

Modelování založené na agentech a decentralizované myšlení

Radek Pelánek

Terminologie

- standardní anglický pojem: **agent-based modeling** (ABM)
- česky též např. „multiagentní modelování“

Typy modelů

deduktivní

výpočetní

„shora“ analytické makro modely systémové modely

„zdola“ teorie her **ABM**

(jeden z mnoha způsobů škatulkování modelů)

Východiska

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

Postup

- ABM – spíše metodologie než fixně daný formalismus
- ilustrace především na příkladech
- následně shrnutí hlavních principů

Dravec-kořist

NetLogo: Biology / Wolf Sheep Predation

- základní předpoklady jako při systémovém modelování
- dravec se živí pouze kořistí, kořist regulována (pouze) dravcem
- modelujeme jednotlivé tvory, pravidla:
 - náhodný pohyb
 - požírání při kontaktu

Model hlenky

NetLogo: Biology / Slime

- abstraktní model shlukování buněk hlenky
- pravidla:
 - náhodný pohyb
 - 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

Model hlenky

- 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

Hádanka

Který živočišný druh:

- obývá všechny kontinenty kromě Antarktidy
- tvoří možná až 15 % hmotnosti všech živočichů
- tvoří rozsáhlá společenství s dělbou rolí
- provozuje zemědělství a otrokářství

?

Mravenci

- jeden z nejúspěšnějších živočišných druhů
- oblíbený předmět pro studium decentralizovaných systémů
- mraveniště jako celek mají „inteligenci“, „osobnost“
- emergence – tyto vlastnosti nemají žádný odraz v jednotlivých mravencích (srovnej s neurony a mozkem)

<https://www.youtube.com/watch?v=A042J0IDQK4>

https://www.ted.com/talks/deborah_gordon_the_emergent_genius_of_ant_colonies

Mravenci: inteligence

- pokusy v laboratoři, omezená plocha
- umístění hřbitova, skládky: maximalizace vzdáleností
- hledání nejkratších cest k potravě
- mraveniště jako celek řeší netriviální matematické úlohy

Mravenci: osobnost mraveniště

- jednotliví mravenci žijí krátkou dobu, mraveniště jako celek přežívá dlouho
- s věkem se mění charakter mraveniště (agresivní, dobyvačné → klidné, ustálené)
- průměrný věk mravenců je stále přibližně stejný

Mravenci: model

NetLogo: Biology / Ants

- prostředí: mraveniště + zdroje jídla
- pravidla:
 - mravenci se pohybují náhodně po prostoru
 - najdou jídlo ⇒ cestou zpět do mraveniště vypouští feromon
 - hledání ⇒ upřednostňují místa s vyšší koncentrací feromonu

Mravenci: poznámky k modelu

Zpětné vazby:

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

Inspirace pro algoritmy

- *ant colony optimization*, obecněji *swarm intelligence*
- heuristické algoritmy pro řešení náročných výpočetních problémů
- „inspirace“ vs. „model“

Termiti

NetLogo: Biology / Termites

- prostředí: rozházené kusy dřívěk
- pravidla:
 - termiti chodí náhodně po prostoru
 - když termit narazí na dřívko:
 - pokud zrovna nic nenese, tak dřívko zvedne
 - pokud zrovna něco nese, tak dřívko položí a jde pryč

Hejno

- představte si velké hejno ptáků
- zkuste vymyslet lokální pravidla pro ptáky, aby se celek choval jako „hejno“

Hejno (boids)

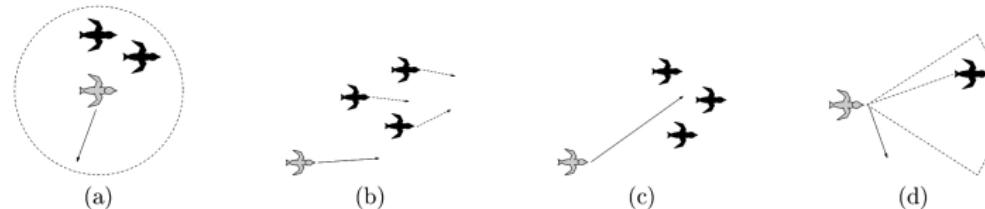


Figure 16.6 Four boid rules: (a) avoid flying too close to others; (b) copy near neighbors; (c) move towards center of perceived neighbors; (d) attempt to maintain clear view.

