

Názov prednášky:

Vzdialenostné analýzy a mapová algebra

Osnova prednášky:

Analýza vzdialenosti

Odporúčaná literatúra

KAŇUK, J., 2015: Priestorové analýzy a modelovanie. Vysokoškolské učebné texty. Prírodovedecká fakulta UPJŠ v Košiciach, 106 s.

HOFIERKA, J., KAŇUK, J., GALLAY, M., 2014: Geoinformatika. Univerzita Pavla Jozefa Šafárika v Košiciach, p. 192

Mapová algebra

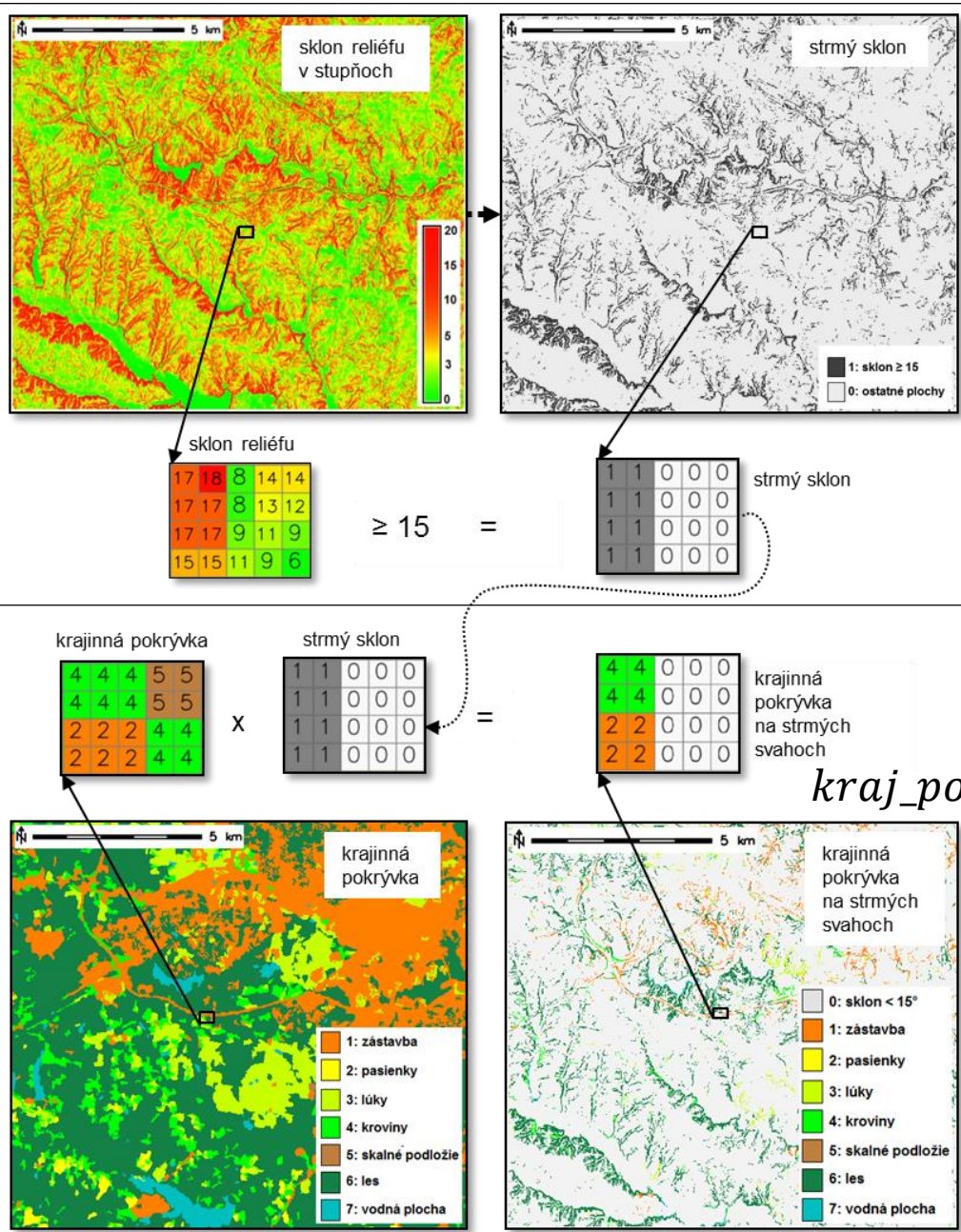
- je základný nástroj na vykonávanie priestorových analýz v rastrovom formáte
- jej podstatou je, že jednotlivé rastrové mapy môžeme považovať za členy aritmetických výrazov, v ktorých môžeme aplikovať štandardné aritmetické a logické operácie (*, /, +, -, >, <, =, &&, !=, atď.)
- Okrem toho je možné použiť rastrové mapy aj ako argumenty matematických funkcií (cos(x), abs(x), max(x), log(x) a podobne)
- jednoducho spočítať mnohé vzorce modelov krajinných procesov a javov
- Tieto operácie sa vykonávajú medzi bunkami s rovnakou polohou alebo v určitom okolí danej bunky (kombinujú sa bunky s rôznou polohou v určitom okolí)
- V prípade GRASS GIS sa pôvodne aplikácia 2D mapovej algebry (r.mapcalc) rozšírila aj na dáta 3D (r3.mapcalc).

Funkcie mapovej algebry je možné realizovať v rôznom priestorovom kontexte:

- a) lokálne,
- b) fokálne,
- c) zonálne,
- d) inkrementálne.

Mapová algebra

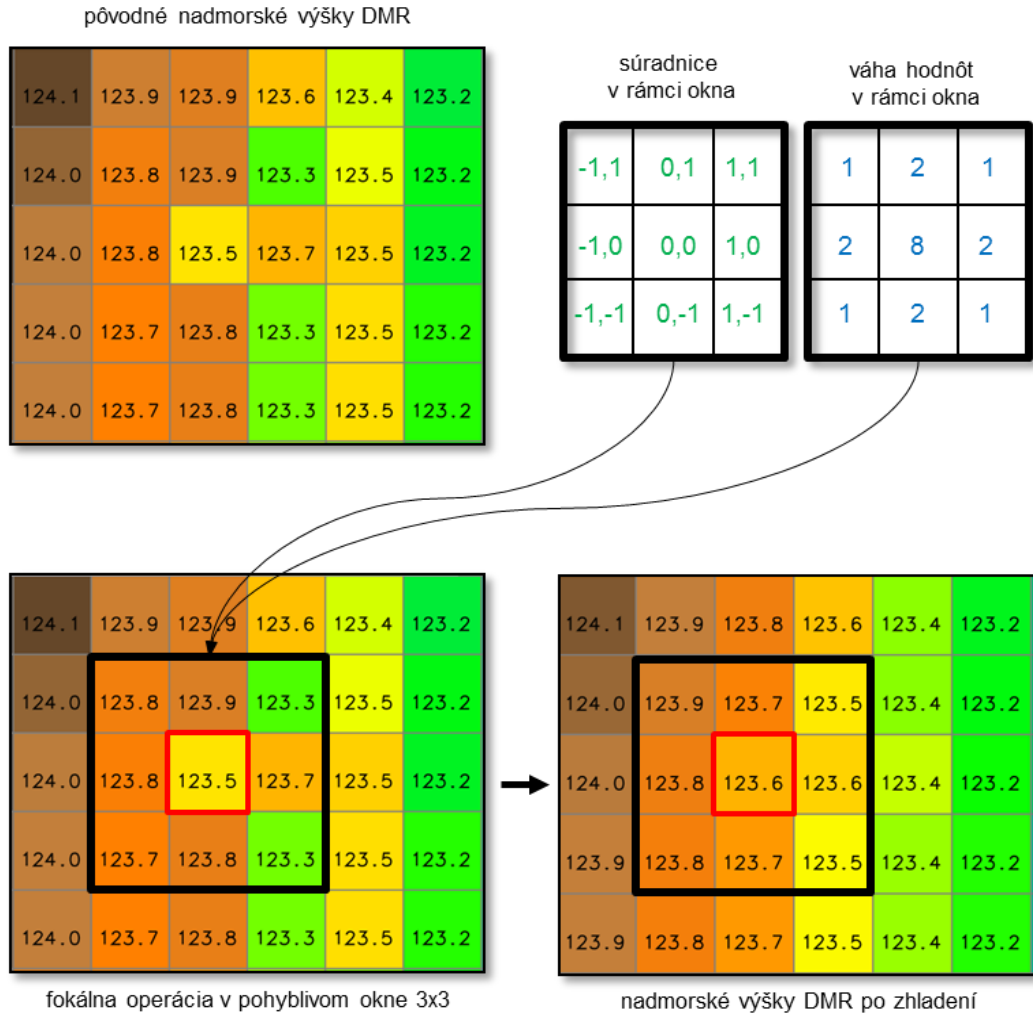
Lokálna realizácia znamená, že operácie medzi bunkami vrstiev prebiehajú vo vertikálnom smere nad sebou. Príkladom takejto operácie je realizácia tohto príkazu modulom r.mapcalc v GIS-e GRASS:



$$kraj_pokryv_na_strm_svahoch = (sklon \geq 15) * (krajinna_pokryvka)$$

Ukážka lokálnej operácie mapovej algebry pre identifikáciu krajinej pokrývky na strmých svahoch

Mapová algebra



Pri fokálnej realizácii je hodnota výslednej bunky určená kombináciou hodnôt buniek nielen vo vertikálnom smere, ale aj hodnotami buniek v jej blízkom okolí (3x3, 5x5 a pod.). Príkladom fokálnej realizácie môže byť príkaz na vyhladenie digitálneho modelu reliéfu v tomto tvare:

$$\begin{aligned}
 & \text{smooth.elev} \\
 &= (elev[-1,-1] + 2 * elev[-1,0] + elev[-1,1] + 2 \\
 & * elev[0,-1] + 8 * elev[0,0] + 2 * elev[0,1] + elev[1,-1] \\
 & + 2 * elev[1,0] + elev[1,1]) / 20
 \end{aligned}$$

$$\text{smooth.elev} = (1 * elev[-1,-1] + 2 * elev[-1,0] + 1 * elev[-1,1] + 2 * elev[0,-1] + 8 * elev[0,0] + 2 * elev[0,1] + 1 * elev[1,-1] + 2 * elev[1,0] + 1 * elev[1,1]) / 20$$

$$\text{smooth.elev}[3,3] = 1 * 123,7 + 2 * 123,8 + 1 * 123,8 + 2 * 123,8 + 8 * 123,5 + 2 * 123,9 + 1 * 123,3 + 2 * 123,7 + 1 * 123,3) / (1 + 2 + 1 + 2 + 8 + 2 + 1 + 2 + 1) = 123,625 = \mathbf{123,6}$$

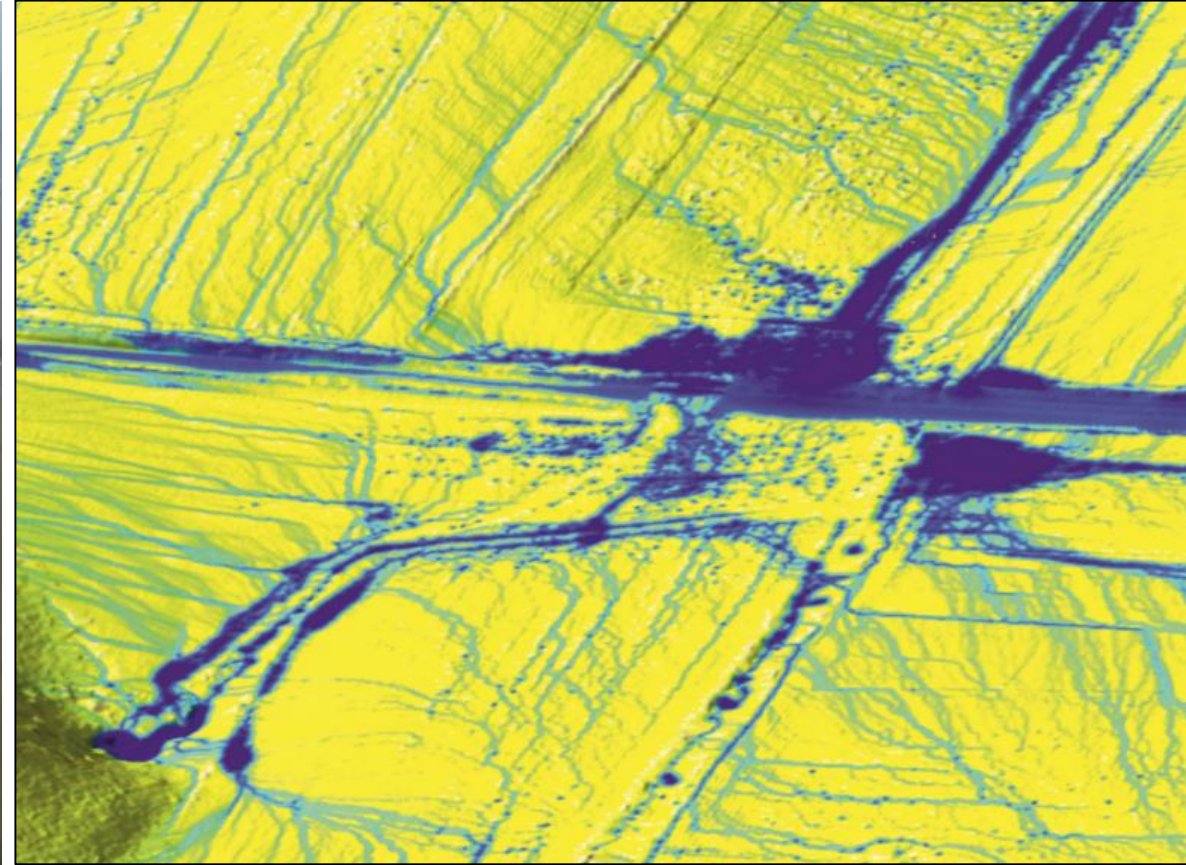
Aplikácia fokálnej operácie vyhladenia DMR váženým priemerom v pohyblivom okne 3x3 na príklade bunky v 3. riadku zdola a 3. stĺpci zľava.

Mapová algebra

- Pri **zonálnej** realizácii prebieha výpočet v určitej zóne definovanej ďalším, tzv. zonálnym rastrom, ktorý definuje oblasť, pre ktorú sa majú vypočítať štatistiky analyzovaného rastra. Používajú sa teda len dve rastrové vrstvy.
 - Príkladom aplikácie zonálnej mapovej algebry môže byť výpočet indexov krajinných metrík (napríklad indexu diverzity) pre určité typy (regióny) krajiny.
- **Inkrementálna** realizácia prebieha globálne na celom rastri, avšak často iteračným spôsobom. Hodnota výslednej bunky je podobne ako pri fokálnych operáciách výsledkom okolia, ktoré však môže mať rozličný rozsah, v závislosti od prechádzajúceho stavu simulácie.
 - Typickým príkladom aplikácie inkrementálnej mapovej algebry je modelovanie odtoku vody po povrchu reliéfu definovanom digitálnym modelom reliéfu.

