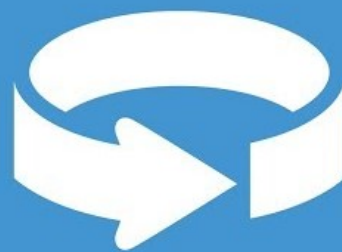


TEORIE SYSTÉMŮ a SYSTÉMOVÝ PŘÍSTUP

Complexity Theory 6



- Pojem **systém** je docela frekventovaným slovem.
- Pojem je často používán ve formulacích jako „**musíme to řešit systémově**“, „**to není systémové řešení**“, „**to vyžaduje systémové řešení**“, „**problém se bude řešit později, protože to vyžaduje systémové řešení**“ apod.
- Slovo je často používáno, ale **nesprávně**, spíše ve smyslu systematičnosti, tedy uspořádanosti!

Historie

- Rok 1948 je považován za rok zrodu **kybernetiky**. Norbert Wiener vydal slavnou knihu „**Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine**“ [Wiener 1948].
- V letech 1949 až 1952 vzniká **teorie systémů**, kdy rakouský biolog a filozof **Ludwig von Bertalanffy** publikuje články: „An Outline of General System Theory“ [Bertalanffy], a „General System Theory; A new Approach to Unity of Science“ [Bertalanffy 1951].

Definice

- **Teorie systémů** je teoreticko-filozofická vědní disciplína, která se komplexně a na obecné úrovni zabývá hledáním nadoborových přístupů, postupů, metod, teorií, zákonů atd., podle nichž se chovají různorodé reálné i abstraktní soustavy.

V souvislosti s rozvojem teorie systémů se postupně formuloval i nový přístup k řešení problémů na systémových objektech, s názvem systémový. Ten má dnes nezastupitelné místo nejen v teorii systémů, ale prakticky ve všem, co člověk činí.

Historie

- **Množinový přístup**
 - entity chápány pouze jako množiny prvků, což znamená, že vazby mezi prvky se neuvažují
- **Celostní přístup**
 - na vlastnosti a chování složitých entit je možné usuzovat pouze v kontextu většího celku, tvořeného prvky a vazbami mezi nimi (proto celostní přístup)

Systémový přístup

- Systémový přístup je považován za zobecněnou tvůrčí metodologii myšlení a konání aplikovatelnou na jakékoli systémové entity a představovanou dvaceti systémovými atributy.
- Systémové pojetí entity je takový přístup k entitě, který používá systémovou metodologii.

„Systémový přístup je imperativem myšlení naší doby.“ [Gudermuth 1976]

- Obecně je při řešení každého problému důležitá jeho **analýza**, zejména z hlediska toho, co je pro jeho řešení podstatné a jak správně stanovit cíle jeho řešení.
- Důležitý je i výběr metody řešení problémů a sestavení algoritmu řešení touto metodou.
- Vybrat efektivní metodu řešení vyžaduje mít přehled o všech technických a vědeckých disciplínách, které s problémem souvisejí.

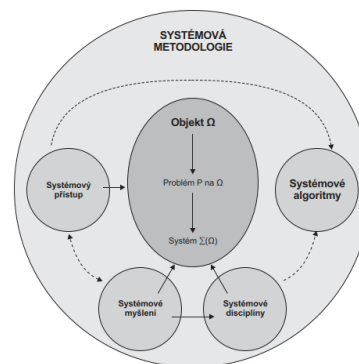
Pro řešení každého problému je důležité systémově myslet.

Definice systémového přístupu

- Systémový přístup vytyčuje východiska, přístupy a vlastnosti entit pro jejich komplexní analýzu, které označuje jako atributy systémového přístupu.

Lidová definice☺

- Systémový přístup je „nápovědou“, na jaké podstatné skutečnosti, týkající se určité entity, by člověk neměl zapomenout ve všech svých činnostech s touto entitou (myšlení, jednání, srovnávací analýzy, řešení problémů) a jak by měl tyto činnosti realizovat.



Entita

- Entita má význam čehokoli, co lze samostatně zvažovat.
 - Entitou tak mohou být jakékoli objekty a subjekty, procesy, stavy, činnosti, hmotné a nehmotné výtvořby lidí, služby...

Systémové atributy (Jeníček 2013)

(návaznost na Bertalanffyho charakteristiky systémů)

- **Atribut A0** – vymezení entity zájmu subjektu
- **Atribut A1** – požadavek pojmové čistoty
- **Atribut A2** – správné vymezení a formulace problému
- **Atribut A3** – entity posuzovat strukturovaně (prvky a vazby)
- **Atribut A4** – entity posuzovat účelově – podstatnost
- **Atribut A5** – entity posuzovat komplexně

- **Atribut A8** – entity posuzovat z hlediska otevřenosti – okolí entity „Systémové okolí“ totiž nezahrnuje vše, ale jen to, co je z určitého hlediska pro entitu v jejím okolí podstatné.
- **Atribut A9** – entity posuzovat z pohledu úrovně vyváženosti
- **Atribut A11** – entity posuzovat z hlediska stochastičnosti a determinističnosti
- **Atribut A12** – posuzovat cílového chování entit
- **Atribut A13** – posuzovat entity z hlediska výskytu deterministického chaosu a samoorganizace

CHAOS

- Chaos subjektový – ten se vyskytuje u člověka ve dvou podobách:
 - přímý subjektový chaos – subjekt vytváří chaos ve svém okolí svými projevy a činy,
 - nepřímý subjektový chaos – to, co se děje v okolí subjektu považuje za chaotické.
 - Buď je to pravda, nebo se mu to jen zdá v důsledku své nízké úrovně chápání okolí.
- Chaos objektový – je to chaos vznikající na objektech.
- Nejdůležitější je tzv. deterministický chaos, který je potenciálně možným jevem u všech entit, jejichž chování je popsáno nelineárními dynamickými systémy.

- „Chaotické entity“ mají tyto charakteristiky:
 - chaotické chování entity spočívá v nepředvídatelnosti následků na dané příčiny; jednou z forem nepředvídatelnosti je vznik katastrof (náhlých změn),
 - jsou extrémně citlivé na odchylky v počátečních podmínkách do procesů,
 - existence deterministického chaosu spočívá v samotné podstatě procesů probíhajících u entit.

Systémové pojetí entity

přístup k entitě, při němž systémově myslící subjekt aplikuje systémový přístup, systémové disciplíny (metody) a systémové algoritmy, tedy systémovou metodologii.

Systémová gramotnost

- Existují lidé negramotní, počítačově negramotní, ale také systémově negramotní...
 - Systémovou gramotnost si není možné osvojit naučením se atributů systémového přístupu – není to tedy jen znalost, ale především schopnost. Takže platí:
 - Systémová gramotnost jedince je jeho schopnost používat systémovou metodologii, což znamená: s využitím systémového myšlení aplikovat systémový přístup a s využitím systémových a odborných disciplin řešit problémy na konkrétních entitách s využitím systémových algoritmů.

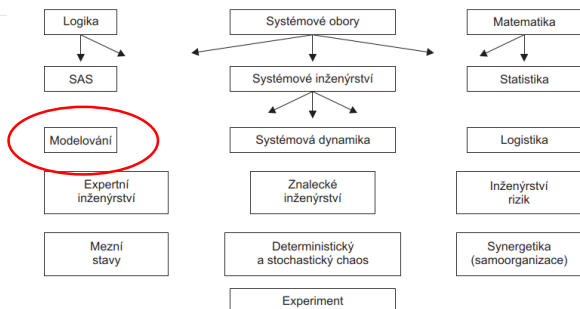
Systémový přístup

- Systémový přístup je obecné myšlenkové, vysvětlovací a činnostní schéma jedince ve vztahu k různým činnostem na různých entitách.

- Svět, který nás obklopuje (objektivní realita), tvoří objekty, jež na sebe navzájem působí.
- Toto působení probíhá v čase a prostoru a má různý charakter (**společenský, fyzikální, mechanický, biochemický**). Existují objekty, jejichž vzájemné působení je složité a jejich společné působení navenek se projevuje jako působení celku na jiný objekt.
- Takové celky zpravidla uvažujeme jako **samostatné objekty**.

- Definováním prvků objektu, jejich vlastností, jakož i jejich vzájemných vztahů „zavádíme na objekt **systém**“.
- To znamená, že si všímáme pouze těch prvků, vlastností a vztahů, které nás na daném objektu při jeho studiu zajímají.

Systémové disciplíny



Komunikační povinnost

- Správné pojmy jsou předpokladem dorozumívání mezi lidmi i vytváření slovních hypotéz a teorií.
- Účinek informační interakce na člověka se může projevit jen tehdy:
 - jestliže jedinec může informaci přijmout z hlediska svého psychického stavu,
 - je-li tato informace smysluplná,
 - je-li srozumitelná – člověk rozumí pojmům, které informace obsahuje.

Tři kategorie odborníků ☺

- Jedinci, kteří si na preciznost pojmů „nepotrpí“
 - i při vágním vyjadřování se dorozumí
 - extrémní skupina jedinců, kteří si většinou „rozumí“, patří třeba „**pivní štamgasti z hospody**“ a taktéž „odborníci z určitého profesního zaměření“. Těm prvním na preciznosti nezáleží, ti druzí jsou schopni se domluvit i přes nejednotnost pojmů
- jedinci, kteří si na přesnost vyjadřování potrpí, i když to může mít pouze formální podtext, aby ukázali svou „moudrost“
- jedinci, kteří jsou na přesnosti vyjadřování profesně závislí
 - pracovníci z různých interdisciplinárních oborů

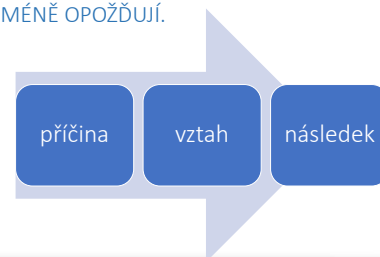
Teorie systémů

- Systémový přístup pro složité objekty, či procesy
- Účelové vymezení
- Entita = prvky + vzájemné vazby mezi prvky + iterace s okolím

- Vysvětlíme si nyní schéma na příkladu.
- V normálně fungující rodině má vedoucí roli manželka. Je subjektem řízení.
- Ona má myšlenky a prostřednictvím výstupů vydává svému manželovi příkazy, co má dělat.
- Ty se k němu dostávají prostřednictvím výstupů a manžel je objektem řízení.
- Výsledkem činnosti manžela jsou výstupy.
- I na manželku působí nějaké vstupy.
- U každého z nich pak funguje vnitřní zpětná vazba neboli kontrola, jak dělají to, co dělat mají.
- Manželka kontroluje, zda a jak manžel plní její příkazy a to se nazývá zpětná vazba.
- Zpětná vazba je významným pojmem
- Manžel a manželka jsou prvky systému, jsou spojeni vazbami.
- Manželství je pak systém.
- Manželé však nejsou izolováni, kolem nich je okolí.
- Okolí působí na systém a systém působí na okolí.
- Podmínkou existence systému jsou nejméně dva prvky, řídící a řízený, a vazby mezi nimi.

AXIOM KAUZALITY

NÁSLEDKY NEMOHOU PŘEDBĚHNOUT SVÉ PŘÍČINY, NAOPAK SE ZA SVÝMI PŘÍČINAMI VÍCE ČI MÉNĚ OPOŽDUJÍ.



- Za systém můžeme považovat objekty živé i neživé, reálné i abstraktní. Mohou to být například:
 - reálné objekty nebo projekty reálných objektů,
 - procesy nebo komplexy procesů,
 - problémy nebo komplexy problémů,
 - soubor aktivit (např. řídicích) vztahujících se k určitému objektu,
 - abstraktní konstrukci myšlenkovou, výrokovou nebo konstrukci matematických výrazů.

- Za systémy můžeme například považovat:
 - skupinu tělesných orgánů, které vykonávají určitou životní funkci (nervová soustava, trávicí soustava),
 - skupinu zařízení a organizací pro distribuci (telefonní síť, knižní velkoobchod, elektrorozvodná soustava),
 - organizovanou skupinu nebo společenskou třídu,
 - způsob popisu a určení vlastností zkoumaných objektů.

Dva významy slova systém

REÁLNÝ SYSTÉM - SOUSTAVA

- entita (objekt) je systémem
 - potrubní, mazací, vysílací, tlumicí, řídící, systémy svalově-kosterní, srdečně-cévní; existují systémy hospodářské, politické, herní, postelové, stavební, cihlové, montážní...

ABSTRAKTNÍ SYSTÉM - SYSTÉM

- systém je abstraktní entitou (objektem)
 - účelově vytvořená subjektem na primární entitě
 - tvoří formalizované prvky týkající se entity, které jsou z hlediska řešeného problému a na určité rozlišovací úrovni jeho řešení podstatné

Entita se skládá z:

- prvků a složek
 - prvek je dále nedělitelný
 - složka se skládá z více prvků
- vztahů a vazeb
 - spojení prvků a vazeb se uskutečňuje přenos hmoty a energie
- volbou prvků je určena hloubka a podrobnost

Prvky entity

- Vnější prvky
 - Zprostředkovávají komunikaci s okolím
- Vnitřní prvky
 - Zprostředkovávají komunikaci pouze uvnitř systému

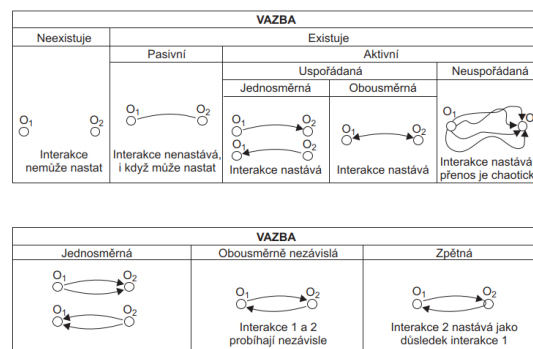
Prvek entity

- Pojem „prvek entity“. Prvkem entity je každá její část s těmito vlastnostmi:
- rozlišitelností – jedinec je schopen rozlišit příslušnou část entity na požadované či možné
- úrovni
- oddělitelností – každá část je principiálně oddělitelná,
- samostatností – každá část je samostatnou entitou.
- Oddělování prvku od entity je schopnost člověka oddělit tento prvek tak, že z prvku je vytvořena samostatná entita na vyšší úrovni podrobnosti.

Vazby

- Vazba je specifický reálný nebo abstraktní objekt, který zajišťuje spojení alespoň mezi dvěma prvky a který umožňuje, aby se tyto prvky vzájemně ovlivňovaly.
- Interakce je proces přechodu média mezi prvky přes jejich vazbu.
- Interakce je působení mezi prvky přes aktivovanou vazbu.

Vazby



Hranice entity

- Vymezení, co je vně/uvnitř
- Druhy entit:
 - Izolovaná entita – uzavřená hranice pro vstup/výstup hmoty a energie
 - Uzavřená entita – uzavřená hranice pro vstup/výstup hmoty, ale energie
 - Otevřená entita – výměna hmoty a energie s okolím

Okolí entity

- Okolí entity je účelově vymezená množina prvků, které nejsou prvky entity, avšak vykazují k ní podstatné vazby z hlediska zájmu subjektu o entitu.
- Vnější subjekty mimo entitu, které s ní komunikují
- Ovlivnění:
 - Úrovní rozlišení
 - (Účelem modelování)

Okolí entity

- Okolí entity se člení takto:
- Bezprostřední okolí entity je tvořeno prvky okolí, které mají s některým prvkem entity přímou vazbu.
- Vzdálené okolí entity tvoří ty prvky okolí entity, které mají s entitou vazby realizované přes prvky bezprostředního okolí.
- Prvky okolí entity, na kterých se realizují přímé vazby s entitou, lze označit jako hraniční prvky okolí. Jejimi protějšky na straně entity jsou hraniční prvky entity. Hranici entity lze pak vymezit takto:

Hranice entity (rozmezí, interface) je tvořena hraničními prvky entity a hraničními prvky okolí.

Komunikace s okolím

- Přes hranici entity
- Vstupy systému – z okolí do entity (podněty okolí)
- Výstupy entity – z entity do okolí (reakce entity)

Komunikace s okolím

Výměna:

- Dat – datový tok
- Hmoty – hmotný tok
- Informací – informační tok
- Energií – energetický tok
- apod.

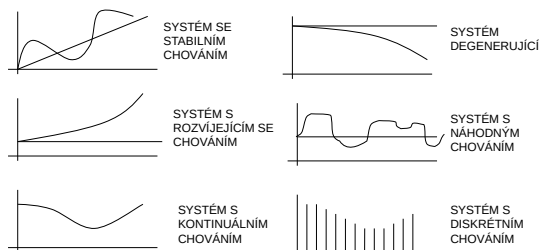
Chování entity

- Stěžejním pojmem, souvisejícím s vlastnostmi entity, je pojem **chování entity**, jímž rozumíme způsob reakce systému na podněty.
- Chování entity závisí na jeho vlastnostech.

Chování entity

- Změny stavu systému
 - přechod z jednoho stavu systému do dalšího
- Popis spolupráce jednotlivých částí systému
- Reakce na vstupní podněty – zpětné ovlivnění okolí

JE TO VZTAH MEZI VSTUPEM A VÝSTUPEM
ROZEZNÁVÁME ENTITY (SYSTÉMY) ADAPTIVNÍ (PŘÍZPŮSOBIVÉ)
A STABILNÍ

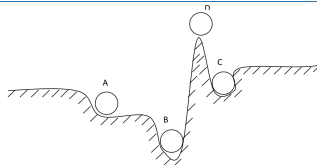


Stav entity

- Výstupní veličiny (stav) čase t je dán:
 - Stavovými veličinami
 - Předchozím stavem (vývojem) systému

Stabilita entity (systémů)

- Stabilita systému se nejčastěji definuje jako jeho schopnost vrátit se do původního (rovnovážného) stavu, jestliže skončilo působení podnětu, který jej z takového stavu vyvedl.



Obr. 28: Rovnovážné stavy systému.

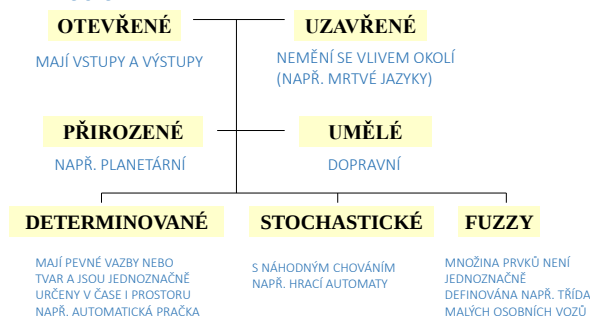
- Kulička A - při malých vychýleních z rovnovážného stavu a doznění podnětu, který vychylku způsobil, se kulička zastaví v nové rovnovážné poloze. Rovnováhu lze nazvat *neutrální*.
- Kuličky B a C - při malých vychýleních z rovnovážného stavu a po doznění podnětu se kuličky vrátí do původní polohy. Kuličky B a C jsou *stabilní*.
- Kulička D - nachází se v *nestabilním rovnovážném stavu*. Malé vychylky na jednu či druhou stranu způsobí stav, kdy kulička svůj stav opustí a už se do něj nevrátí.

Druhy entit (systémů)

- Statický – neměnný v čase
 - Vyznačuje se časovou stálostí a neměnností své struktury, vazeb i transformačních funkcí svých prvků. Matematicky je lze popsat pomocí soustav obyčejných rovnic.
- Dynamický – vyvíjí se, stav proměnlivý v čase
 - Vykazuje časovou závislost (proměnlivost) svých vlastností, tedy i struktur, vazeb a transformačních funkcí. Matematicky jej lze popsat soustavou diferenciálních rovnic.

Zvláštním typem statických systémů jsou systémy **stacionární**, jejichž vlastnosti se mohou měnit, nikoliv však v závislosti na čase.

Základní typy entit



Struktura entity

- Struktura entity je určena množinou jejích částí (prvků) a vazbami mezi nimi.
- Strukturovanost entity, jako její základní vlastnost, znamená, že na entitě lze vymezit alespoň jednu její další část, která má charakter entity na vyšší rozlišovací úrovni

Příklad:

Karoserie auta je vyrobena z několika částí, které jsou vzájemně spojeny svař. Ty zde plní funkci „vazeb“ mezi jednotlivými plechy. Molekuly vznikají z atomů tím, že mezi molekulami se realizují chemické vazby (iontové, kovalentní, kovové, vodíkové). Mezi orgánovými soustavami živých organismů existují interakce hmotové, energetické a informační.

Struktura systému

- reprezentována výčtem jeho prvků a jejich vazeb
 - pokud jsou vazby označeny směrem toků, jde o *strukturu orientovanou*
- zcela nestrukturované
- částečně strukturované
- dobře strukturované
- úplně strukturované

Dekompozice

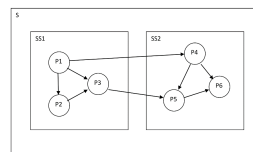
- definice systému na objektu
 - obvykle lze rozlišovat v již vymezeném systému jeho části, které tvoří z určitého hlediska uvnitř systému relativně samostatné celky.
 - *subsystémy*
 - a procedura jejich definice je nazývána dekompozicí systému.
- Může vést často k velmi složitým strukturám.

Multistruktura

- charakterizována větším počtem prvků a jejich paralelních vazeb různých typů a každý prvek může vykazovat několik typů transformace svých vstupních hodnot na hodnoty výstupní

Další typy

- *Násobná struktura* systému je typická vnitřním opakováním svých subsystémů.
- Je-li účelné integrovat více systémů do jednoho celku, mluvíme o tzv. *multisystému*.

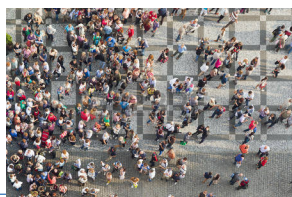


Příklad systému S se dvěma subsystémy SS1 a SS2

Obr. 2: Systém s podsystémy

Konglomerát

- *Konglomerát* je náhodným seskupením nespolupracujících prvků bez jakýchkoliv vazeb (chodci na náměstí).



Soubor

- skládá z podobných prvků, které svoji činnost koordinují (pěvecký sbor)



Decentralizovaná organizace

- systém skládající se z prvků provádějících podobnou činnost se společným významem.
- Činnost prvků je řízena jím samotným nebo jeho blízkým okolím. Centrální řízení je slabé nebo žádné (fotbalové mužstvo).

Centralizovaná organizace

- je systémem, která se od předešlých liší způsobem řízení.
 - Obsahuje řídicí prvky, které mohou nebo nemusí být podřízeny jiným řídicím prvkům (jednostupňové nebo víceúrovňové řízení).

Klasifikace I

⌘ podle vztahu s okolím

- ☑ **izolované systémy** - uzavřené hranice pro vstup i výstup hmoty a energie
- ☑ **uzavřené systémy** - uzavřené hranice pro vstup i výstup hmoty, avšak nikoli energie
- ☑ **otevřené systémy** - charakterizovány výměnou hmoty a energie s okolím

Klasifikace II

⌘ podle chování

(chování systému je přechod systému od jednoho stavu systému do druhého)

- ☑ **deterministické** - jejich chování jednoznačně vyplývá z úrovně stavů a povahy podnětů
- ☑ **stochastické** - u nich může mít chování při daném stavu a podnětu více variant, a to s určitou pravděpodobností

nebo

- ☑ **adaptivní** - jsou schopny reagovat na změny ve svém okolí tím, že se přizpůsobují změnám podmínek
- ☑ **ofenzivní** - kdy systém je schopen vykonávat takový nátlak na okolí, že si je sám přizpůsobuje pro své cíle

Klasifikace III

⌘ podle měřítka (geosystémy)

- planetární (krajinná sféra)
- regionální (geomorf)
- chorologické (krajina)
- topické (ekotop)

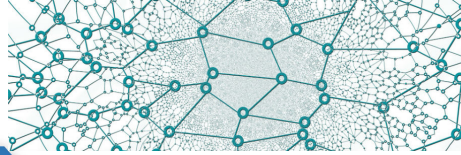
Klasifikace IV

⌘ podle změny v čase

- ☑ **statické** (neuvažují se časové změny)
- ☑ **dynamické** (čas je zapojen do popisu systému)

Komplexní systémy

vytvořeno na podkladech Radka Pelánka MUNI

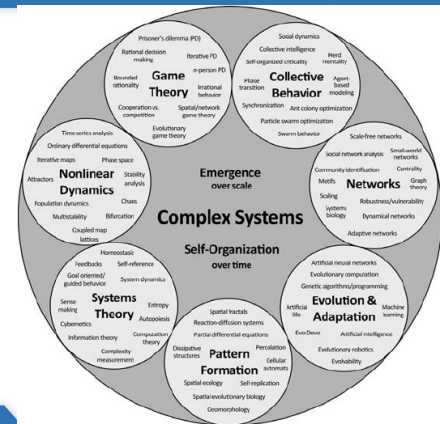


Přednáška

- obecná motivace k probíraným tématům
- neexaktní
- motivační

Komplexní systém

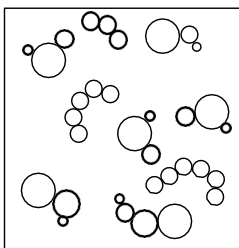
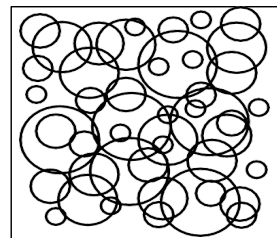
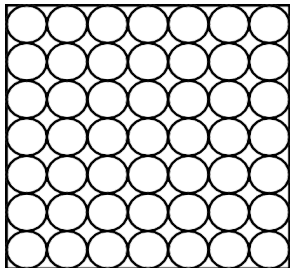
- není žádná formální definice
- není žádné přesné vymezení
- plynulý přechod
- závislost na úhlu pohledu, na míře abstrakce
- představení přes příklady, výčet charakteristik



Co je to komplexní?

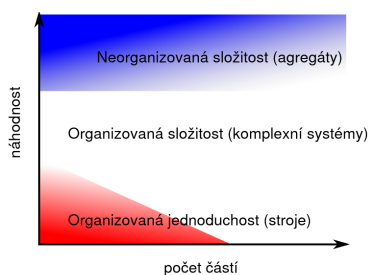
- dvojice
 - jeden vidí obrázek
 - druhý obrázek nevidí a má ho nakreslit
- cíl:
 - nakreslit obrázek, který vypadá podobně (působí podobným dojmem) – není nutno, aby byl zcela stejný minimální komunikace





Složitost

- Cvičení ilustruje jeden z pohledů na to, co je to „složitost“ systému:
- Složitost systému = délka popisu vzorů (pravidelností) v daném systému.



Metody řešení

- organizovaná jednoduchost – analytické metody
- neorganizovaná složitost – statistika
- organizovaná – simulace

Definice

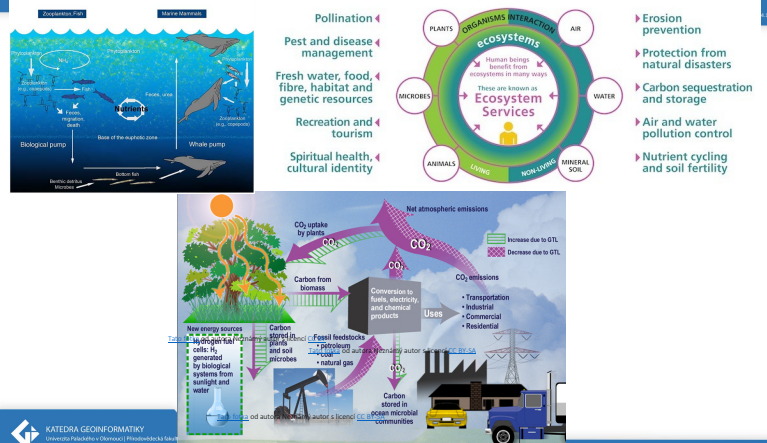
- A system that can be analyzed into **many components** having relatively **many relations** among them, so that the behavior of each component depends on the behavior of others. (Herbert Simon)
- A system that involves **numerous interacting agents** whose aggregate behaviors are to be understood. Such aggregate activity is nonlinear, hence it cannot simply be derived from summation of individual components' behavior. (Jerome Singer)
- A complex system is a highly structured system, which shows **structure with variations**. (Goldenfeld and Kadanoff)
- A complex system is one that by design or function or both is **difficult to understand** and verify. (Weng, Bhalla and Iyengar)

- A complex system is one whose evolution is very sensitive to initial conditions or to small perturbations, one in which the **number of independent interacting components is large**, or one in which there are multiple pathways by which the system can evolve. (Whitesides and Ismailov)
- A complex system is one in which there are **multiple interactions** between many different components. (D. Rind)
- Complex systems are systems in process that constantly **evolve** and unfold over time. (W. Brian Arthur)
- ... *komplexní systém je také populární výraz pro ledasco.*



Příklady

- ekosystémy
- trhy
- podnebí
- organizace mraveniště
- buňka
- město
- komplexní síť
- imunitní systém



NEW YORK - 11. října - Bitcoin, virtuální měna, která se stala nejpopulárnější virtuální měnou, dnes překročila hranici 12 000 dolarů.

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

Bitcoin pokořil letošní maximum, jedna mince má hodnotu přes 12 000 dolarů

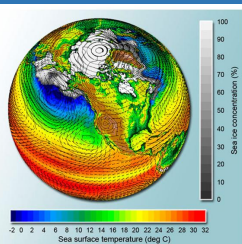
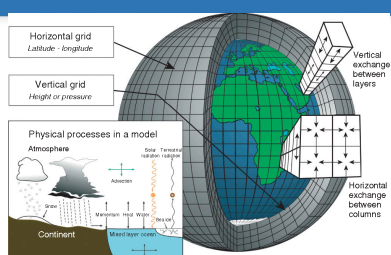
Are Bitcoin and cryptocurrencies the perfect hedge in the Covid-19 crisis?

As the Covid-19 crisis continues to disrupt global markets, is it time to hedge Bitcoin, cryptocurrencies and other digital assets?

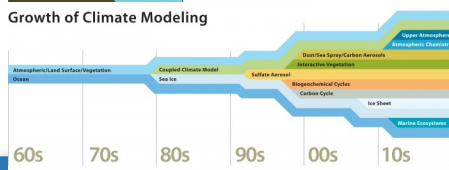


Is now the time to invest in digital currencies?





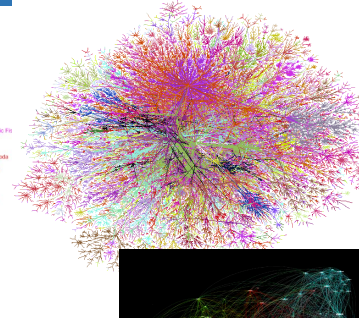
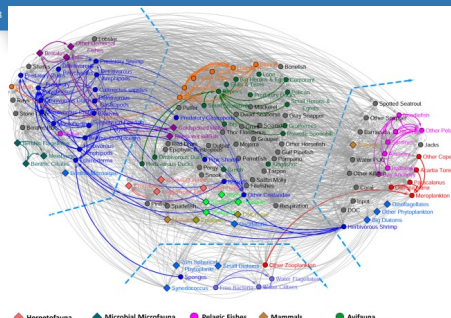
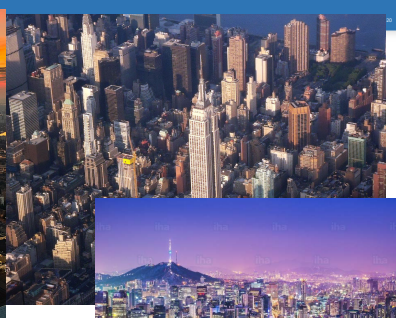
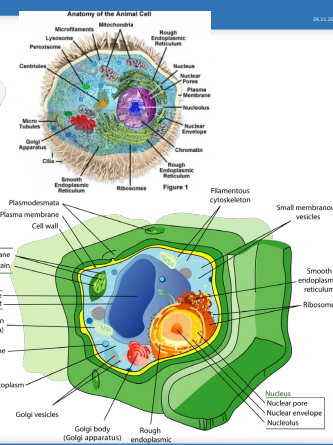
Growth of Climate Modeling

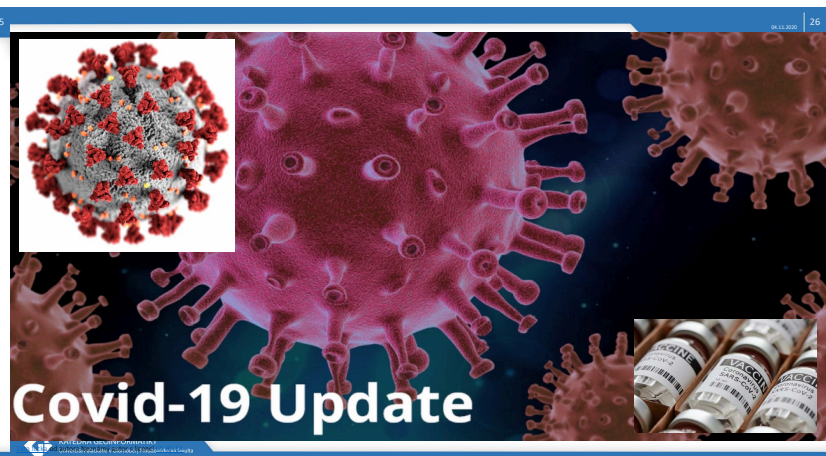
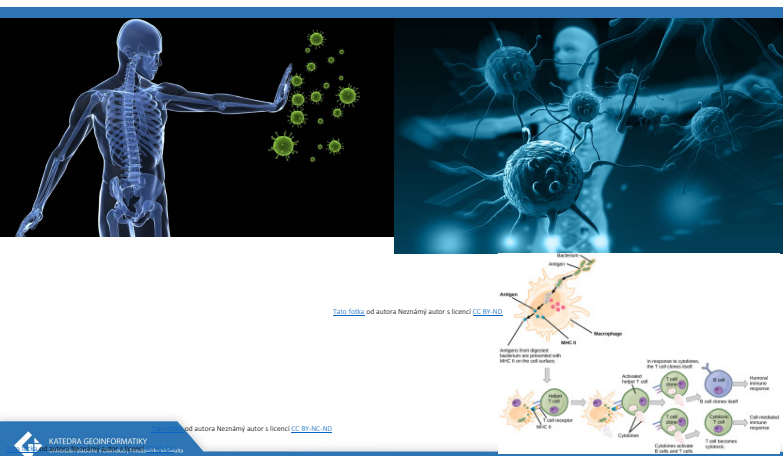


Basic gains in computing power have driven many of the improvements. Those boxes were about 500 square kilometers in 1990. For some of today's highest-resolution models, including the Department of Energy's E3SM, Japan's MRI, and China's FGOALS, they are under 25 square kilometers. The resolution gets higher still for specific applications, such as modeling hurricanes.

