

Modelování založené na agentech a decentralizované myšlení

Radek Pelánek

Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání
pro konkurenceschopnost



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Průběh

- úvodní cvičení
 - synchronizované dřepy
 - tleskání
- ilustrační příklady v NetLogu
- pojmy shrnutí
 - ABM
 - decentralizované myšlení

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)

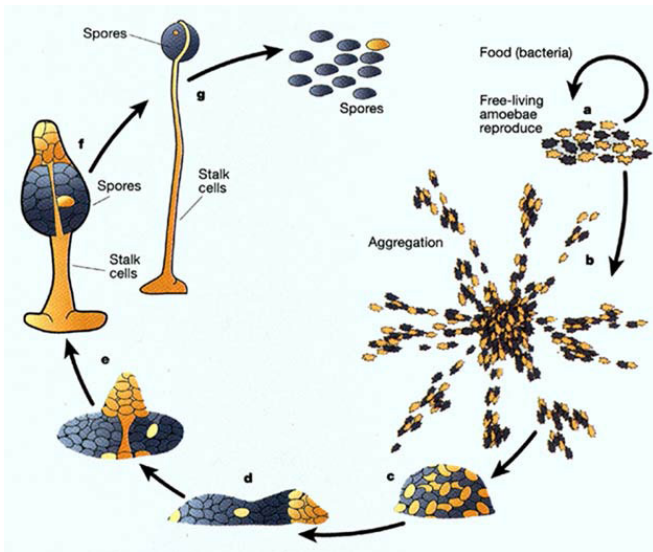
Dravec-kořist

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

Model osidlování ostrova

- 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)



Hlenka (slime mold)

- dva módy chování:
 - hodně potravy \sim mnoho samostatných jednobuněčných organismů
 - málo potravy \sim shlukne se a vytvoří jeden mnohobuněčný organismus
- jak se shlukuje? látka cAMP
- hypotéza **pacemaker cells**

<http://www.youtube.com/watch?v=bkVhLJLG7ug>

<http://www.youtube.com/watch?v=1eKI3Cv9YYw>

Model hlenky

- 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 mozky)

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

http://www.ted.com/talks/deborah_gordon_digs_ants.html

Mravenci: intelligence

- 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

- prostředí: mraveniště + zdroje jídla
- pravidla:
 - mravenci se pohybují náhodně po prostoru
 - najdou jídlo \Rightarrow cestou zpět do mraveniště vypouští feromon
 - hledání \Rightarrow 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

Termiti

- 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“

<http://www.youtube.com/watch?v=81wFZavdhPU>

Hejno (boids)

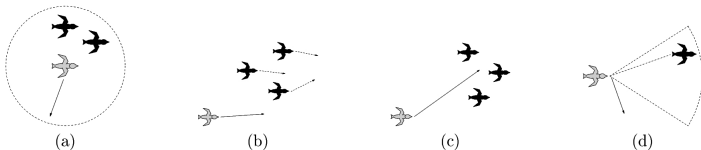


Figure 16.6 Four boid rules: (a) avoid flying too close to others; (b) copy near neighbors; (c) move towards center of perceived neighbors; (d) attempt to maintain clear view.

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
- <http://www.red3d.com/cwr/boids/>
- <http://www.youtube.com/watch?v=rN8DzlgMt3M> – rozšířená verze

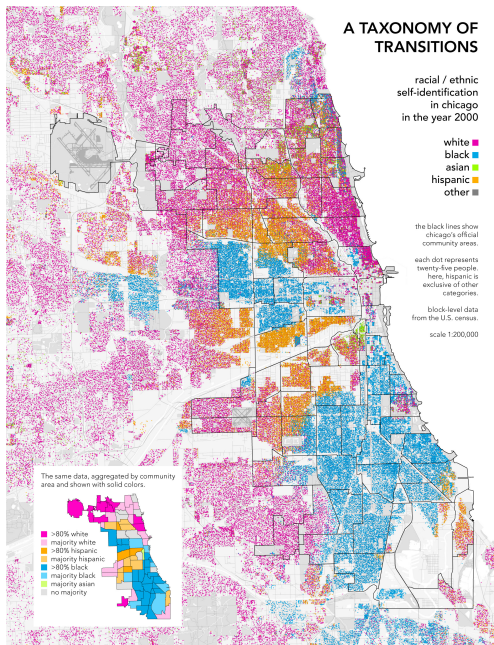
Světlušky



http://www.ted.com/talks/steven_strogatz_on_sync.html
(cca 8:30)

Světlušky

- 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



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

Model segregace

- 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

- model decentralizovaného vzniku dopravní zácpy
- auta jedou po silnici, snaží se udržovat si drobný odstup od toho před sebou, ale jinak co nejrychleji

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

- <http://www.youtube.com/watch?v=svPtt-6Kdy4>
 - můj stručný výtah z dnešní přednášky
 - mravenci, hlenka, hejno
- http://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
http://www.ted.com/talks/mick_mountz_the_hidden_world_of_box_packing.html

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)

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 | v | fixní | agenti mohou být adaptivní |
| čas | | většinou spojitý | většinou diskrétní |

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**

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“

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

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 kytky:
 - 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

decentralizované

stroje

přírodní systémy

autokracie

demokracie

plánované hospodářství

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

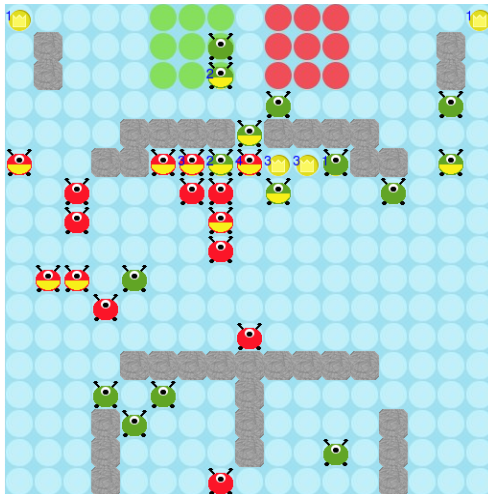
Aktuální např. při vymírání živočišných druhů:

- 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

Flbot 2



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, paralelismus \Rightarrow 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