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.

Boids: poznámky

- velmi známý model
- mnoho rozšíření
- počítačová grafika
- NetLogo: Biology / Flocking
- <https://www.red3d.com/cwr/boids/>
- <https://www.youtube.com/watch?v=rN8DzlgMt3M> – rozšířená verze

Světlušky



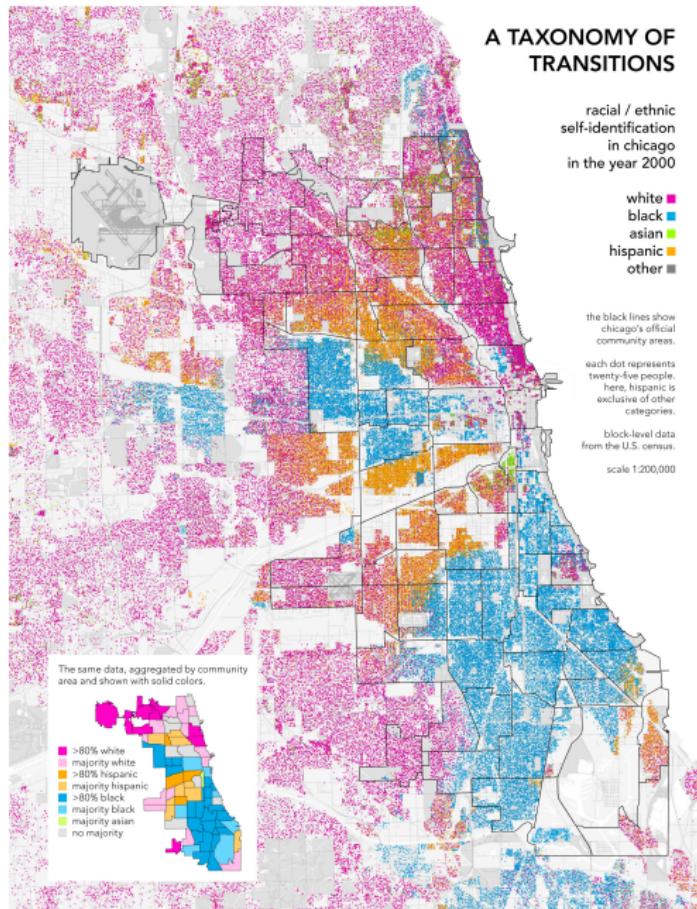
[https:](https://www.ted.com/talks/steven_strogatz_the_science_of_sync)

//www.ted.com/talks/steven_strogatz_the_science_of_sync
(cca 8:30)

Světlušky

NetLogo: Biology / Fireflies

- model globální synchronizace světlušek (projevuje se u některých druhů)
- pravidla světlušek:
 - náhodný pohyb
 - blikání v pravidelném intervalu
 - drobné přizpůsobení blikání ostatním světluškám v okolí



New York



<https://www.flickr.com/photos/walkingsf/sets/72157624812674967/>

Model segregace

NetLogo: Social Science / Segregation

- Thomas Schelling – původní model
- prostředí: město tvaru mřížky, dva druhy obyvatel (červení, zelení)
- p – míra tolerance
- obyvatelé jsou spokojení, pokud p % sousedů je stejných
- nespokojený \Rightarrow přestěhování na náhodné volné pole

Model segregace: chování

i při velké toleranci (stačí 30 % stejných):

- vytváření jednodruhových shluků (ghet)
- výrazná segregace obyvatel

Dopravní zácpa

NetLogo: Social Science / Traffic Basic

- model decentralizovaného vzniku dopravní zácpy
- pravidla:
 - auta jedou po silnici
 - snaží se udržovat si drobný odstup od toho před sebou
 - jinak co nejrychleji (do limitu)

Dopravní zácpa: chování modelu

- při dostatečné hustotě aut se vytváří zácpa *i bez vnější příčiny*
- pomalu se „pohybuje“ proti směru pohybu aut