Emergence

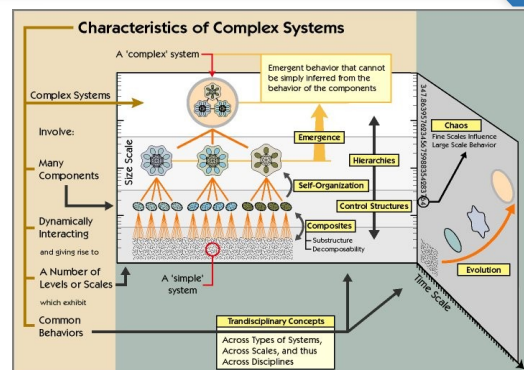
- Ta spočívá v tom, že samostatné entity se pomocí vzájemné interakce uspořádají do velkého složitého funkčního systému.
- Ten zpravidla není nijak centrálně řízen, každý člen společenstva pouze reaguje na své okolí nějakým, ne příliš složitým způsobem, a z této interakce se vynořuje výsledné chování systému jako celku, které se pak může zdát velmi komplikované.
- Jedním z hlavních faktorů ovlivňující chod hmyzího společenství je **zpětná vazba**.





Co není komplexní systém

- židle
- páka
- kladka
- balónek
- motor
- . . . většina strojů



Dynamika

- neustále v pohybu
- rovnováha – spíše krátkodobá, aktuální vyváženost dynamických dějů
- srovnaj:
 - statická rovnováha: páka, dům
 - dynamická rovnováha: mraveniště, město

Těsně propojené

- „Všechno souvisí se vším.“
- srovnaj:
 - neurony v mozku: tisíce spojení
 - logické obvody v počítači: řádově desítky vstupů/výstupů

Zpětná vazba

- neexistuje rozdělení na příčiny a následky
- změny ovlivňují samy sebe
- srovnej:
 - řízení mraveniště, vývoj druhů (ko)evolucí řízení robota, návrh strojů

Koevoluce

- koevoluce (coevolution, co-evolution)
- reciproční evoluční změna
- zpětná vazba
- adaptace a protiadaptace (feedback)
- predátor – kořist • parazit – hostitel (motolice – vodní měkkýš)
- mutualista – mutualista (mšice – mravenec, opylování, mykorrhiza)
- sequential evolution (herbivorní hmyz – rostlina)
- třetí strana: křivka obecná vs šišky vs veverka
- makroevoluční procesy: druhová selekce extinkce koevoluce makroevoluční trendy

Efekt červené královny

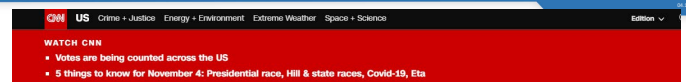
- **Efekt červené královny** (či **efekt šachové královny**) je označení pro matematický model z evoluční biologie, který popisuje některé jevy ve stabilním prostředí. Oproti stacionárním modelům předpokládá, že i v těchto podmínkách dochází k evoluci, neboť organizmy se vždy mohou adaptovat k podmínkám prostředí lépe. Když se tímto způsobem nějaký druh změní, má to dopad na ostatní druhy žijící na tomto místě a ty se musí vyvíjet také, aniž by tím učinily pokrok („mění se proto, aby jim nebylo ještě hůř“).^[1] Tato hypotéza nemusí být bezpodmínečně platná, ale nasvědčují jí paleontologická data: pravděpodobnost vymření druhu není závislá na tom, jak je tento druh starý; druhy se tedy postupem času nejsou schopné „zlepšit“ do té míry, aby odolaly vyhynutí.^[2]

Na počátku byla jemná křehká bylinka, kterou občas někdo sežral; na konci je trnitá a jedovatá obluda, kterou také občas někdo sežere.

—Jan Zrzavý, David Storch, Stanislav Mihulka^[2]

Nelinearita

- „Potká-li sob soba, mají radost oba. Potkají-li se tři sobi, tak se radost násobí“
- efekt zásahů do systému neúměrný velikosti zásahů
- malé zásahy – výrazný efekt (vzdálený prostorově či časově)
- srovnej:
 - předpovídání polohy planety
 - předpovídání počasí



Oh, great: NASA says an asteroid is headed our way right before Election Day

By Jay Croft and Melissa Alonso, CNN
 Updated 1809 GMT (0209 HKT) August 23, 2020



Sebeorganizace

- zpětné vazby jsou schopny vytvářet řád vycházející z malých, náhodných impulzů
- řád vzniklý „zespodu“, bez centrálního vedení srovnaj:
- řízení mraveniště, vznik vzorů v přírodě (např. mušle)
- hierarchické řízení organizace, návrh oblečení

Adaptabilita

- jednotlivé komponenty/agenti se mění, učí se, vyvíjí se, nahrazují se evolučními procesy, . . .
- systémy jako celek se vyvíjí srovnaj:
 - živý organismus stroj

Historie

- tradičně:
 - věda – jednoduché systémy, redukcionistický přístup filosofie, humanitní obory – složité systémy
- do pol. 20. stol.: vědecké nástroje nepoužitelné pro studium komplexních systémů
- pol. 20. stol.: první metody (buněčné automaty, umělá inteligence), ale nepoužitelné prakticky
- od 90. let: dostatečně silné a rozšířené počítače ⇒
- použitelnost metod, rozvoj studia komplexních systémů

Pohled z 30. let (Bertrand Russel)

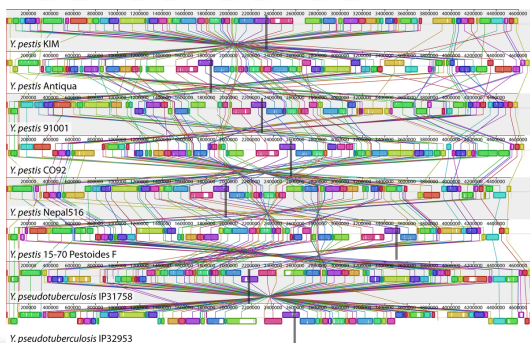
- ... jak v oblasti těch největších, tak i nejmenších rozměrů, všude se nám zdá, že věda dosahuje svých hranic. [...] Zákony změn lze patrně shrnout do velmi malého počtu obecně platných principů, podle nichž je možno určovat minulost i budoucnost světa, je-li znám kterýkoli sebekratší okamžik jeho dějin. **Vědy zabývající se studiem neživé přírody blíží se tak stadiu dovršení, čímž přestanou být zajímavé.** [...] Teoreticky by bylo možno zaznamenat všechny údaje o poloze částic do velké knihy a tu pak uložit spolu s počítačím strojem, který by na pouhé stisknutí knoflíku poskytoval tazateli žádané údaje z libovolného, do záznamu nepojatého časového období. Těžko si představit něco méně zajímavého, něco tak vzdáleného onomu vášnivému zaujetí, jímž jsou nesení dílčí objevy. Je vám, jako kdybyste po namáhavém výstupu na vysokou horu nenašli na vrcholku nic než v mlze ponořenou restauraci, kde vyhrává rádio a pije se zázvorové pivo.

Je to jinak...

- kvantová fyzika, neurčitost nerozhodnutelnost, meze formálních systémů
- chaos, nelinearita, citlivost k počátečním podmínkám

Výpočetní technika a geoinformatika...

- Význam počítačů pro studium komplexních systémů: zpracování rozsáhlých dat (např. genom)
- nové typy data (statistiky z webu, mailu, telefonů, dokumentů)
- práce s velkými modely, simulace



Přístupy

- intuitivní myšlení
- systémové (holistické) myšlení vs. redukcionistické myšlení
induktivní vs. deduktivní myšlení
- centralizované vs. decentralizované myšlení

Myšlení

- intuitivní uvažování („selský rozum“) vystačí většinou u jednoduchých systémů
- u komplexních systémů děláme chyby
- výpočetní modely – mj. pomůcka pro lepší myšlení

článek od americké biofyzičky a environmentalistky Donella Meadows (MIT, Harvard). Článek je z roku 2004 a pojednává o křehkosti komplexních, sebeorganizujících se, nelineárních systémů a nemožnosti predikovat a kontrolovat jejich chování (název „Dancing with Systems“).

- Myslím, že její myšlenky skvěle zapadají do současného vývoje epidemie COVID-19 a s ní souvisejícími restrikcemi ekonomické aktivity a svobodného života. Přejde relativně malý problém a vše se bortí jako domek z karet. Nikdo z nás nemá ani potuchy, jaké budou dlouhodobé následky. Meadows píše, že nemůžeme kontrolovat komplexní systémy ani je plně chápat, ale můžeme se naučit s nimi „tančit“. Její „taneční lekce“ vypadá následovně (můj volný překlad):

1. Pozorujte jak se systém chová, studujte jeho rytmus, učte se z minulosti.
2. Naslouchejte moudrosti systému, jeho schopnosti sám sebe organizovat a znovu nacházet rovnováhu
3. Mluvte otevřeně o vašich mentálních modelech, buďte ochotni změnit názor, přepsat hranice a posunout se k novému modelu.
4. Buďte pokorní a stále se učte.
5. Nezadržujte, nezkreslujte a nevytrhávejte informace z kontextu.
6. Pokud se zjistí jak systém reaguje na externí změny a jak vypadá jeho zpětná vazba.
7. Systémy, které se řídí samy přes zpětné vazby, lze ovlivňovat pouze politikou, která je zaměřena na zpětné vazby systému (jak bude asi systém reagovat, když něco změní).
8. Dávejte pozor na věci, které jsou důležité, ne jenom na ty, které můžete měřit.
9. Mějte v zorném poli systém jako celek a jeho základní vlastnosti jako je kreativita, stabilita, diverzita, odolnost a dlouhodobá udržitelnost.
10. Rozšiřte svůj časový horizont, neorientujte se pouze na krátkodobé výsledky ale na dlouhodobý dopad.

- Nic nemá větší vliv na to, kam až se dostaneme, než kterým směrem se vydáme. Stanovení správného směru je tou nejdůležitější věcí, kterou pro dosažení našeho cíle můžeme udělat.
- Pokud chceme něco zlepšit, musíme se zaměřit na to, co chceme a ne to, co nechceme.
- Pokud se pohybujeme v nějakém komplexním systému, musíme si uvědomit, že každá změna může mít nečekané dopady. Zejména sebe-organizující se, nelineární zpětnovazební systémy systémy nelze kontrolovat. Takové systémy lze chápat pouze ve velmi všeobecném pojetí.
- V komplexním systému nelze exaktně předvídat budoucnost, ani se na ni perfektně připravovat. Neustále čelíme nejistotě. Vždy musíme očekávat překvapení.
- Ovlivňovat komplexní systém tak, aby se choval jak my chceme, lze pouze dočasně, pokud vůbec. Komplexní systémy nelze kontrolovat nebo se snažit jím nutit naši vůli.
- Komplexnímu systému můžeme pouze naslouchat a snažit se pochopit jeho vlastnosti, skloubit je s našimi hodnotami a pokusit se s ním soužít. Výkonost systému záleží na souhrě jednotlivých elementů, ne na jejich separátním fungování.

Podle dat lockdown přijít musí. Čím dříve, tím lépe, tvrdí datový vědec

16. 10. 2020, 8:38 – Jiří Mach, [Právo](#)

Datový analytik, člen skupiny vědců kolem výzvy Zachraňme Česko a koordinátor expertní skupiny Covid-Czechia Petr Ludwig v rozhovoru pro Právo řekl, že Česko čeká tvrdý náraz a je na každém, aby ho zbrzdil. Ludwig vystudoval informační a datové vědy se specializací na modelování a simulaci komplexních systémů, což je například i epidemie.

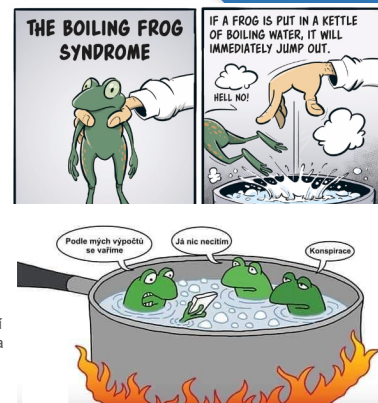


• řasy v rybníce

- tendence extrapolovat (lineárně) trendy experiment s prokládáním bodů
- „Když 25 % nárůst koncentrace CO_2 v atmosféře způsobí nárůst teploty o 0,5°C a žádné zásadní změny klimatu, tak nárůst o dalších 25 % taky nic moc nezmění.“

- příklad: kuřáci a tříletý výhled
- metafora: vařící se žába („Boiling frog“)
- komplexní systémy: dlouhodobé zlepšení často vyžaduje krátkodobé zhoršení

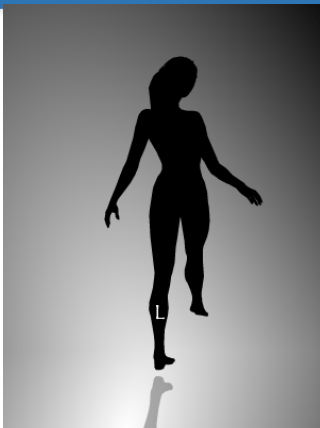
Syndrom vařené žáby, též žabí syndrom, označuje neschopnost nebo neochotu lidí reagovat nebo si uvědomovat hrozby, které se neobjeví náhle, ale přicházejí pomalu a postupně narůstají. Metafora vychází z bajky o žábě, která je pomalu ohřívanou vodou uvařena za živa.



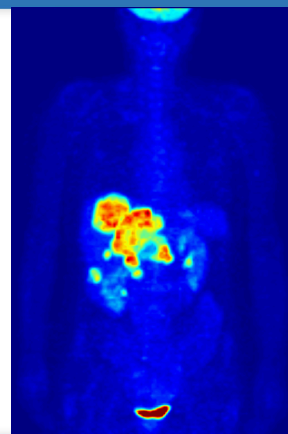
- příklad: X protože Y
- konsekvence a kauzalita – poté, tedy proto
- šaman a déšť
- krize v zemi A ⇒ krize v zemi B
- korelace a kauzalita zapalovače a rakovina sportovní vybavení a výkon
- přehlížení zpětných vazeb

Paradigmata

- Struktura vědeckých revolucí – T. Kuhn
- rozpoznávání karet a nestandardní karty (černá srdcová) optické klamy (The Spinning Dancer)
- potvrzování místo vyvracení příklad: experiment s kartami, 2-4-6
- ovlivnění vstupních informací příklad: NASA a měření ozónu
- Darwin a jeho deníček



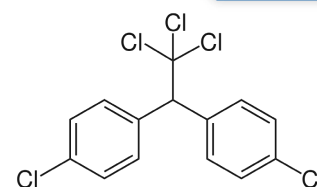
55



56

- požáry v amerických národních parcích
- protipovodňové opatření a zvýšené povodně
- budování silnic vedoucích k více zácpám
- bezpečná auta vedoucí k nebezpečné jízdě
- zákaz potratů
- zařízení šetřící čas vedoucí k nedostatku času
- DDT

DDT



Silent Spring (v češtině *Mlčí jaro* nebo *Tiché jaro*) je kniha americké [bioložky](#) a [spisovatelky Rachel Carsonové](#), která byla poprvé vydána v roce [1962](#) nakladatelstvím Houghton Mifflin. Kniha je považována za jednu z nejdůležitějších v oblasti literatury faktu ve 20. století a za jeden impulsů ke vzniku [hnutí pro ochranu životního prostředí](#).

1,1,1-trichlor-2,2-bis(4-chlorfenyl)ethan

Sir [David Attenborough](#) knihu označil za takovou, která proměnila vědecký svět nejvýznamněji po Darwinově knize [O původu druhů](#).^[4] Autorka byla posmrtně oceněna mj. nejvyšším civilním vyznamenáním USA, [Prezidentskou medailí svobody](#) udělenou r. 1980.

Role modelování

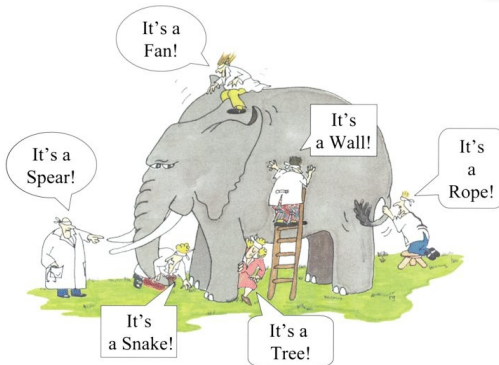
- výpočetní modely:
- nás nutí přesně formulovat předpoklady
- ukazují nezkreslené důsledky těchto předpokladů názorně ilustrují neintuitivní chování
- mohou tak pomoci část chyb intuitivního myšlení překonat

Dedukce a indukce

- **Deduktivní uvažování**
 - předpoklady $\Rightarrow$ logicky platné závěry snadno formálně uchopitelné neodpovídá lidskému myšlení
- **Induktivní uvažování**
 - zevšeobecnování, odvozování obecných zákonů z konkrétních příkladů, odhadování vývoje, . . . používáno lidmi
 - těžko formálně uchopitelné

- intuitivní ~ centralizované
- komplexní systémy ~ decentralizované
- **Centralizované** myšlení:
 - negativní zpětná vazba centralizované příčiny význam „uzlů“
- **Decentralizované** myšlení: pozitivní zpětná vazba konstruktivní role náhody význam „vztahů“

- celostní pohled na systémy a na studium vztahů mezi jednotlivými částmi
- Vidět les, nejen stromy.
- (častěji spíš: Pro stromy les nevidět.)
- Mysli globálně, jednej lokálně.
- žába ve vodě
- slepí pozorovatelé a slon



redukcionismus (systém lze poznat na základě studia částí)

důraz na studium částí

lineární uvažování
dedukce
příčina → následek
analytické řešení

holismus (systém je víc než součet částí)

důraz na studium interakcí,
souvislostí
nelineární uvažování
indukce
zpětné vazby
experiment/simulace

- „klasický“ pohled
 - důraz na jednotlivce
 - „bad apples“
- „systémový“ pohled
 - důraz na pravidla systému
 - „bad barrels“, „bad barrel-makers“
- Philip Zimbardo:
 - Stanford prison experiment
 - TED talk *How people become monsters ... or heroes*
 - kniha *The Lucifer Effect: Understanding How Good People Turn Evil*

Možnosti modelování

- analýzy sítí
- agentní modelování
- buněčná automata
- numerické simulace
- biologicky inspirované algoritmy
- AI
- teorie her
- analýza tvarů (např. fraktální geometrie)

- komplexní systémy jsou „složitě“
- intuitivní uvažování – chyby

MODELY V GIS

Definujte následující pojmy

analýza

syntéza

modelování model

simulace

objekt

systém

reálný abstraktní

Objekt a systém

Objekt

- je ucelená část systému (která je předmětem zkoumání) komunikující s okolím.
- Každý zkoumaný objekt je v interakci se svým okolím.
- Vlastnosti objektu nejsou určovány pouze vlastnostmi jeho částí, ale mohou být též ovlivňovány vlastnostmi celku, jehož je objekt součástí.
- Vlastnosti objektu jsou vymezeny vlastnostmi všech objektů, které mohou zkoumaný objekt ovlivnit.

Objekt a systém

Soubor objektů, které ovlivňují zkoumaný objekt nazveme **systémem**.

Vlastnosti systému jsou (v idealizovaném smyslu / z hlediska zkoumané problematiky) nezávislé na okolí, tj. není třeba zkoumat širší soubor objektů.

Jedná-li se o soubor přímo pozorovaných objektů, nazýváme takovýto systém **reálným systémem**.

Abstraktní systém je potom popisem (teorií) reálného systému nebo předloha/projekt systému, který bude realizován.

Jedná se o **model** reálného systému - uzavřený soubor reprezentace objektů (a jejich vlastností) reálného systému zapsaný ve zvoleném jazyce / prostředí.

Objektově orientovaný přístup

Objekt a jeho reprezentace

- Objekt můžeme chápat jako část reálného světa (systému), která tvoří funkční samostatný celek komunikující s okolním světem přes jasně identifikovatelná rozhraní.
- Okolní svět tak nemusí mít povědomí o vnitřním fungování objektu, stačí že ví, jak s ním komunikovat přes jeho rozhraní (v OOP označováno jako **zapouzdření**).
- V digitálním prostředí je objekt reálného světa **reprezentován** jako objekt modelu. Ten má definované svoje vlastnosti, způsoby chování (metody) a způsoby interakce s okolím (zprávy). Vlastnosti, metody a zprávy tvoří komunikační rozhraní objektu.
- Při reprezentaci reálného objektu v modelu nutně dochází k zjednodušování (generalizaci) takových jeho vlastností, které jsou z hlediska účelu modelování nepodstatné.

Modelování a simulace

Modelování je proces tvorby modelu. Mohou se používat nejrůznější modelovací metody a techniky, které odvisí od modelu, který má být jejich výsledkem.

Simulace je využití modelu pro odhad chování systému.

Modelování a simulace

Proč modelovat?

- Dochází k systematizaci myšlenkových procesů.
- Model usnadňuje komunikaci v týmu.
- Pro výchovu a výcvik.
- Pro následné experimenty na modelu místo v realitě.

Proč simulovat?

- Pro výchovu a výcvik.
- Pomocí simulace se snažíme chápat fungování reálného systému (náhrada za experimenty na reálném systému).
- Zjišťujeme nakolik má který vstupní parametr vliv například na míru efektivity systému.

Model

Model je abstraktní popis reálného systému, který je vytvářen (modelován) za určitým účelem.

Vzhledem ke komplexnosti reálných systémů, není vždy možné modelovat veškeré jejich aspekty.

Model je proto většinou tvořen pro zkoumání určitých jevů v systému (za určitým účelem).

Chování modelu by, z hlediska účelu modelu, mělo odpovídat chování modelovaného systému.

Míra podobnosti chování modelu a systému závisí na komplexnosti systému, na zvoleném jazyce popisu systému a v neposlední řadě i na schopnostech návrhářů modelu.

Model

Model se skládá z:

- Komponent a jejich vazeb (jednotlivých částí modelu, některé jsou „black boxes“, některé „white boxes“).
- Proměnných (dat uložených v modelu).
- Parametrů (fixní, většinou I/O, proměnné).
- Funkčních vztahů (procesů).

Model

Je-li model věrný ve všech myslitelných experimentálních rámcích, hovoříme o **základním modelu**. Takový model plně vysvětluje chování studovaného systému.

Pro většinu reálných systémů neexistuje úplný popis základního modelu nebo je natolik složitý, že jej nelze využít pro simulaci. Častěji jsou popsány pouze (hlavní) konkrétní rysy systému. Potom hovoříme o **pracovním modelu**, který je validní vůči určitým experimentálním rámcům.

Model

Pracovní model vzniká sdružováním a agregací komponent základního modelu. Je třeba si uvědomit, že změna v komponentách systému vyvolá změnu i v dalších částech modelu, ve vazbách, procesech a proměnných. Předpokladem pro zjednodušování modelu je vypouštění takových jeho komponent (procesů/vazeb), které mají malý vliv na změnu chování modelu oproti reálnému systému v daném experimentálním rámci.

Shrnutí: Model musí být realizovatelný ve výpočetním prostředí, a proto nutně dochází ke zjednodušování základního modelu na pracovní model, důležité je, aby byla stále udržena validita (ekvivalence) modelu vůči reálnému systému.

V praxi se někdy nepopisuje celý systém jedním modelem.

- Modely se pak dělí na převážně **statické modely** (modely struktury systému, např. databázové struktury) a převážně **dynamické modely** (modely procesů / chování systému).

Model

Modely se dále dělí na převážně **statické modely** (modely struktury systému, např. databázové struktury) a převážně **dynamické modely** (modely procesů / chování systému).

Model

Pokud to jde, tvoříme model na základě analýzy reality a následně podle nějaké vytvořené teorie. Vzniká **analytický model**.

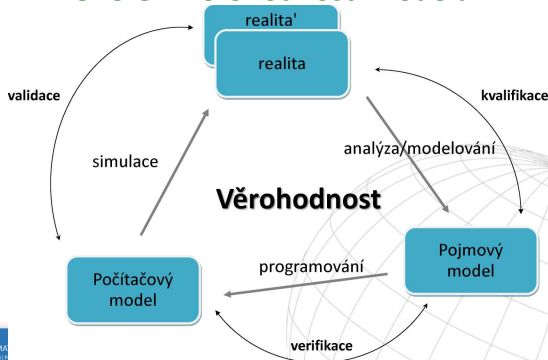
Někdy to nejde a systém, resp. některé jeho komponenty jsou pro nás černou skříňkou. Nezbyvá než model vytvářet na základě statistických odhadů chování systému, získaných jeho pozorováním. Někteří autoři hovoří o simulaci až se zavedením právě těchto odhadů. Výsledný model je označován jako **simulační model**.

Model

V počítačovém modelu při simulaci neprobíhá dějstojné fyzikální podstaty jako v reálném systému!

Přírodní vědy na rozdíl od společenských snáze nacházejí analytické modely.

Ověření věrohodnosti modelu



Ověření věrohodnosti modelu

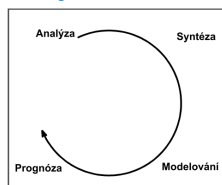
Lze rozlišovat několik druhů validity:

- **Replikativně validní model** - reálně reprodukuje data reálného systému.
- **Prediktivně validní model** - poskytuje data dříve než reálný systém, validita se ověřuje zpětně.
- **Strukturně validní model** - Nejen že věrně reprodukuje pozorovaná data, navíc věrně odráží způsob činnosti reálného systému (analytické modely).

Ověřit věrohodnost modelu a modelovaného reálného systému lze pouze a jedině konfrontací modelu s realitou. Míra validity modelu je vždy omezena mírou poznání reality.

- Model se jeví validní, pokud nerozpoznáváme rozdíl od reality.
- To neznamená, že rozdíl neexistuje, pouze jej na stávající úrovni poznání nejsme schopni zaznamenat.

Modelování v GIS - Modely



Od prostorové analýzy k modelování

shrnuje analýzu a syntézu prostorových dat v jeden celek

- kvalitativní - zkoumání druhu a jakosti objektů a jevů
- kvantitativní - zkoumání množství a velikosti objektů a jevů.

každá prostorová analýza je odbornou interpretací dílčích výsledků

Prostorové analýzy (podle využitých postupů)

- prostorové statistické analýzy dat
- mapová analýza (map algebra, polygon overlay)
- metody matematického modelování (multivariační a regresní modely)
- interpolační metody
- lokalizační a alokační modely
- síťové analýzy
- analýzy spojitosti a okolí

Modelování je, když ...

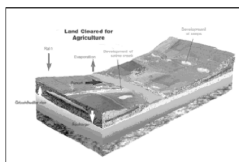
Pod pojmem **modelování** se rozumí:

- fáze procesu poznání, jehož výsledkem je ekvivalence sestaveného modelu a vyšetřovaného systému ve vlastnostech a projevech zvolených za podstatné a s přesností postačující danému účelu



Modelování je proces

- výběru modelu
- jeho sestavení
- přetváření
- hodnocení
- přechod od modelu zpět k reálné skutečnosti



Obecné cíle modelování

- napomáhat při pochopení struktury a fungování prostorových jevů
- poskytovat nástroje pro prognózy, chování a vývoje reálných systémů

prezentace

simulace

Konkrétní cíle modelování

- popis jevů (objektů či procesů) (vč. popisu jejich uspořádání)
 - odvození statistických charakteristik a jejich srovnání, testování
- výběr lokality splňující sadu podmínek
 - nebo zkoumání míry splnění těchto podmínek
- interpretace procesů, které vedly k pozorovanému stavu
- optimalizace uspořádání jevů v prostoru a čase
- zlepšení schopnosti kontrolovat objekty a předpovídat události (prediktivní modelování)
- redukce množství dat do úspornější a přehlednější sady dat

Modelování rozvíjí schopnosti:

- přesněji formulovat danou otázku a její cíle
- orientovat se ve složitějších vztazích
- zjednodušovat pozorovaná fakta
- oddělovat podstatné od nepodstatného
- odhalovat mechanismy jevů

Modely

Model je zjednodušené vyjádření reality pro účely popisu, vysvětlení, prognózy nebo plánování

- nesmějí být příliš **složitě**
 - jinak jsou nevhodné pro pozorování a příliš obtížné pro závěry
- nikdy nesmějí být **duplicitou** reality
 - v honbě za detailem se ztrácí podstata modelovaného jevu
- na druhé straně příliš **jednoduchý** model může snížit význam modelovaného jevu
 - tj. nezbytnosti převést mezi náhodné činitele řadu zákonitě působících faktorů
- musí **věrohodně** popisovat hlavní vlastnosti modelovaného reálného jevu, vztahy mezi jeho prvky a složkami i druhy vnitřních a vnějších vazeb

KLASIFIKACE MODELŮ

Modely

podle počtu rozměrů:

- 0 rozměrů – bod
- 1 rozměr – linie, síť
- 2 rozměry – plocha
- 3 rozměry – povrchy
- 4 rozměry – časoprostor

Prostorové modely

podle stupně formalizace:

- **rozměrové modely** (scale models)
 - jsou vyjádřením skutečných fyzických objektů (DMR, síťové modely hydrologických systémů ...)
- **pojmové modely** (conceptual models)
 - používají kvazipřirodních jazyků nebo vývojových diagramů k vymezení části zkoumaného systému a zdůraznění spojení mezi nimi (oběh vody),
- **matematické modely** (mathematical models)
 - pracují s pojmovými modely vyjadřováním jejich součástí a vazeb s matematickou konstrukcí (mohou využívat rozměrové modely k organizaci svých dat)

Modely

- Logické modely
- Black box modely
- Regresní modely
- Procesní modely
- Modely rovnováhy hmoty a energie
- Deterministické x Stochastické modely
- Statické x Dynamické modely

Logické modely

- vycházejí ze základních axiomů **logiky**
- řídí se pravidly binární **Boolean algebry**
- vazby v modelech se řídí logickými operátory AND, OR, NOT, IF a XOR (konjunkce, disjunkce, negace, implikace a ekvivalence)
- jejich výsledky jsou vyjádřeny jako **diskrétní**, resp. alternativní veličiny (pravda x nepravda)

Logické modely

Příklad:

- hodnocení eroze půdy podle vzorce:

*IF sklon > 10 % AND litologie = spraš
AND vegetační povrch = „pole“ THEN
eroze = „ano“*

- i výsledek je diskrétní

Black box modely

(modely černé skříňky)

- poskytují velmi zjednodušený pohled na reálné jevy
- jsou většinou empiricky odvozeny
- používají se, když jsou vstup a výstup navzájem vztaženy statistickým vztahem nebo závislostí,
- výstup může být odhadován ze vstupu (nazývané také modely vstup/výstup)
- jsou vhodné, když je podstata jevu málo známa
- slouží k předpovědím
- chovají se hůře, když jsou reálná vstupní data mimo rámec původních testovaných dat

black box

Vyjádření modelu

Všechny systémy odpovídají vstupu X, který je transformován systémem S na výstup Y:

$$Y = S(X)$$

S - převáděcí funkce, která představuje vlastní systém.

Protože S není rovno 1 (vyloučení tzv. triviálního systému) je třeba definovat podstatu převáděcí funkce. Ta obsahuje soubor konstant a proměnných.

black box

Přístupy popisu systému

Bílá skříňka

- struktura systému (tj. převáděcí funkce) vychází ze znalostí proměnných (veličin) v systému

Černá skříňka

- vnitřní strukturu systému neznáme
- vycházejí z experimentálních nebo empirických přístupů
- jsou výsledkem tzv. experimentálních znalostí
- experiment (důležitý především v počátcích modelování) limituje počáteční předpoklady fungování systému a stanovení vazeb mezi proměnnými

Šedá skříňka

- je stav černé skříňky před úplným odhalením (bílá skříňka)

Black box

Regresní modely

- jsou řízeny vlastními daty
- k odvození korelací mezi měřenými daty a získanými výsledky se používají statistické metody
- nemohou popsat všechny možné jevy v systému
- výsledky regresních modelů závisí na míře závislosti a nezávislosti proměnných

Regresní modely

- mají obecný tvar:

$$U = \beta_0 + \beta_1 A^p + \beta_2 B^p + \beta_3 C^p + \dots + \varepsilon$$

kde U je modelovaná závislá proměnná,

β_i - regresní koeficienty,

$A, B, C \dots$ - nezávislá data umocněná na p

ε - odchylka normálního rozdělení s nulovým průměrem a směrodatnou odchylkou σ^2 .

- i když může být regresní rovnice 100% vyjádřením zdrojových dat, nelze se stejnou jistotou pohlížet na výsledky modelování (protože data jsou pouhými vzorky)

Lineární regresní modely

specifický příklad black box modelů

$$Y = a + b \cdot X \quad (., + \text{ přírůstek})$$

- X je nezávislá proměnná, Y je závislá proměnná, X řídí Y (příčina - důsledek)
- a a b jsou parametry popisující kladnou nebo zápornou závislost

Závislost mezi X a Y může být:

- X je příčinou Y ,
- X a Y jsou spojeny díky vnějšímu vlivu jednoho nebo více nezávislých proměnných (např. vrchol povodně a objem povodně jsou navzájem závislé, ale oba jsou řízeny množstvím srážek stejně jako morfologií povodí) apod.

black box

Procesní modely

- přinášejí „více světla do černé skříňky“, protože zahrnují složitější vazby než jsou regresní závislosti !!! problém ale je, jak je matematicky vyjádřit!!!
- popisují mechanismus jednotlivých operací, které se vyskytují v realitě
- jsou výsledkem snahy modelovat přesněji a úplněji na úrovni černé skříňky
- nebudou nikdy dokonale ani úplné

Příklad: V black box modelu půdní eroze lze odhadnout tempo eroze ve smyslu empirické rovnice (ze srážek, délky svahu, sklonu svahu apod.). V procesovém modelu může být eroze rozdělena na plošný splach a odtok jako samostatné, avšak související procesy tvořící erozi půdy.

