

Modelování založené na agentech
Agent based modeling (ABM)

Radek Pelánek

Obsah

1 Úvod

- Základy ABM
- Srovnání s jinými přístupy
- Studované vlastnosti systémů

2 Příklady

- Přírodní systémy
- Lidské systémy
- Šíření kultury
- Další aplikace

3 Decentralizované myšlení

- Centralizované myšlení
- Typy pro decentralizované myšlení
- Souvislosti
- Elbot

4 Role modelování

Hlavní zdroje

- **Termites, turtles, and traffic jams.** Mitchel Resnick. The MIT Press, 1997.
- **The Complexity of Cooperation.** Robert Axelrod. Princeton University Press, 1997.

	deduktivní	výpočetní
„shora“	analytické makro modely	systémové modely
„zdola“	teorie her	ABM

- buněčné automaty (decentralizace, lokální interakce)
- umělá inteligence (učení, vývoj)

- modely založeny na **autonomních** agentech, tj. modelujeme *odspodu*, agenti nedostávají žádné příkazy *shora*
- důležitou součástí modelů je **prostředí**, ve kterém se agenti pohybují (a které se může též měnit)
- **interakce** je pouze **lokální**
- agenti jsou (relativně) **jednodušší**
- agenti nejsou vázáni na pevné místo, pohybují se po prostředí
- agenti nejsou homogenní, mohou se případně i vyvíjet

- počítačová simulace je klíčová
- přirozená implementace: objektové programování
- existuje však i řada specializovaných nástrojů:
 - NetLogo (vlastní jednoduchý jazyk)
 - RePast (Java)
 - Swarm (Java)

Srovnání ABM a SD

	systémový přístup	modelování založené na agentech
pohled	„shora“	„zespodu“
základní bloky	sumární veličiny	jednotlivci a interakci mezi nimi
zpětné vazby	explicitně vyjádřeny	modelovány nepřímou
centrum zájmu	struktura systému	pravidla pro chování agentů

Srovnání ABM a SD

	systémový přístup	modelování založené na agentech
přístup	deduktivní: od struktury k chování	induktivní: od chování jednotlivců k chování celku
model v čase	fixní	agenti mohou být adaptivní
čas	většinou spojitý	většinou diskrétní

- analytické řešení \Rightarrow syntetický přístup
- hledání ekvilibria \Rightarrow dynamické systémy
- popis chování \Rightarrow jak generovat chování
- založeno na proměnných \Rightarrow založeno na vztazích

vynoření se Emergence is the process of complex pattern formation from simpler rules.

Self-organization refers to a process in which the internal organization of a system increases automatically without being guided or managed by an outside source.

decentralizované řízení

robustost, neefektivita

fázový přechod

Dravec-kořist

Podobně jako při systémovém modelování: dravec se živí kořistí.

Modelujeme jednotlivé tvory a jejich chování (základní verze: náhodný pohyb).

- potravní řetězec: 3 rostliny, 2 býložravci, 1 masožravec
- ostrov na počátku holý, organismy imigrují, množí se
- parametry modelu: rychlost imigrace, příznivost podmínek, velikost ostrova
- účel modelu: ilustrovat vztahy mezi parametry a výslednou diverzitou a stabilitou na ostrově

Hlenka (slime mold)

- chová se buď jako mnoho samostatných jednobuněčných organismů (hodně potravy), nebo se shlukne a vytvoří jeden mnohobuněčný organismus (málo potravy)
- jak se shlukuje? látka cAMP, hypotéza *pacemaker cells*

Model shlukování buněk hlenky, buňky při pohybu vylučují feromon; při pohybu upřednostňují místa s vyšším výskytem feromonu.

Zpětné vazby:

- pozitivní: víc buněk, víc feromonu
- negativní: větší shluky, méně volných buněk

Hlenka

- ke shlukování dochází i bez přítomnosti *pacemaker cells*
- fázový přechod (phase transition): do určitého množství buněk/rychlosti vypařování feromonu, nedochází k žádnému shlukování; jakmile je překročena mez, dochází k velkému shlukování

Mravenci

- mravenci jsou jeden z nejúspěšnějších živočišných druhů (obývají např. téměř celou planetu, tvoří např. 15% biomasy tropických pralesů)
- mravenci (a obecněji sociální hmyz) jsou oblíbeným předmětem pro studium decentralizovaných systémů (srovnej: mýtus královny)
- mraveniště jako celek mají „inteligenci“ (viz umístění hřbitova, skládky), „osobnost“, ... tyto vlastnosti nemají žádný odraz v jednotlivých mravencích (srovnej s neurony a mozkem, viz GEB)

Prostředí: mraveniště + zdroje jídla; mravenci se pohybují náhodně po prostoru, když najdou jídlo cestou zpět do mraveniště vypouští feromon; při pohybu upřednostňují místa, kde je vyšší koncentrace feromonu.

