modelování se používá i v ekonomii:

- Ekonomičtí agenti jsou racionální, mají definované cíle a jsou schopni optimalizovat své chování;
- Ekonomičtí agenti jsou homogenní, tj. mají identické vlastnosti a pravidla chování;
- ...

¹ Blíže o CI: <http://cci.mit.edu/>

Antropologie je další oblastí uplatnění agentových simulací a modelování, např. pro simulace starověkých civilizací pro vysvětlení jejich růstu a úpadku s využitím archeologických dat.

V oblasti sociologie se agentově orientované modelování také využívá, např. jako základ pro modelování sociálního života jako interakce mezi adaptivními agenty, kteří na sebe navzájem působí. Politické vědy jsou také zájmem pro agentové simulace a sestavování modelů.

Dále pak kognitivní věda je velmi spojena s oblastí agentů, resp. jsou vyvíjeny modely emocí, kognitivních procesů a sociálního chování založeném na názoru, že emoční stavy osob mají vliv na jejich chování, tak jako sociální interakce (Gratch a Marsella 2001). Cílem je vytvořit syntetického agenta, který bude ztělesňovat souhru mezi emocemi, kognicí a sociálním chováním.

Topologie jako základ sociálních interakcí

Jedním ze způsobů jak demonstrovat interakce mezi agenty jsou celulární automaty. Jinou možností je zkoumat chování mezi agenty pomocí sítí. Analýza sociálních sítí (Social Network Analysis – SNA) je oblastí s dlouhou historií studující vlastnosti a analýzu sociálních struktur a interakcí mezi sociálními skupinami pomocí síťových struktur (Vasserman a Faust 1994). Tradičně, SNA je zaměřena na studium statických sítí, tj. sítí, které nemění svoji strukturu v průběhu času. Dnes se pozornost soustřeďuje na reálně existující sítě (Barabási 2002). Analýza dynamických sítí je novým polem, které zkoumá mechanismy týkající se růstu a změn sítí. Některé modelovací techniky agentů mají svůj původ v modelech fyzikálních systémů a modelování sítí je jedním z příkladů. Příkladem systému, který využíval sociální sítě ve spojení s agenty byl Ising systém. Ten modeloval imitaci jedinců tak, že každý jedinec v sociální skupině měnil své chování způsobem, aby se druhým přizpůsobil. Tento model se pak použil pro studium sociálních procesů.

Příkladem aplikace agentových technologií a sociálních věd je příklad vzájemné ovlivňování agentů. Pracujeme s dvěma typy agentů – červení a modří. Zprvu je stejný počet agentů obou typů. Každá ze skupin agentů (modrá a červená) se snaží přesvědčit agenta opačného typu, aby se k nim přidal. Agent, který je obklopený více agenty opačného typu než je on sám, mění svůj typ.

Aplikace agentového modelování a simulací

Aplikace se pohybují od čistě akademického použití k systémům pro podporu rozhodování. Využití agentově orientovaného modelování je shrnuto v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1: Aplikace agentového modelování a simulací

Využití v obchodu a organizacích	Společnost a kultura
Výroba Pojištění Služby pro spotřebitele Dodavatelské řetězce	Starověké civilizace Neposlušnost občanů
Ekonomie	Terorismus
Umělointeligentní finanční trhy Obchodní sítě	Sociální ukazatele Organizační sítě
Infrastruktura	Vojenství
Dodávka elektřiny Transport	Příkazy a kontrola
Řízení davu	Biologie
Pohyby/přesuny lidí Modelování evakuací	Ekologie Skupinové chování zvířat Chování buněk a molekul

Detailnější charakterizaci některých aplikačních oblastí agentových modelů a simulací lze nalézt ve zdroji [1].

Jak vůbec provádět agentové modelování a simulace?

Nejprve je vhodné si stanovit účel modelu, dále stanovit otázky, které by nám měl model zodpovědět a určit potenciální uživatele. Měli bychom mít dobře zanalyzovaný systém, který vytváříme (musíme zkrátka vědět, co děláme a proč). Identifikujeme komponenty a interakce mezi nimi, relevantní zdroje apod. Praxe ukazuje následující doporučení pro agentové modelování a simulace:

- identifikovat agenty a zatím jen teoreticky znát jejich chování;
- identifikovat vztahy mezi agenty a zatím jen teoreticky znát způsoby jejich interakce;
- vybrat vývojovou strategii pro tvorbu modelu;
- získat potřebná data pro modelování;
- validovat chování agentů zachycené v modelu;
- spuštění modelu a analýza výstupu (zkoumat např. emergentní chování).