Mapová algebra

Modelovanie povodne 10.2.2016



KAŇUK, J., ŠUPINSKÝ, J. ŠAŠAK, J., HOCHNUTH, Z. (2017). Simulation of a winter flood in karst area based on massive data and unmanned aerial vehicle snapshot. Hydrology and Earth System Sciences. (rukopis príprave)

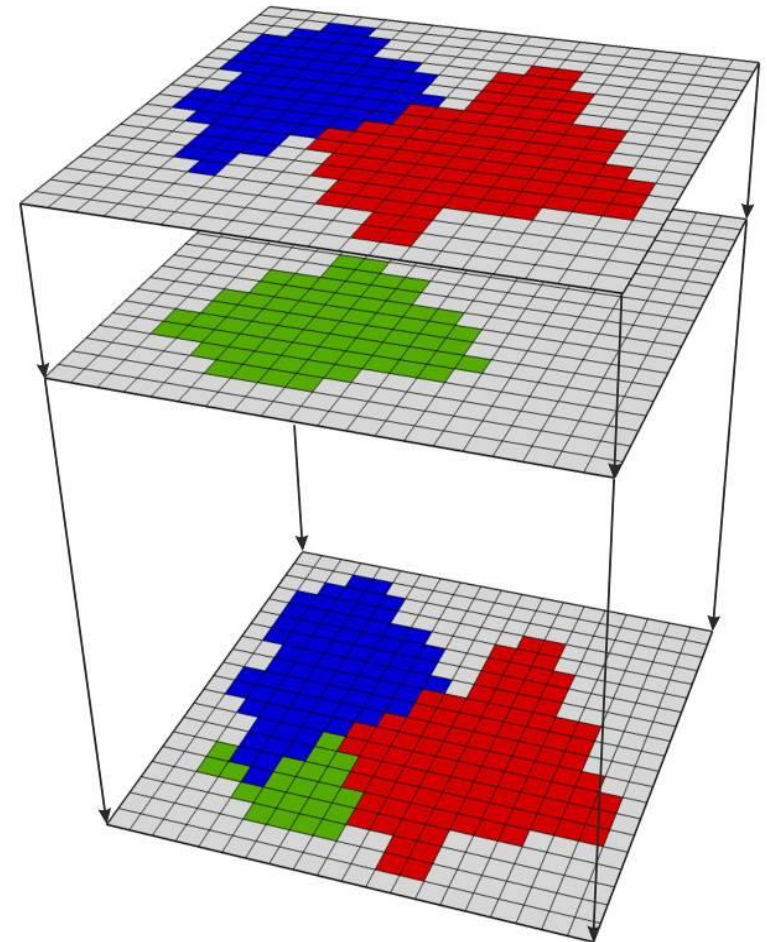
Mapová algebra

- Existuje aj špecifický prípad mapovej algebry, keď nejde o vzájomnú kombináciu dátových vrstiev, ale o vkladanie/dopĺňanie dát do tých buniek rastra, ktoré nemajú žiadnu hodnotu.

Vrstva 1

Vrstva 2

Výsledná vrstva



Analýza vzdialenosti

- určenie vzdialenosti medzi geografickými objektmi je jedna z najvýznamnejších analýz, ktoré vykonávame v GIS-e
- veľké množstvo geopriestorových analýz vychádza práve z určenia vzdialenosti medzi jednotlivými objektmi, resp. bodmi reprezentujúcimi objekty. Ide napríklad o:
 - a) priestorovú interpoláciu
 - b) sieťové analýzy,
 - c) geoštatistické analýzy,
 - d) klastrové analýzy a mnohé ďalšie.

V GIS-och sa najviac používajú dva koncepty pre určenie vzdialenosti:

A) Euklidovská vzdialenosť

B) Manhattanská vzdialenosť

- Existujú aj ďalšie koncepty, napr. sférická, Mahalanobisova
- Základnou podmienkou pre meranie vzdialenosti v priestore je vyjadrenie polohy prostredníctvom súradnicových systémov.

Analýza vzdialenosti

- Premietnuté súradnice – Euklidovská, Manhattanská

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

- Sféricke súradnice – sféricke alebo elipsoidické výpočty

$$d_{ij} = 2R \sin^{-1} \left(\sqrt{\sin^2(A) + \sin^2(B) \cos \phi_i \cos \phi_j} \right)$$

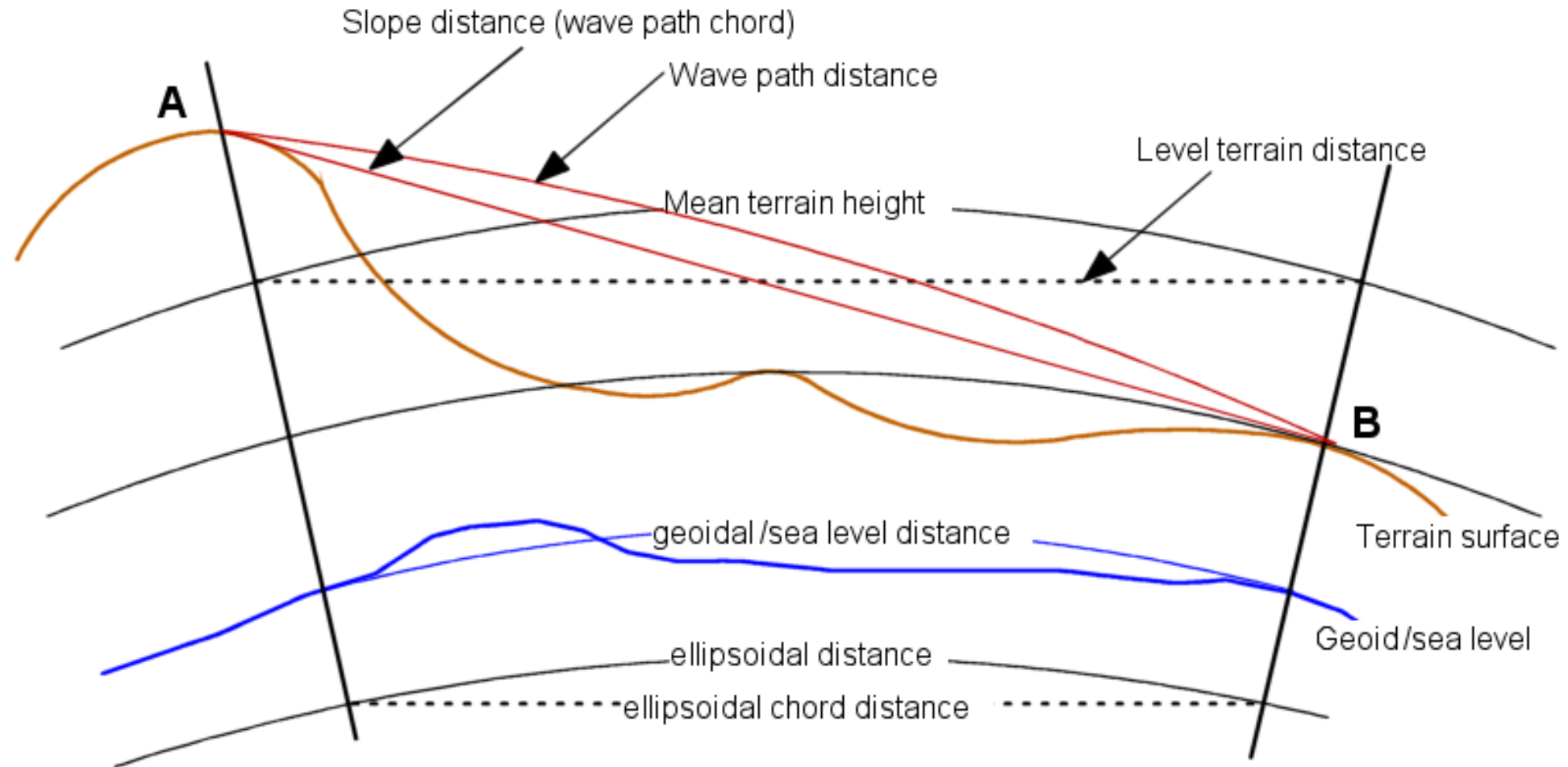
- Problémy :

- Planárne merania cez veľké vzdialenosti
- Vzdialenosti terénu (3D/terén)
- Sieťové vzdialenosti
- Rôzne váhy/konflikty
- Pretínania (jednej alebo viacerých častí segmentov)

$$\text{where : } A = \frac{\phi_i - \phi_j}{2}, B = \frac{\lambda_i - \lambda_j}{2}$$