Zpětné vazby:

- pozitivní: víc feromonu, víc mravenců;
- negativní: větší shluky, méně volných mravenců; víc jídla, víc mravenců, rychlejší čerpání jídla

Termiti

Prostředí: rozházené kusy dřívек; termiti chodí náhodně po prostoru; vždy když termít narazí na nějaké dřívko, tak:

- pokud zrovna nic nenese, tak dřívko zvedne
- pokud zrovna něco nese, tak dřívko položí a jde pryč

Hejno

Představte si velké hejno ptáků.

Zkuset vymyslet lokální pravidla pro ptáky, aby se celek choval jako „hejno“.

Hejno (boids)

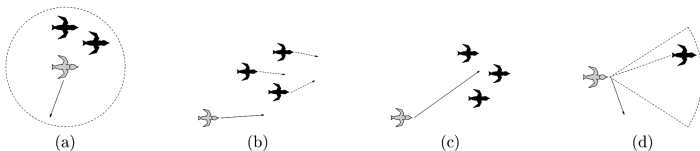


Figure 16.6 Four boid rules: (a) avoid flying too close to others; (b) copy near neighbors; (c) move towards center of perceived neighbors; (d) attempt to maintain clear view.

Figure from *The Computational Beauty of Nature: Computer Explorations of Fractals, Chaos, Complex Systems, and Adaptation*. Copyright © 1998–2000 by Gary William Flake. All rights reserved. Permission granted for educational, scholarly, and personal use provided that this notice remains intact and unaltered. No part of this work may be reproduced for commercial purposes without prior written permission from the MIT Press.

Světlušky

Světlušky přizpůsobují svoje blikání ostatním světluškám v okolí.

Výsledkem je globální synchronizace.

Segregace

Město (tvaru mřížky), dva druhy obyvatel (červení, zelení), obyvatelé vyžadují, aby alespoň část jejich sousedů byla stejná jako oni (určeno mírou tolerance), pokud toto není splněno, tak se přestěhují.

Chování: i při poměrně velké toleranci (stačí 30% stejných) dochází k vytváření jednodruhových shluků (ghet) a tedy k výrazné segregaci obyvatel

Dopravní zácpa

Model: auta jedou po silnici, snaží se udržovat si drobný odstup od toho před sebou, ale jinak co nejrychleji.

Chování: při dostatečné hustotě aut se vytváří zácpa, která se pomalu „pohybuje“ proti směru pohybu aut (i bez vnější příčiny).

Šíření kultury

- studie šíření kultury (postoje, chování, názory, ...)
- lidé mají tendenci přebírat „kulturu“ od ostatních, i přesto však nedochází k úplné homogenizaci, jak to? mnoho důvodů ...
- cíl: studium interakce mezi jednotlivými složkami kultury

Model

- mřížka, na každém políčku agent
- každý agent má n kulturních znaků (např. oblíbený styl hudby) a pro každou z nich je m možností, které může nebývat (dechovka, klasika, folk, techno, ...), tj. agent = n prvkový vektor čísel $1, \dots, m$
- dynamika:
 - náhodně vybrat dvojici sousedů
 - rozhodnout zda dojde k interakci (pravděpodobnost úměrná počtu stejných znaků)
 - pokud dojde k interakci, jeden z agentů zkopíruje hodnotu jednoho znaku od souseda