Objevujeme a zkoumáme agenty

Pro použitelné agentové modely je důležitá identifikace agentů, specifikace jejich chování a interakcí. Agent je takovým rozhodovatelem v našem modelu. Když už agenty definujeme, objevujeme jejich chování. Jak jejich chování můžeme objevit? Nejprve je vhodné získat nějaký teoretický základ chování agentů. Agent reprezentuje určitý reálný objekt našeho světa a ten v modelu zachycujeme. Zachycujeme i jeho chování a je dobré o tomto reálně existujícím objektu něco vědět. Někdo může začít modelovat chování agentů pomocí normativního přístupu – tvoří jakýsi normativní model. V něm se agenti snaží optimalizovat

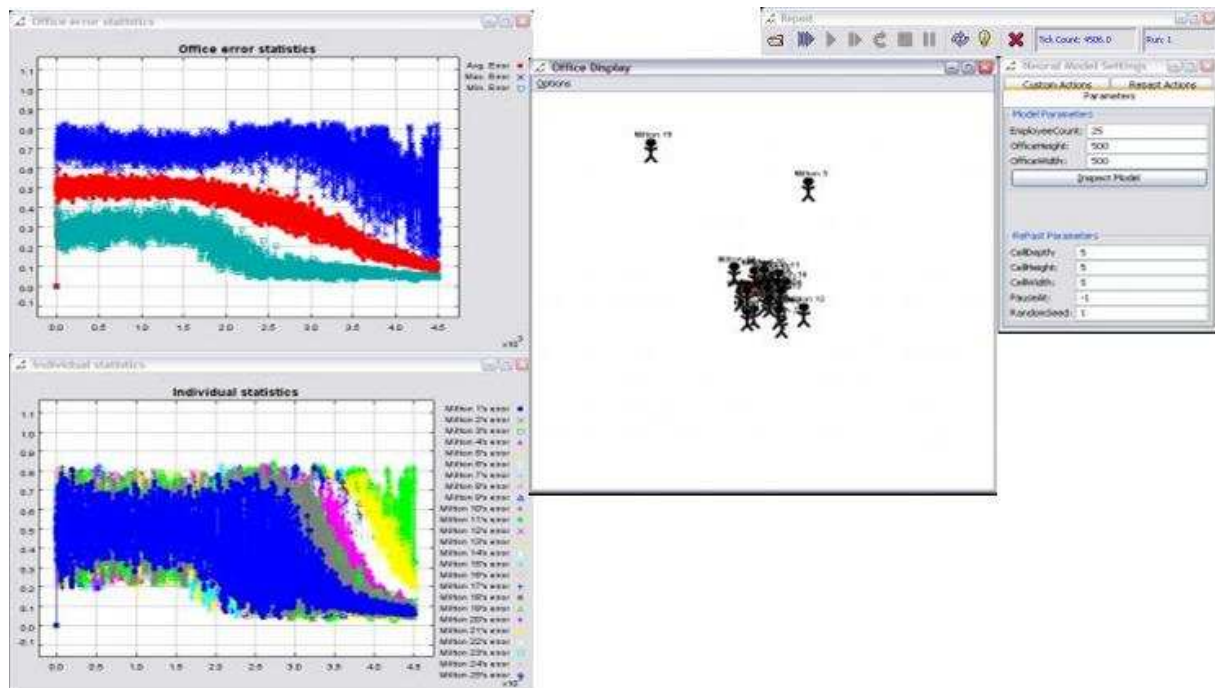
model a použít ho jako startovací bod pro vývoj jednodušších modelů chování. Jiný může začít tvořit modely založené na chování, která jsou podpořena nějakou již existující teorií o chování. Lze využít takových architektur jako BDI (Belief-Desire-Intent) nebo BOD (Behavior-Oriented Design), které používají modální a temporální logiku jako základ pro reaktivní plánování a výběr akcí.