Analýza vzdialenosti

- Vzdialenosť na teréne – rez



Euklidovská vzdialenosť

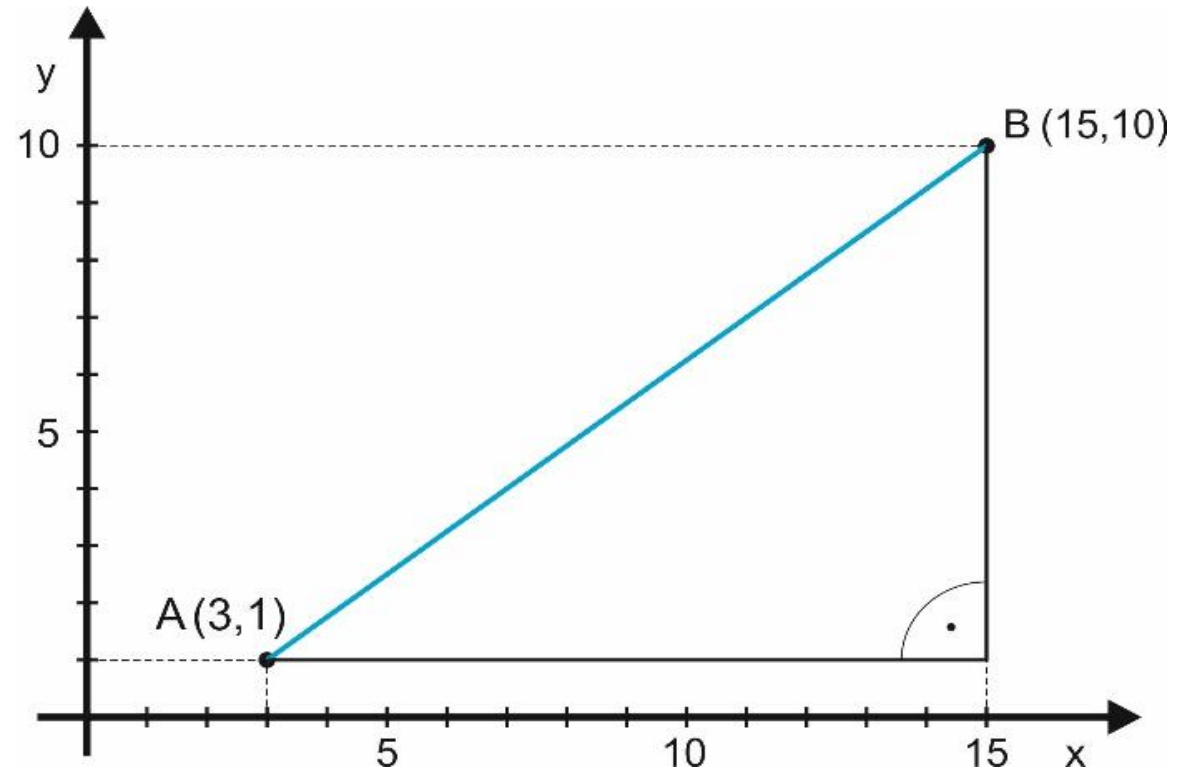
- nazýva sa tiež geometrická vzdialenosť
- vypočíta sa na základe výpočtu dĺžky prepony pravouhlého trojuholníka a jej výpočet je založený na Pytagorovej vete

$$d_{(A,B)} = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2}$$

$d_{(A,B)}$ – je vzdialenosť medzi bodmi A a B

A_x a B_x – x-ové súradnice bodov A a B,

A_y a B_y – y-ové súradnice bodov A a B.



$$d_{(A,B)} = \sqrt{(3 - 15)^2 + (1 - 10)^2} = \sqrt{144 + 81} = \sqrt{225} = 15$$

Manhattanská vzdialenosť

- označuje sa ako vzdialenosť mestských blokov
- názov je odvodený od štruktúry ulíc v Manhattane, kde pri presune z jedného miesta na druhé je nutné rešpektovať štruktúru mestských blokov, ktorá sa podobá gridu

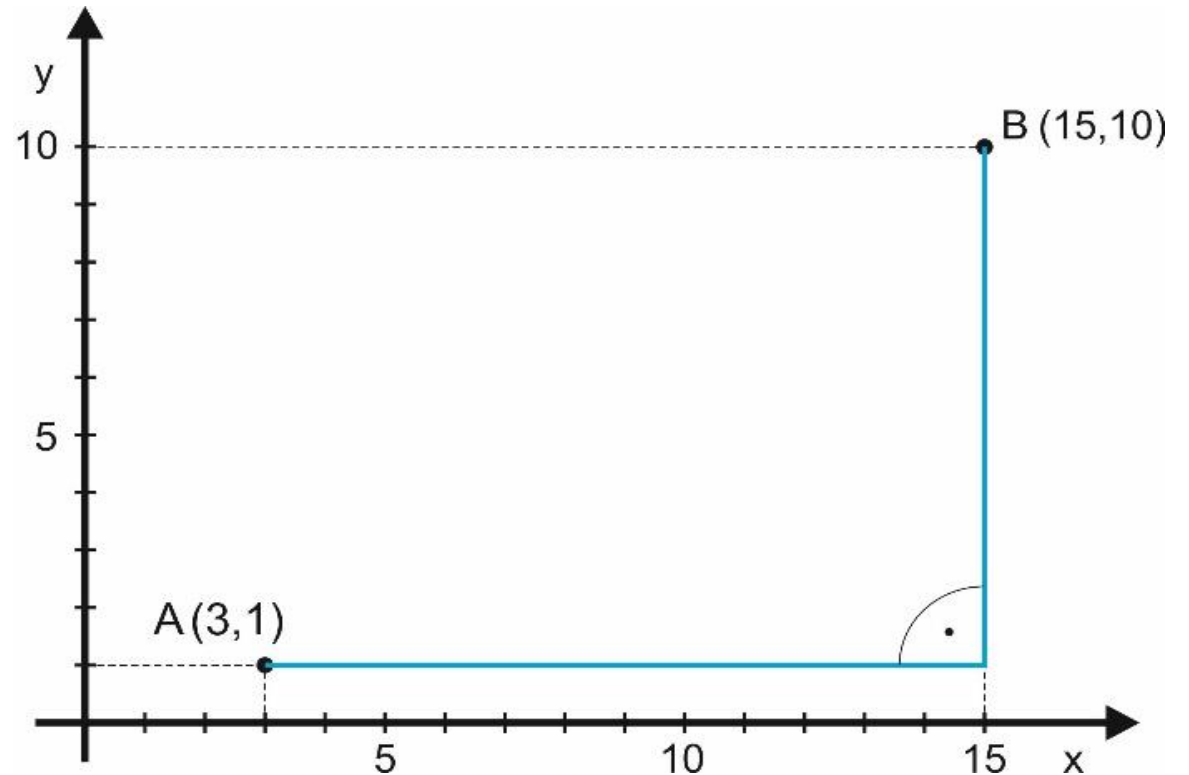
$$d_{(A,B)} = |A_x - B_x| + |A_y - B_y|$$

Zovšeobecnený zápis vyjadrenia vzdialenosti reprezentuje tzv. Minkovského metrika, kde platí:

$$d_{(A,B)} = \sqrt[k]{(A_x - B_x)^k + (A_y - B_y)^k}$$

$k = 1$, ide o Manhattanskú vzdialenosť

$k = 2$, ide o Euklidovu vzdialenosť



$$d_{(A,B)} = |A_x - B_x| + |A_y - B_y| = |3 - 15| + |1 - 10| = 12 + 9 = 21$$

Vzdialenosť v 3D priestore

- vypočíta sa analogicky ako v prípade Euklidovskej vzdialenosti zohľadnením súradníc v smere osi z