TABLE 7-1

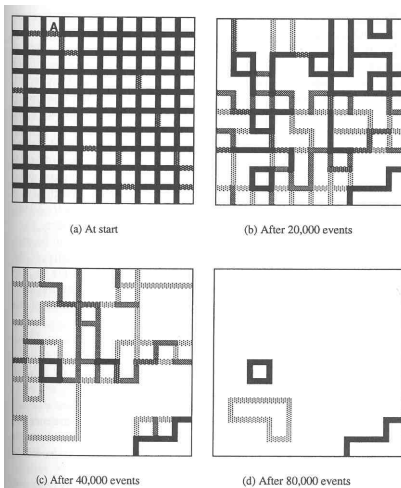
A Typical Initial Set of Cultures

74741	87254	<u>82330</u>	17993	22978	82762	87476	26757	99313	32009
01948	09234	<u>67730</u>	89130	34210	85403	69411	81677	06789	24042
49447	46012	42628	86636	27405	39747	97450	71833	07192	87426
22781	85541	51585	84468	18122	60094	71819	51912	32095	11318
09581	89800	72031	19856	08071	97744	42533	33723	24659	03847
56352	34490	48416	55455	88600	78295	69896	96775	86714	02932
46238	38032	34235	45602	39891	84866	38456	78008	27136	50153
88136	21593	77404	17043	39238	81454	29464	74576	41924	43987
35682	19232	80173	81447	22884	58260	53436	13623	05729	43378
57816	55285	66329	30462	36729	13341	43986	45578	64585	47330

Note: The underlined site and the site to its south share traits for two of the five cultural features, making a cultural similarity of 40 percent.

Chování modelu

- postupně se vytvoří **regiony**
- v rámci regionu identická kultura
- sousedící regiony nemají žádný společný znak



Závislost na parametrech

- zvýšení počtu možností pro kulturní znaky \Rightarrow počet regionů roste
- zvýšení počtu kulturních znaků \Rightarrow počet regionů klesá (!)
- zvětšení rozlohy (počtu agentů) \Rightarrow do určité meze (12x12) počet regionů roste, pak začne klesat (!!)

Poznámky

- pozitivní zpětná vazba + náhoda \Rightarrow řád
- triviální model, neintuitivní chování (závislost na velikosti)

Další aplikace ABM

- občanské nepokoje
- válečné konflikty (ve velkém), souboje (v malém)
- „standing ovation problem“
- trhy
- ekosystémy
- epidemie

Další příklady decentralizovaných systémů

- synchronizovaný pohyb
- Manchester
- Internet
- Amazon: podobné knihy

Centralizované vs. decentralizované myšlení

- lidé mají přirozenou tendenci myslet centralizovaně
- pro porozumění komplexním systémům je často potřeba naučit se uvažovat i decentralizovaně

Centralizované myšlení

- hlavní role při utváření fungujících systémů je přikládána negativní zpětné vazbě s jejími regulujícími schopnostmi
- snažíme se vysvětlovat problémy jednoduše („on za to může“)
- hledáme centralizované příčiny: vedení, semínka

Centralizované myšlení: příklady

- hlenka a „pacemaker cells“
- mraveniště a královna, hejno (stádo) a vedoucí pták (beran)
- zácpy
- náboženství a argument hodináře
- (kapitalistická) ekonomika a vliv vlády (výzkum izraelské děti)

Decentralizované myšlení

- pozitivní zpětná vazba není vždy negativní
- náhoda může vytvářet řád
- hejno není velký pták
- zácpa není soubor aut
- kopce jsou živé

Pozitivní zpětná vazba

- pozitivní zpětná vazba je většinou vnímána jako destruktivní
- pozitivní zpětná vazba hraje důležitou roli při vytváření a rozšiřování struktur
- příklady: hlenka, mravenci, hejno
- další: firmy (viz Polya process), vznik měst

Náhoda

- náhodu běžně vnímáme jako destruktivní prvek
- centralizovaná „semínka“, která intuitivně hledáme, často vznikají díky náhodě
- kombinace náhody + pozitivní zpětné vazby vede k řádu
- náhoda může vést k překonání lokálního optima (viz hlenka)
- další příklady: tleskání, ztracený mravenec

Hejno není pták

- je důležité rozlišovat jednotlivé úrovně
- na úrovni celku můžeme dostat úplně jiné chování než na úrovni jednotlivců (vynoření se, emergence)
- příklad: kytky, buňky rostou rychleji když jsou ve tmě (mají „rády“ tmu), tím pádem se kytky naklání ke světlu (má „ráda“ světlo)

Zácpa není soubor aut

- většinou uvažujeme o celku jako že je souborem částí
- vlna není soubor molekul vody, mraveniště není soubor mravenců, člověk není soubor buněk
- zácpa se pohybuje opačným směrem než auta