Modely rovnováhy hmoty a

energie (mass and energy balance models)

- vycházejí z jednoduché rovnice zachování hmoty a energie:

$$\text{vstup} - \text{výstup} = \text{nárůst v zásobárně}$$

- bez zásobárny (rovnice na pravé straně má 0)

Deterministické modely

Deterministické modely

- představují snahu vysvětlit a modelovat procesy nebo jevy ve smyslu fyzikálních nebo chemických zákonů
- základním předpokladem je tvrzení, že **fyzikální síly řídící proces jsou známy** a vše, co je požadováno, je pouze shromáždit odpovídající data
- přesnost získaných výsledků těchto modelů závisí na shromážděných datech a parametrech modelu

- při jejich realizaci jsou velmi důležité statistické metody
- neumožňují přítomnost náhodných veličin
- příklad:
modelování průchodu vody pórovitou horninou
(využívají se fyzikální zákony, které se aplikují na data ze vzorků testovaných hornin)

Stochastické modely

Stochastické modely

- jsou pravděpodobnostní modely s rozdělením podmíněné pravděpodobnosti uvažující časovou a prostorovou kontinuitu
- jsou vyjádřeny rovnicí

$$Y = a + bX + r,$$

r je náhodná hodnota nebo proměnná
(nejjednodušší stochastický model)

- narušil od deterministických modelů je alespoň jedna ze vstupních proměnných nebo alespoň jeden z parametrů modelu vyjádřen pouze jako pravděpodobnostní proměnná
- výsledky nejsou konkrétní hodnoty, ale rovněž pravděpodobnosti funkce (rozdělení)
- vhodně kalibrované stochastické modely mohou vyjadřovat prognózy modelovaných jevů pomocí středních hodnot výsledných rozdělení

Dynamické modely

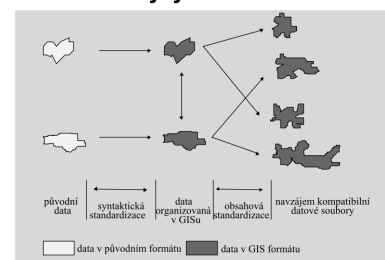
základní axiom orientací vazeb v čase systému:

$$\text{MINULÉ} \Rightarrow \text{BUDOUCÍ}$$

popisuje zákonitosti změn jeho příznaků v čase
čas systému - co je minulé a co budoucí

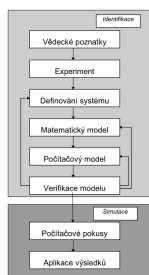
- systém je zkoumán v určitém časovém intervalu $\langle 0, t_{\max} \rangle$
- počátek intervalu $t = 0$ představuje okamžik, kdy vyšetřovaný systém začíná být sledován

Úrovně datové kompatibility pro prostorové analýzy



Modelování v GIS

Základní fáze počítačového modelování



Vědecké poznatky

- z důvodu značné složitosti prostorových jevů (objekty a procesy s vnitřní strukturovaností na řadě hierarchických úrovních) je vhodné využít **systémový přístup**
- při definování systému se berou v úvahu ty vlastnosti reálného jevu, o kterých se předpokládá, že souvisejí se strukturou systému
- složitost nebo jednoduchost systému je dána rozlišovací úrovní
- vytváření systému směřuje k matematickému vyjádření určitých podstatných vlastností studovaného jevu
- interpretace jevu je přizpůsobena rozlišovací úrovni a dalším nezbytným zjednodušujícím předpokladům

Zákonitosti

- často není možné matematicky definovat vztahy v systému (nedostatečné pochopení podstaty jevu), proto řada modelů obsahuje základní empirické vazby
- procesy působí v různých úrovních času a prostoru a mohou existovat určité prahy kritických změn jejich chování
- některé jevy existují déle (v čase) než po dobu modelování, proto se popisují náhodnými statistickými kolísáními
- při kalibraci a verifikaci počítačových modelů se používá matematická statistika

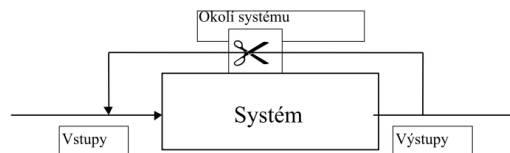
Definování systému

= vyjádření relací mezi zvolenými veličinami charakterizujícími chování jevu - **prvky a složky** (tzv. příznaky)

- veličiny vybrané pro formulaci systému vytvářejí množinu tzv. **podstatných příznaků**
- při sestavování systému dochází vždy k určitým zjednodušením:
 - oddělení zkoumaných jevů od jevů nesledovaných, tj. **oddělit systém od okolí**, a definovat jejich vzájemný vztah, působení okolí na systém a naopak projevy systému vůči okolí

Podmínka separability systému!

- **vstupy systému**
 - příznaky, které charakterizují vliv okolí na systém
- **výstupy systému**
 - vnější projevy systému
- systém je tedy **separabilní**, jestliže jeho výstupy podstatně neovlivňují vstupy (tj. působení okolí na systém není podstatným způsobem závislé na chování a vlastnostech systému)
- může být studován pouze separabilní systém



Stav systému a stavové veličiny

- stav systému

- je konfigurace systému v daném časovém okamžiku
- závisí na chování vstupních veličin (shrnuje výsledky jejich působení za delší časový interval v minulosti)
- závisí na vstupních veličinách
- ovlivňuje výstupní veličiny
- je charakterizována souborem **stavových veličin**

Rozdělení na vstupní, stavové a výstupní veličiny není dáno apriorně, nýbrž souvisí do značné míry s přístupem a zkušenostmi odborníka.

Matematický model

deduktivní x induktivní sestavení matematického modelu

- **dedukcí** se sestavuje na základě obecně platných zákonů příslušné vědní disciplíny (podstata vyšetřovaných jevů je dobře známa, zpracovávána a ověřena její teorie)
- dedukce se používá tam, kde neznáme exaktní zákony (používají se derivace, integrály, parciální derivace, integrální rovnice)

- při **indukci** se u každého prvku systému definuje vztah mezi derivací jeho výstupní proměnné a hodnotu této i jiných proměnných ("změna veličiny je úměrná ...")
 - změna výstupní proměnné se zapisuje jako její první derivace a píše se na levé straně rovnice
 - vpravo od rovnítky se píšou všechny proměnné a parametry vystupující v rovnici
 - slovní formulace vztahu v systému není obvykle tak jednoznačná, jako je matematický zápis

Zápis induktivním způsobem probíhá obecně:

- operace násobení mezi veličinou, jejíž derivace je na levé straně rovnice, a jinými veličinami - u rovnic, které popisují systémy, kde změna uvažované veličiny je důsledkem interakce prvku a kde tato interakce může mít za následek podstatnou změnu vlastností prvků uvažované veličiny i jiných veličin vstupujících do interakce
- operace sčítání - popisují-li se systémy, v nichž změna uvažované veličiny je důsledkem změn jiných prvků uvnitř systému

V případě, že na pravé straně rovnice je sčítání i násobení může být slovní formulace obtížná a neurčitá.

Příklad - vývoj populace v závislosti na čase

- Existuje populace izolovaná v určitém prostoru
- Jak se bude vyvíjet v čase?
- Výchozí předpoklad:
 - počet narozených a zemřelých je přímo úměrný počtu jedinců populace (... čím více lidí v populaci, tím více jedinců se rodí i umírá)

t ... čas

vyšetřujeme změnu populace za čas Δt
tj. v intervalu $\langle t, t+\Delta t \rangle$

$x(t)$... počet jedinců v čase t

$x(t+\Delta t)$... počet jedinců v čase $t+\Delta t$

Změna počtu jedinců

= rozdíl počtu na začátku a počtu na konci období

$$\Delta x = x(t+\Delta t) - x(t)$$

Počet **nových jedinců** je přímo úměrný počtu jedinců a času (čím delší období, tím více dětí se narodí) ... $k_1 x(t) \Delta t$

k_1 ... koeficient narození

Počet **zemřelých jedinců** je přímo úměrný počtu jedinců a času (čím delší období, tím více dětí se narodí) ... $k_2 x(t) \Delta t$

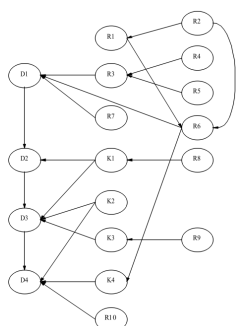
k_2 ... koeficient úmrtí

Změna počtu jedinců
= rozdíl počtu narozených a a zemřelých jedinců
 $\Delta x = k_1 x(t) \Delta t - k_2 x(t) \Delta t$

= přepsání matematického modelu do jazyka počítače

• simulační jazyk

- speciální programy, jejichž použití maximálně usnadní komunikaci mezi řešitelem a počítačovým modelem
- soubor znaků, syntaktických a sémantických pravidel dovolující jednoduchou formulaci problému



**Příklad
schématu
výpočtu
modelu**

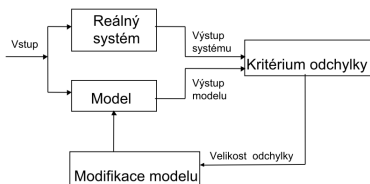
Verifikace

= ověření shody chování počítačového modelu a reálného systému za shodných vstupních podmínek

- struktura počítačového modelu se mění podle vhodného algoritmu tak dlouho, dokud se výstupní hodnoty modelovaného reálného systému shodují se zvolenou přesností s výstupy počítačového modelu
- subjektivní a objektivní verifikace

Objektivní verifikace = optimalizace parametrů

- vychází-li se z apriorně známé nebo předpokládané struktury matematického modelu



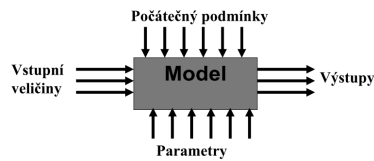
Počítačové pokusy a aplikace výsledků

- jestliže počítačový model věrohodně popisuje experimentálně zjištěné zákonitosti, lze původní systém nahradit počítačovým modelem
 - s počítačovým modelem je možné provádět experimenty na počítači a výsledky aplikovat na původní objekt
- na počítači lze měnit vstupy systému, parametry systému nebo modifikovat model na různých místech.
 - na tyto změny model reaguje změnou hodnot svých výstupních veličin
 - podle hodnot výstupních veličin modelu se usuzuje, jak by se choval skutečný jev

Počítačové pokusy

V počítačovém modelu lze měnit:

- počáteční podmínky
- parametry
- vstupní veličiny



Aplikace výsledků

Hydrologické modely

- pohyb vody v řečišti (vč. povodní)
- přenos hmoty ve vodě
- chemické složení
- znečištění
- pozemní vody
- průtočnost materiálu
- odtok vody z povrchu

Atmosférické modely

- proudění vzduchu
- srážky

Ekologické modely

- zahrnují biologické i sociální aspekty
- populační modely

Povrchové a podpovrchové modely

- eroze, podzemní voda

Experimentování

- analýza výsledků je těsně spjata se získáváním experimentálních dat (většina počítačových modelů vyžaduje kvalitní experimentální data)
 - počítačové modely krajiny sestavené bez experimentálních dat jsou pouze fikcí
 - lidé, kteří používají neověřené počítačové modely, se dopouštějí jistého druhu lži
- obtížnost získávání správných experimentálních dat je často limitujícím faktorem při sestavení a následném používání počítačových modelů (ne dokonalost výpočetní techniky)
- dovoluje:
 - zmenšit chybu experimentu a vyloučit vliv náhodných faktorů
 - zmenšit počet pokusů se zadanou přesností získat objektivní odpověď na předem zadanou otázku
 - přijímat řešení na základě přesné formulovaných pravidel

Příklad plánování experimentu

srovnání dvou lesních komplexů

- Mějme dva lesy L1 a L2 a dvě hnojiva A a B.
- Stromy v lese L1 se pohnojí hnojivem A, stromy v lese L2 hnojivem B.
- V každém lese se sleduje doba pokračování TA a TB působení hnojiv po jejich aplikaci.

Z těchto výsledků lze vypočítat statistickou odchylku mezi oběma lesy.

nebo

Abychom vyloučili variabilitu mezi lesy (různá výška stromů, stáří, odolnost apod.), je lépe experiment naplánovat jinak.

- Každý les pohnojit jedním aparátem.
- Potom po době dostatečně dlouhé pro vyloučení hnojiva z organismu dřevin podáme hnojivo druhé.

Takovéto schéma experimentu vylučuje vliv individuální variability stromů na srovnání účinků hnojiv.

Plánování experimentů

- modelovaný objekt jako "černá skříňka", je charakterizován

vstupními faktory $x_1, x_2, \dots, x_k$,

výstupními veličinami $y_1, y_2, \dots, y_m$ a

funkční závislostí mezi nimi

- Tuto závislost lze definovat na základě experimentálních výsledků.

Experimentální chyby

- **vstupní faktory**
 - mohou různým způsobem působit na zkoumaný objekt
 - jejich účinky jsou fyzikální, chemické, biologické, geografické apod.
- **výstupní veličiny**
 - sledované faktory
 - charakterizují výsledky dějů
- na výsledku experimentu kromě výstupních veličin (sledovaných faktorů) mají vliv i různé **poruchové faktory**
 - např. v medicíně to jsou chyby měření nebo nekontrolovatelný vliv okolního prostředí, v geografii je to variabilita mezi různými jedinci, i variabilita jednoho organismu v závislosti na čase.)

1. systematické chyby

- jsou způsobeny nesprávnou funkcí měřicích přístrojů nebo jsou spojeny s použitou měřicí nebo analytickou metodou
- dají se stanovit dodatečným měřením (např. kalibrací vah) nebo vypočítat, a potom korigovat naměřené hodnoty

2. náhodné chyby

- jsou způsobeny náhodnými vlivy, které se mění během jednotlivých experimentů
- jejich vznik nelze nikdy úplně vyloučit, ale vhodnou volbou metodiky experimentu lze omezit jejich velikost
- nejsou důležité chyby každého jednotlivého měření, ale veličina, která charakterizuje chybu určité série měření nebo chybu měřicí metody (používá se matematická statistika)

Obecné principy

- provedení opakovaných pokusů
- vytvoření stejných podmínek a vytvoření bloků
- použití postupů náhodnosti pro vyloučení vlivu náhodných chyb

Koncept realizace modelů v GIS

- **modelování, budování databází a GIS** jsou do určité míry samostatné činnosti, každá s vlastními pravidly, přístupy a omezeními
 - jejich automatické spojení neposkytuje dostatečné záruky ani pro pochopení prostorových jevů, ani k účelnému prognózování
 - proto je nezbytné hodnotit a uvažovat požadavky i přínos každého z nich odděleně
 - datové modelování, procesní modelování

Základní analytické funkce

- výběrové databázové dotazy (podle prostoru, kvalitativních a kvantitativních atributů, času, např. relační algebra)
- měření a výpočty pomocí nástrojů počítačové geometrie
- metody práce s bodovými objekty (s diskrétními bodovými poli), např. výpočet polohy bodů v plochách, interpolace spojitých povrchů z diskrétních bodů apod.
- metody práce s liniovými objekty, např. generování okolních zón a síťové analýzy
- metody práce s plošnými objekty
- metody práce s 3D povrchy, které nabízí např. modelování reliéfu
- metody práce s rastrovými daty vycházejícími převážně z metod práce s obrazovými daty

Požadavky

- speciální školení nebo již vyškolený personál
- speciální hardware a software
- osvojit si nový programovací jazyk (myšlení - modelování)
- organizovanou databázi,
- rozsáhlé množství prostorových dat
- zabezpečení kompatibility dat
- navýšení strojového času pro zpracování modelu

Přínos

- sestavené modely mohou být použity pro 2, 3 nebo dokonce 4D situace
- standardní datové formáty a datové popisy urychlují vstup dat a vizualizaci výsledků modelování
- závěrečné i průběžné výsledky modelování jsou okamžitě zobrazitelné ve formě grafů, map, trojrozměrných obrazů nebo i videosekvencí pro jejich rychlou kontrolu
- analýzy citlivosti a chyb mohou být prováděny vně modelu, avšak interaktivně
- je-li k dispozici odpovídající uživatelské rozhraní, může být modelování součástí analýzy GIS dat a tím přístupné všem uživatelům systému

Kompatibilita dat

- **technická kompatibilita**
 - výměna dat
- **atributová kompatibilita**
 - srovnatelnost časových, negrafických a kvalitativních vlastností uvažovaných jevů
- **kompatibilita na vyšší úrovni abstrakce**
 - kompatibilita uvnitř vlastního systému (např. usnadnění dekodování)
 - kompatibilita mezi sebou navzájem (např. stanovení srovnatelnosti)

Kvalita dat...



Teorie grafů

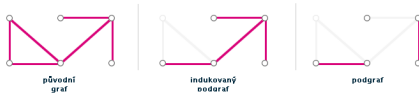
Graf

- základní objekt teorie grafů
- vhodný prostředek pro popis situací, které lze znázornit pomocí konečného množství **bodů** a vztahů mezi nimi znázorněných pomocí **hran**
- **graf** (rozšířeně obyčejný či jednoduchý neorientovaný graf) je uspořádaná dvojice $G = (V, E)$, kde V je množina vrcholů a E je množina hran – množina vybraných dvouprvkových podmnožin množiny vrcholů.
- hrany spojují uzly, místo vstupu/výstupu hrany = **incidence**



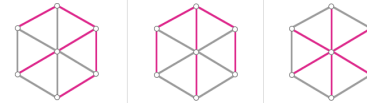
Podgraf, indukovaný graf

- podgraf = část grafu
- **podgraf** grafu G je graf H , který vznikl odebráním některých vrcholů a hran z původního grafu G
- každá hrana musí být zakončena uzlem (vrcholem)
- při odebrání vrcholu je nutné vymazat všechny hrany vedoucí do/z tohoto vrcholu. Pokud byly odebrány jen tyto hrany, nazývá se podgraf **indukovaný**. Pokud byly odebrány i jiné hrany, jde obecně o podgraf



Kostra grafu

- libovolný podgraf, který hranami spojuje všechny vrcholy původního grafu a zároveň sám neobsahuje žádnou kružnici
- definice: Necht' $G = (V, E)$ je graf. Libovolný strom (V, E') , kde E' je podmnožinou E , nazveme **kostrou grafu**



Pokud původní graf (graf, ke kterému hledáme kostru) obsahuje kružnici, pak máme více možností, jak kostru zvolit.

Isomorfní graf

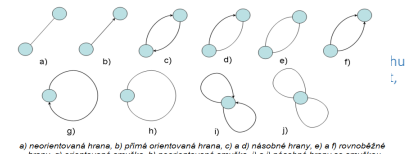
- isomorfismus grafů G a H je bijektivní (vzájemně jednoznačné) zobrazení $f: V(G) \rightarrow V(H)$, pro které platí, že každá dvojice vrcholů $u, v \in V(G)$ je spojena hranou v G právě tehdy, když je dvojice $f(u), f(v)$ spojena hranou v H
- grafy G a H jsou isomorfní pokud mezi nimi existuje isomorfismus. Píšeme $G \cong H$
- podmínka: isomorfní grafy mají stejný počet vrcholů (i hran)



Typy hran

- **neorientovaná** - hrana bez vyznačení směru (bez orientace)
- **orientovaná** - hrana s vyznačením směru
- **násobné hrany** - více hran spojujících stejné vrcholy
- **rovnoběžné hrany** - hrany, které incidují se stejnými uzly
- **smýčka** - hrana, která inciduje jen s 1 uzlem

- Pozn. hrana může být hrany vyjadřuje kvalitu mezi dvěma vrcholy průchodnost apod.)

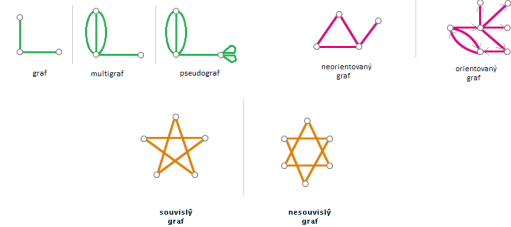


a) neorientovaná hrana, b) přímo orientovaná hrana, c) a d) násobné hrany, e) a f) rovnoběžné hrany, g) orientovaná smýčka, h) neorientovaná smýčka, i) a j) násobné hrany se smýčkou

Typy grafů

- podle smyček a rovnoběžných hran:
 - jednoduchý graf – neobsahuje smyčky a násobné hrany
 - multigraf – obsahuje násobné hrany
 - pseudograf – obsahuje smyčky
- podle orientace hran:
 - neorientovaný graf – obsahuje pouze neorientované hrany
 - orientovaný graf - hrany jsou uspořádané dvojice vrcholů
 - smíšený – obsahuje orientované i neorientované hrany
- podle souvislosti
 - souvislé (existuje-li cesta mezi každou dvojicí vrcholů)
 - nesouvislé

Typy grafů - ukázky



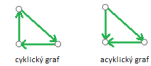
Strom

- souvislý graf neobsahující kružnici
- z definice stromu vyplývá, že mezi každými dvěma vrcholy existuje právě jedna cesta
- často se využívá pro ukládání dat (typicky čísel) v informatice jako tzv. *datová struktura*



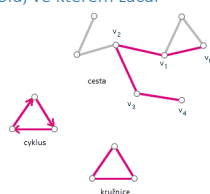
Typy grafů

- podle existence kružnice v grafu
 - cyklické - obsahují kružnice
 - acyklické - (např. stromy)
- podle toho, zda lze graf nakreslit do roviny bez křížení hran
 - rovinné
 - nerovinné
- další důležité rozdělení:
 - nehodnocené grafy
 - ohodnocené grafy, kde každé hraně přísluší nějaká další informace – hodnota hrany - může např. znamenat vzdálenost mezi vrcholy, kapacitu hrany pro přenos (informací, komodit) a jiné.



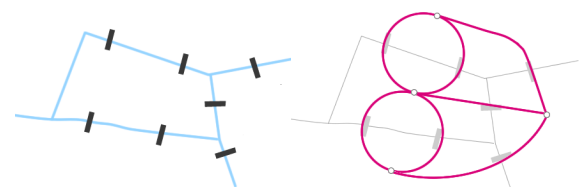
Sledy, tahy, cesty, kružnice a cykly

- Sled** - je posloupnost vrcholů taková, že mezi každými dvěma po sobě jdoucími je hrana.
- Tah** - je sled, v němž se žádná hrana nevyskytuje více než 1x.
- Uzavřený tah** - tah, který končí ve vrcholu, ve kterém začal
- Cesta** - je sled, ve kterém se neopakují vrcholy, tedy každý vrchol se v cestě objevuje nejvýše jednou. Existuje-li mezi dvěma vrcholy sled v grafu, existuje mezi nimi i cesta.
- Kružnice** - každá uzavřená cesta.
- Cyklus** - uzavřená orientovaná cesta.



Historie teorie grafů

- 18. století – Eulerova úloha** – Sedm mostů města Kaliningradu (Königsbergu, Královce)



Historie teorie grafů

• 19. století - fyzika a chemie

- **1847 Gustav Kirchhoff** - výpočet proudů v elektrických sítích pomocí počtu koster grafu
- **1857 Arthur Cayley** - pomocí grafů zjišťoval počty různých uskupení molekul alkanů (vrcholy grafu = atomy, hrany znázorňují chemickou vazbu mezi nimi)
- **1857 sir William Hamilton** - vymyslel hru, pospojovat všechny vrcholy pravidelného dvanáctiúhelníku tak, aby byl každý vrchol použit právě jednou → **Game**, pojem **hamiltonovská kružnice**



Historie teorie grafů

• 19. století – nejznámější úloha: problém čtyř barev

- řešila se úloha, zda-li je možné každou mapu obarvit pomocí čtyř barev tak, aby sousední státy měly různé barvy – vyřešeno až 1976
- princip řešení je založen na tom, že každý stát považován za vrchol grafu a hranou jsou státy. Místo barev je možné p



Historie teorie grafů

- **20. století** – velký rozvoj teorie grafů, významné pokroky i v Československu:
 - **1926 Otakar Borůvka** – publikoval svůj algoritmus pro nalezení minimální kostry – využití pro výstavbu elektrických sítí
 - **1930 Vojtěch Jarník** – využití teorie grafů pro plánování výstavby elektrických sítí



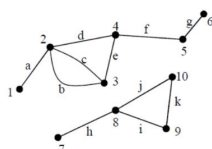
Matematická reprezentace grafu

- pro výpočty v počítači
- zápis grafu je řešen pomocí **matice**
- všechny vrcholy se očíslovají, rozměr matice se zvolí podle počet vrcholů (graf se 4 vrcholy nelze popsat maticí rozměrů 3x3, hrany vedoucí do/z čtvrtého vrcholu by nebylo možné popsat)
- pokud vede mezi dvěma vrcholy hrana, zapíšeme do matice na pozici [číslo jednoho vrcholu, číslo druhého vrcholu] a na pozici [číslo druhého vrcholu, číslo prvního vrcholu] číslo 1. Jinak zapíšeme 0



Matice sousednosti

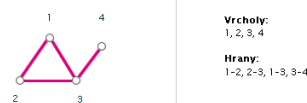
- někdy označení jako matice spojitosti
- počet hran mezi dvěma sousedními uzly



		UZLY									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U Z L Y	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	2	1	0	2	1	0	0	0	0	0	0
	3	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0
	4	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0
	5	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	8	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1
	9	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
	10	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0

Matematická reprezentace grafu

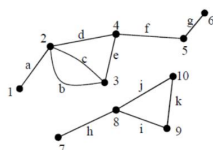
- kromě matice sousednosti je možné použít i jiné reprezentace – v případě velkého počtu vrcholů, které budou spojeny relativně malým počtem hran, je výhodnější použít například **seznam sousedů** či **seznam vrcholů se seznamem hran**



- často se využívá také **incidenční matice** nebo **matice dosažitelnosti**

Incidenční matice

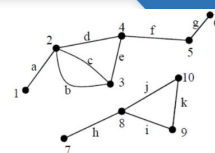
- zapisuje existenci spojení mezi uzly
- pro orientované grafy hodnota
 - „-1“ vstup do uzlu
 - „+1“ výstup z uzlu



U Z L Y		H R A N Y										
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
1		1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2		1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
3		0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
4		0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
5		0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
6		0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
7		0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8		0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
9		0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
10		0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Matice dosažitelnosti

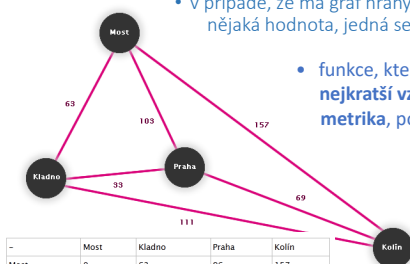
- obsahuje prvky b_{ij}
- nabývá hodnotu 1 pokud existuje sled mezi uzly
- lze odvodit z matice sousednosti (Boolean algebra)



U Z L Y		Ú Z L Y									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		1									
2		1	1								
3		1	1	1							
4		1	1	1	1						
5		1	1	1	1	1					
6		1	1	1	1	1	1				
7		0	0	0	0	0	0	1			
8		0	0	0	0	0	0	1	1		
9		0	0	0	0	0	0	1	1	1	
10		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

Ohodnocení hran

- v případě, že má graf hrany, kterým je přiřazena nějaká hodnota, jedná se o **ohodnocené hrany**
- funkce, která dosadí k vrcholům **nejkratší vzdálenosti**, se nazývá **metrika**, podmínkou je aplikace na souvislý graf



	Most	Kladno	Praha	Kolín
Most	0	63	96	157
Kladno	63	0	33	102
Praha	96	33	0	69
Kolín	157	102	69	0

Úlohy založené na teorii grafů

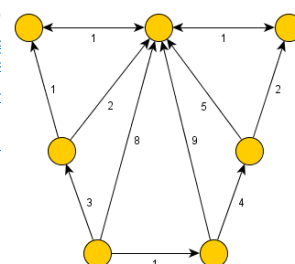
- **Hledání nejkratší cesty v grafu**
 - jeden ze základních problémů teorie grafů - podobné algoritmy se používají např. v plánovačích tras v GPS nebo v jízdních řádech
 - podmínkou je pouze existence souvislého grafu s metrikou. Výsledkem je vizualizace např. komunikací a info o jejich délce
 - vzdálenost v grafu musí splňovat trojúhelníkovou nerovnost: $\forall u, v, w \in V(G) : dG(u, v) + dG(v, w) \geq dG(u, w)$
 - k výpočtu se používají polynomiální algoritmy:
 - Dijkstrův algoritmus
 - Bellman-Fordův algoritmus
 - Floyd-Warshallův algoritmus

Dijkstrův algoritmus

- autorem je nizozemský informatik Edsger Dijkstra
- neefektivnější algoritmus pro hledání nejkratší cesty z uzlu do všech zbylých uzlů grafu s časovou složitostí $O(|V|^2 + |E|)$, kde $|V|$ je počet vrcholů a $|E|$ počet hran
- je konečný, v každém průchodu cyklu se do množiny navštívených uzlů přidá právě jeden uzel, průchodů je tedy nejvýše tolik, kolik má graf vrcholů
- má ale omezení – nesmí být použit na grafu, který obsahuje jakoukoliv hranu záporné délky

Dijkstrův algoritmus

- autorem je nizoz
- neefektivnější al
- je konečný, v kaž
- má ale omezení –



zlu do všech zbylých uzlů grafu
lů a $|E|$ počet hran
řtívených uzlů přidá právě
vrcholů
uje jakoukoliv hranu záporné

Bellman-Fordův algoritmus

- vymyšlen americkými matematiky Richardem Bellmanem a Lesterem Fordem
- počítá nejkratší cestu v ohodnoceném grafu z jednoho uzlu do uzlu dalšího (do ostatních uzlů)
- některé hrany mohou být ohodnoceny i záporně
- využívá metodu relaxace hran, jež zjišťuje aktuálně nastavenou hodnotu nejkratší vzdálenosti od uzlu S, funguje na podobném principu jako Dijkstrův algoritmus, rozdíl je ve způsobu průchodu grafem – tento alg. neuzavírá hodnotu uzlu po tom, co projde všechny jeho následovníky. Alg. prochází několikrát všechny uzly a upravuje postupně hodnoty vzdáleností nejkratších ces

Floyd-Warshallův algoritmus

- poprvé popsán Robertem Floydem a Stephenem Warshallem
- hlavní výhodou je jeho implementační jednoduchost
- počítačový algoritmus používaný pro nalezení nejkratší cesty v orientovaném grafu s hranami různých vah
- jediný průchod algoritmu spočte nejkratší cestu mezi všemi dvojicemi vrcholů
- je typickým příkladem dynamického programování

Úlohy založené na teorii grafů

- **Hledání minimální kostry v grafu**
 - popisuje, jak máme spojit **všechny vrcholy grafu** "co nejlevněji" - hranami s nejnižší vahou (ohodnocením)
 - praktickým využitím mohou být například rozvody elektřiny mezi městy - propojení města co nejmenší délkou elektrického vedení
 - hledání minimální kostry má smysl u ohodnocených grafů
 - hranám se přiřadí číslo - tzv. váha
 - k výpočtu se používá:
 - **Kruskalův algoritmus**

Kruskalův algoritmus

- pracuje na principu spojování hran s nejmenším ohodnocením, dokud tyto hrany nespojí vrcholy celého grafu
- díky jeho snadnému postupu jej lze snadno použít i bez počítače při "ručním výpočtu"
- Kruskalův algoritmus je tzv. hladový = takový algoritmus, který vždy volí v danou chvíli nejvýhodnější volbu (aniž by se snažil "myslet do budoucnosti") - anglicky greedy search (greedy = chamtivý)

Úlohy založené na teorii grafů

- **Hledání maximální kostry v grafu**
 - = souvislý podgraf (typu strom) s celkovým maximálním ohodnocením hran – hrany ohodnoceny dle nějakého **ukazatele znázorňujícího podobnost vrcholů**, typicky se jedná o číslo nabývající hodnoty 1, pokud se dva vrcholy v nějaké vlastnosti naprosto shodují, hodnoty 0, pokud se neshodují vůbec
 - do maximální kostry použijeme vždy hrany s nejvyšším ohodnocením. Tím dojde ke spojení vrcholů, které k sobě "nejvíce patří"

Úlohy založené na teorii grafů

- **Nalezení maximální kostry**
 - pokud známe postup, jak najít minimální kostru, je nalezení maximální kostry jednoduché - stačí ohodnocení hran změnit na opačné (kladné → záporné) hodnoty a použít libovolný **algoritmus pro nalezení minimální kostry** (a opět otočit znaménko ohodnocení hran)
 - druhou možností je upravit samotný hladový algoritmus - např. Kruskalův. Hrany ale seřadíme nikoliv vzestupně, ale sestupně - nejprve do kostry přidáváme hrany s největším ohodnocením

Toky v sítích

- pomocí grafů můžeme řešit problém nalezení **maximálního toku v síti**
- nejtypičtějším příkladem tohoto problému je:
 - vodovodní potrubí – zjišťujeme, kolik vody může potrubím protéct
 - dopravní síť – kolik vozidel komunikace kapacitně pojme
 - datová síť – kolik dat proteče sítí, atd.



Síťová analýza

- zjednodušeně hledání nejkratší cesty z místa A do místa B
- relativně jednoduchá úloha lineárního programování založená na teorii grafů
- kvalita výstupu závisí na kvalitě, resp. komplexnosti zpracovávaných dat a na kvalitě, resp. schopnostech softwaru, který tato data zpracovává
- jaká pravidla je nutné u dat pro síťovou analýzu dodržovat? Co všechno by měla data obsahovat?