Vývojové nástroje pro agentově orientované modelování a simulace

Existují nástroje, které umožní vytvořit model během několika dní s použitím nástroje, který není až tak těžké obsluhovat. Jedná se o tzv. desktopové ABMS. Příkladem jsou tabulkové procesory nebo čistě matematicky orientované systémy. Příkladem matematicky orientovaných systémů je např. velmi známý program od Wolframa Mathematica nebo MATLAB, kde lze také vyvíjet agentové modely, i když nejsou tyto programy přímo určeny pro agentové modelování. Takovéto matematické systémy nabízejí lepší knihovny, vizualizaci, statistické analýzy apod. Je nutno říci, že takovéto systémy jsou velmi komplexní a naučit se s nimi pracovat zabere určitý čas. Desktopové ABMS systémy mají své limity co se týká např. ovládání agentů. Dále lze použít rozsáhlé a pestřejší nástroje (tzv. Large-scale ABMS), které méně omezují tvorbu a využívání agentů. Jedná se přímo o agentově orientovaná prostředí. Do této skupiny nástrojů patří např. Repast, Swarm, NetLogo nebo MASON, ... Vezměme si například nástroj zvaný REPAST (The Recursive Porous Agent Simulation Toolkit). Jedná se o volně dostupnou knihovnu pro modelování a simulace, která je tzv. open-source. S pomocí ní můžeme vyvíjet flexibilní modely agentů s důrazem na sociální interakce. V současné době existují tři verze prostředí Repast:

- Repast pro Python (Repast Py);
- Repast pro Javu (Repast J);
- Repast pro Microsoft .NET (Repast .NET).

Zmiňme některé z vlastností prostředí Repast. Disponuje plánovačem, širokým spektrem komunikačních mechanismů, nástroji pro ukládání a zobrazování stavů agentů. Zajištěna je i intergrace GIS. Prostředí je plně objektově orientované. Obrázek č. 4 je ukázkou prostředí Repast.



Obrázek č. 4: Repast

Dalším prostředím je SWARM. Jedná se o první vývojové prostředí, které bylo uvedeno roku 1994 Ch. Langtonem v Sante Fe institutu. Jedná se o free a open-source knihovnu. V současné době je v péči skupiny Swarm Development Group (SDG). Inspirací pro vývoj tohoto prostředí byla oblast zvaná Umělý život (Artificial Life). Jedná se o přístup, který studuje biologické systémy a pomocí počítačů se je snaží blíže a lépe poznat. Nyní je prostředí využíváno nejen výzkumníky z oblasti UI a AL, ale např. antropology, ekology, ekonomy, geografy apod. Tak jako Repast je plně objektově orientovaným prostředím. Je kombinací Javy a jazyka Objective-C. Protože je kombinací různých jazyků, jeho integrace, např. do prostředí Eclipse, je problematická. Má také podporu GIS. Dalším systémem je prostředí NetLogo. Je založen na jazyce StarLogo. Prostředí má velmi dobrou podporu a mnoho modelů pro zkoumání. S tímto prostředím se blíže seznámíte na cvičeních z předmětu Znalostní technologie III.

Proč a kdy ABMS?

Rozsah použití ABMS se velmi a celkem rychle rozrůstá. Aplikace se netýkají jen biologických systémů. Aplikace zasahují do oblasti praktických řešení problémů. Proč modelovat pomocí agentů? Takovéto simulace a modely nám dokáží odpovědět na různé otázky. Pomocí nich můžeme studovat různé vzorce chování, organizaci a objevovat chování, které není patrné u projevů jednotlivců – tzv. emergenci.

Kdy je vhodné uvažovat o agentech?

- Když existuje reálná reprezentace agentů;
- Když existují rozhodovací procesy a chování, které mohou být definovány diskrétně;
- Když považujeme za důležité, že se mohou agenty měnit a adaptovat a toto chceme právě v modelu zachytit;

- Když je důležité, že agenty mají dynamické vztahy s ostatními agenty (+ vztahy se formují a mizí);
- Když je důležité, že se agenty organizují a adaptace a učení jsou důležité na organizační úrovni;
- Když minulost neurčuje budoucnost;
- ...

Zdroje

[1] MACAL, CH. M. – NORTH, M. J. *Tutorial on agent-based modelling and simulation*. Center for Complex Adaptive Agent Systems Simulation. Argonne National Laboratory. USA. 2005. Přístup z internetu: URL: <http://www.informs-sim.org/wsc05papers/002.pdf>

Seznam obrázků

Obrázek č. 1: Agent	4
Obrázek č. 2: Hra života (1).....	6
Obrázek č. 3: Hra života (2).....	7
Obrázek č. 4: Repast	11

Seznam tabulek

Tabulka č. 1: Aplikace agentového modelování a simulací	9
---	---