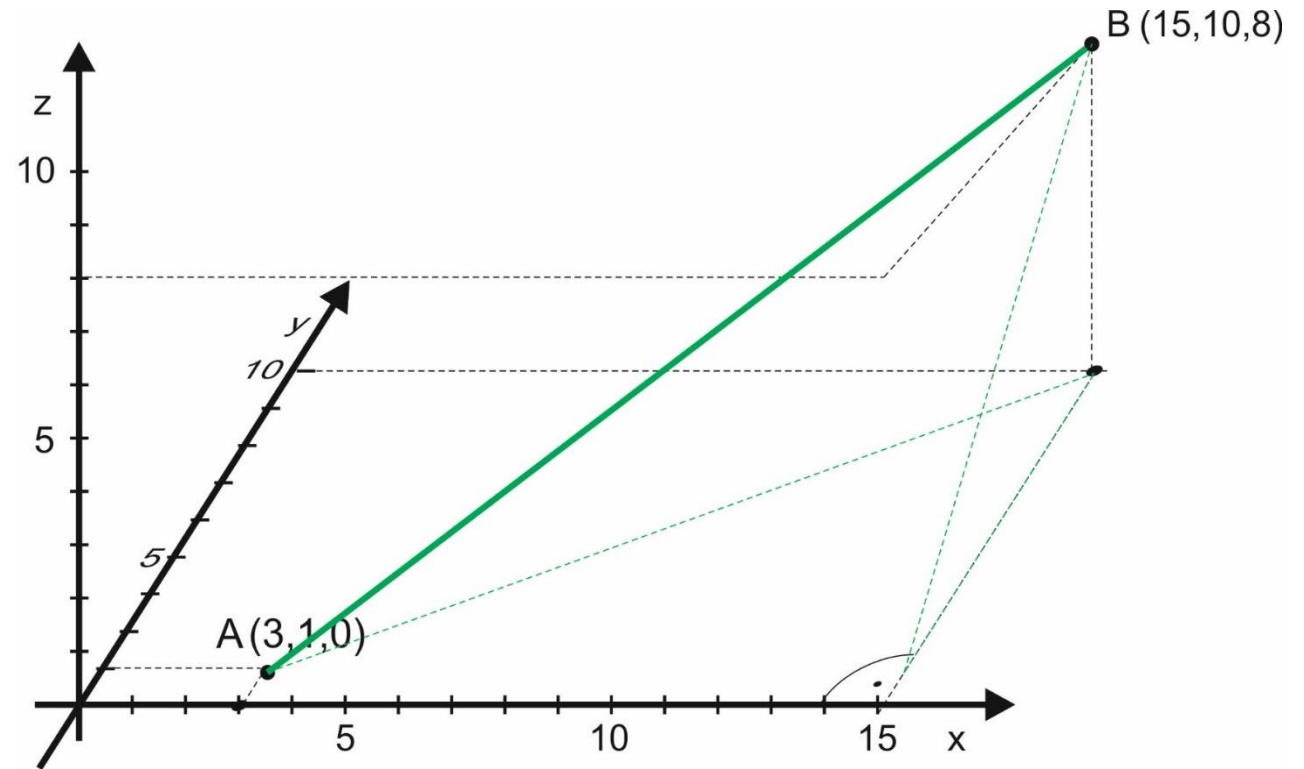
$$d_{(A,B)} = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2 + (A_z - B_z)^2}$$

$d_{(A,B)}$ – je vzdialenosť medzi bodmi A a B

A_x a B_x – x-ové súradnice bodov A a B,

A_y a B_y – y-ové súradnice bodov A a B.

A_z a B_z – z-ové súradnice bodov A a B.



$$d_{(A,B)} = \sqrt{(3 - 15)^2 + (1 - 10)^2 + (0 - 8)^2} = \sqrt{144 + 81 + 64} = \sqrt{289} = 17$$

Analýza vzdialenosti - aplikácie

- Výpočet vzdialenosti

Vaša poloha
Košice, Staničné námestie, 040 01 Košice

MOŽNOSTI

- Odoslať trasu do telefónu
- po Strojárska: 7 min., 2,2 km (6 min. pri ideálnej premávke)
- po Svätoplukova: 10 min., 2,9 km (7 min. pri ideálnej premávke)
- po Mestský park: 23 min., 1,9 km (Väčšinou po rovine)

PODRBNOSTI

Údaje map © 2017 Google Slovensko Zmluvné podmienky Odoslanie spätnej väzby 100 m

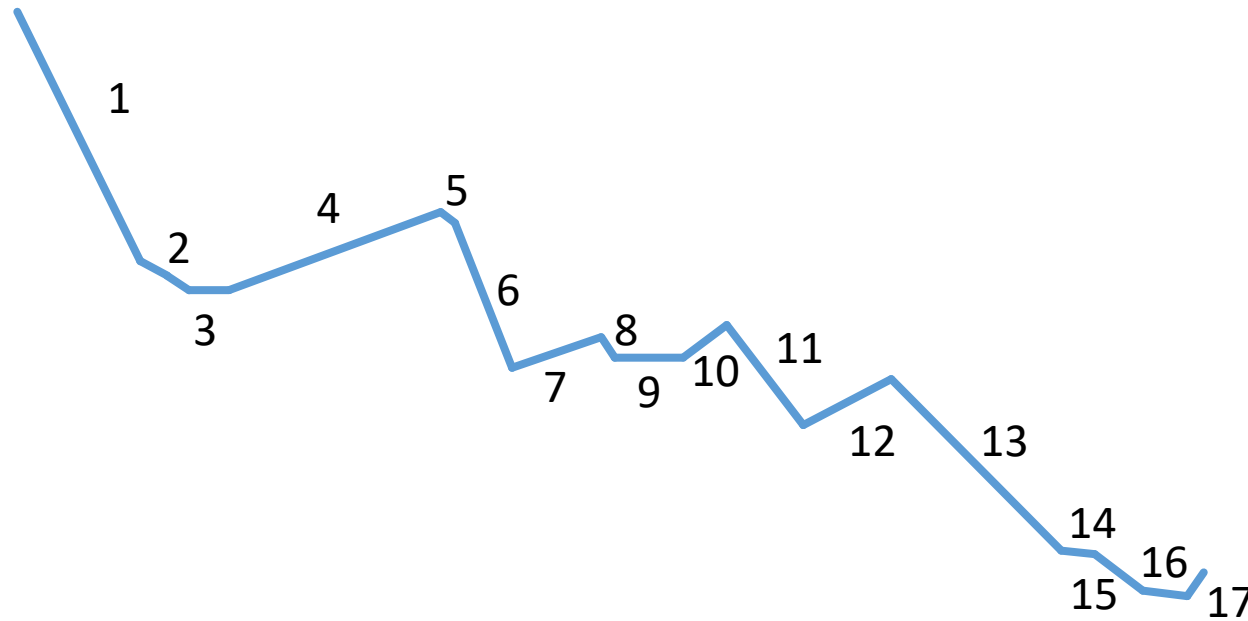
Analýza vzdialenosti - aplikácie

- Výpočet vzdialenosti

Výpočet jednotlivých častí (segmentov)