Data pro síťovou analýzu

- **silniční a uliční síť**
 - **délka** - jednotlivým úsekům je počítána automaticky
 - **průměrná rychlost** - na úsecích zjištěna/odvozena
 - **omezení (restrictions)** - omezení průjezdu určitým úsekem
 - **bariéry** – grafický prvek = zákaz nebo zdržení v síti
 - **odbočitelnost**



Průměrná rychlost

- hodnotu stačí připojit k jednotlivým úsekům a výsledný čas nezbytný k jejich projetí si již systém spočítá sám
- ArcGIS Network Analyst má volitelný parametr – **úprava na základě podmínky** – např. v zimě - sníh nebo náledí, rychlost lze ručně snížit např. o 20 % - lepší odhad reálného dojezdového času
- speciální ohodnocení - **historická hustota dopravy** (historical traffic)
- služba TMC - (Traffic Message Channel) - pokud je v daném místě k dispozici, přenáší „živá“ data o aktuální hustotě dopravy

Omezení (restrictions)

- omezení vyplývající :
 - šířky komunikace – max. povolená šířka vozidla
 - nosnost mostů – max. povolená váha vozidla
 - průjezdní výšky podjezdů – max. povolená vozidla
- definice směru jízdy



Bariéry



- geografický prvek (bod, linie, plocha), který lze do sítě dynamicky vložit
- charakter zákazu (Restriction) nebo zdržení (Scaled Cost)
- dočasná uzavírka – uzavření jednoho úseku silnice v síti, stačí jej „přeškrtnout“ krátkou úsečkou liniové bariéry, trasa tomuto úseku vždy vyhne
- plošná bariéra charakteru „zdržení“ může být situace, kdy se má algoritmus hledání optimální trasy vyhnout určité oblasti. Např. hustě obydlená oblast je reprezentována polygonem s parametrem „zdržení“ s hodnotou 2 - při výpočtu bude trvat průjezd 2x déle

Odbočitelnost

- situace v dopravní síti, kdy je třeba nějakou formou zohlednit průběh odbočení vozidla v křižovatce.
- lze modelovat jako čas nezbytný na odbočení a do výpočtu optimální trasy toto zdržení v křižovatce zohlednit
 - zdržení navíc může být různé při odbočení doprava a při odbočení doleva - doleva bývá průměrně časově náročnější vzhledem k přednosti v jízdě protijedoucích vozidel
- Častým jevem v silniční síti je však i zákaz odbočení
 - jednoduchý (zákaz odbočení vpravo),
 - složený (otáčení na křižovatce s řízeným provozem (světelná křižovatka) v místě, kde je pro každý směr samostatný jízdní pás.

Typické úlohy nad daty

- **hledání trasy z místa A do místa B (Route)**
 - přímo nebo přes libovolný počet průjezdných bodů
 - výsledkem může být grafický element optimální trasy, ale i podrobný itinerář, přes které ulice nebo čísla silnic se do cíle dostaneme, a to dokonce i včetně informací o směrovém značení
- **dostupná oblast (Service Area)**
 - jak daleko lze dojet z určitého místa (centra) za 5, 10 a 15 minut...
 - Výsledkem nejsou soustředné kružnice, ale jakési „měňavky“, které budou respektovat průjezdnost komunikační sítě v okolí centra

Typické úlohy nad daty

- **nejbližší středisko obsluhy (Closest Facility)**
 - cílem je nalézt např. odpověď na otázku, která spádová nemocnice (policejní služebna, obchod) je pro obyvatele z jednotlivých ulic nejbližší
- **matice vzdáleností (OD Cost Matrix)**
 - vygeneruje tabulku známou dříve z běžných autoatlasů, která informuje o vzdálenostech mezi jednotlivými městy
- **lokační analýza (Location)**
 - umožní navrhnout optimální umístění střediska (výjezdové místo HZS)
- **alokační analýza (Allocation)**
 - vypočítá obslužnost daného střediska (výjezdového místa HZS)

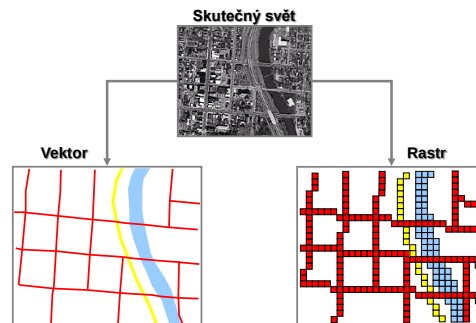
Typické úlohy nad daty

- **problém optimalizace provozu (Vehicle Routing Problem)**
 - úloha předpokládá množinu Zákazníků, množinu Skladů a množinu Vozidel
 - cílem je rozvézt zboží jednotlivými vozidly mezi zákazníky, a to vše v určeném čase
 - součástí zadání jsou i například:
 - tzv. závozní okna, tj. čas, kdy vozidlo může přijet k Zákazníkovi (např. mezi 6.00–8.00),
 - čas kdy jsou jednotlivá vozidla (směny) k dispozici,
 - kapacita vozidla

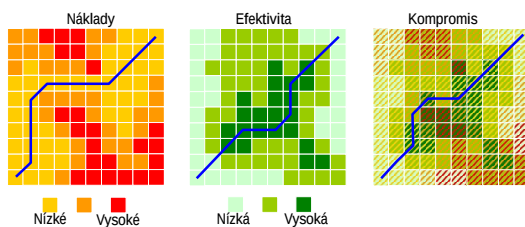
- <http://www.arcdata.cz/akce/21-konference-gis-esri/videozaznam-z-konference>

Frikční povrchy

Modely dat v GIS



Minimalizace nákladů a maximalizace efektivity



Akumulační (nákladová) vzdálenost

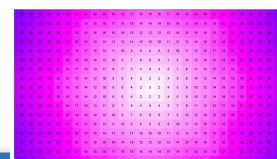
- Pro modelování pohybu v různých prostředích se v GIS využívají **analýzy nákladových vzdáleností**
- Akumulační nákladová vzdálenost** - vzdálenost každé buňky od zdroje v jednotkách nákladů
 - důležitá pro výpočet nákladů pro překonání dané vzdálenosti
 - různý terén představuje různé náklady na danou jednotku délky
 - pohyb přes krajinu je složitější než pohyb po síti nebo pohyb přes homogenní rovinu
 - pohyb v různých prostředích vyžaduje vynaložení různého množství energie, nákladů, případně překonání různě velkých odporů
 - vzdálenost počítá s využitím frikčních (odporových) povrchů

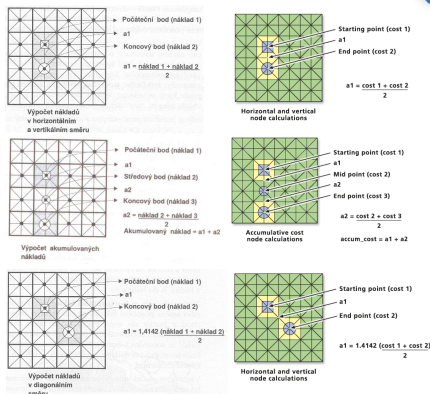
Akumulační (nákladový) povrch

- povrch jehož hodnoty vzdáleností od výchozího bodu nenarůstají ve všech směrech stejně, ale respektují strukturu frikčního povrchu
- hodnota každé buňky v akumulacím povrchu reprezentuje součet celkových nákladů pro její dosažení od počátečního bodu
- povrchy nákladových vzdáleností mohou být použity pro hledání cesty s nejmenšími náklady, aby se našla nejlevnější trasa ze zdroje do daného místa
- klíčovým krokem je definice frikcí, které vyjadřují prostorové rozmístění hodnot náročnosti přechodu přes jednotlivé lokality.
- v GIS využita metoda Accumulated Cost Surface

Akumulační (nákladová) vzdálenost

- vytvoří se nákladový povrch nebo povrch oceněných vzdáleností pro pohyb ze zdroje
- vzdálenost se při pohybu přes každou buňku násobí frikční hodnotou, uloženou pro každou buňku ve frikčním povrchu
- hodnoty ve výsledném nákladovém povrchu vyjadřují vzdálenost každé buňky od zdroje v jednotkách „nákladů“, které jsou určeny hodnotami ve vstupním frikčním povrchu





Izotropní x anizotropní povrch

Izotropní povrch

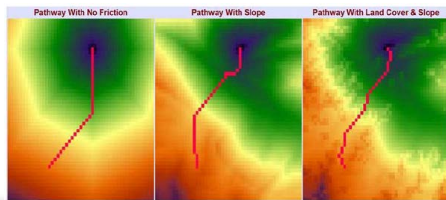
- možnost pohybu je ve všech směrech stejná a stejně nákladná
- nelze určit preferenční směry, ve kterých se je do určité vzdálenosti možné dostat za kratší čas, s menší vynaloženou námahou, nebo s nejnižšími náklady
- např. silniční síť v nížinné oblasti či plavba po jezeře

Anizotropní povrch

- možnost pohybu je závislá na směru
- např. méně náročný terén v jistých částech území, lepší pokrytí komunikační sítí nebo lepší spojení hromadnou dopravou tvoří v prostoru preferenční směry, ve kterých je možné dosáhnout vzdálené lokality se stejnou námahou, jako blízké v jiném směru

Izotropní x anizotropní povrch

- Na základě anizotropních povrchů (zohledňují nejen náklady na překonání buňky s určitou hodnotou frikce danou frikčním povrchem, ale také náklady na překonání buňky v určitém směru) je možné v GIS trasování s ohledem na náklady
- Využití např. v horském terénu, při modelování pohybu lodí v oceánu nebo letadel ve vzduchu



Oceňování vzdáleností

- Oceňování vzdáleností slouží k vyjádření nákladů (časových, finančních ad.) na pohyb zájmovou oblastí, dle frikčních povrchů
- Frikční povrchy** - soubory buněk (rastry) s definovanou hodnotou frikce (úroveň obtížnosti nebo nákladovosti, potřebné pro pohyb přes ni)
 - Každá buňka rastru má přiřazenou určitou hodnotu obtížnosti s jakou je možné ji překonat
 - Čím vyšší hodnota frikce, tím obtížnější je překonání buňky
 - Přiřazením výrazně vyšší hodnoty buňce, než jsou hodnoty okolních buněk, určíme „absolutní“ bariéru (je levnější překonat 100 buněk s hodnotou 4, než jednu s hodnotou 1000)
 - Kromě frikčních hodnot je také možné zadat maximální hodnotu nákladů, do které se budou vzdálenosti oceňovat
- Mapy oceněných vzdáleností jsou tedy rastry obsahující informaci o nákladech na přesun z výchozího bodu do všech ostatních buněk rastru

Ukázka frikčního povrchu

- neobsahují žádné kumulativní hodnoty, ale hodnoty potřebné k vytvoření akumulačních povrchů
- frikce na jedné lokalitě musí být vyjádřena jedním číslem, avšak náročnost přechodu může být podmíněna celou řadou faktorů (využití mapové algebry)
- Možné faktory využitelné jako frikce
 - vítr, sklon svahu, spotřeba paliva,
 - peněžní výdaje, riziko nebezpečí

Příklad

- 1000 - bariéru v pohybu
- Modrý rámeček – zdrojová buňka.
- Červená šipka – směr pohybu do červeně buňky (cíle).
- Zelená šipka - postup, který je také možný, ale je nákladnější, a tedy nevhodný

1	1	4	4	1	16	1
1	1	16	1	1	1000	4
16	16	4	1	4	16	4
16	16	1	1	4	4	4
16	10	1000	1	1000	4	4
16	4	4	1	1	1	4
16	1	1	16	1	1	4

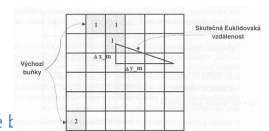
Euklidovská vzdálenost

Euklidovská vzdálenost

- nejběžnější metrika
- přímá vzdálenost (přepona)

Manhattanská vzdálenost

- tzv. city-block
- pokud máme danou síť (městské) vzdálenost říká, kolik hran (ulic) musíme projít, abychom se dostali z jednoho bodu sítě do jiného



2.8	2.4 ²	2	2.4	2.8
2.4	1.4	1	1.4	2.4
2	1	1	1	2
2.4	1.4	1	1.4	2.4
2.8	2.4	2	2.4	2.8

Faktory ovlivňující vzdálenost

- velikost (magnitude) a směr (direction) působení odporu
- Změnu velikosti odporu vzhledem ke směru postupu přes buňku modelujeme použitím funkce definující vztahy mezi magnitudou, směrem působení odporu a směrem postupu přes buňku
- Využití dalších tří doplňujících faktorů
 - Faktor reliéfu
 - Vertikální, stupňovitý faktor
 - Horizontální faktor

Faktor terénního reliéfu

- konvertuje rovinnou vzdálenost mezi buňkami na vzdálenost terénní
- Faktor terénního reliéfu se nepovažuje za anizotropický, protože vzdálenost počítaná s jeho zohledněním nezávisí na směru pohybu
- Pro výpočet nutné výškové údaje buněk - DMR

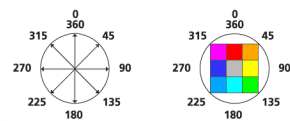
Vertikální, stupňovitý faktor

- bere v úvahu vliv hodnotového gradientu mezi dvěma sousedními buňkami na jejich nákladovou impedanci
- Např. sklon, teplotní pole, koncentrace částic apod. jsou faktory, které determinují gradient mezi dvěma buňkami a působí na rychlost pohybu, teplotní proudění nebo disperzi částic
- Vertikální faktor je anizotropický - gradient z buňky A do B je všeobecně odlišný od gradientu z buňky B do buňky A

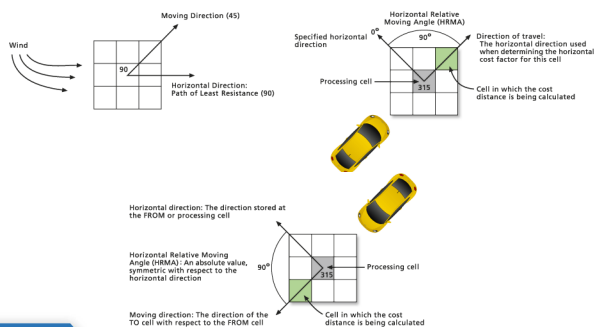
Horizontální faktor

- vysvětluje účinek převládajícího horizontálního směru působení faktoru na nákladovou impedanci buňky
- Velikost nákladů na přechod z buňky do sousedních buněk bude ovlivňována úhlem, vymezeným směrem převládajícího horizontálního faktoru může být založena např. na definování směrů převládajících vzdušných a vodních proudů, které modifikují počítanou oceněnou vzdálenost
- Terénní faktor, vertikální a horizontální faktory jsou určeny ze vstupního frikčního povrchu a digitálního modelu terénu
- Hodnota gradientu

vertikálních a horizontálních faktorů se určí jako funkce směru působení těchto sil

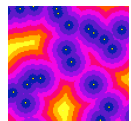


Horizontální faktor



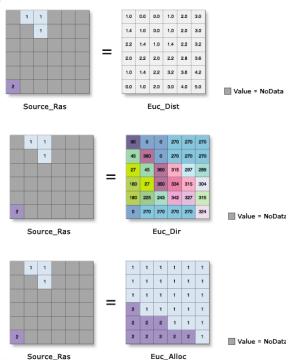
Euklidovská vzdálenost

- Euklidovská vzdálenost
 - Vzdálenost z každé buňky rastru k nejbližšímu zdroji
 - Např. vzdálenost k nejbližšímu městu
- Euklidovský směr
 - Směr z každé buňky k nejbližšímu zdroji
 - Např. směr k nejbližšímu městu
- Euklidovská alokace
 - Identifikace buněk, které jsou přiřazeny ke zdroji na základě blízkosti



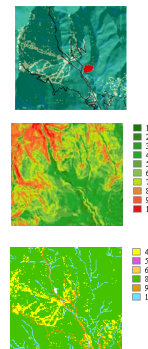
Euklidovská vzdálenost

- Euklidovská vzdálenost
- Euklidovský směr
- Euklidovská alokace



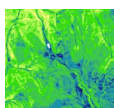
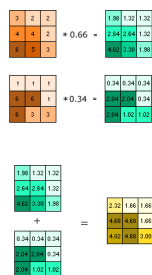
Vytvoření nákladového rastru

- Pro vyhledání tras musí být vytvořen nejprve cost distance povrch, který se vytváří na základě nákladového rastru (cost raster) a startovacího bodu výpočtu
- Nákladový rastr vyjadřuje náklady při pohybu přes buňku, může být definován více parametry (multicriteria raster) – např. sklon svahu, typ využití území
 - Využívají se nástroje pro reklasifikaci vstupních rastů



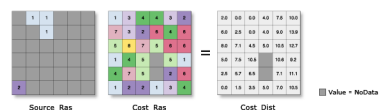
Vytvoření nákladového rastru

- Jednotlivým reklasifikovaným kritériím je přiřazena jejich váha
- Rastry jsou po zvážení sečteny pro vytvoření výsledného nákladového rastru



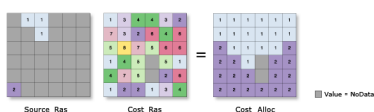
Path distance x Cost distance

- Vypočítá nejméně nákladnou vzdálenost pro každou buňku k nejbližšímu zdroji přes nákladový povrch
- vytváří nákladový povrch, v němž jsou kromě výchozího frikčního povrchu brány v potaz také vertikální a horizontální parametry posunu a skutečná vzdálenost po zemském povrchu
- možné zadat jak izotropní frikční povrch, tak skutečný povrch terénu a také konkrétní velikost limitních parametru pro přesun mezi buňkami, tzv. horizontální a vertikální faktory



Path distance x cost distance allocation

- vypočítá pro každou buňku nejbližší zdrojovou lokalitu na základě nejnižší akumulace vzdáleností na nákladovém povrchu, přičemž počítá s terénní vzdáleností, horizontálními i vertikálními nákladovými faktory
- Nejméně nákladná cesta nebo nejnižší akumulovaná cenová vzdálenost buňky od sady zdrojových lokalit má nižší váhu, než nejméně nákladná cesta k buňce ze všech zdrojových lokalit



Path distance x cost distance back link

- definuje další buňku která je na řadě na nejméně nákladné akumulaci cestě k nejbližší zdrojové lokalitě přičemž počítá s terénní vzdáleností, horizontálními i vertikálními nákladovými faktory
- Zdrojová buňka má hodnotu 0, ostatním je přiřazeno číslo od 1 do 8, znamenající směr následující buňky.

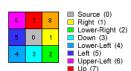


Back link

Input source locations



Direction coding



Cost weighted distance



Cost weighted distance



Cost-weighted distance



Directionality



Cost back link output

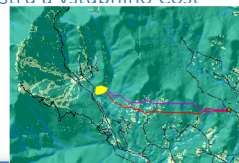


Cost weighted direction

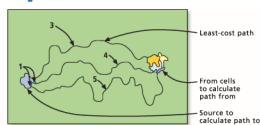


Cost path

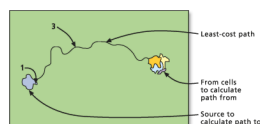
- na základě nákladového povrchu generuje nejlevnější trasu nebo trasu z vybraných lokalit k nejbližší zdrojové buňce definované v akumulčním nákladovém povrchu v rámci nákladové vzdálenosti
- Jedna nebo více z funkcí vážených nákladů (**Cost Distance, Cost BackLink, nebo Cost Allocation**) musí předcházet spuštění Cost path kvůli vytvoření vstupního Cost distance rastru a vstupního Cost backlink rastru



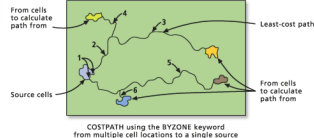
Cost path



COSTPATH using the BYZONE keyword



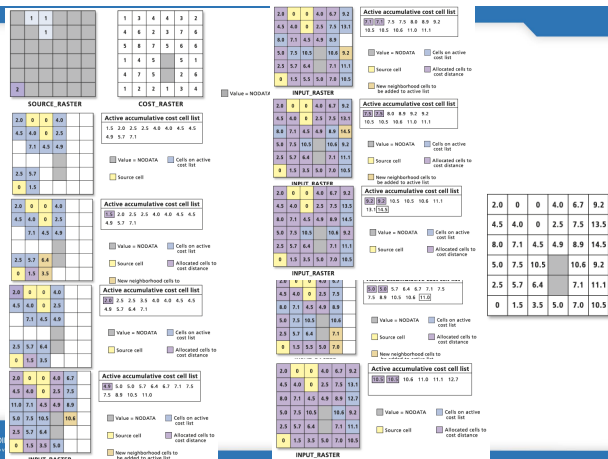
COSTPATH using the BYLAYER keyword



COSTPATH using the BYZONE keyword from multiple cell locations to a single source

Cost distance

- používá k výpočtu ohodnocené buňky rastru
- vyžaduje rastr zdroje (počátku) a rastr nákladů
- Hodnoty vstupního rastru nákladů nesmí být nula nebo záporné číslo, jelikož cena překonání buňky nemůže být záporná ani nula
- Hodnoty ceny jsou přiřazeny s ohledem na velikost rastru (celková cena = cena * velikost pixelu)
- K diagonálnímu překonání buňky je celková cena krát cena buňky krát rozlišení (celková diagonální cena = 2 (cena * velikost pixelu)).



Celulární automata POMOD

Úvod

- Komplexní řešení
- Složité přírodní systémy
 - velká odezva na malé podněty
 - chaotická složka
 - problematický popis pomocí rovnic
 - realita je příliš složitá

Komplexní systémy

- Celek je více než jen souhrn částí

Holistický přístup

Celulární automat (CA)

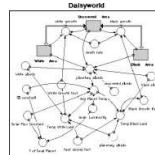
- angl. v jednot. č. cellular automaton, v množ. č. cellular automata

Proč CA?

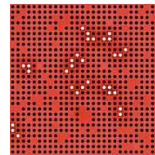
modelování systémů „od spodu“ - individua, lokální interakce
agent based modeling (ABM) - modelování založené na agentech
proč buněčné automaty (cellular automata, CA)?
předchůdce ABM: historicky i technicky jednoduché, snadno formalizovatelné a přitom silné
několik zajímavých modelů

Modelování?

modelování shora
systémový model



modelování zdola
buněčný automat



Princip CA

~~Popis komplexního systému použitím různých rovnic~~

**Simulace chování systému
vzájemným působením buněk
podle určitých pravidel**

Historie CA

- John von Neumann, Stanislav Ulam, Alan Turing (1940)
 - Simulace chování živých organismů
 - Samoregulační CA
 - Fyzikální, biologické, ekologické, sociální systémy, ...



Obrázek 1: J. v. Neumann



Obrázek 2: S. Ulam



Obrázek 3: J. H. Conway

John von Neumann

- Neumann navrhl samoreprodukující se automat a přitom došel k závěru, že na své nejnižší úrovni vede komplexita (složitost) ke degeneraci. To znamená, že automat, který tvoří jiné automaty, je tvoří v jednodušší formě než je on sám. Ovšem nad určitou minimální úroveň toto přestává platit a automat dokáže udržovat sám sebe.
- Neumann tedy vytvořil automat s 29 stavů, 200000 buňkami, přičemž neurony zajišťovaly logické řízení automatu.

Historie

- Spolu s S. Ulamem rozdělili celý prostor na jednotlivé buňky (cells), přičemž každá buňka je na začátku charakterizována počátečním stavem. Tento počáteční stav se podle evolučního pravidla mění vždy po jednotlivých krocích, tzv. iteracích. Evoluční pravidlo nemusí být stejné pro všechny buňky, ale je vždy funkcí stavů buněk v okolí buňky, kterou právě zkoumáme.

Burks a Holland

- Po Neumannově smrti pokračoval ve výzkumu celulárních automatů A. Burks a jeho student J. Holland.
- Holland tzv. genetických algoritmů. J. Holland navrhl flexibilní celulární automaty, které byly schopny se přizpůsobovat svému prostředí a dále je využil pro optimalizační úlohy.

CA

- **Celulární automat** (zkratka **CA**) je souhrnné označení pro určitý typ fyzikálního modelu reálné situace, ať již v podobě reálného přístroje či mnohem častěji počítačového algoritmu (programu). Slouží k časové i prostorové diskretní (nespojité) idealizaci (ideální modelaci) fyzikálních systémů, kde hodnoty veličin nabývají pouze diskretních hodnot v průběhu času.

Definice CA

- Dynamické systémy, které jsou diskrétní v prostoru a čase, pracují na pravidelné mřížce a jejich chování je dáno lokálními interakcemi.
- Celulární automat je matematický model fyzikálního systému, jehož prostor a čas jsou diskrétní, a fyzikální veličiny nabývají diskrétních hodnot z konečné množiny. (V. Drábek)

Klíčové parametry

diskrétní prostor i čas striktně
lokální interakce mnoho „buněk“

simulace klíčová

CA jsou charakterizovány:

- Pravidelnou n-dimenzionální mřížkou, kde každá buňka má určitý diskrétní stav.
- Dynamickým chováním, popsaným pravidly. Tato pravidla popisují stav buněk v dalším časovém kroku, v závislosti na stavech buněk v okolí.

CA jsou charakterizovány:

$$CA = (R; H; Q; f; I)$$

kde:

- R - dimenze sítě
- H - okolí
- Q - množina stavů buněk
- f - přechodová funkce
- I – inicializační funkce

Hlavní rysy

- Hlavní rysy celulárních automatů spočívají ve třech základních vlastnostech:
- **Paralelismus** (výpočty ve všech buňkách probíhají zároveň, nikoliv sériově);
- **Lokalita** (nový stav závisí na aktuálním stavu buňky a okolních buněk);
- **Homogenita** (všechny buňky používají stejnou lokální přechodovou funkci => stejné podmínky pro všechny).

Tvorba a funkčnost CA

Stav systému v následujícím časovém okamžiku závisí na stavu systému v předchozím časovém kroku a lokálně aplikovaných pravidlech.

Δt

Dynamika systému

Nový stav buněk

Tvorba sítě buněk

- Pravidelná struktura
- Dimenze 1, 2, 3, ...
 - 2D – grid, lattice, (hexagonální)
- Velikost, rozlišení
 - konečná (nekonečná)
 - podíl okrajových buněk



Dimenze

- buňky mohou být uspořádány do tvaru:
- o přímky (pole) – hovoříme o jednorozměrných CA (značení = 1D CA);
- o pravidelné mřížky (nejčastěji) – hovoříme o dvourozměrných CA (značení = 2D CA);
- o třírozměrné struktury (značení = 3D CA)

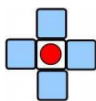
Stav sítě

- Binární
- Více stavů buňky – konečný počet
- Více atributů vztahených k jedné buňce

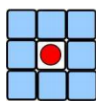
Okolí

- u 1D CA je okolí definováno tzv. poloměrem = počet sousedů po obou stranách buňky;
- u 2D CA existuje tzv.
 - Neumannovské okolí (4 sousedů)
 - Moorovské okolí (8 sousedů)
 - Šestiúhelníkové okolí (6 sousedů)

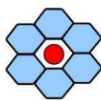
Okolí



Obrázek 4: Neumannovské okolí



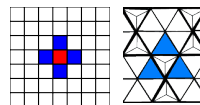
Obrázek 5: Moorovo okolí



Obrázek 6: Šestiúhelníkové okolí

Stanovení okolí

- Velikostí, směrem

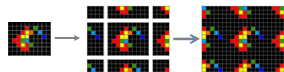
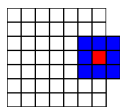


- Margolus okolí (2x2 buňky mřížky)



Okolí mřížky (krajních buněk)

- Zrcadlení krajních buněk
- Propojení protilehlých krajů



(rozlišení – co nejmenší zastoupení okrajových buněk)

Stavy

- každá buňka může nabývat různých stavů, nejčastěji stavů dvou (binární CA):
- o jeden stav označuje prázdné pole => mrtvá buňka (0);
- o druhý stav označuje plné pole => živá buňka (1).

Stavy II

- hodnoty stavů buněk se určují podle lokální přechodové funkce, která je stejná pro všechny buňky a definuje se pravidly. Argumentem této funkce jsou aktuální hodnoty stavu buňky a stavů okolních buněk => tedy, buňka mění svůj stav podle toho, jak jsou nadefinována pravidla;

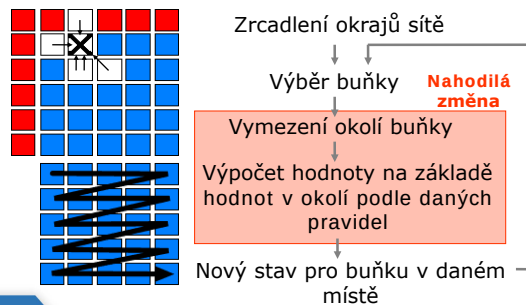
Informace o okolí

- každá buňka tedy má informaci o sobě samé, ale i o svém okolí (lokální informace) a na základě toho koná (rozhoduje se, co udělá v dalším kroku (cyklu, generaci))

Pravidla – chování CA

- Každá buňka reaguje pouze na stav svého okolí
- Operace – logické, numerické, ...
- Odvozena většinou empiricky
- Kategorie:
 - Stabilitní v celém systému
 - Stabilitní po částech (s periodickými strukturami)
 - Chaotický náhodný vzor
 - Samoregulace (sebepropagace a sebepřekopávání)
- Aplikace pravidel – vlnový efekt

Výpočet nového stavu



Poselství

Jednoduchá pravidla mohou vést ke složitému chování.

Vztah k chaosu, komplexitě, výčislitelnosti.

Cellular Automaton

<https://www.youtube.com/watch?v=eUcviWn9ACc>

Wolframovy třídy

- S. Wolfram – fyzik a matematik
 - autor programu Mathematica
- Ve vztahu k celulárním automatům ho zajímalo to, jak vzniká **komplexita**. Je autorem rozdělení celulárních automatů do čtyř základních kategorií podle jejich chování a složitosti. Tyto třídy ale nevysvětlují, jak struktury vznikají a jaké jsou mezi nimi vztahy.

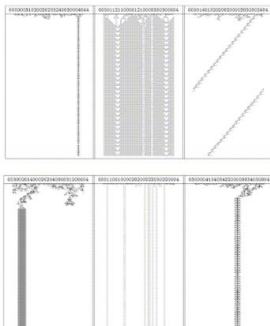
Wolframova třída I

- Třída I: vývoj struktury dospěje do konečného stavu – dál se nemění (angl. Still lifes)

00040001002002000200300000004	00100001000000200001030000014	00001001000000200400030100004

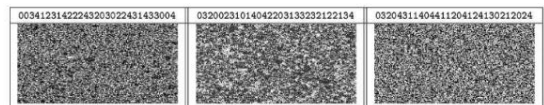
Wolframova třída II

- Třída II: vývoj vede k jednoduchým strukturám, které se opakují (oscilátory)

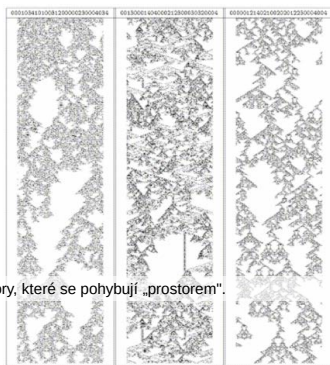


Wolframova třída III

- Třída III: chaotické chování, neopakující se struktury;



- Třída IV.: vzory vykazující nekomplexnější chování;
 - sem bychom mohli zařadit hru Life, i když spíš se nachází mezi II. a III. třídou;



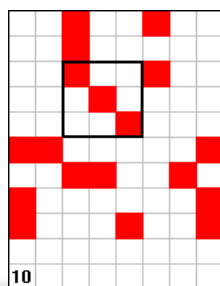
Složitě vzory, které se pohybují „prostorem“.

Srovnání s programy (vyčísitelnost)

Třída I (fixní stav)	triviální programy (bez cyklů či omezený počet opakování) programy, které se triviálně zacyklí
Třída II (jednoduché cyklení)	
Třída III (chaos)	generátor náhodných čísel
Třída IV (komplexní vzory)	programy, které dělají zajímavé věci

Conway – Game of Life

(Gardner 1970)

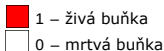


2-rozměrná síť pravidelných buněk

Okolí:
(Moor)



Stavy:



Pravidla:

- buňka zůstane živá, pokud 2 nebo 3 její sousedé jsou živí, jinak zemře
- mrtvá buňka ožije, pokud má 3 živé sousedy

Pravidla hry :

- pro živou buňku: jestliže má buňka kolem sebe méně než 2 buňky, pak umírá na osamělost;
- pro živou buňku: jestliže má buňka kolem sebe více než 3 buňky, pak umírá na „přesycení“, „přemnožení“;
- pro živou buňku: jestliže má kolem sebe 2 nebo 3 buňky, pak buňka přežívá;
- pro mrtvou buňku: jestliže má buňka ve svém okolí právě 3 buňky, pak dojde ke zrodu buňky (= trojpohlavní rozmnožování), jinak zůstává mrtvou.

Struktury

- První generace (krok, cyklus) je vytvořena aplikací výše uvedených pravidel, přičemž se pravidla aplikují současně na každou buňku. Opakovanou aplikací pravidel vznikají další generace buněk. Použitím pravidel mohou vzniknout velmi zajímavé struktury.

- struktura, která po X generacích zanikne;
- stabilní struktury (block, boat, ...) (still lifes);
- cyklicky se opakující struktury (blinker, toad, ...) (oscillators);
- cyklicky se opakující struktury, ale posunuté (glider, ...) (spaceships)

Stabilní konfigurace

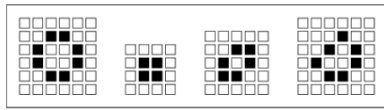


Figure 15.11 Examples of static objects in Conway's Game of Life

G. Flake, *The Computational Beauty of Nature*

Periodické konfigurace

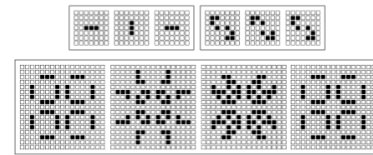


Figure 15.12 Examples of simple periodic objects in Conway's Game of Life

G. Flake, *The Computational Beauty of Nature*

Pohybující se konfigurace

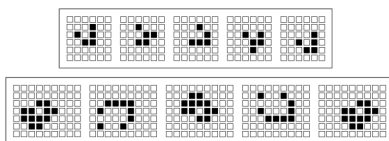


Figure 15.13 Examples of moving objects in Conway's Game of Life

G. Flake, *The Computational Beauty of Nature*

Cíle návrhu pravidel

Autor Conway, inspirován von Neumannem, výzkumem sebe-reprodukce.

Cíl: jednoduché pravidlo s náročnou předpověditelností.

Pro žádnou počáteční konečnou konfiguraci by nemělo být triviálně dokazatelné, že roste nade všechny meze.

Měly by existovat počáteční konfigurace, které (alespoň zdánlivě) rostou nade všechny meze.

Měly by existovat počáteční konfigurace, které se vyvíjejí a mění dlouhou dobu než upadnou do stabilního stavu (resp. krátkého oscilujícího cyklu).

