

Metody analýzy modelů

Radek Pelánek

Fáze modelování

- 1 Formulace problému
- 2 Základní návrh modelu
- 3 Budování modelu
- 4 Verifikace a validace
- 5 **Simulace a analýza**
- 6 Sumarizace výsledků

Simulace a analýza

- klíčová součást modelování
- především otázka praxe – důležitá část projektu
- přednáška – stručné poznámky:
 - analýza citlivosti
 - vizualizace běhu modelu, výsledků simulací

Poznámky k projektům

- **analýza modelu je klíčová součást projektu**
- **raději jednodušší model s dobrou analýzou** než komplikovaný model s povrchní analýzou
- častá chyba: naivní pokus o „ověřování hypotéz“

Analýzy, hypotézy, předpoklady

- analýza modelu není ověřování hypotéz
- ověřování hypotéz – typicky skrze randomizované experimenty
- modelování
 - „předpoklady“
 - analýzy ukazují důsledky vložených předpokladů, nemohou je „ověřit“
 - můžeme porovnávat různé modely (předpoklady), zejména pokud máme numerická data

(na základě reálného projektu, avšak zjednodušeno)

- téma: supermarkety vs. malé obchody
- „hypotéza“: supermarkety vytlačují malé obchody
- model: pravidla upřednostňující supermarkety
- analýzy: supermarkety rostou, malé obchody klesají
- závěr: hypotéza ověřena

sensitivity analysis

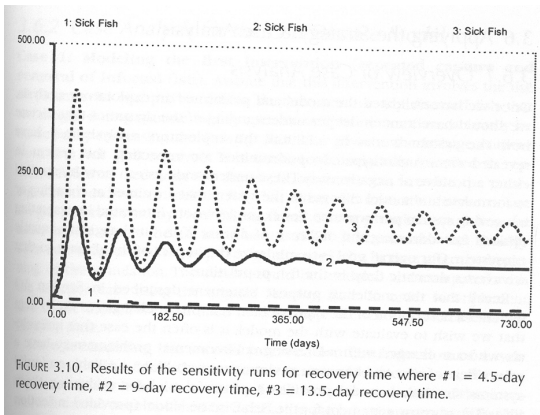
- určení **vlivu parametrů** na chování modelu
- jak moc jednotlivé parametry ovlivňují chování modelu

Analýza citlivosti – důvody

- význam **odhadů**:
 - jak odhady ovlivňují chování modelu?
 - závislost výsledků simulace na správnosti odhadu
- jak **ovlivňovat** chování systému:
 - parametry s vysokým a nízkým vlivem na chování modelu („leverage points“)
 - návrh „politik“ pro změnu chování systému

Příklad

- tři běhy s různými hodnotami jednoho z parametrů
- parametr s vysokým vlivem: ovlivňuje výrazně velikost sledované zásobárny i její průběh (přítomnost/absence oscilací)



Automatizovaná analýza citlivosti

- simulační nástroje obsahují podporu pro automatizované spouštění více běhů
- výsledky typicky zpracováváme „externě“ (statistický software, Python, tabulkový editor, ...)

NetLogo: Behavior Space

- menu: Tools / Behavior Space
- new experiment – definujeme:
 - které parametry chceme měnit a jak
 - které aspekty chování systému chceme měřit
- run, save – spustíme a uložíme výsledky jako CSV soubor
- provedeme analýzu CSV v externím softwaru

NetLogo: Fire – ukázka analýzy

Earth Science / Fire

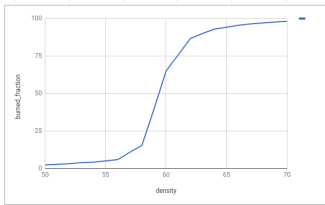
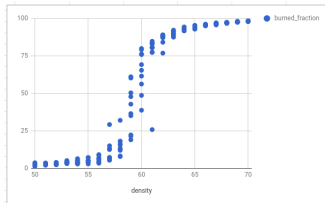
Behavior Space, new experiment:

- vary variables as follows:
 ["density" [50 1 70]]
- repetitions:
 10
- measure runs using these reporters:
 (burned-trees / initial-trees) * 100
- measure runs at every step:
 unchecked
- ostatní default

NetLogo: Fire – ukázka analýzy

přímočará analýza v tabulkovém editoru:

<https://docs.google.com/spreadsheets/d/19z0Rt8lr8ylNLL42YrvRkPLGmL00bPh2cA0wpzZHmZY>