$$d_{(A,B)} = \sqrt{(A_x - B_x)^2 + (A_y - B_y)^2}$$

$$d_{(A,B)} = \sqrt{(B_{x(i-1)} - B_{x(i)})^2 + (B_{y(i-1)} - B_{y(i)})^2}$$

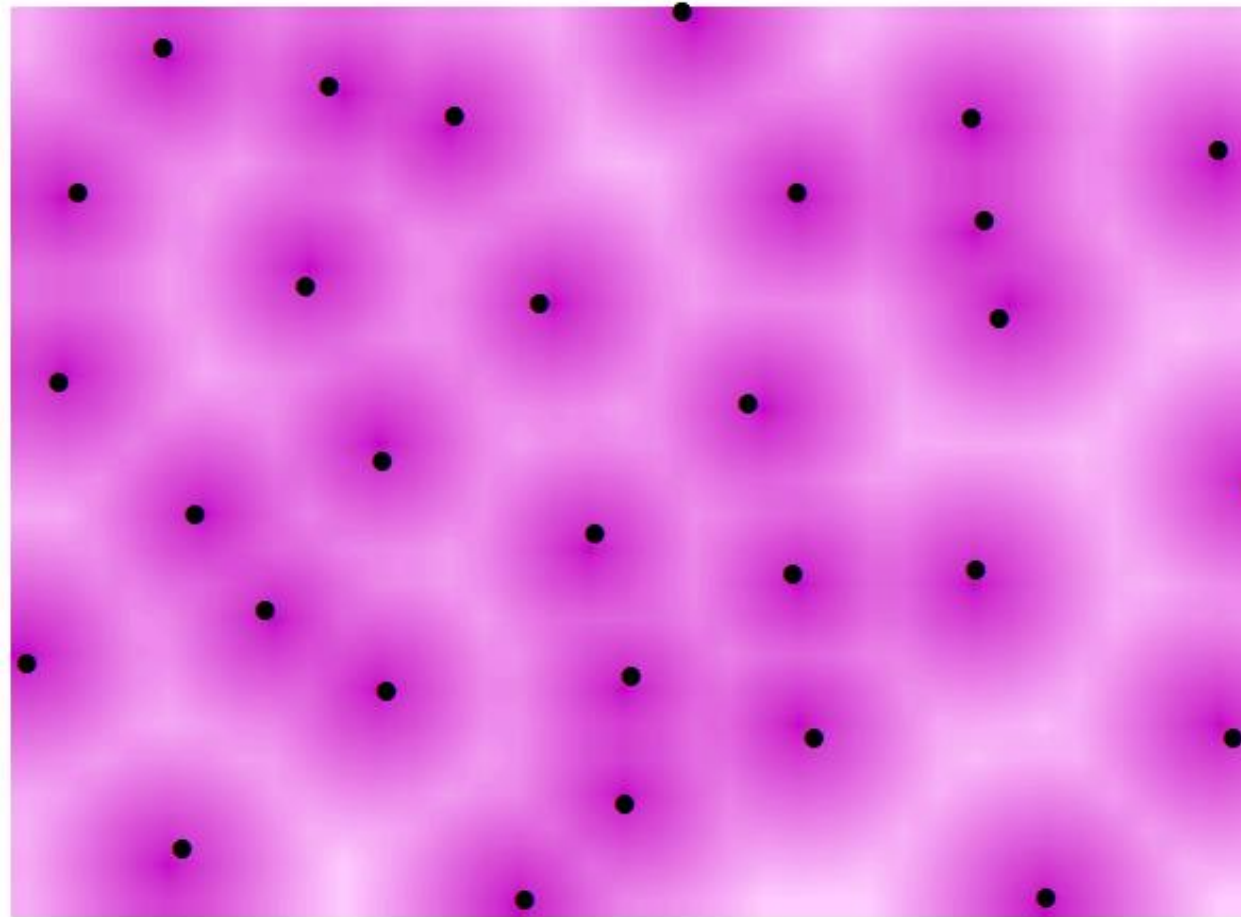


Celková vzdialenosť

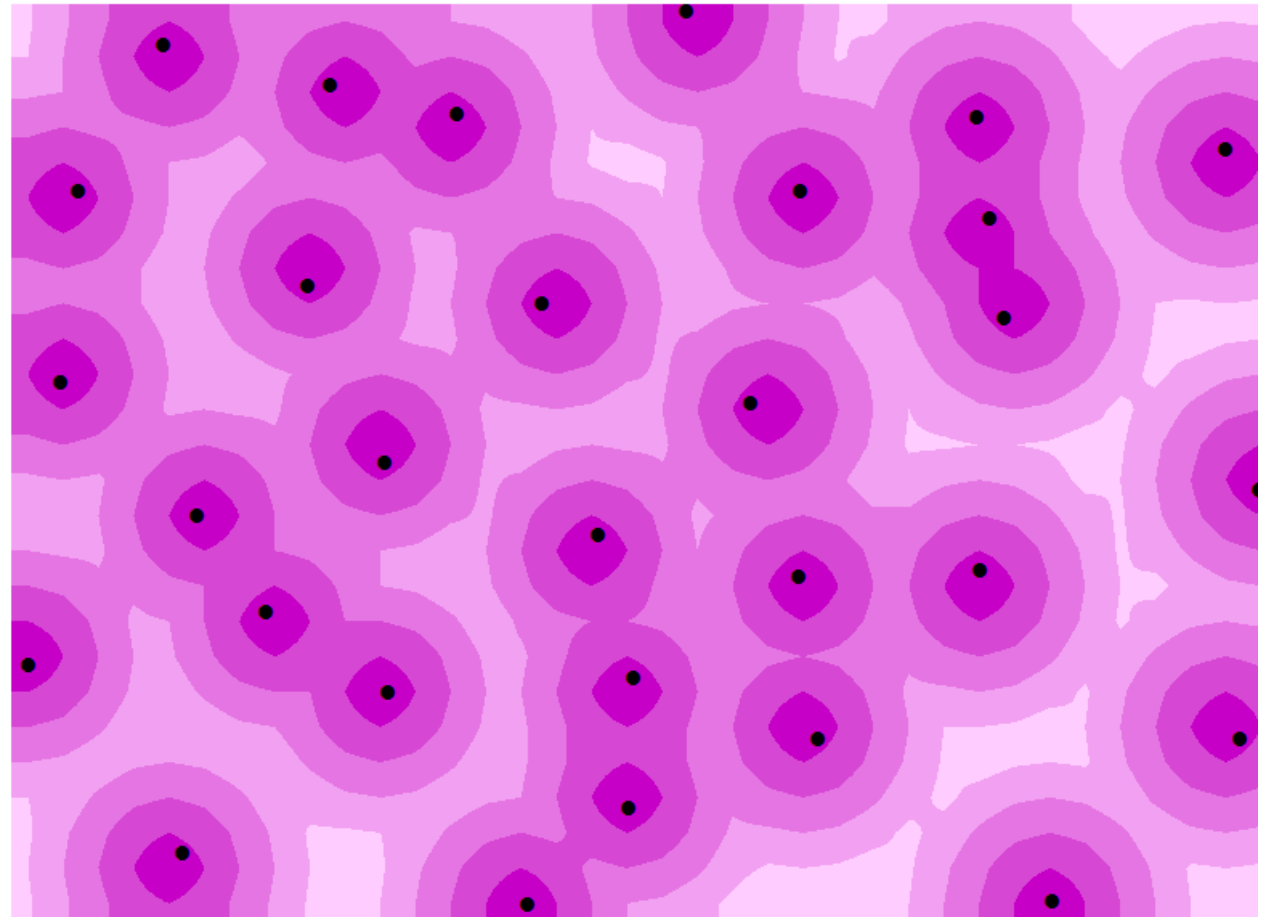
$$d_{(A,B)} = \sum_{i=2}^n \sqrt{(B_{x(i-1)} - B_{x(i)})^2 + (B_{y(i-1)} - B_{y(i)})^2}$$

Analýza vzdialenosti

- Jednou z veľmi často používaných analýz, ktorá využíva určenie vzdialenosti je tvorba vzdialenostných zón.
- Zóny sú počítané pomocou Euklidovej vzdialenosti.