Nekonečný růst

Conwayova hypotéza: „nekonečný růst ve hře Život není možný“
nabídl \$50 tomu, kdo to dokáže nebo vyvrátí hypotéza neplatí
dokázáno během 1 roku
tým z MIT
nalezli konfiguraci vedoucí k „nekonečnému růstu“

Sebe-reprodukce

Počáteční impuls pro studium CA, von Neuman:

pozorování:

» reprodukce v přírodě: udržení (zvyšování) složitosti

» stroje: snižování složitosti

kritéria návrhu:

univerzální stroj: dokáže dle popisu sestavit cokoliv sebe-reprodukce: dokáže vyrobit vlastní kopii

sestrojil takový automat, 29 lokálních stavů, velmi komplikovaný

Langtonův mravenec

C. Langton objevil jednoduchý automat popisující pohyb mravence po nekonečné mřížce, jejíž buňky mohou být dvojího typu (bílé a červené). Mravenec se posouvá po mřížce podle následujícího pravidla:

- přijde na červenou buňku - změni směr o 90 stupňů vlevo a přebarví na bílo
- přijde na bílou buňku - změni směr o 90 stupňů vpravo a přebarví na červenou

[Mravenec v Minecraftu](#)

[Youtube video](#)

Charakteristiky CA

- Prostorové dynamické systémy schopné získat velké prostorové detaily - přímá vazba na GIS
- Jednoduché a intuitivní. Komplexnost bez složitosti.
- Samoorganizující se systém se zpětnovazebními vztahy – lokálně definované pravidlo globálně organizované chování
- Odvození větších komplexních struktur na základě lokálních interakcí.
- Nelze se vrátit k původnímu stavu

Úprava CA konceptů

- Prostor
 - Pravidelný (buňky) -> nepravidelný (polygony)
 - Nekonečný -> konečný
 - Homogenní -> nehomogenní
- Okolí
 - Stacionární -> pohyblivé
- Transformační funkce
 - Jednotné -> proměnlivé
 - Deterministické -> stochastické
- Časové intervaly
 - Pravidelné -> nepravidelné

Nevýhody CA

- Nejsou příliš rozšířené
 - Nedostatek praktických výsledků
- „Příliš jednoduché“ pro modelování
- Nedostatek vhodných metod a nástrojů pro kalibraci CA

Aplikační oblasti v GI

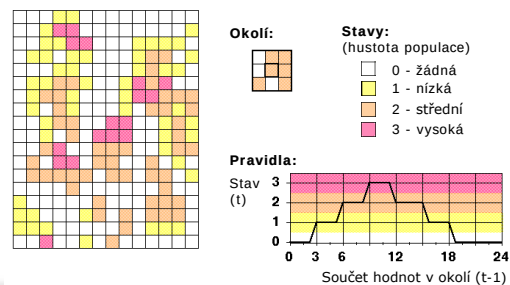
- Územní plánování
 - Změny využití území
 - Růst urbanizace
- Klasifikace obrazu
- Simulace proudění vody, simulace vodní hladiny
- Simulace požáru
- Simulace dopravy na obousměrné dvoupruhové silnici
- Ekologické modely

Navazující oblasti

- Multiagentní systémy
- Teorie chaosu
- Umělá inteligence
- Fraktální geometrie
- Expertní systémy
- Neuronové sítě

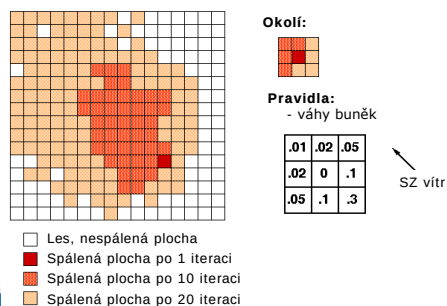
Vývoj populace hlodavců

(R.M. Itami, D.M. Theobald, M.D. Gross, 1994)



Difúze – lesní požár

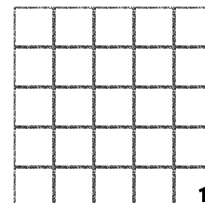
(D.M. Theobald, M.D. Gross, 1994)



Difúze - simulace plamene

(Gotow , 2003)

- Průměrování hodnot v okolí

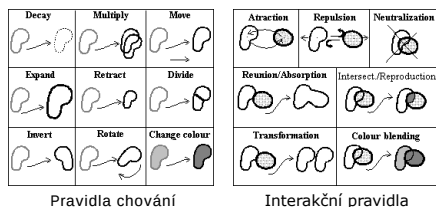


<http://www.gotow.net/gotoworks/Projects/cellularautomata.html>

Šíření olejové skvrny

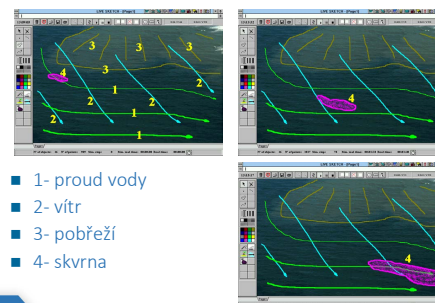
E. M. N. Nobre, A. S. Câmara, 1994

- Program Sketch (základ = pole, která definují tvar, barvu, velikost a pozici goeobj.)



Šíření olejové skvrny

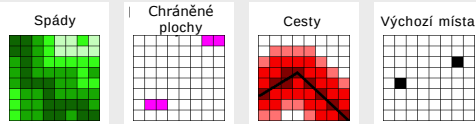
Program Sketch - E. M. N. Nobre, A. S. Câmara, 1994



Růst zálivu, San Francisco

(Clarke a spol., 1997)

Nehomogenní prostor, definovaný pomocí:



2 stavy: urbanizovaná plocha a volná plocha.
Pravidla jsou dána 4 typy růstu:

1. spontánní růst
2. difúzní růst
3. organický růst
4. růst díky blízkosti silnice

Růst zálivu, San Francisco



Nový spontánní růst

Náhodný výběr lokality (buňky). Má-li tato lokalita alespoň jedno již urbanizované okolí anebo je splněna podmínka vhodného spádu, potom je lokalita nově osídlena.



Difúzní růst a nová centra šíření

Je-li první vybraná lokalita zcela izolovaná, ale splňuje difúzní omezení i podmínku vhodného spádu, pak je lokalita osídlena. Může se stát i novým centrem šíření, má-li lokalita vhodné blízké okolí.



Organický růst

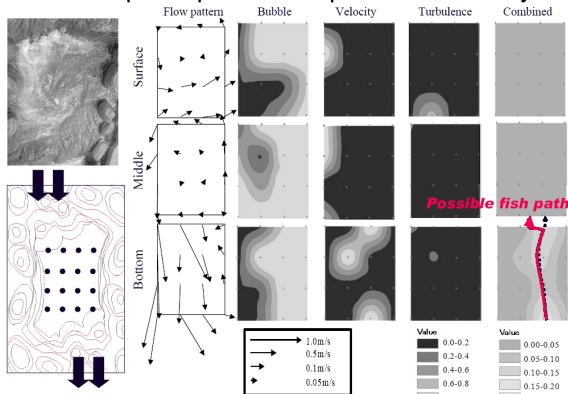
Všechny buňky, v jejichž okolí se nalézají 3 osídlené buňky a není zde žádné omezení (a je vhodný spád), jsou nově osídleny.



Růst ovlivněný blízkostí silnice

Náhodný výběr lokality růstu a pomocí analýzy šíření vyhledávání silnice až do dané vzdálenosti. Je-li nalezena silnice, potom je další šíření z vybrané lokality zajištěno v blízkosti silnice.

An example of preference pattern in fishway A



Další aplikace CA

■ Simulace dopravy

- <http://66.102.9.104/search?q=cache:b8SJ24U9wAJ:cuu.unige.ch/~dupuis/Traffic/pdcp98.pdf+%22Cellular+automata%22+pollution&hl=cs>

■ Simulace růstu mořské vegetace

- <http://www.iemss.org/iemss2004/pdf/evocomp/marscell.pdf>

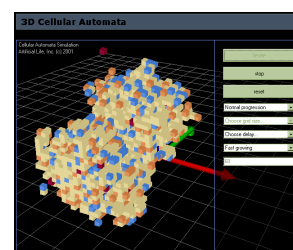
■ Simulace růstu urbanizace vzhledem k trvale udržitelnému rozvoji

- http://www.geovista.psu.edu/sites/geocomp99/Gc99/025/gc_025.htm

Aplikace k testování

- <http://texturegarden.com/java/rd/>
- <http://texturegarden.com/java/water/index.html>
- <http://finitenature.com/interference/index.html>
- <http://www.mirekw.com/ca/mjcell/mjcell.html>

3D CA



<http://www.artificial-life.com/demos/geneticcode/>
http://finitenature.com/fredkin_essay/index.html

Význam

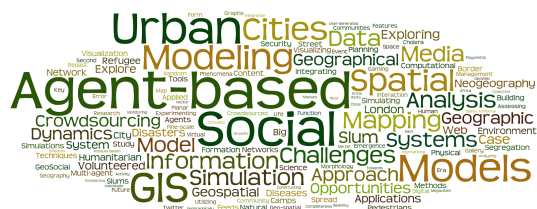
- Je možné pomocí výpočetních systémů tyto modely zkoumat a třeba definovat jiné podmínky pro model. Pak lze zjistit, jaké podmínky způsobují jaké chování „živých“ struktur. Svůj účel plní v modelování a simulacích dynamických systémů, návrhu hardwaru provádějící paralelní výpočty, konstrukcích modelů pro účely fyziky nebo i astronomie (vesmír jako celulární automat). Pomocí nich je možné zkoumat velice komplexní systémy.

NETLOGO

- <http://ccl.northwestern.edu/netlogo/>
- <http://www.youtube.com/watch?v=AJXFiO-ULv0>
- <http://www.robotomie.cz/robodownload.php?q=netlogo>

Vizualizace pomocí CA

- Vizualizace mraků
 - <http://www.cgg.cvut.cz/vyuka/VIZ2004/mikc>
- Vizualizace vodní hladiny



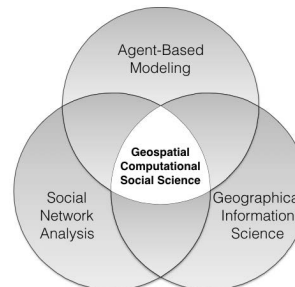
Multiagentní systémy PROMO

Východiska

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

Propaganda neboli trendy informatiky

- Všudypřítomnost (ubiquity)
 - Ze sálů na stoly, ze stolů do kapes a ledniček
- Propojenost a distribuovanost
 - Internet, cloudy
 - Pohled na výpočet jako interakci
- Inteligence
 - Složitost problémů se stále zvětšuje
- Delegation
 - Hledání na webu, fly-by-wire
- Přijemnost pro člověka
 - GUI, personalizace



Multiagentní systémy

- Vznik nové disciplíny informatiky
- **Agent** je (počítačový) systém schopný nezávisle pracovat v zastoupení svého uživatele.
- **Multiagentní systém** sestává z agentů, kteří spolu komunikují, nejčastěji výměnou zpráv prostřednictvím počítačové sítě.
- Jak takové agenty nezávislé agenty schopné provádět delegované úlohy vytvořit?
- Jak vytvořit systém agentů schopných kooperace, koordinace, vyjednávání?

Distribuované, konkurentní systémy

- V distribuovaných systémech se po desetiletí zabývají teorií, programovacími jazyky a metodami pro popis a vývoj systémů s mnoha komponentami.
 - Mutex, deadlock, ...
- **Agenty jsou autonomní**, mechanismy koordinace nejsou předem určeny, vše se děje a musí resit v čase běhu.
- **Agenty mají své zájmy**, nemusejí sdílet žádný společný cíl. Je třeba studovat mechanismy dohadování a dynamické koordinace.

Umělá inteligence

- Tradiční pohled:
 - MAS jsou součástí AI.
- Russell, Norvig (AIMA):
 - Cílem AI je vývoj inteligentních agentů.
- Odvážný pohled:
 - AI je součástí MAS.
- Hardcore (Etzioni):
 - MAS is 1% AI, 99% computer science.
- **MAS využívá techniky AI** (repräsentace, plánování)
- **MAS zdůrazňuje sociální aspekty** (kooperace, vyjednávání), které donedávna AI opomíjela.

Teorie her, ekonomie

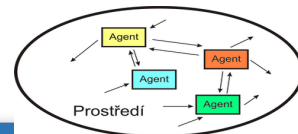
- Již von Neumann a Turing ve 40. letech ...
- Teorie her je dnes jedním z důležitých teoretických nástrojů pro studium MAS - Nashovo ekvilibrium, ...
- **MAS zpochybňuje** (jednou zpochybňuje?) pojem **racionalních agenta**, který je klíčový pro teorii her.
- Matematické základy teorie her se zabývají hlavně existenčními otázkami, **MAS klade důraz na výpočetní aspekty** (složitost, praktické využití).

Sociologie

- Klíčovým předmětem studia MAS jsou společnosti agentů (agent societies).
- Sociologie se zabývá studiem lidských společností.
- Stejně jako u AI a lidské inteligence se můžeme v MAS inspirovat u sociologie.
- **Ale nemusíme** (viz např. mnoho oblastí AI, teorie her nebo letadla).
- Sociologie (i ekologie a další vědy) rády používají agenty pro své simulace (Agent Based Model).

Multiagentní systémy

Multi-agentní systém je decentralizovaný systém autonomních, inteligentních softwarových agentů, kteří jsou schopni racionálního chování. Jejich „inteligence“ může být velice omezená, jako např. agent semafor, který pouze přepíná mezi třemi stavy, ale také poměrně vysoká. Příkladem poměrně vysoce inteligentního chování může být chování mobilního agenta (vozidlo), který je schopen vnímat své okolí, překážky vyskytující se na infrastruktuře, a rozhodovat se dynamicky na základě stavu okolí a rovněž na základě znalostí, získaných komunikací s ostatními agenty. Takovýto inteligentní agent je také schopen učení se novým znalostem.



Multiagentní systémy

- reálný svět = sada samostatných **agentů** (objekty reálného světa)
- prostorový proces => **sada pravidel** jimiž se řídí, chování těchto agentů na základě svého stavu a podnětů přijímaných z okolí

Vývoj MAS

Distribuovaná umělá inteligence (Distributed Artificial Intelligence, DAI) - autonomní jednotky, které jsou schopné řešit určité problémy (Actors) > agenty (Agents)

R. Brooks – popsal princip autonomního agenta

M. J. Wooldridge – popsal princip inteligentních agentů

Co to je agent?

Dle **Russell a Norvig** (1995) lze za agenta považovat cokoliv, co je schopno vnímat prostředí pomocí senzorů a následně dle zjištěné informace provést odpovídající akci. Racionálním agentem je pak agent, který provádí akce takovým způsobem, aby byl zaručen maximální možný úspěch.

Huhns a Singh (1998) pohlíží na agenta jako na aktivní softwarovou komponentu, která vnímá, přemýšlí, provádí akce a komunikuje. Dalšími vlastnostmi může být autonomnost nebo směřování za určitým cílem. Autoři dále zmiňují, že některé definice vnímají agenta pouze jako automat, který provádí přesně to, co má uvedeno v instrukcích.

- Oproti tomu, Wooldridge a Jennings (1995) uvádějí, že dle některých teorií může mít agent kromě již zmíněných vlastností také pocity a emoce, lze jej tedy, považovat za vědomou vnímající entitu.

Shrnutí...

- Franklin:
An autonomous agent is a system situated within and a part of an environment that senses that environment and acts on it, over time, in pursuit of its own agenda and so as to effect what it senses in the future.
- Wooldridge, Jennings:
An agent is a computer system that is situated in some environment, and that is capable of autonomous action in this environment in order to meet its delegated objectives.

česky ☺

- Franklin:
 - *Autonomní agent je systém nacházející se v nějakém prostředí, jehož je součástí. Toto prostředí vnímá a vykonává v něm akce. To vše v čase a za účelem plnění svých cílů a to tak, že ovlivňuje, co bude vnímat v budoucnu.*
- Wooldridge, Jennings:
 - *Agent je počítačový systém, který se nachází v nějakém prostředí, a který je schopen autonomní akce v tomto prostředí za účelem splnění svých delegovaných cílů.*

Základní prvky

modely založené 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**

agenty jsou (relativně) **jednodušší**

agenty nejsou vázány na pevné místo, pohybují se po prostředí
agenty nejsou homogenní, mohou se i vyvíjet

Základní prvky

Autonomnost Agent funguje samostatně a nezávisle na ostatních agentech a na prostředí, ve kterém se vyskytuje. Agent provádí akce a rozhodnutí dle informací, které získá prostřednictvím interakce s okolím.

Modularita Agent je diskrétní entita se sadou charakteristik, atributů, chování a schopností rozhodovat se. Modularita u agenta znamená, že lze rozlišit co je součástí agenta a co není, případně zdali se jedná o charakteristiku sdílenou mezi agenty.

Základní prvky

Sociálnost Sociální schopnosti agenta se vztahují především k interakci s ostatními agenty. Nejčastějšími formami jsou mimo jiné schopnost vyhnout se kolizi, vnímání okolí, sdílení informací a komunikace, někdy se může jednat i ovlivňování chování ostatních agentů.

Podmíněnost Stav agenta se mění s časem a je podmíněn kolekcí stavových proměnných a definovaných konkrétní situací. Stav agentně založeného modelu je složen z kolekce všech stavů agentů v něm společně se stavem prostředí. Chování agenta je také podmíněno jeho stavem. Čím více stavů může agent v modelu mít, tím bohatší je jeho chování.

Prostředí

Soup (polévka) Jedná se o neprostorový model. Agent nemá prostorový atribut. Komunikace probíhá přímo dle změn stavů agentů.

Grid nebo lattice Prostor podobný celulárním automatům. Index buňky představuje umístění agenta. Interakce probíhá pouze se sousedními buňkami dle definovaného okolí

Euklidovský spojitý prostor Agenty se pohybují v 2D nebo 3D prostoru. Umístění agenta je definováno buď relativními nebo geoprostorovými souřadnicemi.

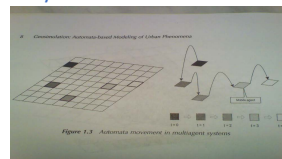
Prostředí

Network (síťový model) Mohou být statické tedy s předdefinovanými vazbami nebo dynamické, vazby se vytváří dle pravidel v průběhu simulace. Umístění agenta je svázáno s uzlem v síti.

Geografický informační systém (GIS) Interakce a pohyb agentů probíhá v geoprostoru vytvořeném z nejčastěji vektorových dat. Agentova poloha je dána buď přímo geografickou jednotkou, na které se vyskytuje, například číslo popisné nebo číslo silnice, případně se jedná o geografické souřadnice.

MAS

- individuální agenti mohou vykazovat mobilitu v prostoru
 - tzn., že vedle změny stavu na základě podnětů z okolí mohou aktivně měnit i svoji polohu v prostoru, a to prakticky na libovolnou vzdálenost



MAS

- Lokální chování agentů => chování systému
- globální chování nedefinováno
 - spontánní vznik nových vlastností, struktur
 - vývoj systému - možnost vzniku neplánovaného globálního chování

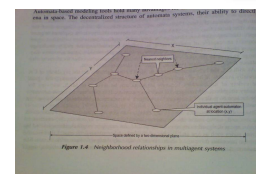
Prostředí

- *Plně pozorovatelné / Částečně pozorovatelné*
 - Agent svými senzory může pozorovat úplný stav prostředí.
 - Nemůže.
- *Statické / Dynamické*
 - Mění se jen jako důsledek akcí agenta.
 - I jinak.
- *Deterministické / Nedeterministické*
 - Každá akce má právě jeden zaručený výsledek.
 - Nemá.
- *Diskrétní / Spojité*
 - Má pevný konečný počet vejmů a akcí.
 - Má jich víc.
- Bohužel, většina zajímavých prostředí, jako reálný svět nebo internet, jsou spojitá, nedeterministická, dynamická a částečně pozorovatelná.

- Snažíme se formalizovat abstraktní pohled na agenta a interakce s prostředím.
- **Prostředí** může být v jednom z konečného množství diskrétních stavů
- $E = \{e, e', \dots\}$
- I kdyby prostředí nebylo doopravdy diskrétní, tak ho diskretizujeme
- To je standardní předpoklad u kdejakého modelování
- Každé spojitě prostředí můžeme modelovat diskrétním prostředím s libovolnou přesností

Okolí MAS

Proměnlivé
- pohyb agentů



Definováno:
sousedstvím – přímá komunikace,
vzdáleností – nepřímá komunikace,
sousedství a vzdálenost v rámci grafu

Jak začít MAS?

- Umět vytvořit alespoň jednoho agenta
- Klíčovým problémem návrhu agenta je **výběr akce**:
 - Co má agent v danou chvíli udělat na základě informací o vnějším prostředí.
- **Architektura agenta** je softwarová architektura, která umožní proces rozhodování-výběru akce.
 - ... a particular methodology for building [agents]. It specifies how...the agent can be decomposed into the construction of a set of component modules and how these modules should be made to interact. The total set of modules and their interactions has to provide an answer to the question of how the sensor data and the current internal state of the agent determine the actions and future internal state of the agent. An architecture encompasses techniques and algorithms that support this methodology. (Maes, 1991)

TERMOSTAT



- ne-inteligentní agent
- v prostředí (místnosti)
- 2 vjemy: zima, OK
- 2 akce: vyp, zap
- Rozhodovací jednotka
 - zima => zap
 - OK => vyp
- nedeterministické prostředí (otevřené dveře)

Agenty



- Rozhodují na základě svých znalostí - tzv. racionální agent
- V intenčním systému (intence = záměr) agent sestavuje plán k dosažení vytyčeného cíle nebo užitím BDI principu (**Beliefes, Desires and Intention**) se jednání agenta řídí jistým druhem mentálního stavu

Prakticky usuzující agent

- Beliefs – informace, které má agent o světě
- Desires - stavy věcí, které chce agent v ideálním světě dosáhnout
- Intentions – stavy věcí, které se agent zavázal plnit

Praktické usuzování

- Inspirace lidským rozhodováním
- Teoretické usuzování (viz Sokrates) má vliv jen na to, co se domníváme o světě
- Praktické usuzování vede k akcím
- Dvě fáze:
 - Rozhodování/Deliberation
 - Co chceme dosáhnout
 - Chci vystudovat
 - Koncové usuzování/Means-Ends reasoning
 - Jak toho chceme dosáhnout
 - Musím přijít s plánem, jak to provést
- A to vše nesmí trvat dlouho

- **Záměr (intention)** je takový stav světa, kterého chce agent dosáhnout
- Záměry u agenta vedou k akcím (za účelem dosažení toho stavu), následuje po nich usuzování, které vyústí v plán
- Záměry přetrvávají
 - Dokud se jich nedosáhne,
 - Dokud si agent nezačne myslet, že je nemůže splnit
 - Dokud nezmizí důvody k tomuto závěru
- Závěry omezují další deliberaci
- Závěry ovlivňují, co si bude agent myslet v budoucnu



Touhy

- **Touha (desire)** je jeden z možných záměrů.
My desire to play basketball this afternoon is merely a potential influencer of my conduct this afternoon. It must vie with my other relevant desires... before it is settled what I will do. In contrast, once I intend to play basketball this afternoon, the matter is settled: I normally need not continue to weigh the pros and cons. When the afternoon arrives, I will normally just proceed to execute my intentions. (Bratman, 1990)
- Touhy reprezentují motivační stav agenta

Domněnky

- **Domněnky (Beliefs)** shrnují znalosti agenta, jsou vlastně jeho informačním stavem.
- Neříkáme jim znalosti (knowledge), abychom zdůraznili, že:
 - jsou subjektivní z hlediska agenta,
 - nemusí být pravdivé,
 - a mohou se v budoucnu změnit.
- Mohou obsahovat i inferenční pravidla umožňující dopředně řetězení



B ... D ... I

- Uvažujme nějakou explicitní reprezentaci domněnek, tužeb a záměrů, např. symbolickou, ale konkrétní implementace není podstatná.
- B
 - proměnná, která obsahuje agentovy aktuální domněnky,
 - Bel je množina všech takových domněnek
- D
 - proměnná pro touhy,
 - Des množina všech tužeb
- I
 - proměnná pro záměry,
 - Int množina všech záměrů

Rozhodování

- Funkce generování možností
 - options: ${}_2\text{Bel} \times {}_2\text{Int} \rightarrow {}_2\text{Des}$
- Funkce filtru = výběru z možností
 - filter: ${}_2\text{Bel} \times {}_2\text{Des} \times {}_2\text{Int} \rightarrow {}_2\text{Int}$



Means-Ends Reasoning neboli plánování

- Proces rozhodování, jak dosáhnout cíle (záměr) pomocí dostupných prostředků (akcí).
- Vstup:
 - Cíl = záměr
 - Aktuální stav prostředí = domněnky agenta
 - Akce, které má agent k dispozici
- Výstup:
 - Plán = posloupnost akcí,
 - Když je agent provede, cíl bude splněn

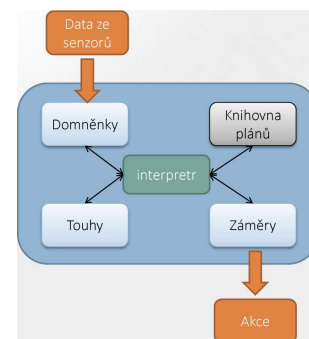
Charakteristiky agenta

- Autonomnost – agenti jsou schopni:
 - samostatného řešení určitých úloh
 - komunikace, koordinace činnosti či kooperace s jinými agenty v rámci určité komunity
 - dobrovolně vstupovat a opouštět komunitu, poskytovat či požadovat výsledky
- Reaktivita
 - jsou aktivováni událostmi, schopni reakce v souladu s vnímáním reálného času

Procedural Reasoning System

BDI architektura v praxi

- (Georgeff et al, 80s), Stanford
- První pokus o implementaci BDI
- Asi nejúspěšnější agentní architektura, mnohokrát reimplementována
 - AgentSpeak/Jason
 - Jam
 - Jack
 - JADEX
- A použita v praxi
 - OASIS řízení letového provozu v Sydney
 - SPOC (single point of contact) organizace byznys procesů
 - SWARMM - vojenský letecký simulátor



Procedural Reasoning Systems

- Agent má k dispozici knihovnu plánů
- Takže sám neplánuje, jen vybírá
- Plán
 - Cíl - podmínka platná po provedení
 - Kontext - podmínka nutná ke spuštění
 - Tělo - akce, které se mají provést
- Tělo plánu:
 - Nejen lineární posloupnost akcí (jako dříve)
 - Plán může obsahovat cíle
 - Achieve f,
 - achieve f or g,
 - keep achieving f until g

Charakteristiky agenta

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

Charakteristiky agenta

- **Intencionalita – schopnost:**
 - mít na paměti dlouhodobé cíle
 - organizace chování k dosahování těchto cílů
 - formulace vlastních plánů a využit svých úsudků
- **Schopnost sociálního chování – schopnost:**
 - spolupráce pro dosažení společných cílů
 - udržování informace o jiných agentech a vytváření úsudků o nich
 - sdružování do koalic a týmů (pro vzájemný prospěch)

Poznámky k agentovi

- **Autonomie:**
 - Člověk vs. metoda v Javě
 - Agenti někde mezi - autonomně zvolit způsob řešení delegovaného problému, volba podcíľů, ne cíľů
- **Rozhodování:**
 - Agent má k dispozici repertoár akcí, ne všechny lze provést vždy
 - Klíčovým problémem agenta je vybrat nejlepší akci ke splnění svých cíľů.
- **Architektura agenta** je tedy architekturou softwarového systému zapouzdřeného v okolí, která slouží k výběru akcí (embedded decision-making system)

- **Reaktivní**
 - Vnímá prostředí a je schopen reagovat v rozumném čase na jeho změny.
- **Proaktivní**
 - Má své cíle a je schopen aktivně je plnit.
- **Sociální**
 - Je schopen komunikovat s dalšími agenty, případně lidmi.

Čistě reaktivní i čisté cíleně/plánovité chování je jednoduché, složité je naopak vyvážit reaktivitu a proaktivitu.

Agent

- Agent má k dispozici konečné množství **akcí**
- $A = \{a, a', \dots\}$
- Jak agent interaguje s prostředím:
 - Prostředí je v nějakém počátečním stavu
 - Agent si zvolí akci
 - Prostředí může odpovědět přechodem do několika stavů
 - Prostředí odpoví přechodem do jednoho konkrétního stavu
 - Není předem jasné do kterého
 - Na základě stavu agent odpoví další akcí

Pravidla

- na bázi konečných, nekonečných nebo spojitých množin (adaptivní)
- změny prostorových vztahů
 - pravidla změny stavu agenta
 - pravidla změny polohy agenta v prostoru
- reakce agentů:
 - mezi sebou (skrze prostředí)
 - mezi agentem a prostředím (možnost adaptace)

Komunikace v MAS

- **Nepřímá** – agent mění stav okolí jiného agenta, aby tento při kontaktu s okolím změnil svůj postoj žadaným směrem
- **Přímá** – agent působí přímo a jediným možným způsobem je komunikace



Komunikace v MAS

- Dotazování – hledání informace tam, kde agent věří, že je
- Hledání informace – společné pátrání agentů po informaci, kterou nemají
- Přesvědčování – snaha agenta o získání jiného agenta pro svůj záměr
- Vyjednávání – agenti vyjednávají o podmínkách sdílení prostředků nebo o poskytnutí služeb tak, aby všichni dosáhli maximálního zisku

Komunikace MAS

- Porada – nalezení řešení problému, které je v zájmu všech. Agenti poskytují své znalosti a schopnosti a usnází se na dalším postupu.
- Eristický dialog – je dialog s expresivní výměnou informace za účelem dosažení svých záměrů (hádky).

MAS x systémový přístup

[Pelánek 2010]

MAS jako doplněk k analytickým modelům

- Doplnkový nástroj k ověření a prezentaci výsledků - MAS obdobou statistické metody Monte Carlo
- Zaměření na dynamiku systému
 - lepší objasnění struktury stavového prostoru
 - ověření závislosti na počátečních parametrech
 - sledování jakého rovnovážného stavu dosahuje systém nejčastěji

Využití

- Multi-agentní systémy jsou využívány všude tam, kde klasické centralizované systémy s předem definovaným chováním nevyhovují.
- Mohou pro to být dva (vzájemně se nevylučující) důvody. Buďto není možno při analýze chování celého systému předem definovat, neboť je příliš dynamické a závisí na stavu okolí, anebo se jedná o aplikace v tzv. krizových a emergenčních situacích. Příkladem prvního je nasazení multi-agentního systému pro řízení letového provozu, nebo v plně automatizovaném provozu výroby automobilů.
- V krizových situacích se klasické centralizované systémy mohou snadno dostat do stavu kolapsu, neboť se vyskytnou situace, na které systém neumí reagovat. Na druhé straně, v systému autonomních agentů může sice v krizi jeden či více agentů zkolabovat, to však nezpůsobí kolaps celého systému, neboť ostatní agenti mohou situaci vyřešit či alespoň na ni rozumně reagovat autonomně, pouze na základě svých interních znalostí. Příkladem nasazení takového systému je systém predikce přírodních katastrof jako sesuvů půdy či tsunami v Indonésii a Japonsku

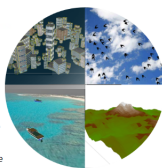
AnyLogic





Multiple application domains

GAMA has been developed with a very general approach, and can be used for many applications domains. Some additional plugins had been developed to fit with particular needs. Example of domains where GAMA is mostly present: Transport Urban growth Epidemiology Environment Some training sessions about topics such as "urban management", "epidemiology" are also provided by the team. Since GAMA is an open-source software that continues to grow, if you have any particular needs of improvement, feel free to share it to its active community!



The Repast Suite

The Repast Suite is a family of advanced, free, and open source agent-based modeling and simulation platforms that have been under continuous development for over 15 years:

Repast Symphony 2.6, released on *20 November 2018*, is a richly interactive and easy to learn Java-based modeling system that is designed for use on workstations and small computing clusters.

Repast for High Performance Computing 2.2.0, released on *30 September 2018*, is a lean and expert-focused C++-based modeling system that is designed for use on large computing clusters and supercomputers.

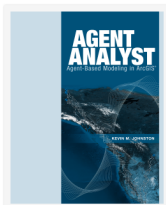
Learn Repast using the [Repast Tutorials](#).

Watch the Repast team discuss the present and future of ABM as part of the CoMSES 2018 Virtual Conference:

AGENT ANALYST

Agent Analyst: Agent-Based Modeling in ArcGIS

- [http](http://cormas.cirad.fr/indexeng.htm)



Agent Analyst: Agent-Based Modeling in ArcGIS is an introduction to agent-based modeling using an open-source software called Agent Analyst, which is compatible with ArcGIS software. This workbook's step-by-step exercises, written by agent-based modeling experts, demonstrate how to create agent-based models using points, polygons, rasters, and representative networks. Key topics include creating, manipulating, and scheduling actions and fields. The book shows how to implement basic-to-complex decision making by agents, and demonstrates the code to capture these decisions. *Agent Analyst: Agent-Based Modeling in ArcGIS* includes exercises, case studies, and code necessary to begin building agent-based models in ArcGIS Desktop 10. You can download *Agent Analyst: Agent-Based Modeling in ArcGIS* by clicking the link below.

[Agent Analyst: Agent-Based Modeling in ArcGIS](#) [45.8 MB - PDF]

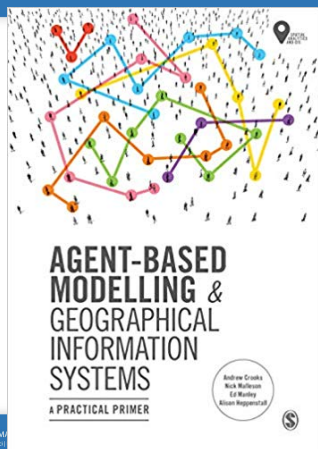
Contributors: Kevin M. Johnston (Editor), Daniel G. Brown, Nicholson Collier, Hamid R. Ekbia, Mary Jo Fraley, Elizabeth R. Groff, Michelle A. Gudorf, Naicong Li, Arika Ligmant-Zielinska, Michael J. North, Derek T. Robinson, and Nathan Strout.