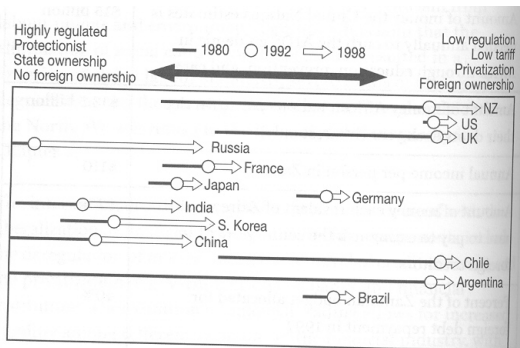
Kopce jsou živé

- prostředí je málokdy pasivní, většinou se přizpůsobuje chování agentů (a zpětně také ovlivňuje chování agentů)
- prostředí není něco „co agenti mění“ ale něco s čím „interagují“
- příklad: zanechávání feromonu

Decentralizace v současném světě

- decentralizace států (rozpad sovětského bloku)
- decentralizace organizací (zplošťování organizační struktury)
- decentralizace ve vědeckých teoriích
- Internet

Decentralizace v současném světě



The advance of deregulation and liberalization, 1980-98.

Source: Vincent Cable, *Globalization and Global Governance* (The Royal Institute of International Affairs, 1999), p. 20.

- nadnárodní společnosti
- unifikace kulturní
- unifikace hospodářská, ekonomická centralizace

	Country	GDP (1990)	Government	...
--	---------	------------	------------	-----

	Country	GDP (\$ mil)	Corporation	Sales (\$ mil)
1.	Denmark	174,363.0	General Motors	176,558.0
2.	Poland	154,146.0	Wal-Mart	166,809.0
3.	South Africa	131,127.0	Exxon Mobil	163,881.0
4.	Israel	99,068.0	Royal Dutch/ Shell	105,366.0
5.	Ireland	84,861.0	IBM	87,548.0
6.	Malaysia	74,634.0	Siemens	75,337.0
7.	Chile	71,092.0	Hitachi	71,858.5
8.	Pakistan	59,880.0	Sony	60,052.7
9.	New Zealand	53,622.0	Honda Motor	54,773.5
10.	Hungary	48,355.0	Credit Suisse	49,362.0

Downloaded from <http://ajph.org/> on November 10, 2015

decentralizované

přírodní systémy

demokracie

volný trh

100

- na úrovni druhů (např. holub)
- na úrovni ekosystémů

- **mysli globálně, jednej lokálně**
- Jan Keller: Nedomyšlená společnost, E. F. Schumacher: Malé je milé, Gandhi
- výzvy k regionální, lokální ekonomice, ...

Soutěž Flbot

- programátorská soutěž na FI, 2. ročník (podzim 2006 + jaro 2007)
- návrh decentralizovaného systému spolupracujících autonomních agentů
- reálné příklady:
 - autonomní navigace systémů pro objevování vesmíru (jedna z technologií testovaných u Deep Space 1, ve fázi návrhu jsou týmy autonomních robotů)
 - internetoví agenti pro vyhledávání informací
 - roboti pro záchranné akce při katastrofách
 - týmy robotů hrající fotbal
- jedná se v podstatě o „abstraktní model“ uvedených reálných případů

Pravidla

- roboti se pohybují na mřížce (volná pole, zdi), omezená viditelnost
- cíl: nanosit co nejvíce pokladů na svoji základnu
- akce robotů:
 - zvednout, položit poklad
 - přesun na vedlejší pole
 - zaslání zprávy všem robotům (10 bytů)

[ukázka]

1

- pravidla velice jednoduchá, návrh dobrých strategií však poměrně komplikovaný
- decentralizace, paralelismus \Rightarrow neintuitivnost, zdánlivě dobré nápady nefungují (a občas i naopak)
- náhoda může být elegantním řešením

Role modelování a simulace

- nejde rozhodně o předpovídání chování systémů
- nejde ani tak moc o přesné vysvětlení principů, na kterých systémy fungují
- jde zejména o **styl uvažování** o systémech
vývoj nových koncepčních i výpočetních nástrojů
podporujících decentralizované uvažování o systémech

Příklad: Agent-based computational economics (ACE)

Cíle ACE výzkumu (Leigh Tesfatsion):

- empirické porozumění: proč se určité (makro) vzory chování vyvinuly?
- normativní porozumění: jak navrhovat nové (mikro) normy, pravidla, aby vedly k úspěšným (makro) chováním?
- kvalitativní vhled: přesnější porozumění všech možných chování systémů, co určuje, které z nich nastanou...

ABM jako most mezi obory

(Robert Axelrod)

- ABM lze použít v mnoha různých oblastech
- ABM usnadňuje mezioborovou spolupráci
- ABM nabízí užitečný mezioborový nástroj ve chvíli, kdy matematické zpracování není možné
- ABM pomáhá nacházet společné prvky v různých oborech