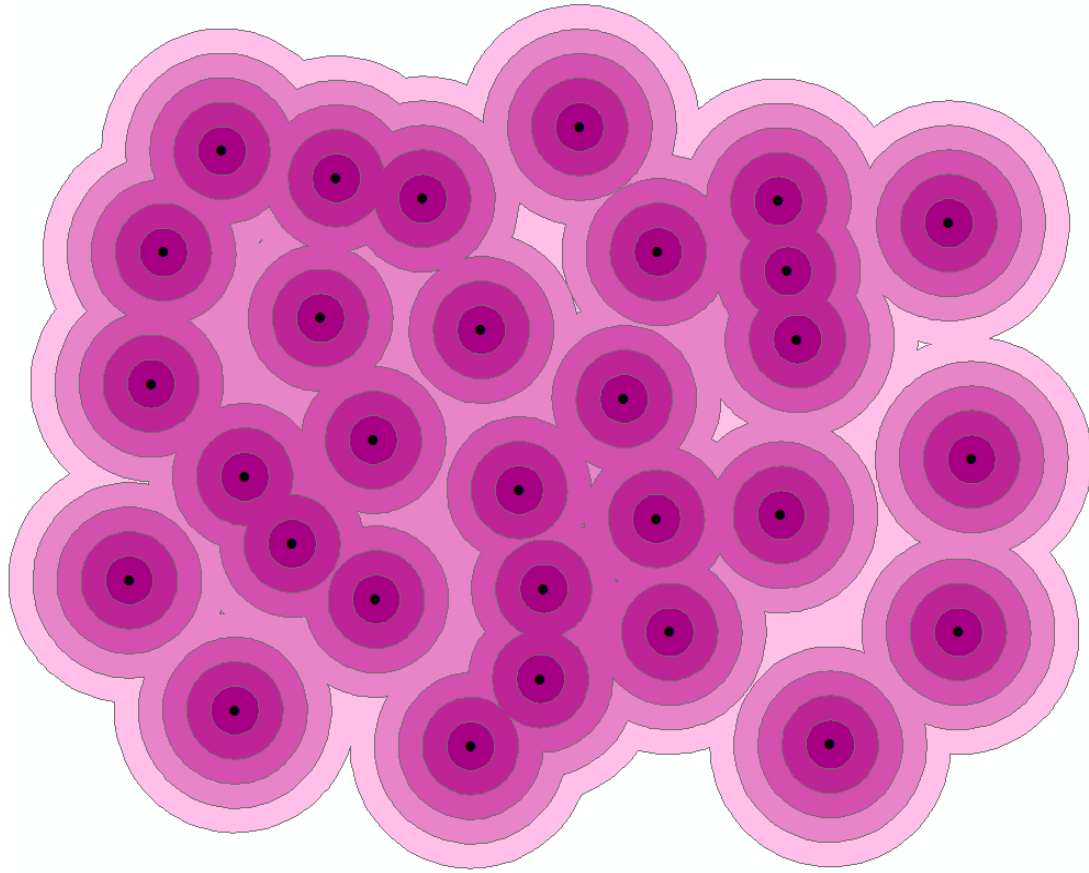
spojitá vizualizácia vzdialenosti



vizualizácia vzdialenostných (nárazníkových) zón po 50 m

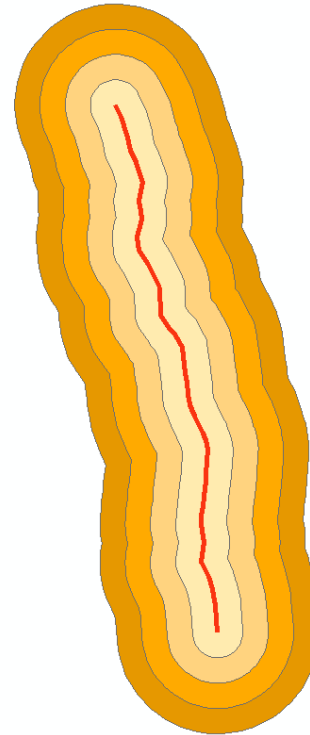
Grafické znázornenie výpočtu vzdialenosti od bodov vstupného bodového poľa (čierne body) pre rastrovú dátovú reprezentáciu

Analýza vzdialenosti

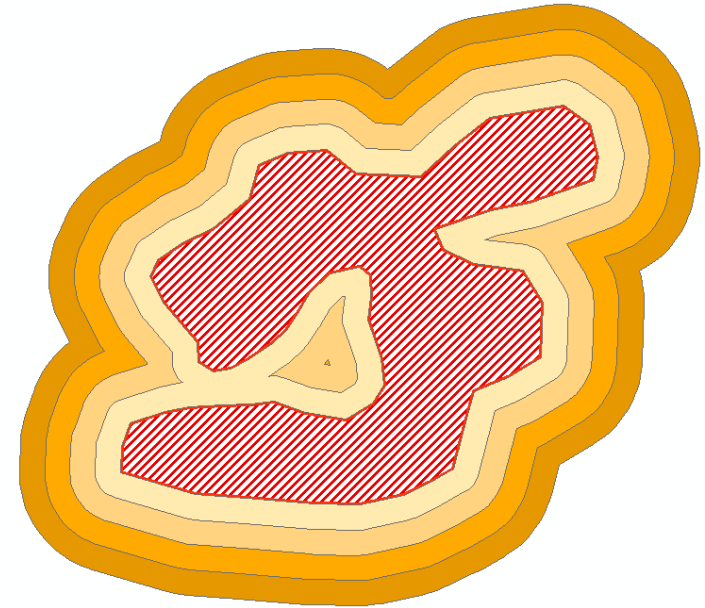


Grafické znázornenie výpočtu vzdialenosti od bodov vstupného bodového poľa (čierne body) pre vektorovú dátovú reprezentáciu

A



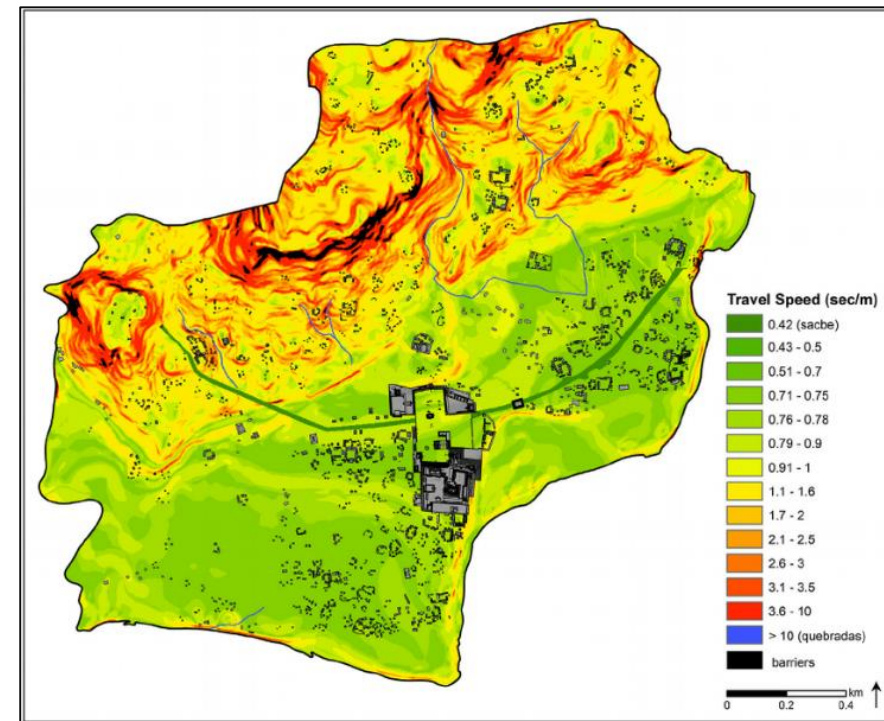
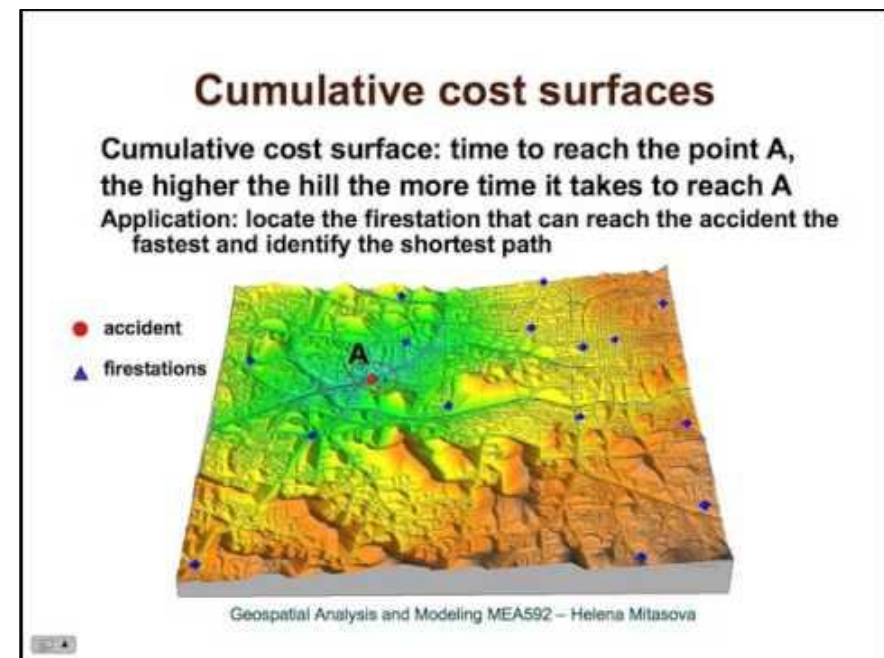
B