CORMAS

- <http://cormas.cirad.fr/indexeng.htm>



Common pool Resources
and Multi-Agent Simulations



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)

[Ants Lifeboat](#) 3 min

[TED - mravenci](#) 20min

[MacGyver](#) 4 min

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



Agenti - mravenci



- Cíl – nalézt potravu
- Orientace v prostoru - podle feromonových značek
- Chování - několik málo jednoduchých instrukcí, které tvoří inteligenci mravenčí populace jako celku
- Mravenci tvoří stabilní cesty ke zdrojům potravy až do jejího vyčerpání

• <http://www.youtube.com/watch?v=rsqsZCH3Ghk&feature=related>
• <http://www.youtube.com/watch?v=B6Ap60RnjoM&feature=related>

Mravenci: model

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
víc mravenců, rychlejší čerpání jídla

Nástroje pro MAS

- Swarm (1996) - objektově orientovaného přístup, pro definici chování agentů a dalších objektů, které mezi sebou interagují během simulace
- NetLogo (1999)
- Repast (2000)
- Mason (2003)



[Materiály]



Hejna

představte si velké hejno ptáků

- zkuste vymyslet lokální pravidla pro ptáky, aby se celek choval jako „hejno„

[Hejna](#)

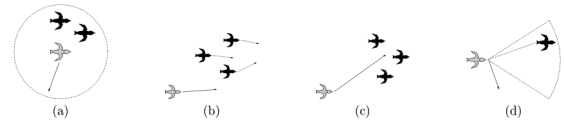


Figure 16.6 Four boid rules: (a) avoid flying too close to others; (b) copy near neighbors; (c) move towards center of perceived neighbors; (d) attempt to maintain clear view.

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 unchanged. No part of this work may be reproduced for commercial purposes without prior written permission from the IEEE Press.

BOIDS – bird-oid object

- velmi známý model

mnoho rozšíření - počítačová grafika

[Hejna - python](#) - rozšířená verze

[TED hejna - 20 min](#) 8,30



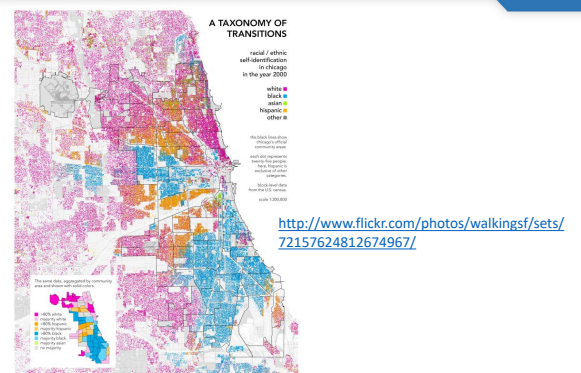
XnaBoids - Swarm Intelligence Demonstration

217 478 zhlédnutí

1 TIS 61 SOULET

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



<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 => přestěhování na náhodné volné pole

Model segregace - chování

i při velké toleranci (stačí **30 %** stejných):
vytváření jednodruhových shluků (ghet)
výrazná segregace obyvatel

Dopravní zácpa

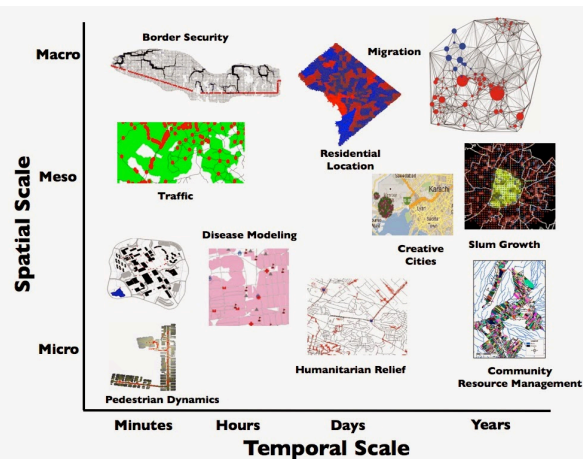
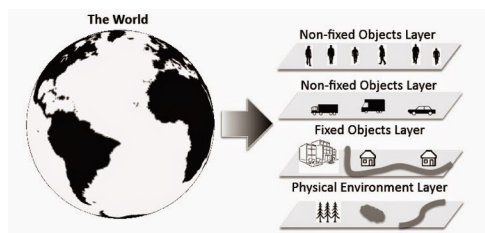
- model decentralizovaného vzniku dopravní zácpy
- auta jedou po silnici, snaží se udržovat si drobný odstup od toho před sebou, ale jinak co nejrychleji
- při dostatečné hustotě aut se vytváří zácpa (i bez vnější
- příčiny)
- pomalu se „pohybuje“ proti směru pohybu aut

Model vyhýbání chodců

<http://www.youtube.com/watch?v=Hc6kng5A8lQ>
<http://videowap.tv/video/Hc6kng5A8lQ/ClearPath-Highly-Parallel-Collision-Avoidance-for-Multi-Agent-Simulation.html>



MAS a GIS



Využití MAS

- Teorie davu - pohyb chodců, evakuační modelování
- Společnost a kultura - modely sociálního šíření
- Organizační sítě - vývoj zaniklých civilizací, emergentní sociální jevy
- Biologie - populační dynamika, měla společenství hmyzu (včely, termiti), chování zvířecích komunit (hejna, predátor-kořist)
- Ekologické vztahy

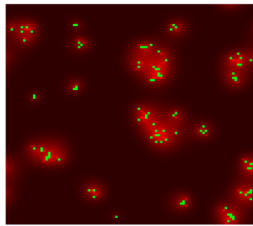
Etnocentrismus

- Podmíněné kooperace (způsob chování)
- Příslušník nějaké skupiny – etnika
 - preference kooperace s příslušníky svého etnika
 - nekooperace s příslušníky jiných etnik
- Síla kooperace
 - etnikum vystaveno nebezpečí
 - soutěž o vzácné zdroje
 - skupiny v blízkém prostorovém kontaktu
- Ochota a neochota kooperovat - různé procesy- při modelování oddělovat

Heatbugs

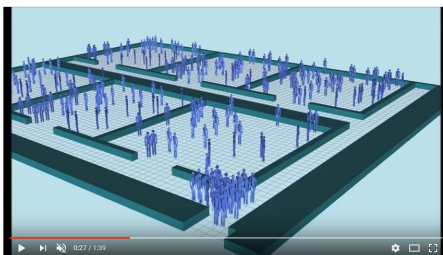
(heat=teplo, bug=hmyz)
Sdružování – produkce tepla

[Netrvalová]



Využití MAS

- Infrastruktura - dopravní provoz a světelná signalizace ve městech
- Armádní využití - systém příkazů a kontroly, válečné simulační hry
- Byznys a řízení společnosti – logistika, spotřební trhy, řízení toku zákazníků
- Ekonomické vědy - umělé finanční trhy, struktura a dynamika ekonomických vztahů, teorie her



Multi-agent simulation of disaster evacuation
924 zhlédnutí

<https://www.youtube.com/watch?v=MF68kQ4cu6A>

Dopravní provoz

Studium - chování řidičů, sledování vozidel,
dopravní zácpy, přesuny v dopravních pruzích

Decentralizované myšlení

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

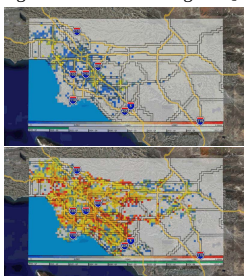
Další příklady decentralizovaných systémů

Manchester - růst města Internet
doporučující systémy (např. Amazon)
občanské nepokoje trhy
ekosystémy
epidemie
válečné konflikty (ve velkém)
soustroje (v malém)

[Youtube](#)

Plán dopravy – H₂ paliva, LA

[<http://www.dis.anl.gov/news/HydrogenTransitionModeling.html>]



Kontext

u uvedených příkladů:

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

Hejno není pták

rozlišování jednotlivých úrovní

na úrovni celku můžeme dostat jiné chování než na úrovni jednotlivců (emergentní chování)

příklad kytka:

buňky rostou rychleji ve tmě o kytka se tím naklání ke světlu

Literatura

- Burian, J.: Multiagentní modely sociálních organizací, VŠE Praha
- Netrvalová, A.: Úvod do problematiky multiagentních systémů, ZČU, Plzeň
- Pelánek, R.: Modelování založené na agentech a decentralizované myšlení

VIDEA

- https://www.youtube.com/watch?v=dDsmbwOrHJs&list=PLQKMAMEJb0id3Eb3EdrXx_lIbAvVIZ3-U
- Multi-Agent GIS System for Improved Spatial Load Forecasting (Demonstration)
- <https://www.youtube.com/watch?v=YF2rluO4K2s>

Nejistota v geoinformatice

► Není snadné lhát s pomocí map, důležité je ...
představovat užitečné a pravdivé obrazy, přesná mapa
musí říkat bílé lži." -- Mark Monmonier

► "It's not easy to lie with maps, it's essential...to present a
useful and truthful picture, an accurate map must tell
white lies." -- Mark Monmonier

- problematický termín
- vymezení je problematické a nejistota se stává
zobecněný pojem skýtající celou řadu dílčích pojetí
a dělení
- nejednotné vymezení
 - matematika
 - chemie
 - fyzika
 - ekonomie
 - geoinformatika

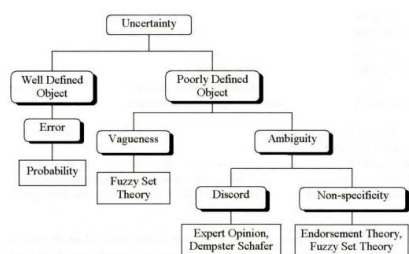
- pojem **nejistota** a **kvalita prostorových dat** nejsou synonyma
- velmi podobné kategorie
 - velmi **podobné domény**
 - v řadě případů je kvalita s nejistotou zaměňována
- **nejistota** je v pojetí disertační práce považována za vlastnost, která
dovoluje posoudit, jak dobré (kvalitní) jsou zpracovávané údaje
- **nejistota** velmi výrazně ovlivňuje kvalitu prostorových dat
- **nejistota** může být zavedena v kterékoli fázi výroby mapových podkladů a
analýz v GIS (pozorování, konceptuální modelování, měření, analýza a další)
- netýká se pouze kvality prostorových dat samotných, ale celého procesu

► **kvalita informací** v geoinformatice je velmi závislá nejen na základních
datech, ale zejména na **uživateli**

- informaci s vysokou kvalitou je možné definovat jako
„přesnou, důvěryhodnou a dostatečnou pro rozhodování uživatele“
- **efektivní kvalita informací** – skutečná užitečnost
 - do hry vstupují i znalosti (tacitní, explicitní) a zkušenosti původce a
příjemce informace
- **schopnosti uživatele informace** (percepce, předchozí zkušenosti,
interpretace)

- Variant rozdělení neurčitosti je celá řada a výrazně to souvisí s definicí
jednotlivých typů neurčitosti.
- Pro základní rozdělení použijeme klasifikaci podle Shi (2010), kde se
neurčitost (uncertainty)

- **nepřesnost (imprecision)**
- **nejednoznačnost (ambiguity)**
- **vágnost (vagueness)**



Obrázek 2 Rozdělení typů neurčitosti a způsobů řešení dle Fisher et al. (2006).

nepřesnost (imprecision)

- je nedostatek specifičnosti nebo nedostatek detailu při pozorování
- týká se úrovně variací, spojených se sadou měření nebo s nedostatkem přesnosti kvality (quality precision)
- pro hodnocení se užívá teorie pravděpodobnosti a statistika
- lze měřit
- lze dělit na vnitřní (aleatorní) nepřesnost a nepřesnost poznání (epistémickou)
- patří zde i chyby

vztahy a nepřesnost

- Méně často můžeme vyjádřit i nepřesnosti ve vztazích.
- Např. přesnost vztahu popisovaného regresní závislostí, který byl získán proložením regresní funkce body, závisí na počtu bodů a míře korelace (či asociace);
 - čím vyšší je počet bodů (promítá se do významnosti vztahu) a čím vyšší je míra korelace, tím přesnější je uvedený vztah.

nejednoznačnost (ambiguity)

- neurčitost ve vymezení objektů (jejich ohraničení i v klasifikaci) podle Longley et al. (2005)
- nedostatek jasnosti ve významu (Shi 2010)
- spojen s obtížemi udělat ostrou hranici (rozlišení) u objektu reálného světa

nejednoznačnost (ambiguity)

- (nejasnost, dvojznačnost) vyplývá zejména z různého označení geografických objektů a jejich vztahů. Takový aspekt můžeme označit za sémantickou nejednoznačnost.
- Podle Fisher et al. (2006) se nejednoznačnost vyskytuje tam, kde jsou pochybnosti, jak má být jev klasifikován z důvodu rozdílné percepce tohoto jevu.
- Jednoduchým příkladem může být nejednoznačnost pojmenování obce, kdy stejný název používá několik obcí.

- Názvy objektů a jejich topologických vztahů jsou vnitřně nejednoznačné.
- Vnímání, chování, jazyk nebo poznání lidí hrají významnou roli při konceptualizaci (tj. při tvorbě modelu).
- Ontologickou nejednoznačností rozumíme např. existenci variant postupu výpočtu různými cestami s využitím různých konceptů; přitom není jasné, který z nich je správný. Ontologickou vágností chápeme problém ve vymezení pojmů, pochopení indikátorů, ohraničení.

konflikt (discord)

- Fisher et al. (2006)
- Typickým příkladem geografického konfliktu je označení příslušnosti území z důvodu sporu dvou národů o jeho vlastnictví.
 - Kašmír, Krym atd

nespecifičnost (non-specificity)

- Příkladem může být vztah „A je severně od B“.
- Koncept „severně od“ má přinejmenším 3 významy (Fisher et al., 2006):
 - A leží přesně na stejném poledníku jako B a od něho směrem k severnímu pólu
 - A leží někde na sever od linie, která prochází B od západu na východ
 - A leží někde v sektoru mezi SZ a SV, pravděpodobně mezi SSZ a SSV
- Všimněme si, že první 2 významy jsou přesné a specifické, třetí je sám o sobě vágní

Přímé a nepřímé indikátory

- Přímé indikátory** nesou jasnou korespondenci se sledovaným fenoménem. Např. podrobné hodnoty rodinných příjmů poskytují dobrý indikátor pro geografii „bohatosti“.
- Nepřímé indikátory**, kdy nelze najít přímo vhodnou míru sledovaného ukazatele. Např. odvozování „bohatosti“ z vlastnictví více aut je nepřímým indikátorem. Selhává např. u sběratelů, majitelů opraven, bazaru, dále vadí fakt, že zpravidla na vesnici mají lidé na dvoře více aut, jejichž oficiální znalecká cena bývá nízká.

vágnost

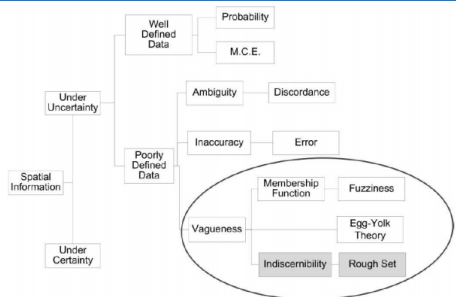
- pro řešení se používá teorie **fuzzy množin**
- protikladem k vágně vymezeným množinám jsou ostré množiny (crisp), které mají ostré hranice, resp. její prvek buď jasně patří do množiny nebo nepatří

typy vágnosti

- ontologická
- epistemická
- sémantická lingvistická
- Podle Nováka (2000) má neurčitost (nejméně) dvě vzájemně komplementární stránky - vágnost a nejistotu.
- Ne všichni ale vymezují neurčitost a zpravidla vágnost je řazena až jako jeden z aspektů nejistoty. To ovšem souvisí s jejich definicemi.

vágnost a Murgante et al. (2009)

- 3 přístupy:
- funkce členství a s tím spojená teorie fuzzy množin
 - teorie vaječného žloutku (egg-yolk theory)
 - nerozlišitelnost (indiscernibility) řešenou pomocí teorie hrubých množin (rough set theory)



Obrázek 1 Rozdělení typů neurčitosti a způsobů řešení dle Margate et al. (2009)

Vysvětlivky: spatial information – prostorová informace, under uncertainty – za neurčitosti, well-defined data – dobře definovaná data, probability – pravděpodobnost, M.C.E. – multikriteriální hodnocení, poorly defined data – špatně definovaná data, ambiguity – nejednoznačnost, discordance – nesoulad, inaccuracy – nepřesnost, error – chyba, vagueness – vágnost, membership function – funkce příslušnosti, fuzziness – mlhavost, egg-yolk theory – teorie vaječného žloutku, indiscernibility – nerozlišitelnost, rough set – hrubé množiny

Inherentní nejistota

- **Inherentní nejistota (aleatorní)** – termín inherence označuje vnitřní příslušnost, sounáležitost vlastností a jejich nositele.
- Inherentní má pak významy jako „obsažený v něčem, lpící v něčem“.
- Slovo aleatorní, které se často vyskytuje v zahraniční anglicky psané literatuře, pak vyjadřuje spojitost s náhodou. Inherentní nejistotu nejsme schopni do budoucna ovlivňovat, protože je plně spjata s nahodilostí okolního reálného světa.
- Inherentní nejistoty se mohou vyskytovat v prostoru, v čase, případně v obojím (Kubíček 2012).

Inherentní nejistota II

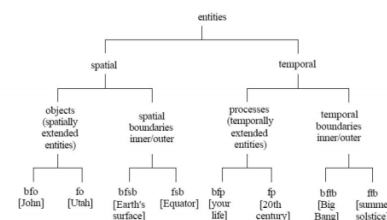
- Jde o vnitřní variabilitu, vnitřní nejistotu.
- Jejím důsledkem je, že ani zvýšení množství pozorování (dodatečná měření) nevedou k přesnější reprezentaci.
- Tato nejistota se nejvíce promítá do „nepřesnosti“. Nahodilost objektů a jevů se projevuje především v chybě při opakování měření (či při měření v těsné blízkosti, kde se projevuje efekt zbytkového rozptylu, nugget effect, viz Horák, 2013b), tedy musí dojít ke zvýšení nepřesnosti.

nejistota poznání (epistémická)

- pochází z nedostatku znalostí událostí nebo jevů, nebo z nedostatku dat, ze kterých jsou vyvozovány závěry.
- Lze předpokládat, že tato nejistota se bude v budoucnu snižovat na základě kvalitnějších podkladů nebo nových poznatků (Kubíček 2012).
- Lze ji chápat jako nejistotu reprezentace. Očekává se monotónní charakter poznání, kdy dalším přidáním dat se snižuje nejistota. Zdrojem nejistoty poznání může být nejistota modelu (numerická či věcná), případně nejistota ve stanovení vstupních parametrů (Kubíček 2012).

bona fide a fiat hranice

- Příkladem přirozených (bona fide) hranic jsou např. hranice ostrova nebo hranice vymezené řekou.
- Příkladem umělých (fiat) hranic bývá domluvená hranice států.
- Dobře definovanými fiat objekty jsou podle Fisher et al. (2006) např. sčítací obvody (přesně vymezené hranice určené statistickým úřadem, postupně se seskupují a tvoří úplnou a neměnnou hierarchii) nebo parcely v západních společnostech (které považují koncept vlastnictví za důležitý, jejich hranice jsou často vyznačeny v terénu a ukazují ostrou a úplnou změnu vlastnictví). Často tedy jde o politické, administrativní nebo vlastnické hranice a jednotky).



- Většina fiat objektů má ostré hranice, protože je člověk sám definuje. Přírodní objekty (bona fide) jsou zpravidla slabě definované a mají spíše přechodné (indeterminate) hranice.

ostré (crisp) a nejasné (indeterminate) hranice

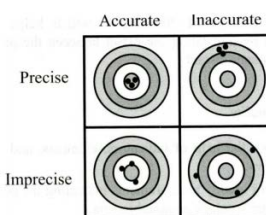
- Podle Kubička (2012) má pobřeží Severního ledového oceánu bona fide hranice, ale přesto vnímáme tento oceán jako fiat objekt, protože jeho spojení s Atlantským oceánem je tvořeno hranicí, která neodpovídá typu bona fide a navíc není zcela zřejmé, kde přesně leží.
- Tento případ je typický pro řadu dalších geografických hranic kvalitativního typu, jakými jsou například hranice mezi geomorfologickými tvary reliéfu (svah a údolí).

preciznost a přesnost

- **preciznost** (precision) je chápána jako míra podrobnosti, detailu, schopnosti změřit podrobnější údaje

Přesnost (accuracy) je podle Longley et al. (2005) vyjádřena rozdílem mezi realitou a naší reprezentací reality. Tento rozdíl může vyjádřen různými matematickými vztahy, ale slůvko „naši“ naznačuje rozdílnost pohledů, které vznikají jako odraz komplexního, mnohaměřítkového a vnitřně neurčitého světa. Termín říká, jak odpovídající je popis reality.

- Rozdíl mezi oběma typy přesnosti lze dobře vysvětlit na příkladu střeleckého terče.
- Pokud jsou zásahy málo rozptýlené, ale celý shluk posunut výrazně ze středu terče, je to doklad situace, kdy mluvíme o nízké vnitřní variabilitě a malých náhodných chybách, ale současně velké absolutní systematické chybě. Výsledné umístění rány získáme skládáním obou chyb (určitá analogie skládání rozptylu).



chyby

- Chyby v poloze objektu – chyby měření polohy.
- Chyby v kvantitativních atributech – chyby změřené teploty, srážek, průtoku, obsahu ozónu apod.
- Chyby v kvalitativních atributech – chyby určení vlastníka parcely, určení typu budovy, druhu pozorovaného zvířete apod.

chyby

- Chyba (error) je podle Longley et al. (2005) rozdíl mezi pozorováními nebo měřeními prováděným pomocí nástrojů. Také může vzniknout v důsledku zanedbání nějakého faktoru v rámci složeného indikátoru (např. vynechání dopravní dostupnosti z hodnocení pozemku).
- Skutečná (pravá, reálná) hodnota veličiny je hodnota ideální, hodnota zjištěná s nekonečnou přesností a proto ji nelze žádným reálným způsobem poznat

- Správná hodnota je hodnota považovaná za skutečnou, je to nejlepší dosažené zjištění skutečné hodnoty (nejpřesnější dostupné měření apod.).
- Podle klasické teorie měření (Hendl, 2006, s. 263) se naměřená (pozorovaná) hodnota X skládá ze skutečné (ve smyslu správné) hodnoty T a chyby E .
- $X = T + E$
- Do chybové komponenty započítáváme průměrnou intraindividuální variabilitu hodnoty T u měřených jedinců a další vlivy.

Náhodné chyby

- Náhodné chyby vznikají náhodnými rušivými vlivy (během měření: otřesy, změny teplot, tlaku vzduchu; při digitalizaci: otřesy, chvění, chyby odečtu atd.) a nedokonalostí našich smyslů. Náhodná chyba mění náhodně směr a velikost (Hendl, 2006).
- Náhodnou chybu nelze úplně odstranit, lze ji pouze minimalizovat. Náhodnou chybu lze odhadnout na základě statistického zpracování sady opakovaných měření. Označujeme ji také jako chybu typu A u měření.

- Náhodné chyby zahrnují (Hendl, 2006):
- **chyby hodnotitele** (např. špatně odečetl měřenou hodnotu na stupnici, špatně pochopil či rozuměl odpovědi dotazované osoby),
- **intraindividuální variabilitu** (opakované měření ukáže jinou hodnotu – projev inherentní nejistoty, způsobující vnitřní variabilitu, případně časové nestálosti, změna názoru jedince apod.)
- **přepisy** (opisování údajů) a chyby přístroje (náhodné selhání, momentální špatné fyzikální podmínky).

Systematické chyby

- Velikost a typ chyb v měření ukazuje pravidelný vzor.
- Běžně je jejich vliv na výsledky měření větší než náhodných chyb.
- Při opakovaném měření za stejných podmínek nabývá systematická chyba vždy přibližně stejné hodnoty.
- Označujeme ji také jako chybu typu B u měření.
- Na systematickou chybu lze usuzovat pomocí průměrné chyby (viz polohová přesnost).

- nedokonalá či neúplná definice měřené veličiny
- nevhodný výběr přístroje
- nedokonalost měřících přístrojů
- nevhodný výběr vzorků měření
- nevhodný postup při měření
- nevhodná metoda měření
- zaokrouhlování
- linearizace, aproximace, interpolace a extrapolace
- neznámé nebo nekompensované vlivy prostředí
- nedodržení shodných podmínek při opakovaných měřeních
- subjektivní vlivy obsluhy, vliv operátora
- nepřesnost etalonů a referenčních materiálů

Eliminace systematických chyb

- kalibrace měřícího zařízení
- přidání korekčního čísla k hodnotám měření při zpracování
- použití jiné, vhodnější procedury

Hrubé chyby

- omyly, způsobené člověkem
- Vznikají nepozorností nebo přehlédnutím, poruchou měřicího přístroje, nevhodnou metodou měření, zaměřením nesprávného cíle při geodetickém měření, lidskou chybou ve výpočtu.
- Zpravidla je větší než náhodná chyba.
- V případě primárního měření není oprava takové chyby možná nebo je neekonomická, pak je vždy třeba opakovat měření.

Spolehlivost

- Spolehlivost je možné chápat jako výsledek 2 faktorů:
- konzistence
- opakovatelnost
- Spolehlivost (reliabilita) (Hendl, 2006, s. 48) znamená stupeň shody výsledků měření jednoho objektu provedeného za stejných podmínek (opakovatelnost).
- U testů složených z mnoha položek odpovídá konzistenci hodnot různých podmnožin položek mezi sebou.

Šíření (propagace) chyby

- GIGO
- Pokud neurčitost existuje v datových vrstvách, chyby se šíří jakýmikoliv analýzami a kombinují se s chybami z jiných zdrojů.
- Specifické vzorce pro očekávané šíření chyb vznikly z typických GIS matematických operací.

Kvalita dat

- Popis neurčitosti dat musí být uveden v metadatach, které obecně popisují kvalitu dat.
- Různé formy neurčitosti se promítají do různých složek popisu kvality dat, zpravidla ale nejen do jedné.
- Znalost kvality dat je velmi důležitá pro posouzení možného použití dat. Zvláštního významu nabývá, jestliže se data předávají mezi organizacemi nebo se šíří veřejně.
- S příchodem budování geoinformačních infrastruktur se stala problematika kvality dat mimořádně aktuální a naléhavou.

- Jakmile použití dat překračuje prvoplánový účel či dochází k jejich sdílení více uživateli, musí být popisu a reprezentaci kvality dat (a tedy i interní nejistoty) věnována zvláštní pozornost. Je třeba si uvědomit, že základní definice kvality hovoří „o míře uspokojení uživatelských potřeb“. Je tedy logické, že ve chvíli ztráty přesného vymezení uživatele a jeho potřeb, musí být tato otázka dobře řešena

- Znalost kvality geografických dat je pro aplikaci těchto dat často rozhodující, neboť různí uživatelé a různé aplikace mají mnohdy odlišné požadavky na kvalitu (**ISO 19138**).

- Vhodnost použití se podle Fisher et al. (2006) označuje často jako „externí kvalita“. Data plní specifické požadavky uživatele. Tím automaticky vyjadřujeme, že jde o obtížně hodnotitelné kritérium. Nicméně je to zcela zásadní kritérium. Pro hodnocení se používá např. testování odchylek nebo doplňkové anotace uživatelů (Fisher et al., 2006).

Vztahy jednotlivých prvků kvality prostorových dat

	Čas		Atribut	Metoda	Vztah
Přesnost	Polohová přesnost	Časová přesnost	(Tematická) atributová přesnost	—	—
Přesnost	—	—	—	—	—
Spolehlivost	—	—	—	—	—
Rozlišení	Prostorové rozlišení	Časové rozlišení	Tematické (atributové) rozlišení	—	—
Logická konzistence	Prostorová konzistence	Časová konzistence	Datová konzistence	—	Topologická konzistence
Úplnost	—	—	—	Úplnost	—



Mikrosložky

- Mikrosložky** jsou faktory kvality dat, které přísluší k jednotlivým prvkům dat. Zpravidla se oceňují statistickým testováním datového produktu vůči nezávislému zdroji s vyšší kvalitou informace („správné“ hodnoty). Patří sem polohová přesnost (positional accuracy), rozlišení, přesnost atributů a logická konzistence.

Makrosložky

- Makrosložky** kvality dat příslušejí k datům jako celku.
- Nepodrobují se testování, ale jsou oceňovány posouzením (např. úplnost dat) nebo výpisem informací o datech (např. datum pořízení).
- Mezi hlavní makrosložky patří úplnost dat, aktuálnost dat a rodokmen dat (lineage).
- K makrosložkám kvality dat patří i metanejistota, kterou rozumíme nejistotu v určení všech aspektů kvality dat.

Komponenty kvality dat

- Polohová přesnost**
 - parametry přesnosti určení horizontální a vertikální polohy geoprůvků v datové sadě
- Tematická (atributová) přesnost**
 - spolehlivost přiřazených hodnot prvků v datové množině ve vztahu k jejich skutečnému významu
- Časová přesnost**
 - správnost a přesnost měření
- Úplnost**
 - popisuje nesoulad mezi daty uloženými v datových bázích a daty potřebnými k popisu



Komponenty kvality dat

- Logická konzistence**
 - udává úroveň rozporných nebo vícečetných dat
- Sémantická přesnost**
 - zabývá se tím, jak dalece hodnoty daného atributu odpovídají skutečnosti
- Správnost**
 - míra správnosti, s jakou jsou data reálného světa zaznamenána do prostorové databáze
- Rozlišení**
 - množství a hodnoty detailů, které rozlišujeme v prostoru, čase i tématu v zájmovém území



Komponenty kvality dat

- Původ**
 - zdroje dat, metody pořizování (sběru), zodpovědné osoby a důvody vytvoření datové sady
- Účel**
 - zdůvodnění tvorby datové sady včetně informací o předpokládaném užití
- Použitelnost (užití)**
 - užití datové sady jejím producentem nebo jejími uživateli a aplikace



Komponenty kvality dat

- ▶ **Rodokmen**
 - ▶ popis zdrojového materiálu, ze kterého byla data odvozena a metody použité pro jejich odvození
- ▶ **Metakvalita**
 - ▶ zabývá se kvalitou určení (specifikací) jednotlivých parametrů kvality
- ▶ **Homogenita**
 - ▶ stejnorodost dat
- ▶ **Spolehlivost**
 - ▶ reprezentativnost

Polohová přesnost

- Polohová přesnost je očekávaná odchylka geografické lokalizace objektu v datovém souboru od jeho správné polohy. V některých případech se může polohová přesnost charakterizovat pravděpodobností, že předpověď bude správná - tedy např. pravděpodobnost, že pozice bodu určená z mapy bude na "správném" místě, tj. na místě zjištěném přesnějším měřením např. geodeticky.
- Tj. pravděpodobnost, že lokalizace uvedená v datech odpovídá skutečné pozici.

- Polohová přesnost (positional accuracy) může být definována jako stupeň, do kterého digitální reprezentace entit reálného světa souhlasí se správnou polohou na zemském povrchu (Harding, 2006).

Příklady

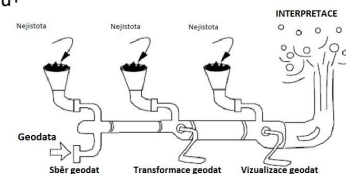
- Střední chyba udávaná u map 1:10000 (např. ZABAGED) je 3 až 10 m. Mapa 1:200000 (DMU200) má střední chybu 40 až 80 m.
- ČSN 013411 „Mapy velkých měřítek. Kreslení a značky“ udávala požadované třídy přesnosti, z nich první pět bylo definováno střední souřadnicovou chybou, další třídy přesnosti pak měřítkem mapy. Tyto požadavky přesnosti se promítly následně do dalších předpisů, např. předpis ČUZK „Struktura a výměnný formát digitální katastrální mapy a souboru popisných informací katastru nemovitostí České republiky a dat BPEJ verze 1.3“ č.j. 5270/1999-22

Je nejistota nutná?

- ▶ Je vhodnější poskytovat geoinformace s obsaženou nejistotou?
- ▶ Nejsou geovizualizace s informacemi o obsažené nejistotě matoucí?
- ▶ Jaký je správný a vhodný způsob, jak nejistotu vizualizovat?
- ▶ Co je lepší pro následný rozhodovací proces?

Problémy

- ▶ Kombinace různorodých dat, z nichž každá datová sada může mít velmi odlišnou strukturu a s tím spojenou nejistotu.
- ▶ Jak nejlépe reprezentovat data (s obsaženou nejistotou) tak, aby výsledky co nejlépe odrážely celkovou nejistotu?



Faktory ovlivňující zobrazování informace

mapa jako komunikační prostředek – **Hojovec, MacEachren, Morita**

komunikační model mapy – kartografická vizualizace

kognitivní aspekty vizualizace nejistoty – uživatel jako příjemce informace

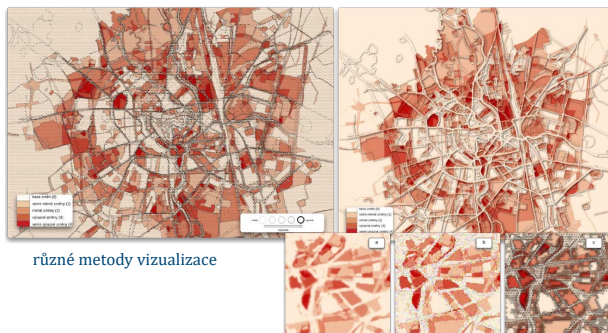
percepční a kognitivní teorie – **Bertin, Tufte, Chambers, Ware a další**



CASE STUDIES

Územní plánování a suburbanizace

na příkladu města Olomouce – vizualizace stabilních ploch



různé metody vizualizace

Vizualizace nejistoty v DEM – Rusavská hornatina

Vizualizace **nejistoty** mezi vytvořeným referenčním a dalším modelem

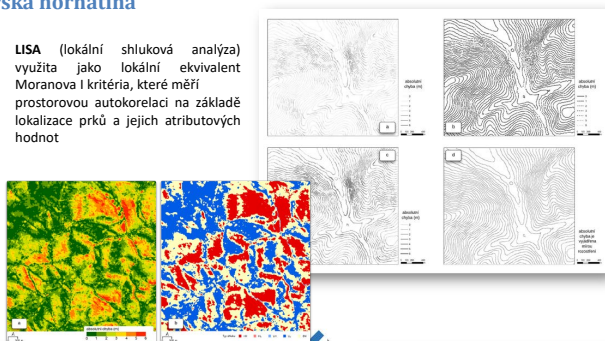
Základními vstupními daty pro tvorbu DEM a DMR byly vrstvy vrstevnic (s ekvidistancí 5 m) a vrstvy vodních toků z datového modelu DMÚ 25 poskytnuté pro potřeby disertační práce. Přesnost a stupeň generalizace vrstevnic odpovídá měřítku 1 : 25 000, neboť vznikly digitalizací topografických map v tomto měřítku.