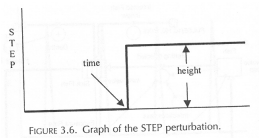
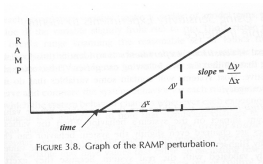
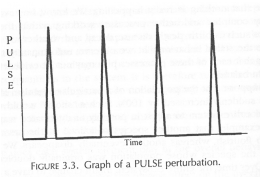


Poznámky k analýzám

- nemusí být zcela zřejmé, jak pro účely analýz měřit „chování systému“ (\sim osa y v analýze):
 - model zácpy
 - model shlukování hlenky
 - model hejna
- co je „šum“ a co „signál“? \Rightarrow intervaly spolehlivosti, statistické testy...

Změny hodnot parametrů

- jak se chová model za dynamicky se měnících podmínek?
- cíle pokusů:
 - zkoumat vliv různých „politik“ na chování systémů (policy analysis)
 - zkoumat robustnost modelu
- příklady experimentů (změna určitého parametru během simulace): Puls, Ramp, Step



Příklady: lovec-kořist

- ABM model králík-tráva (variace na tutoriálový model z NetLoga)
- základní systémový model Lotka-Voltera

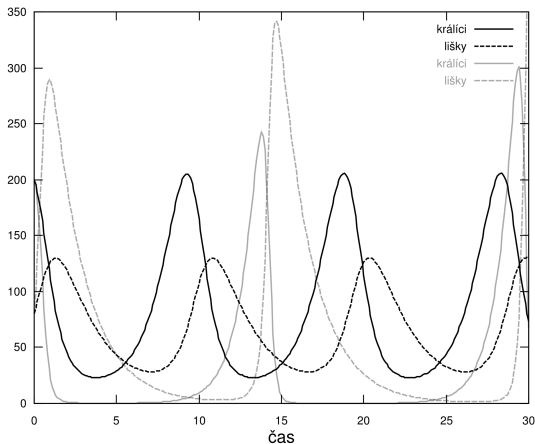
$$dL/dt = p_l KL - u_l L$$

$$dK/dt = p_k K - u_k KL$$

Verifikace modelu

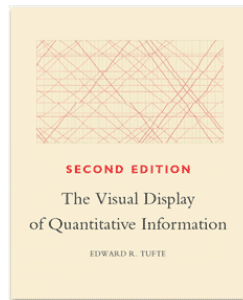
systémový model:

- černé křivky – numerický výpočet s $\Delta t = 0,001$
- šedé křivky – numerický výpočet s $\Delta t = 0,05$



Vizualizace běhů, dat

- doporučená literatura:
E. R. Tufte: The Visual Display of Quantitative Information
- PV251 Visualization

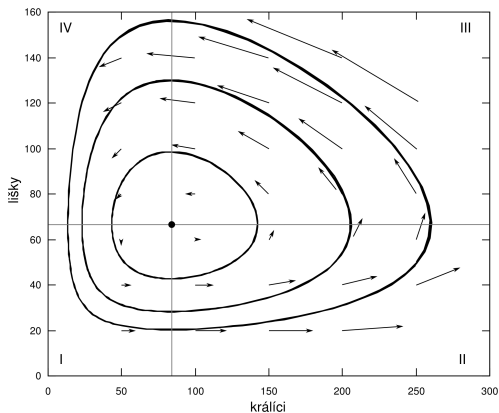


- základní způsob zobrazení dynamického chování
- **přemýšlet**, nepoužívat jen automaticky „default“, např.
 - sumární proměnné – způsob počítání u ABM
 - více proměnných současně (které?)
- důležité věnovat pozornost:
 - délka zobrazovaného intervalu
 - osa y, zvláště při více proměnných

Stavový prostor

- model: vektor délky n
- stavový prostor: n rozměrný prostor
- přímočaré zobrazení pro $n = 2$
- pro vícerozměrné používáme vhodný průmět (vybrané sumární proměnné)