Videa k tématu

- <https://www.youtube.com/watch?v=svPtt-6Kdy4>
 - můj stručný výtah z dnešní přednášky
 - mravenci, hlenka, hejno
- https://www.youtube.com/watch?v=uHboHI2_KKU
 - Petr Jarušek
 - rasová segregace

Další aplikace ABM

- občanské nepokoje
- trhy
- ekosystémy
- epidemie
- válečné konflikty (ve velkém), souboje (v malém)
(většina bude zmíněna podrobněji později)

Další příklady decentralizovaných systémů

- úvodní cvičení
- Manchester – růst města
- Internet
- doporučující systémy (např. Amazon)

Další zajímavé zdroje

- Swarming, swirling and stasis in sequestered bristle-bots
<https://www.youtube.com/watch?v=0uqsRGFLM20>
- Mick Mountz: The hidden world of box-packing
https://www.ted.com/talks/mick_mountz_what_happens_inside_those_massive_warehouses

Základní prvky

- modely založeny na **autonomních** agentech, tj. modelujeme *zdola*, 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) **jednoduší**
- agenti nejsou vázáni na pevné místo, pohybují se po prostředí
- agenti nejsou homogenní, mohou se i vyvíjet

Realizace ABM

- počítačová simulace je klíčová
- přirozená implementace: objektové programování
- specializované nástroje, např:
 - NetLogo (vlastní jednoduchý jazyk)
 - RePast (Java)
 - Swarm (Java)

NetLogo: rychlý úvod

<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/>

- historicky následník jazyka Logo (želví grafika, 70. léta)
- mírně specifická syntaxe, např.
 - vyznačování bloků kódu: []
 - přiřazení, test na rovnost: set, =
 - definice funkcí: to ... end
 - ifelse
- rozsáhlá sbírka příkladů
 - zajímavé modely
 - užitečná inspirace pro vlastní tvorbu

NetLogo: entity

- globální pozorovatel (observer)
- turtles = „agenti“
- patches = „políčka“ (podkladová mřížka)
- (links = vztahy, modelování sítí)
- ask turtles, ask patches – všichni agenti/políčka provedou určitou operaci (v náhodném pořadí)

NetLogo: prostředí, konvence

- prvky uživatelského prostředí automaticky globální proměnné
- konvenční funkce, tlačítka:
 - setup – inicializace modelu
 - go – jeden krok modelu
- Settings: nastavení velikosti světa, okrajových podmínek

NetLogo: příkazy

velmi bohatý slovník příkazů:

<https://ccl.northwestern.edu/netlogo/docs/> –
NetLogo Dictionary

dílčí užitečné příkazy/proměnné:

- fd = forward, lt = left, rt = right
- color = barva agenta
- pcolor = barva políčka
- reset-ticks (v setup), tick (v go): automatická aktualizace grafů, export dat

NetLogo: tipy

častá chyba: špatný „kontext“ (pozorovatel X agent X políčko)

- mnohé příkazy dívají smysl jen v jednom kontextu
- ask turtles – pouze pozoroval
- set color – pouze agent

Srovnání s jinými přístupy

Srovnání ABM a SD

	systémová dynamika	modelování založené na agentech
pohled	„shora“	„zdola“
základní bloky	sumární veličiny	jednotlivci a interakce mezi nimi
zpětné vazby	explicitně vyjádřeny	modelovány nepřímo
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 spojity	většinou diskrétní

Studované vlastnosti systémů

Studované vlastnosti systémů

emergentní chování (emergence) chování na úrovni celku,
které nemá přímý vzor v chování na úrovni jedinců
samo-organizace (self-organization) nárůst interní organizace
systému bez externího řízení
fázový přechod (phase transition) prudká změna chování
systému při postupné změně vnějších parametrů
robustnost, efektivita

Centralizované vs. decentralizované myšlení

- lidé – přirozená tendence myslet centralizovaně
- komplexní systémy – často značně decentralizované

Termites, turtles, and traffic jams. Mitchel Resnick. The MIT Press, 1997.