Jako referenční DMR byl použit TIN následně převedený na grid (terénní hrany, vodní plochy atd.)

- metody jak vizualizovat **přesnost povrchu** – kvalitu DEM
- rozdíl mezi referenčním povrchem a vytvořeným DEM
- pro hodnocení kvality interpolačních technik pro dané území

Vizualizace nejistoty v DEM – Rusavská hornatina

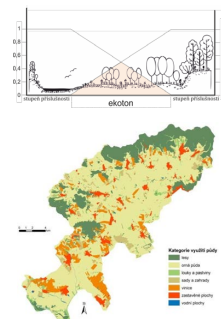
LISA (lokální shluková analýza) využita jako lokální ekvivalent Moranova I kritéria, které měří prostorovou autokorelaci na základě lokalizace prků a jejich atributových hodnot



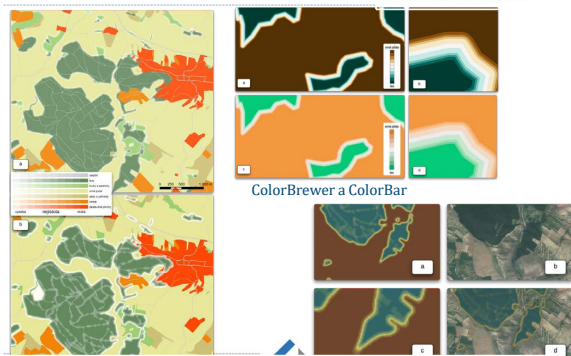
Vizualizace ekotonů v povodí Trkmanky

Vizualizace **přechodových pásem** – ekotonů
Možnosti vizualizace a výpočtu ekotonu
Ekoton – louka(pole) - les
Několik přístupů:

- Fuzzy funkce
- (POM Demonstrator)
- Entropie
- Density surface
- Divergentní stupnice – ColorBrewer
- Jiné barevné modely CIELUV (L^* , u^* , v^*), CIELAB (L^* , a^* , b^*) a OSA-UCS (Ljg)



Vizualizace ekotonů v povodí Trkmanky



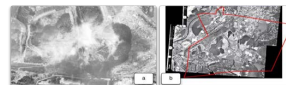
61

Změny půdního krytu dobývacího prostoru Heřmanice mezi lety 1966–2003

- Vizualizace polohové a atributové přesnosti na datech vzniklých vizuální fotointerpretací leteckých snímků
 - vizuální fotointerpretace
 - vektorizace

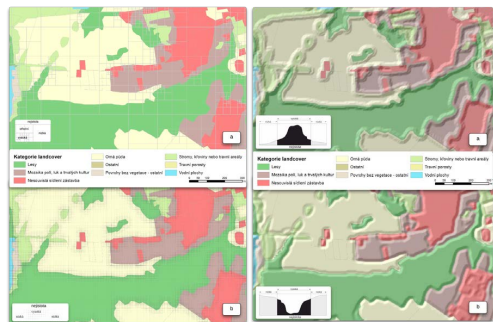
- vytvoření vrstev typů krajinné pokrývky pro roky 1966, 1973, 1985, 1994, 2003

- Vizualizace **obsažené nejistoty**:
 - subjektivita (problémy s interpretací)
 - polohová a atributová přesnost
 - omezená pokrývnost území
 - špatná kvalita některých snímků
 - georeferencování při okrajích

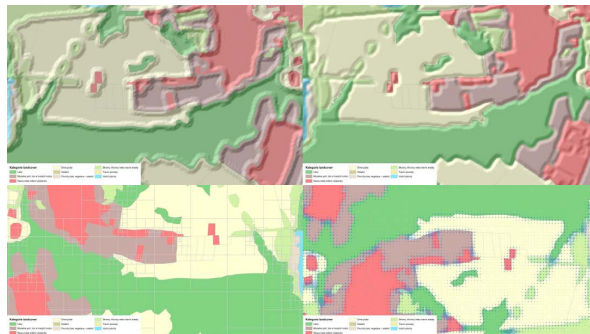


62

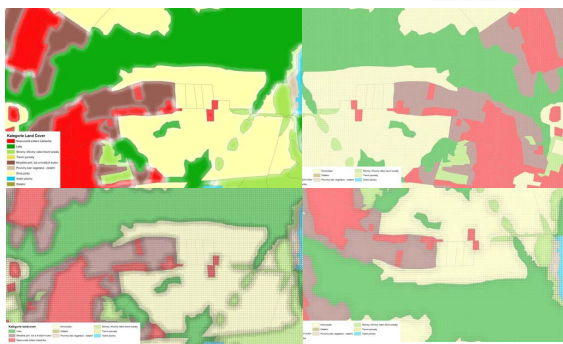
Změny půdního krytu dobývacího prostoru Heřmanice mezi lety 1966–2003



63



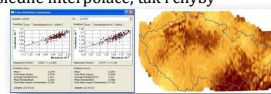
64



Meteorologická data

na příkladu interpolace průměrných teplot vzduchu

- vizualizace teplotních dat vzniklých na základě interpolačních metod
- data poskytnuta ČHMÚ
- případová studie - průměrné teploty v červenci 2000
- vizualizační techniky pro zobrazení výsledné interpolace, tak i chyby
- zvolena metoda cokriging



Obr. Křídová vlnice (vlevo) a gríd teplot v ČR (vpravo)

- výsledné vizualizace pomocí ILWIS, Adobe Illustrator, Photoshop, GIMP a Inscap

65

ČZ.1.07/2.4/00/11.0020

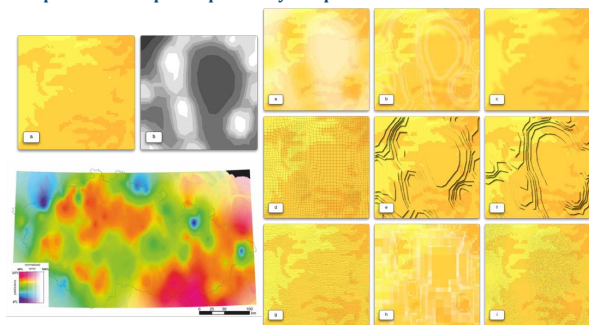
11.02.2011



KATEDRA GEOINFORMATIKY
Univerzita Pardubice vzhromemí přírodovědné škola

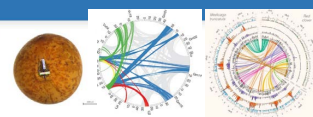
66

Vizualizace nejistoty meteorologických dat na příkladu interpolace průměrných teplot vzduchu v ČR



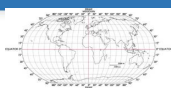
Research topic

- understanding the genetic basis of adaptation to environmental conditions (i.e. humidity and temperature) influencing dormancy release and the timing of legume seed germination
- critical moment in a plant's life, with fundamental consequences on fitness
- using two selected annual legume species
wild pea (Pisum sp.) and *Medicago truncatula*



Main research questions

- Is there any association between seed dormancy variation and geography in two annual legume species along their distributional ranges?
- If so, which ecological factors (climate, soil conditions, local habitat conditions) as adaptation drivers are correlated with geographical distribution of dormancy?
- Are there signals of association between candidate loci responsible for adaptation of seed dormancy to environmental variation using genome-wide sample of single nucleotide polymorphism (SNPs)?



Why legumes in our research?



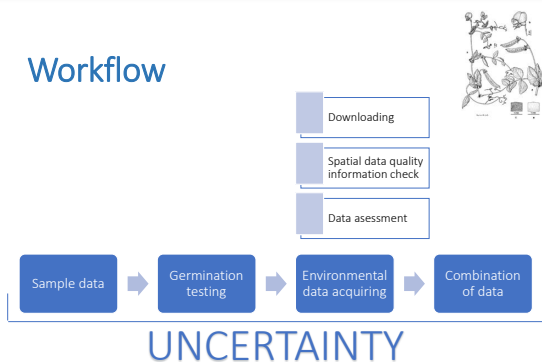
Pisum sp.

- extensively used in early hybridization studies
- model organism of choice for Mendel's discovery of the laws of inheritance, making pea part of the foundation of modern genetics
- model for experimental morphology and physiology
- subsequent progress in pea genomics has lagged behind many other plant species, largely as a consequence of its genome size and low economic significance

Medicago truncatula

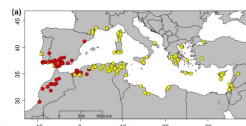
- small annual legume native to the Mediterranean region that is used in genomic research
- studied as a model organism for legume biology
- small diploid genome, is self-fertile, has a rapid generation time and prolific seed production, is amenable to genetic transformation, and its genome has been sequenced

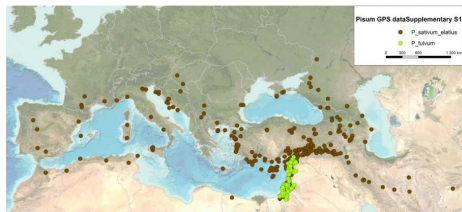
Workflow



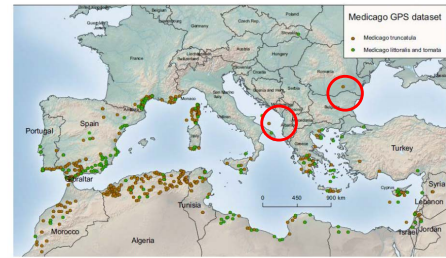
Our available samples

- Medicago: 1523 records, divided into *M. truncatula* (1197), *M. litoralis* + *tornata* (326)
- Pisum: 515 records, divided to *P. sativum* subsp. *elatius/humile* (409) and *P. fulvum* (106)
- Pisum: Israel collection - 402 records
- Pisum: Turkey collection - 82 records
- Pisum fulvum - 45 records





Geographic distribution of *P. sativum* subsp. *elatius/humile* (409) and *P. fulvum* (106) samples.



Geographic distribution of 1197 *Medicago truncatula* and 298 *M. littoralis*, 27 *M. tornata* accessions with available GPS data.

Seed samples position data



Positional accuracy

- almost all samples had to be checked
- swapped coordinates
- no standardization** in coordinates precisions (missing values)
- some samples have only **textual localization** and vague localization
- bias due to **historical development** of collection sites (Algeria, Morocco)

Attribute accuracy

- missing descriptions, insufficient or missing metadata

Lineage, homogeneity

Germination testing samples

- Medicago* sp. 91 samples
- Pisum* sp. 55 samples
- Sample selection based on seeds availability and reproduction of new seeds

seed availability
vs
positional accuracy

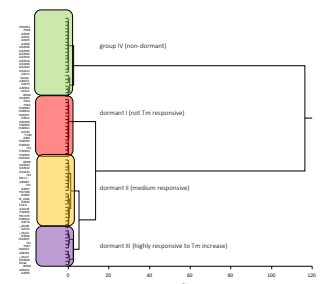
Dormancy testing

- heated beds with controlled temperature
- calculation of number of germinated seeds from sample location
- 84 day testing
- several temperature regimes
- results are evaluated based on geographical locations and acquired environmental factors



Group by dormancy	ACCESSION	GENEBANK	STATE
1	P162895	IPK, Germany	Hungary
1	P162896	IPK, Germany	Hungary
1	P162897	IPK, Germany	Italy
1	P162898	IPK, Germany	Italy
1	P162899	IPK, Germany	Italy
1	P162900	IPK, Germany	Italy
1	P162901	IPK, Germany	Italy
1	P162902	IPK, Germany	Italy
1	P162903	IPK, Germany	Italy
1	P162904	IPK, Germany	Italy
1	P162905	IPK, Germany	Italy
1	P162906	IPK, Germany	Italy
1	P162907	IPK, Germany	Italy
1	P162908	IPK, Germany	Italy
1	P162909	IPK, Germany	Italy
1	P162910	IPK, Germany	Italy
1	P162911	IPK, Germany	Italy
1	P162912	IPK, Germany	Italy
1	P162913	IPK, Germany	Italy
1	P162914	IPK, Germany	Italy
1	P162915	IPK, Germany	Italy
1	P162916	IPK, Germany	Italy
1	P162917	IPK, Germany	Italy
1	P162918	IPK, Germany	Italy
1	P162919	IPK, Germany	Italy
1	P162920	IPK, Germany	Italy
1	P162921	IPK, Germany	Italy
1	P162922	IPK, Germany	Italy
1	P162923	IPK, Germany	Italy
1	P162924	IPK, Germany	Italy
1	P162925	IPK, Germany	Italy
1	P162926	IPK, Germany	Italy
1	P162927	IPK, Germany	Italy
1	P162928	IPK, Germany	Italy
1	P162929	IPK, Germany	Italy
1	P162930	IPK, Germany	Italy
1	P162931	IPK, Germany	Italy
1	P162932	IPK, Germany	Italy
1	P162933	IPK, Germany	Italy
1	P162934	IPK, Germany	Italy
1	P162935	IPK, Germany	Italy
1	P162936	IPK, Germany	Italy
1	P162937	IPK, Germany	Italy
1	P162938	IPK, Germany	Italy
1	P162939	IPK, Germany	Italy
1	P162940	IPK, Germany	Italy
1	P162941	IPK, Germany	Italy
1	P162942	IPK, Germany	Italy
1	P162943	IPK, Germany	Italy
1	P162944	IPK, Germany	Italy
1	P162945	IPK, Germany	Italy
1	P162946	IPK, Germany	Italy
1	P162947	IPK, Germany	Italy
1	P162948	IPK, Germany	Italy
1	P162949	IPK, Germany	Italy
1	P162950	IPK, Germany	Italy
1	P162951	IPK, Germany	Italy
1	P162952	IPK, Germany	Italy
1	P162953	IPK, Germany	Italy
1	P162954	IPK, Germany	Italy
1	P162955	IPK, Germany	Italy
1	P162956	IPK, Germany	Italy
1	P162957	IPK, Germany	Italy
1	P162958	IPK, Germany	Italy
1	P162959	IPK, Germany	Italy
1	P162960	IPK, Germany	Italy
1	P162961	IPK, Germany	Italy
1	P162962	IPK, Germany	Italy
1	P162963	IPK, Germany	Italy
1	P162964	IPK, Germany	Italy
1	P162965	IPK, Germany	Italy
1	P162966	IPK, Germany	Italy
1	P162967	IPK, Germany	Italy
1	P162968	IPK, Germany	Italy
1	P162969	IPK, Germany	Italy
1	P162970	IPK, Germany	Italy
1	P162971	IPK, Germany	Italy
1	P162972	IPK, Germany	Italy
1	P162973	IPK, Germany	Italy
1	P162974	IPK, Germany	Italy
1	P162975	IPK, Germany	Italy
1	P162976	IPK, Germany	Italy
1	P162977	IPK, Germany	Italy
1	P162978	IPK, Germany	Italy
1	P162979	IPK, Germany	Italy
1	P162980	IPK, Germany	Italy
1	P162981	IPK, Germany	Italy
1	P162982	IPK, Germany	Italy
1	P162983	IPK, Germany	Italy
1	P162984	IPK, Germany	Italy
1	P162985	IPK, Germany	Italy
1	P162986	IPK, Germany	Italy
1	P162987	IPK, Germany	Italy
1	P162988	IPK, Germany	Italy
1	P162989	IPK, Germany	Italy
1	P162990	IPK, Germany	Italy
1	P162991	IPK, Germany	Italy
1	P162992	IPK, Germany	Italy
1	P162993	IPK, Germany	Italy
1	P162994	IPK, Germany	Italy
1	P162995	IPK, Germany	Italy
1	P162996	IPK, Germany	Italy
1	P162997	IPK, Germany	Italy
1	P162998	IPK, Germany	Italy
1	P162999	IPK, Germany	Italy
1	P163000	IPK, Germany	Italy

Dormancy levels for Pisum sp.

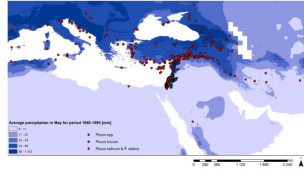


Groups	1	2	3	4
dormant - not responsive to Tm				
dormant - highly responsive to Tm increase				
non dormant (potentially including also domesticates escapes I)				



Environmental factors

- Collecting environmental variables based on geographical position
- Environmental data :
 - ecologically significant environmental factors**
 - datasets representing topographical properties
 - DEMs (topography)
 - soil properties
 - land cover
 - meteorological data
 - historical climate data etc.



Collecting environmental variables

Global datasets (local datasets)

- different data quality based on local distribution
- problems with DEMs (SRTM, ASTER GDEM)
- different quality and missing datasets for samples origins (Africa, Europe, Turkey, Iran)
- precise data for only several locations
- data varies across samples localizations
- data as WORDCLIM very often overestimated

ASTER GDEM V2
SRTM
SOILGRIDS
HARMONIZED WORLD SOIL
DATABASE
GLOBCOVER
WORDCLIM 2.0



Assesment of global datasets

Spatial Data Quality

- positional accuracy (vertical and horizontal)
- time accuracy
- resolution
- homogeneity
- coordinate system (transformatic)
 - geographical vs projected



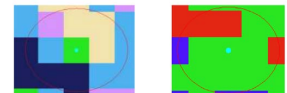
Resolution of global datasets

1 km
WorldClim 2.0, HWSD 1.2, SoilGrids

300 m
LandCover Maps 2015, GlobCover 2015

250m
SoilGrids

30m
ASTER GDEM v2, SRTM 3

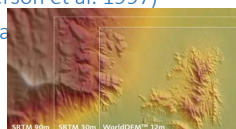


discrete data problem

Morphometric parameters of relief

- aspect, solar radiation
- Compound Topographic Index (Gessler et al. 1995; Moore et al. 1993)
- Heat load index (McCune & 234 Keon 2002)
- Integrated Moisture Index (Iverson et al. 1997)
- Site Exposure Index (Balice et al.)

key factors
resolution of DEM and sample
coordinates precision
for precise data
WorldDEM 12m resolution



We are not only geographers ...

- botanist and geneticist
- no geographical background
- some scientists may not have spatial thinking developed
- some of them do not even utilise maps
- they do not care about "geospatial" uncertainty
- We have bias in "our" spatial data how to tell them?
 - via tables, via descriptions or via visualizations?

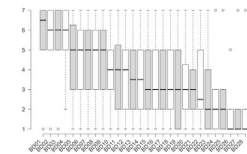
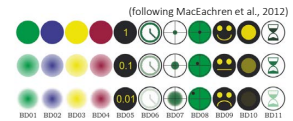


Implications

- people both **reason** and **make decisions** with uncertain geospatial data every day
- in case of **scientific work** uncertainty is often hidden
- crucial in **spatial ecology datasets** and studies targeted to **wider audience**
- when you communicate with these kind of data it is important to understand **the complexity of uncertainty – this is hard**
- you should know how it propagates through each dataset, and how to best **visualize uncertainty** to support reasoning and decision-making

users' awareness of the imperfections in spatial data

Symbol sets testing

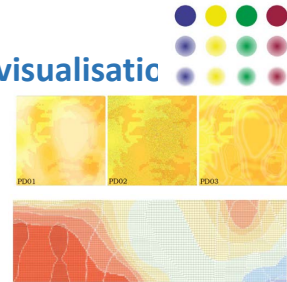


- **symbol sets for point and areal features**
- proven by cognition and user preference testing based on questionnaires and eye-tracking study



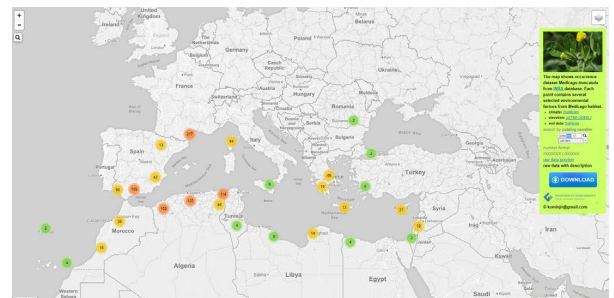
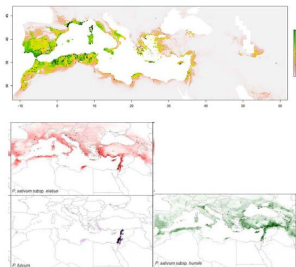
Enhanced visualisation

- uncertainty as another variable
- bivariate maps
- combination of several uncertainty types
- visually depicted problematical parts of results
- quicker than text or speech



Next steps

- detailed genomics analysis
- correlation with factors
- SDMs maps
GARP, MAXENT, HEMI 2
- combination of several results into single visualisation with uncertainty
- visualisation of sensitivity and uncertainty
- interactive tool for visualisation several sources of uncertainty



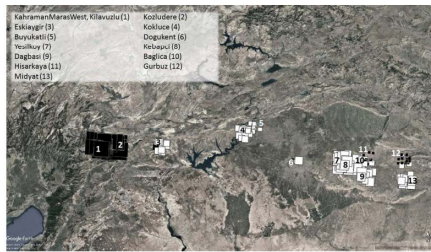
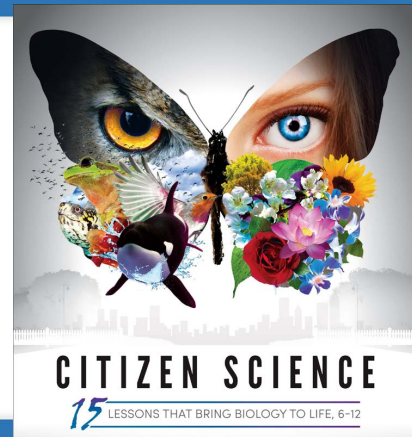


Figure 3
Results of Spatial Principal Component Analysis overlaid on satellite map. Colour and size of square correlate with a score of entities in space that summarize the genetic diversity and reveal spatial structures. Large black squares are well differentiated from large white squares, while small squares are less differentiated (Jombart et al. 2008).



Association COLOSS



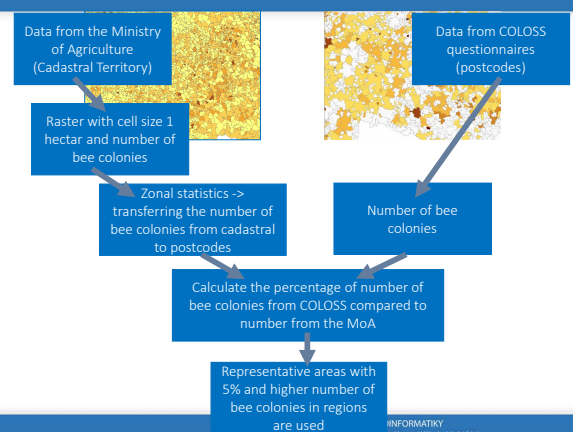
- Prevention of honey bee COLony LOSSes
- An international association that monitors the success of wintering bee colonies and associated bee colony losses
- Each year they run a voluntary questionnaire about monitoring the success of wintering bee colonies
- In Czechia since 2014
- Questionnaire survey information:
 - the success of wintering bee colonies
 - the monitoring of pollen collection during the year
 - the monitoring of control and treatment of bee diseases

Data

- Data from the COLLOS 2014-2017 questionnaire
 - voluntary data from beekeepers
 - answers in the Excel table with additional calculations
 - territorial unit - postcode
- Data from the Ministry of Agriculture
 - number of wintered bee colonies in 2015, 2016 - required from beekeepers
 - territorial unit - cadastral
- Vector Database Corine Land Cover 2012
- Data from the Liberec Region
 - relatively accurate localization of bee colonies and occurrence of varroosis

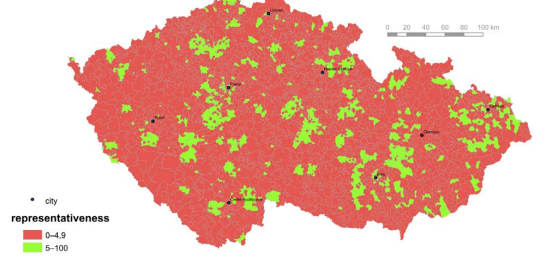
Representative areas uncertainty in practise

- Selection of representative areas based on comparison between data of Ministry of Agriculture and COLOSS survey
- As representative areas were chosen areas with minimally 5% of reported colonies in survey comparing to colonies reported to ministry
- Zonal statistics



REPRESENTATIVE AREAS

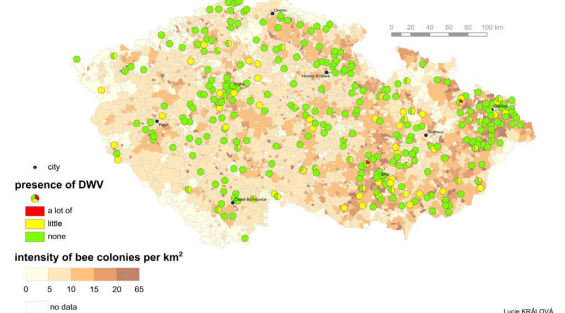
in Czechia in 2016



Lucie KRÁČOVÁ
Olomouc 2017

PRESENCE OF DEFORMED WING VIRUS

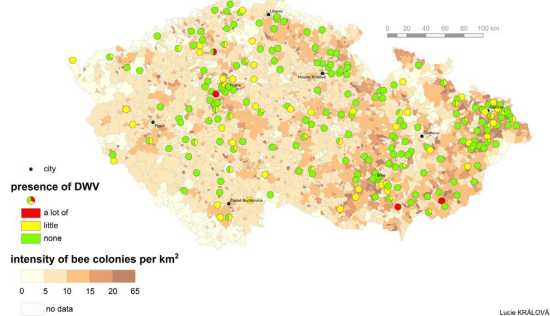
in Czechia between 2015 and 2016



Lucie KRÁČOVÁ
Olomouc 2017

PRESENCE OF DEFORMED WING VIRUS

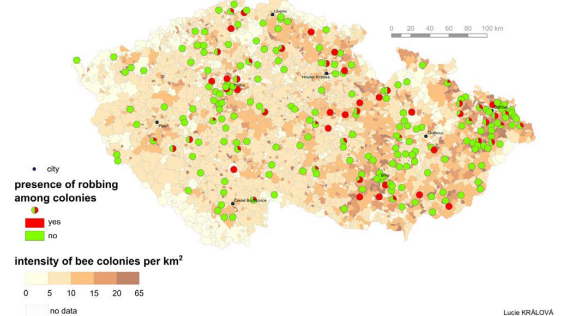
in Czechia between 2016 and 2017



Lucie KRÁČOVÁ
Olomouc 2017

PRESENCE OF ROBBING AMONG COLONIES

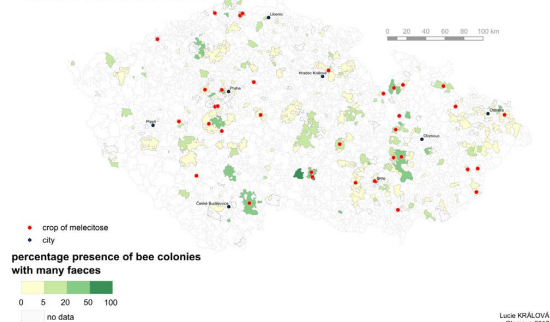
in Czechia between 2016 and 2017



Lucie KRÁČOVÁ
Olomouc 2017

CROP OF MELECITOSE

in Czechia between 2016 and 2017

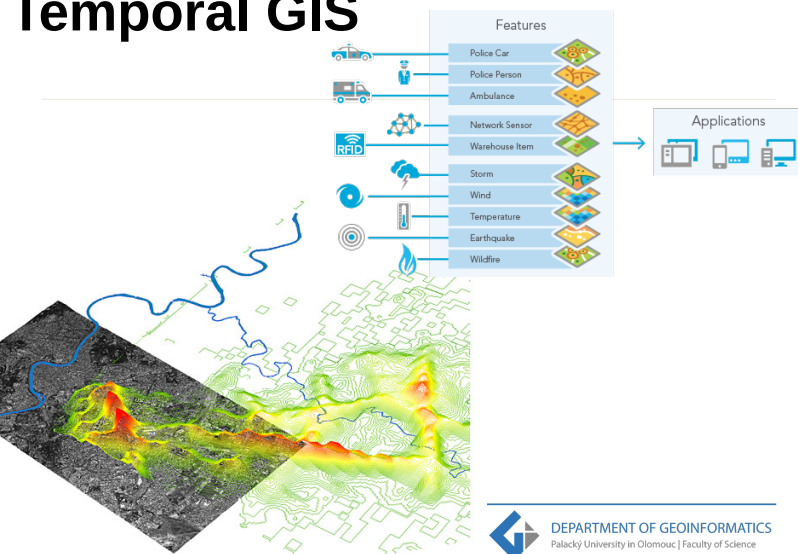


Lucie KRÁČOVÁ
Olomouc 2017

Conclusion

- Uncertainty part of my life and your life
- There are ways how to cope with this
- You should know it and be able to work with that
- Maps a way how to achieve
- User plays key role

Temporal GIS



Čas.

Různé koncepty času

- Čas je intuitivně snadno pochopitelný
- Člověk s ním pracuje na velmi vysoké úrovni, každodenně, absolutně i relativně, přesně
- Dvě základní koncepty:
 - kontinuální proud událostí, vinoucí se přirozeně jen jedním směrem
 - jako posloupnost neustále se opakujících událostí

www.geoinformatics.upol.cz

Čas.

Různé koncepty času

V prostředí GIT situace jiná:

- Času byla dlouhou dobu věnována jen malá až žádná pozornost
- Teprve v posledních cca deseti letech se situace začíná měnit
- Cílem je zahrnout čas do geoinformačních i databázových systémů tak, aby bylo možné provádět dotazy i s ohledem na čas

www.geoinformatics.upol.cz

Čas.

Různé koncepty času

- Není přitom brána v úvahu specifická povaha času jako takového
- V geoinformačním systému máme možnost se pohybovat i proti směru toku času

www.geoinformatics.upol.cz

Časové jednotky

- Za základní v přírodě měřitelnou časovou jednotku považujeme **den**, jehož délka je dána jedním otočením Země kolem své osy.
- Na různých místech zemského povrchu je tedy poledne v jinou dobu – hovoříme o času místním.

www.geoinformatics.upol.cz

Časové jednotky

- Pro praktické použití je den příliš velkou časovou jednotkou. Proto se postupem času ustálilo jeho další dělení, a to na 24 hodin. Každá hodina přitom odpovídá otočení zemského tělesa o 15°.
- hodina se dále dělí na 60 minut,
- minuta na 60 sekund,
- sekunda na sto milisekund a tak dále.

www.geoinformatics.upol.cz

Časové jednotky

- Sekunda je dnes považována za základní měrnou jednotku a čas za základní fyzikální veličinu.
- Tzv. střední sekunda byla dříve definována takto:

Střední sekunda je 1/86 400 středního slunečního dne.



Časové jednotky

- Vedle jednotek používaných pro dělení dne se používají i jednotky, reprezentující vícedenní intervaly:
 - týdny,
 - měsíce,
 - roky,
 - desetiletí,
 - staletí a
 - tisíciletí.



Časové jednotky

Sekunda jakožto základní jednotka času je v mezinárodním systému jednotek (SI) definována takto:

Sekunda je doba trvání 9 192 631 770 period záření, která odpovídá rezonanční frekvenci kvantového přechodu mezi hladinami ($F = 4, M = 0$) a ($F = 3, M = 0$) velmi jemné struktury základního stavu $^2S_{1/2}$ atomu cesia ^{133}Cs .



Určování polohy v čase

Běžněji se místo **určování polohy v čase** říká přímo **určování času**.

Při určování času se používají různé **časové referenční systémy**, označované obvykle termínem **časové škály**:

Časová škála je systém měření času umožňující vyjadřovat vztahy událostí tak, jak k nim dochází od zadané časové epochy.



Dělení časových škál

- spojitost (kontinuální/diskrétní),
- cykličnost (periodicita; lineární/cyklický),
- závislost určování času na jiné události (absolutní/relativní),
- prostorový rozsah platnosti (globální/lokální),
- k čemu se vztahují (k Zemi, k časovému pásmu, k místnímu poledníku, k dané lokalitě),
- způsob určování polohy v čase (přímý/nepřímý).



Spojitost

- **Kontinuální časová škála** je taková, kde se čas může měnit plynule, bez náhlých skoků. Příkladem může být reálný čas, tak jak ho známe z běžného života.
- **Diskrétní časová škála** je taková, kde se čas nemění plynule, nýbrž skokem. Příkladem může být kalendář. Celý den je stále stejné datum, jen o půlnoci dojde k náhlému posunu o jeden den.



Cykličnost

- **Lineární časové škály** jsou takové, které mají pevně definovaný počátek a čas se udává jako vzdálenost od tohoto počátku.
- **Cyklické časové škály** jsou takové, které se periodicky opakují a které samy osobě neumožňují jednoznačně určit čas události. Příkladem takové škály může být posloupnost ročních období (jaro, léto, podzim, zima), posloupnost dnů v týdnu nebo posloupnost měsíců.



Závislost určování času na jiné události

- **Absolutní časové škály** mají zcela jednoznačně definovanou svoji fyzikální realizaci. Příkladem může být reálný čas, realizovaný pomocí různých hodin resp. hodinek. Můžeme počítat i délky časových intervalů mezi nimi apod.
- **Relativní časové škály** jsou většinou vyjádřeny prostřednictvím posloupnosti událostí, u nichž známe jejich přesné pořadí, ale nemusíme znát přesné časy (vyjádřené v absolutní časové škále), kdy k nim došlo. Používání relativních časových škál je typické například pro geologii.



Prostorový rozsah platnosti

- **Globální časové škály** jsou takové, které jsou určeny pro měření času na celé Zemi a v přilehlém kosmickém prostoru nebo alespoň v rámci velkých oblastí na Zemi. Obvykle jsou svázány se svojí globální fyzikální realizací. Příkladem může být univerzální koordinovaný čas.
- **Lokální časové škály** jsou takové, které platí jen v omezeném prostoru. Opět jsou svázány se svojí fyzikální realizací, která je v tomto případě rovněž lokální. Příkladem může být **sluneční čas** realizovaný prostřednictvím slunečních hodin.



K čemu se vztahují

- **Časové škály vztahující se k Zemi** jsou koncipované tak, že umožňují určovat čas kdekoli na Zemi a případně i v přilehlém kosmickém prostoru. Jsou vždy spojeny se svojí konkrétní fyzikální realizací.
- **Časové škály vztahující se k časovému pásmu** jsou obvykle odvozené od časových škál vztahujících se k Zemi, zpravidla prostým posunutím času o celý násobek hodin. Nemají tedy vlastní fyzikální realizaci.