Stavový prostor: systémový model



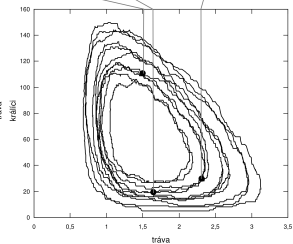
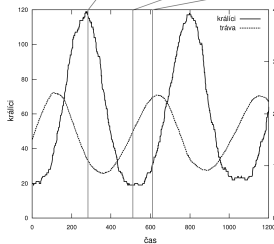
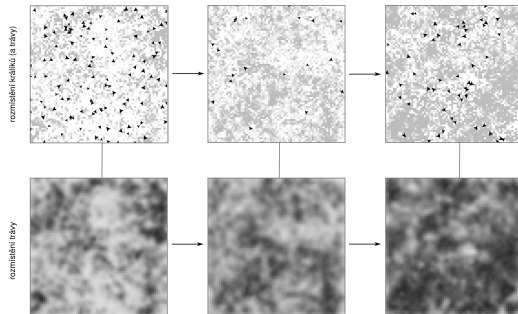
$$dL/dt = p_l KL - u_l L$$

$$dK/dt = p_k K - u_k KL$$

Vizualizace modelu

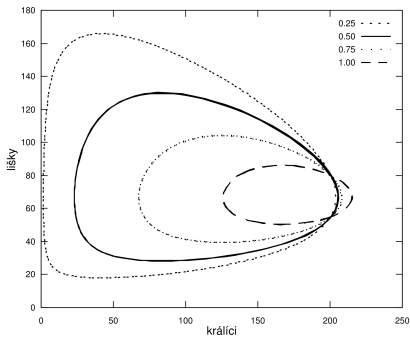
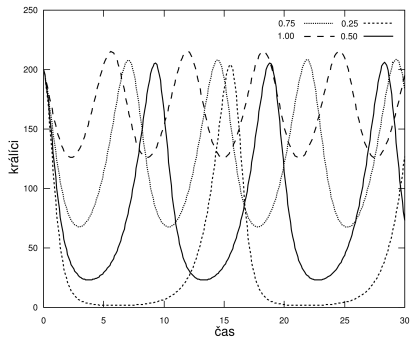
U ABM modelů důležitá vizualizace: ladění, marketing, pedagogické účely, ...

- sledování jednotlivce, zobrazení z pohledu jednotlivce
- numerické informace – velikost objektů, odstín barvy (šedi)
- nedávat nutně všechny informace do jedné vizualizace, nabídnout více různých vizualizací

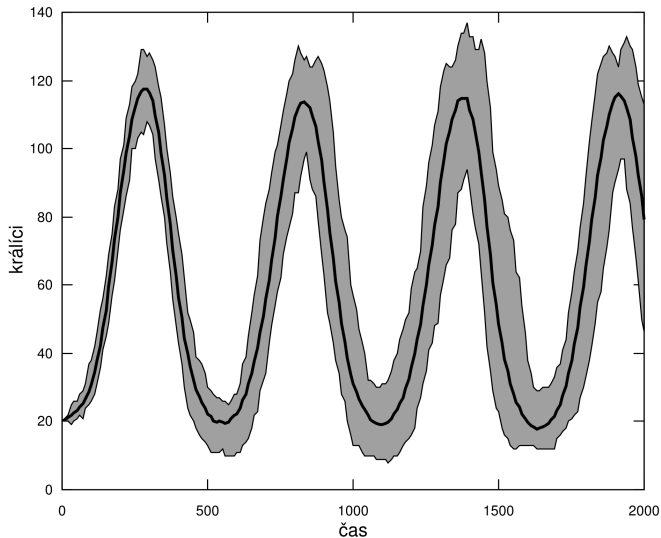


Analýza citlivosti: systémový model

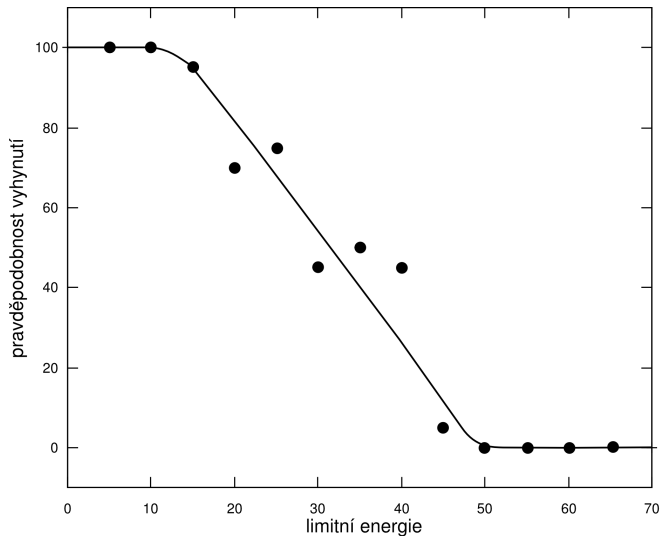
systémový model: změna hodnoty parametru u_I