Centralizované myšlení

- důraz na **negativní zpětnou vazbu**, regulující schopnosti
- zjednodušené uvažování o příčinách a následcích
(jednosměrné vazby místo zpětnovazebních cyklů)
- hledáme centralizované příčiny: vedení, semínka

Centralizované myšlení: příklady

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

Decentralizované myšlení

- pozitivní zpětné vazby
- role náhody při vytváření řádu
- rozlišování úrovní, celků:
 - „hejno není velký pták“
 - „zácpa není soubor aut“

Pozitivní zpětná vazba

- pozitivní zpětná vazba
 - běžně vnímána jako destruktivní (nádor, epidemie, destabilizace)
 - decentralizované systémy – vytváření a rozšiřování struktur
- příklady: hlenka, mravenci, hejno
- další: firmy (viz Polya process), vznik měst

Náhoda

- běžně vnímána jako destruktivní prvek
- intuitivní centralizovaná „semínka“ – často vznik díky náhodě
- často: **náhoda + pozitivní zpětné vazba = řád**
- může vést k překonání lokálního optima – viz hlenka
- další příklady: tleskání, ztracený mravenec

Hejno není velký pták

- rozlišování jednotlivých úrovní
- na úrovni celku můžeme dostat jiné chování než na úrovni jednotlivců (emergentní chování)
- příklad kytka:
 - buňky rostou rychleji ve tmě
 - kytka se tím naklání ke světlu

Zácpa není soubor aut

- běžné vnímání: celek = soubor částí, ale
 - vlna není soubor molekul vody
 - mraveniště není soubor mravenců
 - člověk není soubor buněk
- zácpa se pohybuje opačným směrem než auta

Robustnost, efektivita

centralizované

stroje

autokracie

plánované hospodářství

decentralizované

přírodní systémy

demokracie

volný trh

Robustnost, efektivita

Monarchie je jako nádherný koráb plující pod plnými plachtami majestátně vpřed. Najednou narazí na útes a klesne navždy ke dnu. Demokracie je jako vor. Nikdy, nikdy se nepotopí, ale proklatě, nohy máte furt ve vodě!

Fázový přechod

Aktuální např. při vymírání živočišných druhů:

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

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

Příklady

oooooooooooooooooooo

Flbot

Flbot 2

Pojmy

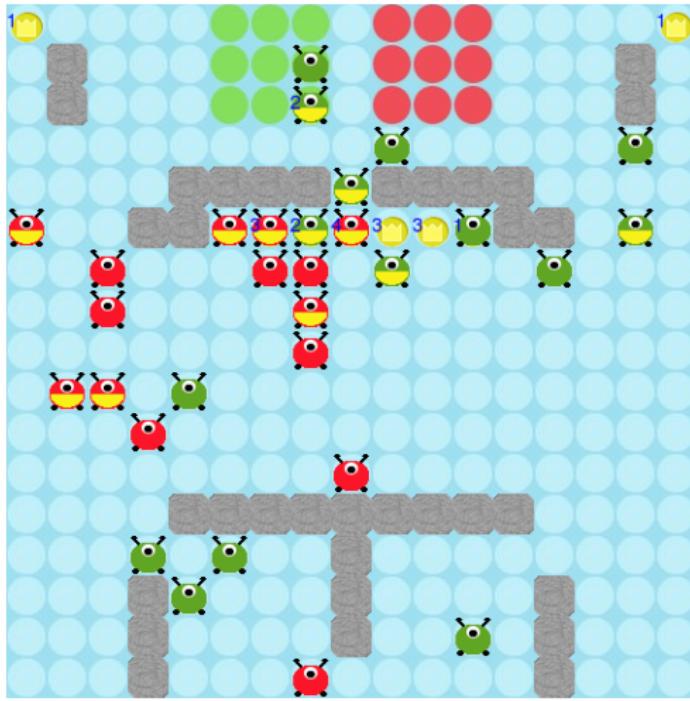
oooooooooooo

Decentralizované myšlení

oooooooooooo●○○○

Role modelování

○



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)

Poznámky

- pravidla velice jednoduchá
- návrh dobrých strategií komplikovaný
- decentralizace, parallelismus ⇒ neintuitivnost, zdánlivě dobré nápady nefungují (a občas i naopak)
- náhoda může být elegantním řešením, např. řešení konfliktů, rozdělení rolí

Role modelování a simulace

u uvedených příkladů:

- nejde 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