

# 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









# 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 mozkiem)

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

[https://www.ted.com/talks/deborah\\_gordon\\_the\\_emergent\\_genius\\_of\\_ant\\_colonies](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, dobytčácké → 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  $\Rightarrow$  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



# 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 nese, 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“



# 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

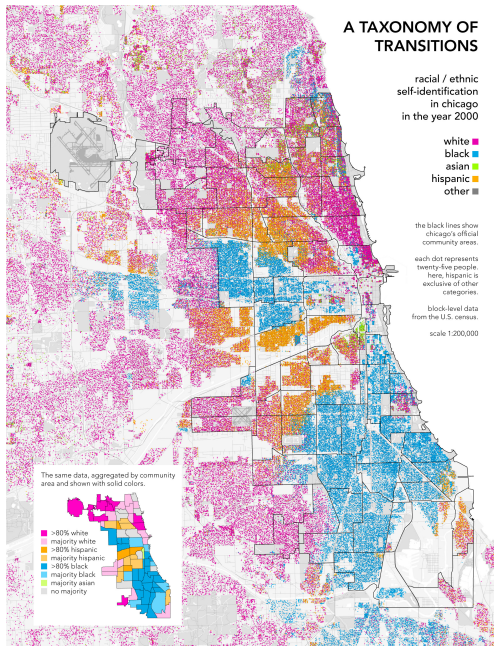


`https://www.ted.com/talks/steven_strogatz_the_science_of_sync  
(cca 8:30)`

# 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](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](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

díličí užitečné příkazy/proměnné:

- fd = forward, lt = left, rt = right
- color = barva agenta
- pcolor = barva políčka
- xcor, ycor, pxcor, pycor = souřadnice agenta / 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 dávají smysl jen v jednom kontextu
- `ask turtles` – pouze pozorovatel
- `set color` – pouze agent



# NetLogo: ukázky úprav modelů

- Erosion – úprava výchozího stavu
- Termites – přidání nastavitelného parametru
- Slime – model s „mutanty“
- Flocking – přidání sloupu a úprava chování

# Srovnání ABM a SD

---

	systemová 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

---

systemový přístup

modelování založené na  
agentech

---

přístup

deduktivní: od struk-  
tury k chování

induktivní: od chování  
jednotlivců k chování  
celku

model  
čas

v fixní

agenti mohou být adap-  
tivní

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**

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



# Decentralizované myšlení

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





# 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







# Fázový přechod

- Aktuální např. při vymírání živočišných druhů:
- na úrovni druhů (např. holub stěhovavý)
  - na úrovni ekosystémů

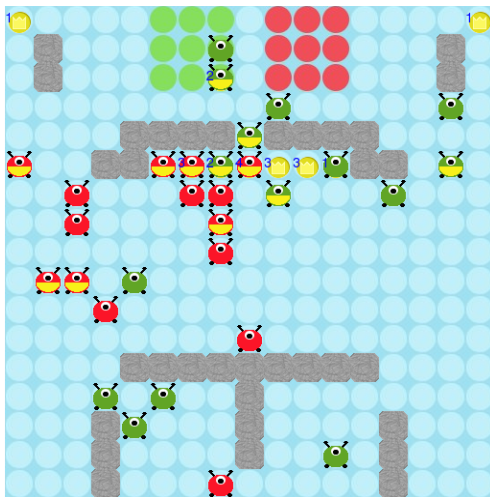
# Soutěž Flbot

- programátorská soutěž na Fl, 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



F1bot

# F1bot 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

# Poznámky ke konzultaci projektů

- rozmyšlení hypotetického „zadavatele projektu“
- kritika fiktivních projektů

Varování: Soupisy projektů na následujících slidech jsou záměrně nevhodné (určené pro kritiku).

# Role zadavatele projektu

Kdo je (hypotetický) zadavatel modelu? Jak využije výstupy modelu? Jaká rozhodnutí výstupy ovlivní?

- epidemie nemoci
- návrh křižovatky
- šíření módy, technologických novinek
- šíření dezinformací
- strategie v rámci hry (deskové, terénní, počítačové)
- sociální hmyz (mravenci, včely)

# Zombie apokalypsa

Projekt bude modelovat zombie apokalypsu. Lidé a zombie se budou pohybovat po prostoru. Zombie pronásledují lidi, pokud je chytanou, tak se z lidí stávají zombie. Lidé budou mít k dispozici zbraně s omezeným množstvím nábojů. V prostoru bude několik míst, kde bude možné náboje dobíjet. Budeme analyzovat, jestli se lidem podaří přežít.

# Dilema vězně na sítích

Dilema vězně se běžně hraje jako turnaj „každý s každým“. Budeme studovat realističtější dynamiku za využití komplexních sítí jakožto modelu sociálních sítí. Každý uzel bude mít svoji strategii a bude hrát opakované Dilema vězně se sousedními uzly. Budeme vyhodnocovat, které uzly dopadly lépe.



# Bitva: tanky a protitankové střely

Budeme modelovat asymetrickou bitvu dvou armád (inspirováno válkou na Ukrajině). Jedna bude mít výraznou převahu v počtu tanků, druhá bude disponovat kvalitními protitankovými střelami. Budeme analyzovat jak nastavení parametrů zbraní (odolnost tanků, přesnost a účinnost střel) ovlivní výsledek bitvy.

# Fotbalová superliga

Elitní evropské týmy chtěly vytvořit fotbalovou superligu, která by fungovala mimo rámec aktuálních fotbalových soutěží (národní ligy, poháry, liga mistrů). Budeme modelovat, jaký dopad by mělo vytvoření takové superligy. V modelu budeme mít jednotlivé hráče, výkon týmu bude agregace výkonu jednotlivých hráčů, na základě těchto modelových výkonů budeme modelovat výsledky zápasů a tím finanční úspěch jednotlivých týmů.