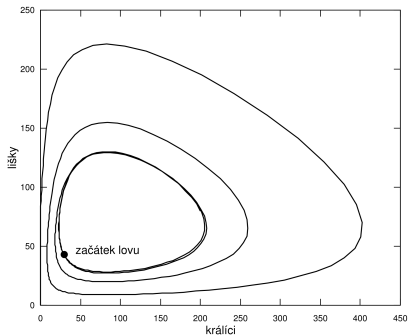
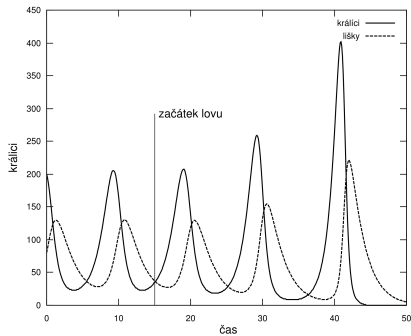
Analýza citlivosti: náhoda u ABM modelu



Analýza citlivosti: závislost na parametru



Příklad: step experiment – skoková změna (lov)



Stupně abstrakce

silně doporučený, interaktivní zdroj:

<http://worrydream.com/LadderOfAbstraction/>

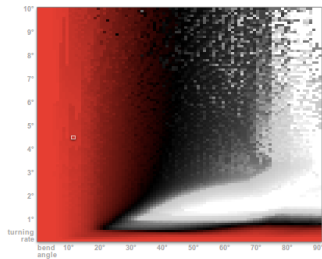
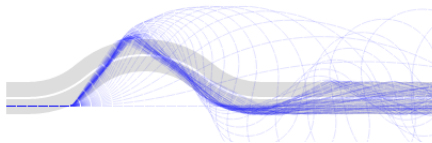
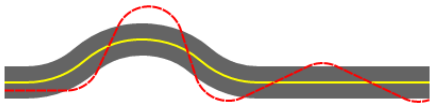
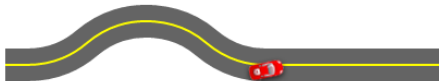
At each step:



Move forward 1 pixel.

If left of the road, turn right by 2° .

If right of the road, turn left by 2° .



Stupně abstrakce

- konkrétní simulace
 - vývoj, ladění
 - pochopení modelu, základní intuice o chování
- abstrakce (znázornění více běhů, abstrahování času nebo některých proměnných)
 - hlubší vhled
 - poučení pro zásahy

prezentace modelu ostatním: od konkrétního k abstraktnímu

relevantní myšlenka i v jiných oblastech, např. strojové učení

Vyhodnocení simulací, statistika

výhoda simulace: snadno můžeme vyrobit „více dat“

statistika stále důležitá:

- porovnání variant modelu – nestačí naivně porovnat „výsledek jednoho běhu“ nebo „průměr z pěti běhů“
- rozptyl, interval spolehlivosti, statistická významnost
- pro projekt alespoň „intuitivním pohledem na data“

Evaluace modelů

- referenční data \Rightarrow vyhodnocení shody modelu a dat
- příklady:
 - Sudoku – obtížnost úloh
 - výukové systémy – odpovědi studentů
 - klima, cena ropy – historická data o vývoji
- souvislosti: strojové učení, přeučení, trénovací/testovací data, ...
- komplikovanější, než se může zdát, vesměs nad rámec tohoto předmětu

Měření shody modelu a dat

data	10	15	13	17	20	25	...
model	8	12	15	17	22	21	...

Jak vyjádřit „kvalitu“ modelu (predikcí) jedním číslem?

Měření shody modelu a dat

data	10	15	13	17	20	25	...
model	8	12	15	17	22	21	...

Jak vyjádřit „kvalitu“ modelu (predikcí) jedním číslem?

- mean absolute error, root mean square error
- correlation (Pearson, Spearman), R^2
- precision, recall, F1
- receiver operating characteristic, area under curve

komplikované zvláště pokud model predikuje pravděpodobnost

- důkladná analýza modelu tvoří klíčovou součást modelování
- není zřejmé jak (co vše) udělat, ani když máme konkrétní data
- časová osa, stavový prostor, vizualizace (ABM), analýza citlivosti, experimenty s modelem
- i s velmi jednoduchým modelem lze provádět zajímavé analýzy
- projekt – důraz právě na analýzy