Způsob určování polohy v čase

- **Přímé určování polohy v čase** se provádí prostřednictvím časového údaje odvozeného zpravidla z absolutní časové škály. Typickým příkladem je udání času např. 26.1.2017 v 23:34:12.
- **Nepřímé určování polohy v čase** se provádí odkazem na určitou událost, např. v době bronzové, po vyvraždění Slavníkovců, za druhé světové války, na konci druhohor apod. Všimněme si, že v tomto případě se obvykle odkazujeme na určitý časový interval nebo určité časové období, jehož poloha na absolutní časové ose je zpravidla (i když ne vždy) známá.



Časové škály

- siderický čas,
- solární čas,
- univerzální čas,
- atomový čas,
- univerzální koordinovaný čas,
- efemeridový čas,
- dynamický čas,
- juliánský den,
- a jiné.



Univerzální čas

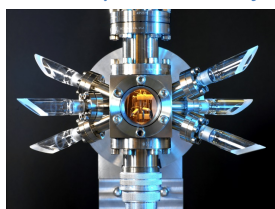
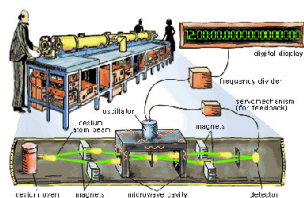
- zaveden v roce 1926
- je roven střednímu solárnímu času vztahnému ke Greenwichskému poledníku
- odvozován pomocí matematického vztahu, zohledňujícího tvar oběžné dráhy Země, od mnohem přesnějšího siderického času

Univerzální čas

- je nezbytné ho dále zpřesnit:
 - Základní univerzální čas odvozený od astronomických pozorování je označován zkratkou UT0.
 - zavedeme do časové škály UT0 korekce na posun zemských pólů a dostaneme časovou škálu označovanou zkratkou UT1.
 - Dále je možné ještě zavést korekce na kolísání rychlosti rotace Země. Dostali bychom tak časovou škálu UT2

Atomový čas

- Pokud chceme mít k dispozici použitelnou časovou škálu založenou na sekundě SI, musíme mít k dispozici vhodné zařízení, které ji bude realizovat. Takovým zařízením jsou **atomové hodiny**.



Atomový čas



Atomový čas

Pokud budeme mít k dispozici více atomových hodin, snadno zjistíme, že mezi nimi existují (byť i minimální) rozdíly.

Z tohoto důvodu je provozována celá řada atomových hodin rozmístěných po celém světě a z jejich měření je počítán vážený průměr, který pak představuje tzv. **atomový čas** (angl. Atomic Time; zkr. TAI z fr. Temps Atomique International).

International Bureau of Weights and Measures combines the output of about 400 atomic clocks in 69 national laboratories worldwide to determine TAI.

Univerzální koordinovaný čas

- Hlavní nevýhoda časové škály UT1 – proměnlivost délky sekundy z ní odvozené – byla odstraněna zavedením nové časové škály, tzv. **univerzálního koordinovaného času**.
- čas soustavy UTC odvozený z atomového etalónu a udržovaný v přibližné shodě s UT tak, aby byl absolutní rozdíl menší než 0,9 s

Univerzální koordinovaný čas

- Aby byla dodržena výše uvedená podmínka maximálního povoleného rozdílu mezi oběma časy, byl do časové škály UTC zahrnut mechanismus tzv. **přestupných sekund**, jehož cílem je korigovat narůstající odchylky UTC a UT1.
- U nás se používá tzv. **pražský koordinovaný čas** (UTCTP – UTC Tempus Pragense), který je definován od 1.1.1969 a udržuje ho Ústav radiotechniky a elektroniky AV ČR v Praze – Kobylicích.

Časová pásma – pásmový čas



Časová pásma – pásmový čas



Časové signály

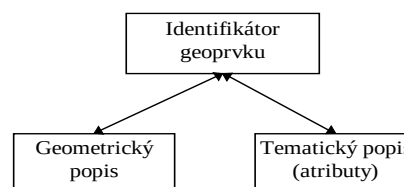
Při měření času se můžeme někdy dostat do situace, kdy potřebujeme synchronizovat používaná časoměrná zařízení, vzdálená i několik tisíc kilometrů od sebe. V takovém případě můžeme použít buďto speciální přijímače GPS (což je vysoce přesné, ale také velice nákladné řešení) nebo můžeme použít mnohem levnější přijímače tzv. **časových signálů**.

Časové signály

Pro nás má v současné době význam především německá stanice DCF 77, která vysílá nepřetržitě v pásmu dlouhých vln z vysílače v Mainflingen (nedaleko od Frankfurtu nad Mohanem). Dosah vysílače je kolem 1500 – 2000 km, takže spolehlivě pokrývá celý evropský region.

Faktor času v aplikacích GIS

Časová složka popisu geoprůvku má své zvláštnosti
Geometrická a **tematická** složka popisu geoprůvků - jsme z klasických vektorových GIS zvyklí - běžně s nimi pracujeme.



Vztah geometrické a tematické složky popisu geoprůvku

Evolution of relevant fields supporting T-GIS.

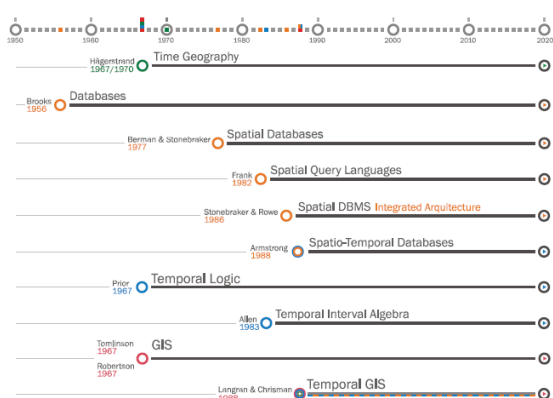
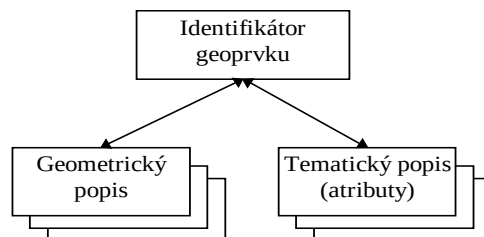


Fig. 1. Milestones in the development of T-GIS.

www.geoinformatics.upol.cz

- Čas se svojí povahou výrazně liší od geometrických a popisných vlastností geoprvků.
- především tím, že nemůže být chápán jako složka popisu sama o sobě, ale vždy v těsném vztahu k výše uvedeným vlastnostem.
- v DB se projevuje existencí více verzí stejných údajů



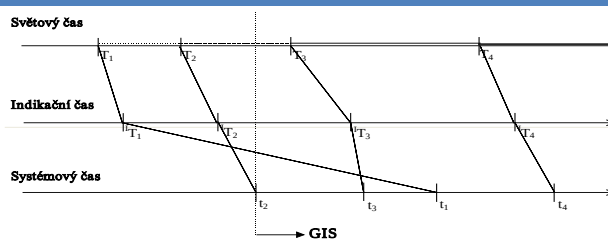
Vztah času ke geometrické a tematické složce popisu geoprvků

www.geoinformatics.upol.cz

Data uložená v databázích GIS jsou dodnes dělena do dvou skupin:

data aktuální, popisující reálný (aktuální) stav geoprvků, tedy data používaná pro každodenní operace v GISu
data neaktuální, popisující stav minulý, a proto data nepotřebná (!!!).

- uživatelé i tvůrci GISů začali uvědomovat, že i tato "neaktuální" data mohou mít určitou hodnotu
- vyplátí se je proto uchovat



světový čas - čas změn v reálném světě, druhá osa
indikační čas - čas zjištění změny, zatímco třetí časová osa zaznamenává
systémový čas - čas, v němž byly tyto změny zaznamenány v databázích GIS
 čas - velice těsně svázan s geometrickým a tematickým popisem geoprvků

obě složky - vzhledem ke své rozdílné povaze zpracovávány - v databázích GISu odděleně.

z pohledu proměnlivosti v čase se tyto dvě složky výrazně liší, je vhodné pro každou z nich vést časové údaje samostatně

www.geoinformatics.upol.cz

www.geoinformatics.upol.cz

Stavová topologie (state topology)

- Stavová topologie zaznamenává posloupnost změn geoprvků a je nezbytná, pokud chceme mít možnost vytvořit si obrázek o stavu reálného světa v kterémkoliv okamžiku za dobu, která je popisována databázemi GISu.

Např. chceme-li se vrátit o deset let zpět a zjistit hranice parcel v určité oblasti z té doby, musíme mít možnost si zjistit, které parcely v té době existovaly, a dále jaký byl aktuální stav jejich atributů (kdo je vlastnil, jaké měly rozlohy, ceny...).

Obecně ji můžeme chápat jako dvouúrovňovou.

- na vyšší úrovni stojí stavová topologie geoprvků, která zachycuje změny v geometrickém popisu geoprvků,
- na nižší úrovni pak stojí stavová topologie geoprvků, zaznamenávající změny atributů geoprvků.

Je zřejmé, že první topologie je jediná pro celý GIS, zatímco druhou je zapotřebí konstruovat pro každý geoprvek zvlášť.

www.geoinformatics.upol.cz

Vztah mezi "geometrickou" topologií a stavovou topologií

Vztah mezi nimi je velice těsný. Chceme-li zkonstruovat geometrickou topologii pro určitý časový okamžik, musíme nejprve pomocí stavové topologie zjistit, které geoprvky a s jakými geometrickými vlastnostmi v té době existovaly a z nich teprve můžeme vytvořit vlastní geometrickou topologii. Navíc je možné ze stavové topologie zjistit, pro jaký časový interval je tato geometrická topologie platná.

Dvojitý charakter času.

Čas se může projevovat jednak jako sled diskrétních událostí, jednak jako kontinuální změna. Vše, co bylo až doposud uvedeno, se týká právě "diskrétního" času. Kontinuální čas nás zajímá nejčastěji v případě modelování v oblasti životního prostředí (například modelování šíření znečištění podzemních vod, modelování šíření škodlivin v ovzduší apod.), kdy jsme schopni pomocí odpovídajících modelů vypočítat aktuální stav v prakticky libovolném čase.

Většinou se však i tyto úlohy převádějí na "diskrétní" případ - modelem se spočítají stavy pro definované časové okamžiky a ty se pak uloží do databází GISu. Mezistavy se mohou vypočítávat například interpolací.

www.geoinformatics.upol.cz

Možné přístupy k zavedení času

Pro realizaci časové složky popisu geoprvků lze v zásadě použít dvě základní skupiny metod:

metody archivační, založené na zavedení režimu pravidelné archivace databází GIS (externí realizace)

metody časových řezů, založené na zabudování mechanismu umožňujícího realizaci časové složky popisu geoprvků přímo do datového modelu a programového vybavení pro GIS (interní realizace).

Veškerá data, která lze z reálného světa získat mají časový a prostorový charakter.

Čas je nedílnou součástí všech proměn, které se ve vesmíru dějí. Ve většině případů se pak jevy mění i v prostoru.

Ačkoliv je toto všeobecně známé a všechna data mají tento charakter, systémy na správu prostorových dat jsou stále v začátcích a každý k modelování času přistupuje jinak.

Proto existuje mnoho modelů a způsobů jak data s časovou složkou ukládat, stejně tak jako existuje mnoho způsobů, jak tato data prezentovat.

Stále však není nalezen optimální způsob ani ukládání ani vizualizace. Každá metoda má svá menší či větší úskalí.

Při ukládání dat je ve většině případů časová či prostorová složka odstraněna.

Největším problémem při ukládání časových dat je jejich velký objem. Pokud se má zaznamenávat každá změna struktury jevu v čase, vznikne mnoho záznamů a to i na malém území.

Se zvětšujícím se územím pak nároky na paměť exponenciálně rostou.

V přírodních vědách a hlavně ve věcech spojených s životním prostředím je modelování času velice důležité. Pomáhá nám predikovat budoucnost pohledem do minulosti, studovat minulost z přítomnosti a hlavně simulovat budoucí vývoj v krajině podle scénáře CO KDYŽ.

Problémem při časových analýzách pak může být také nedostatek dat. Pokud chceme zkoumat jev do minulosti, musíme mít k dispozici data. Jen v málo případech jsou tato data k dispozici daleko do minulosti a v ještě méně případech jsou tato data k dispozici v digitální podobě.

Nejnovějším trendem v časových modelech je integrace klasických map s tabulkovým konceptem map.

- V současnosti se používají dvě metody integrace času do geografických informačních systémů.
- První z nich považuje čas pouze za atribut prostorového objektu umístěného v geografickém informačním systému.
- Druhá pak za další plnohodnotný rozměr prostorového objektu.

1. možnost

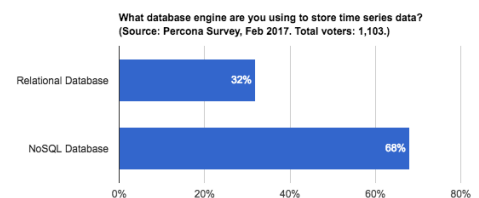
- na úrovni relace – každá změna entity vytvoří novou instanci celé relace – značná nevýhoda s redundancí dat; při každé malé změně se vytváří celý nový objekt;
- na úrovni řádku (n-tice) – každý řádek má své označení času a při změně se vytvoří nový řádek pro příslušný čas
- na úrovni sloupce (atributu) – každý atribut v řádku má své vlastní označení času – nejmenší úroveň redundance, nicméně největší množství a složitost dotazů při práci s databází (Swiaczny, Ott 2001)

2. možnost

- Druhý přístup k integraci času je považovat čas za další plnohodnotný rozměr. Zde je však překážka v podobě složitosti konstrukce algoritmu pro práci s vícedimenzionálním objektem a s návazností na již existující geografické informační systémy a systémy pro řízení a správu dat. Tento způsob je stále ve fázi akademického výzkumu (Fan a kol. 2010).
- Na rozdíl od prvního přístupu je při oddělení času od ostatních atributů získat snadno seznam změn v určitém období a celkově tento přístup teoreticky umožňuje efektivnější dotazování.

DBMS a čas

- Časové databáze jsou v módě
- Většina ale řešena na úrovni NoSQL databází



SQL vs NoSQL

- MySQL, MariaDB Server, PostgreSQL
- Elastic, InfluxDB, MongoDB, Cassandra, Couchbase, Graphite, Prometheus, ClickHouse, OpenTSDB, DalmatinerDB, KairosDB, RiakTS



Čas a databáze

- <https://severalnines.com/database-blog/introduction-time-series-databases>



ČASOPROSTOROVÉ MODELY

Pokud nemá TGIS dobrý datový model, bude podpora pro časové dotazy a analýzy neúčinná.

Neexistují modely, které by byly pouze časové nebo prostorové. Může převládat zaměření na jednu nebo druhou složku, avšak vždy jsou v modelu obsaženy obě dvě.

Table 1. Spatio-temporal Modeling Trends (Siabato et al. 2018)

Modeling Approaches	Modeling Approaches	Modeling Approaches
Snapshot method	Semantic-based	Moving Objects
Time-stamping	Event-based	Graphs-based
Base state amendment vectors	Process-based	Lifespan-based
Space-time composite model	Ontology-based	Agents-based
Domain-based modeling	Feature-based (entity-based)	Kinematics
Object-oriented	Identify-based	Ontological foundations
	Conceptual modeling extensions	



Reprezentace času

- relativní* - sekundy, minuty, hodiny, dny, měsíce, roky (mohou být i záporné)
- absolutní*, např. 2014-04-22 17:32:09CET

Table 1. Classification of Spatio-temporal Modelling Trends by the Key Conceptual Element

Modelling approach	Modelling approach	Modelling approach
Snapshot method*	Semantic-based	Moving Objects
Time-stamping*	Event-based	Graphs-based
Base state amendment vectors*	Process-based	Lifespan-based
Space-time composite model*	Ontology-based	Agents-based
Domain-based modelling*	Feature-based (Entity-based)	Kinematics
Object-oriented	Identity-based	Ontological foundations
	Conceptual modelling extensions	

*Location-based models/changed-based approaches.
A full version of this table is available in Appendix D.1, Table E.



Koncept integrace času a prostoru

Časový model

- **diskrétní** - dochází ke skokové změně vlastností geoprvků (např. sčítání lidu)
- **spojitý** - jemné časové rozlišení, např. měřená data seismografu
- **časová topologie** - popisuje vztahy mezi jednotlivými časovými okamžiky, ve kterých se geoprvky nacházely
- **granularita** - rozlišení časové osy (viz dále)

Koncept integrace času a prostoru

- přístup k datům:
 - spojitě (značná omezení) X diskrétně
 - lineárně X cyklicky
- nejvýznamnějším konceptem je diskretizace času
- **granularita** (zrnitost) vyjadřuje rozlišení v případě rastrových dat
- **chronón** je časovou obdobou pixelu a vyjadřuje nejkratší časovou rozlišovací jednotku (ta se může pohybovat od sekund u RealTimeGIS modelů až po miliony let u geologických jevů a procesů)
- přechod mezi dvěma chronóny vyjadřuje událost (**event**)
- důležitým faktorem analýz je určení intenzity vzorkování
 - optimální intenzita (frekvence) měření času přenesení spojitý jev do diskrétní analyticky zpracovatelné podoby
 - interval musí bezpodmínečně zachycovat zájmové události
 - intenzita měření se může v průběhu měnit v průběhu měření podle **intenzity výskytu jevu**

Prostorově dominantní datové modely

Prostorový model = vrstva, která kombinuje různá témata a efektivně ukládá/zpracovává prostorová data

Do těchto modelů je čas zahrnut implicitně pokaždé, když dojde k nějaké změně.

=> výsledkem snímků z vrstvy vytvořený pokaždé, když dojde k aktualizaci.

- sekvence snímků pak popisuje čas
- není možné zjistit jaký vliv má aktualizovaná vrstva na související vrstvy ve stejném místě

- Aktuální databáze podporuje třídění prostorových modelů, tj. vrstevně založený rastrový nebo vektorový model.
- Geografický prostor je pak seskupen podle prostorové dimenze, zatímco čas je seskupen podle časového rozměru a dané periodizace.
- Analýza se provádí na základě podobnosti mezi vrstvami v různých časových obdobích.
- => změnu je nejlépe začlenit jako součást databáze na atributové úrovni - spojí se časové razítko s každým atributem →

Uživatel má pak větší kontrolu nad sémantikou dat a větší flexibilitu při dotazech, které lze použít pro načítání dat z databáze

Časově dominantní datové modely

Čas - představován čtvrtou dimenzí, která má na ose vyznačeny intervaly, v nichž jsou umístěny události Al-Taha a Barrera (1990) první pokus zařadit časově dominantní modely do kategorií:

Interval na bázi modelů

Časovost uvedena prostřednictvím pravidelných nebo nepravidelných intervalů (Allen 1983). Model se zabývá identifikací časových intervalů a definováním hierarchických vztahů mezi těmito intervaly.

V tomto případě není konkrétní datum, vztahy mezi dvěma intervaly jsou definovány v modelu.

Vztahy jsou vzdáleny, jsou si rovné, setkávají se, přesahují se, začínají a končí. Allen (1983) tvrdí, že těmito vztahy lze vyjádřit trvalé vztahy mezi událostmi.

Bodově založené modely

Časovost uvedena pomocí explicitního výskytu události (Dean McDermott a 1987)

modely obvykle implementovány jako **časové mapy**

graf, jehož uzly jsou časové body, které odpovídají na začátku a ukončení akce
hrany představují vztahy mezi událostmi

Smíšené modely

kde je uvedena časovost pomocí intervalově založený model v kombinaci s bodově založeným modelem (Shoham a Goyal 1988).

Výše uvedené modely dosud nebyly provedeny v databázích.

Čas může být začleněn do databází pomocí dvou různých přístupů. Ty lze rozlišit podle charakteru času, jako parametr nebo rozměr (Effenberg, 1992).

V parametrickém přístupu, je čas brán jako kontrolní argument systému a je vyšetřován na možné dopady na ostatní proměnné. Tento přístup je velmi využíván v simulačním modelování v GIS.

Na druhou stranu rozměrový přístup je zaváděn jako dynamický pojem v GIS. V tomto případě je časový rozměr realizován jako uživatelsky definovaný typ dat.

„To umožňuje uživateli dotazovat se v databázi pomocí časových operátorů, jako je začátek, konec a překrývání.

Typy časových modelů

Snapshot model

- jednoduchý časový model, který uchovává jednotlivé vrstvy odděleně (to může vést k redundanci dat)
- patří mezi disktrétní časové modely
- tento model implementuje časoprostorové rozšíření systému GRASS

Time Composit

- charakteristický pro vektorovou reprezentaci geodat založené na projekci linií do roviny,
- kombinací více časových okamžiků tak vzniká "sít"
- patří mezi disktrétní časové modely

Time-stamping model

- založen na charakteristice vzniku a zániku či časového stavu objektu
- vhodný pro aplikace, kde nedochází k častým změnám, např. katastr nemovitostí

Event model

- podobný modelu Time-stamping s tím, že dokáže identifikovat jednotlivé změny objektů

Object-Relationship

- jako jediný se zaměřuje na vztahy a popis změn

Object-Oriented

- objektově orientovaný model umožňující simulovat reálné jevy

Ukládání časoprostorových údajů

• Snapshot model

- nejjednodušší způsob organizace časoprostorových údajů
- voxelová struktura (x,y - prostor, z - čas)
- skládá se z časově homogenních vrstev
- nevýhody:
 - časová stacionárnost jednotlivých vrstev
 - stejný přístup k různě časově stabilním datům v rámci jedné vrstvy
 - náročná manipulace s velkým objemem souborů
 - nutné ukládat kopie celé vrstvy i při úpravě jen jednoho objektu
- výhody:
 - jednoduchá struktura
 - ukládání do rastru i vektoru
 - jednoduchý způsob vykonávání většího množství operací
 - v případě vhodných vstupních dat možno rozšířit snapshot model do spojitě struktury

www.geoinformatics.upol.cz



DEPARTMENT OF GEOINFORMATICS
Palacký University in Olomouc | Faculty of Science

Ukládání časoprostorových údajů

• Temporal Map Set (TMS)

- každá buňka má přiřazen binární atribut
- atribut vyjadřuje stav v průběhu události
 - 0 - v časové úseku nebyla zaznamenána změna
 - 1 - v časové úseku byla zaznamenána změna
- voxelová struktura (x,y - prostor, z - čas)
- skládá se z časově homogenních vrstev
- nevýhody:
 - neschopnost reagovat na změny v prostorové organizaci geografických objektů
- výhody:
 - možnost vyjádřit v jedné vrstvě více časových úseků

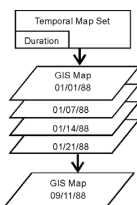


Fig.2: An example of a TMS
(Beller et al., 1991)

Ukládání časoprostorových údajů

• Spatio Temporal-Object Model (ST-Object Model)

- reálný svět jako množina disktrétních jevů složená z tzv. časoprostorových atomů
 - z hlediska času - prostoru jsou atomy homogenní
 - odrážejí změny v obou dimenzích
- nevýhody:
 - neschopnost reagovat na změny v prostorové organizaci geografických objektů
- výhody:
 - možnost vyjádřit v jedné vrstvě více časových úseků
- všechny tři výše jmenované modely odrážejí pouze disktrétní a lineární změny prostoru v čase

www.geoinformatics.upol.cz



DEPARTMENT OF GEOINFORMATICS
Palacký University in Olomouc | Faculty of Science

www.geoinformatics.upol.cz



DEPARTMENT OF GEOINFORMATICS
Palacký University in Olomouc | Faculty of Science

Časoprostorový model založený na událostech (Event-oriented Spatio-temporal Data Model)

- považuje čas za plnohodnotný rozměr objektů v geografickém informačním systému
- čas vyjádřen pomocí atributu v tabulce událostí.
- Jak vyplývá z názvu modelu, model je založen na postupném zaznamenávání změn každé prostorové entity.
- V praxi se pro to používá tabulka událostí, kde se uchovávají vlastní změny. Ta je napojená na tabulku vztahů, kde se pro snazší práci s daty uchovávají topologické vztahy mezi objekty (tj. informace o tom když se objekt se skládá z jakých částí). Tato tabulka je napojena na tabulku vlastních objektů, ve které jsou uchovány základní prostorové údaje objektu a jeho atributy (nebo napojení na tabulku atributů).

30:32

W. Siabato et al.

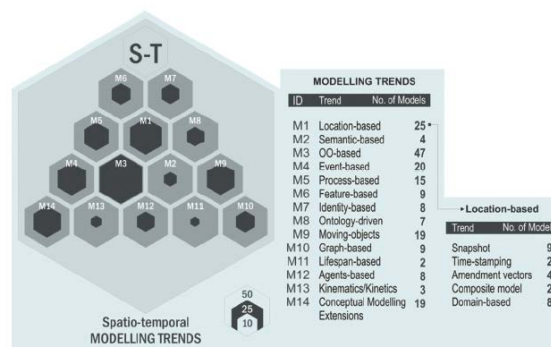


Fig. 3. Identified spatio-temporal modelling trends and number of proposals per trend.

www.geoinformatics.upol.cz



DEPARTMENT OF GEOINFORMATICS
Palacký University in Olomouc | Faculty of Science

www.geoinformatics.upol.cz

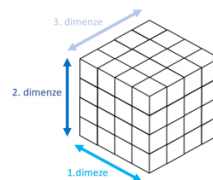


DEPARTMENT OF GEOINFORMATICS
Palacký University in Olomouc | Faculty of Science

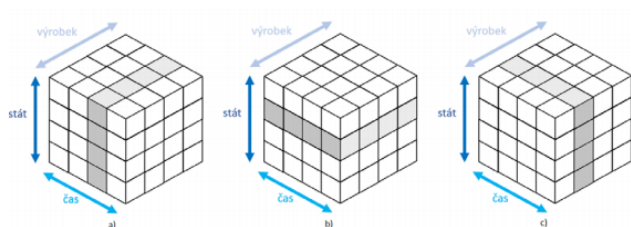
- <https://gistbok.ucgis.org/bok-topics/capturing-spatiotemporal-dynamics-computational-modeling>

Multidimenzionalita

- V relačních databázích pracujeme s tabulkou, která obsahuje řádky a sloupce. Jelikož zde pracujeme s více dimenzemi, je tento model nedostačující. Nejobvyklejší datovou strukturou multidimenzionálního databázového modelu je krychle.



Obr. 2.9: Multidimenzionální krychle



Obr. 2.10: Multidimenzionální krychle: a) Analýza údajů za časové období, b) Analýza údajů dle státu, c) Analýza údajů dle výrobku nebo skupiny výrobků

Formáty

- netCDF
- OpenDAP
- HDF
- GRIB1
- GRIB2

VIZUALIZACE „ČASU“

Zobrazit čas na mapě je velice složitý a stále ještě nevyřešený problém. Existuje více možností, jak čas ukázat, nicméně žádný z nich není dokonalý.

Postrádají dynamiku a možnost interakcí.

Obecně lze použít mapu s časovými symboly, soubor map jdoucí za sebou, případně animované mapy, které již většina GIS umí generovat. Průkopník v plánování životního prostředí Ian McHarg je známý jako „objevitel“ teorie overlay.

Další teorií, jejímž autorem je McHarg je umístění vrstev v chronologickém sledu, což pomáhá ukázat vztahy a jejich změny v průběhu času.

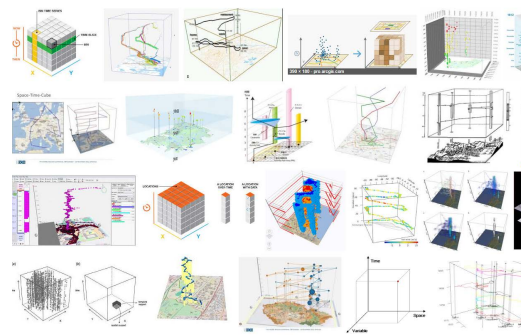
Z kartografického hlediska lze vizualizaci geoprostorových časových dimenzí rozdělit do tří kategorií:

Jedná se o jednu statickou mapu, soubor statických map a animaci.

Časoprostorová kostka – SpaceTime cube

- prostor je zde vnímán jako 2D a čas je přidáván jako třetí dimenze, která je kolmá na ortogonální rovinu

- a stejným principu funguje většina časoprostorových modelů



Statická mapa

Pokud máme k dispozici jednu statickou mapu, je možné časovou složku vyjádřit pomocí vhodně zvolených symbolů.

Mezi tyto symboly patří například šipky, které zobrazují dynamiku, případně zkřížené meče s letopočtem, zobrazující bitvu.

Další možností je použití odstínů barev, kdy nejstarší jevy jsou znázorněny nejtmavšími barvami.



www.geoinformatics.upol.cz

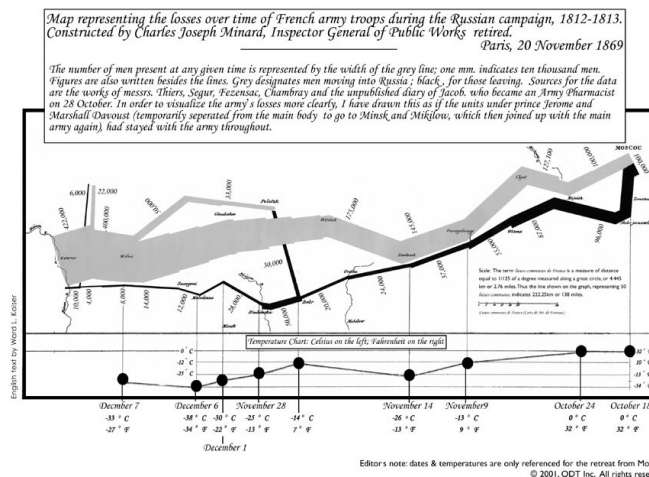
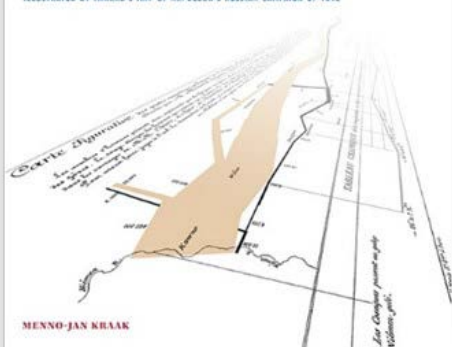


Figure 58. Minard's map of Napoleon's Russian campaign. This graphic has been translated from French to English and modified to most effectively display the temperature data.

Mapping Time

ILLUSTRATED BY MINARD'S MAP OF NAPOLEON'S RUSSIAN CAMPAIGN OF 1812



www.geoinformatics.upol.cz

Série statických map

Při sériích map, je jev zobrazen na statických mapách, kdy každá mapa je pro konkrétní čas a následně jsou jednotlivé mapy chronologicky seřazeny

Pomocí po sobě jdoucích snímků pak můžeme sledovat změny jevu v čase

Pokud však chceme pozorovat změny v delším časovém období, je třeba mnoha snímků a orientace v nich je pak těžká.

Navíc pak vznikají obrovská množství analogových map, kdy u některých nemusí být změny v čase ani patrné.

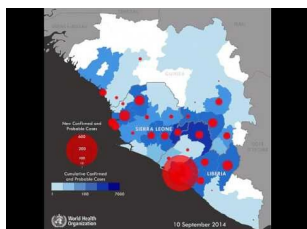
www.geoinformatics.upol.cz

Animace

Jde opět o jednotlivé snímky, které představuje změny v čase, které vnímáme přechodem těchto snímků

Rozdíl od série map není změna odvození od prostorového uspořádání, ale od skutečného pohybu na mapě.

Návrh správné animace je velmi důležitý nejoblíbenější a momentálně nejlepší



www.geoinformatics.upol.cz

www.geoinformatics.upol.cz

- <https://gistbok.ucgis.org/bok-topics/spatiotemporal-representation>

Časoprostorové analýzy

snahy o řešení úloh s integrovanou časovou složkou vyústily ve vznik nové vědní disciplíny - TimeGIS (TGIS)

- již existují prostředky pro plnou integraci časové složky do analýz
- důraz ale stále více kladen na prostorovou složku, než na časovou
- důvody:
 - požadavky praxe (prostor. složka vyhovuje statickým modelům)
 - dostupnost dostatečně dlouhých časoprostorových sérií
 - aplikace, kdy je časová složka v popředí:
 - monitoring záplav, systém včasného varování, předpověď počasí, řízení dopravy

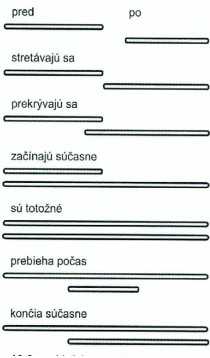


Make Better Decisions the Moment Something Happens

Real-Time GIS gives you the ability to simultaneously tap into, analyze, and display streaming data from many sensors, devices, and social media feeds. You can define filters and location-based analytics that automatically refine and focus real-time data on events that matter most to you. Esri's Real-Time GIS continuously updates maps and databases and sends alerts to key personnel the moment a critical threshold or event happens for faster decisions and response.

Koncept integrace času a prostoru

- topologie:
 - rozšiřuje možnosti práce s daty (př.: "Vyber procesy vyskytující se s jevem A, nikoli však s jevem B")



Časové a časoprostorové série

- **analýzy jednorozměrných čas. sérií**
 - mimořádně rozvinutá oblast časoprostorových analýz
 - zahrnuje množství algoritmů pro zpracování geografických údajů
 - hodnotí vztahy struktury a realizuje predikce na sekvenci chronologicky uspořádaných hodnot
 - dostupné řešení - GIS + statistický produkt
 - IDRISI nabízí jednoduchou výměnu rastrových údajů se statistickými systémy STATISTICA a S-PLUS
 - tím došlo k rozšíření analytických možností o mnohorozměrné statistické metody, neuronové sítě, generalizované lin. modely, atd.
- **analýzy vychází ze standardních matematických a statistických přístupů k analýze časových sérií**
- **analýzy chronologicky uspořádané série prostorových vrstev**
 - hodnoty nahrazeny 2D (3D) referencovanými maticemi vyjadřující stavy analyzovaného jevu v rozličných časových úsecích
 - umožňují využití specifických postupů vyvinutých při analýze v časoprostorové dimenzi