Vizualizácia vzdialenostných zón (odtöne oranžovej farby). Šírka jedného intervalu je 50 m od A. línie (červená čiara) a B. polygónu (červená šrafa ohraničená červenou líniou) v 2D priestore.

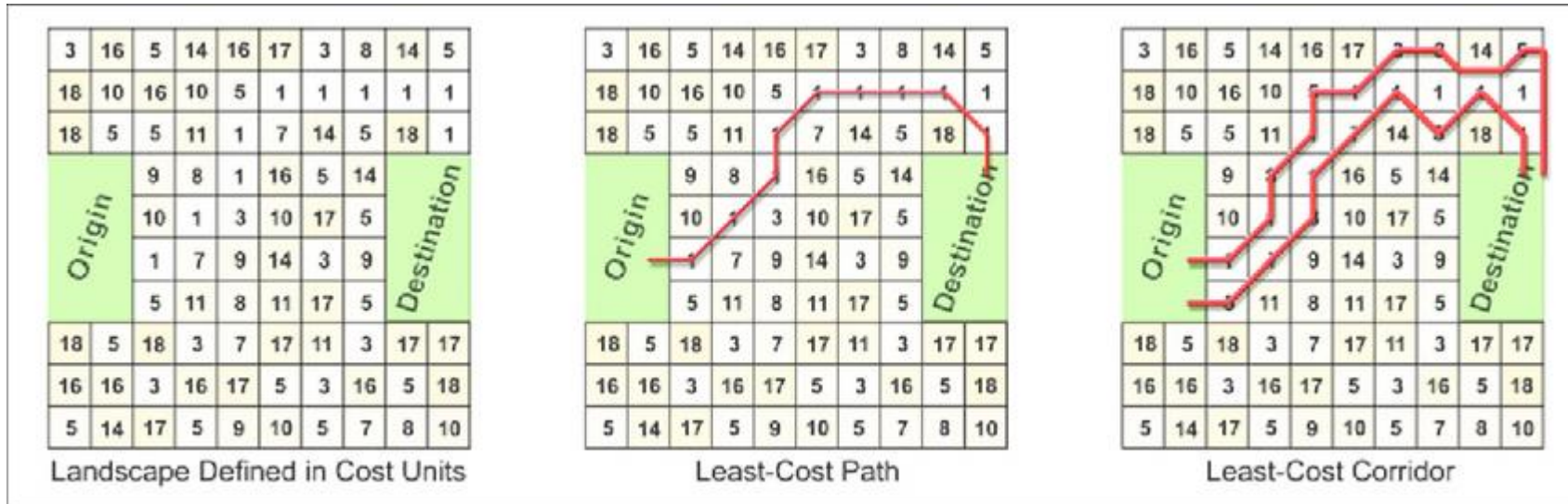
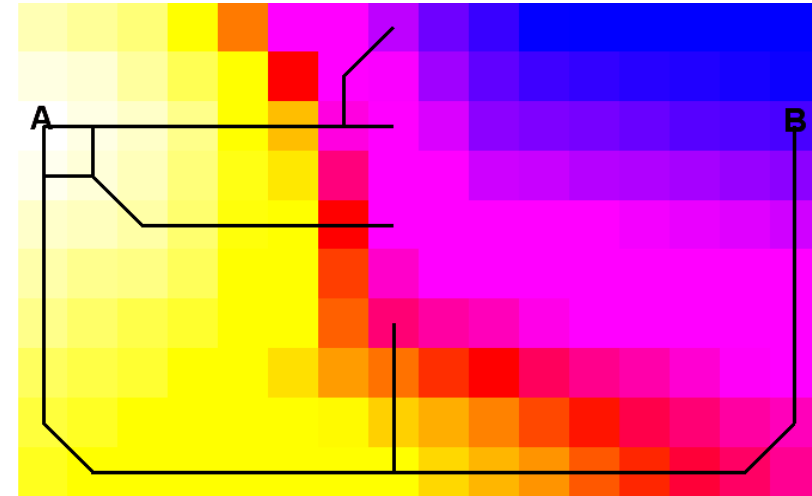
Analýza vzdialenosti

- Vážená vzdialenosť (Cost distance)
- Váha - čas, dôležitosť, všeobecné náklady
- Vážené povrchy a mriežky
- Procedúry
- Kumulatívny vážený povrch – algoritmy šírenia
- Transformácia vzdialenosti – skenovacie algoritmy



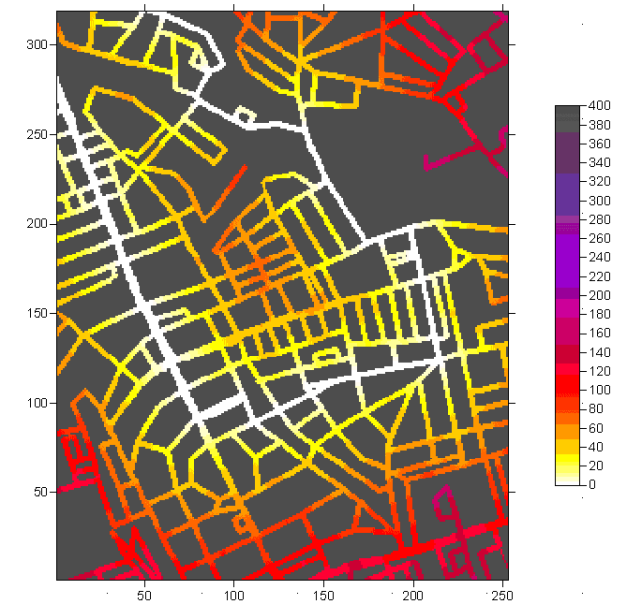
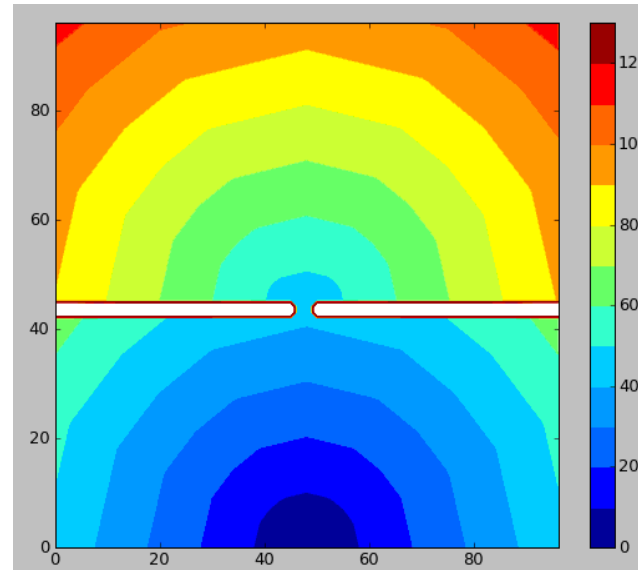
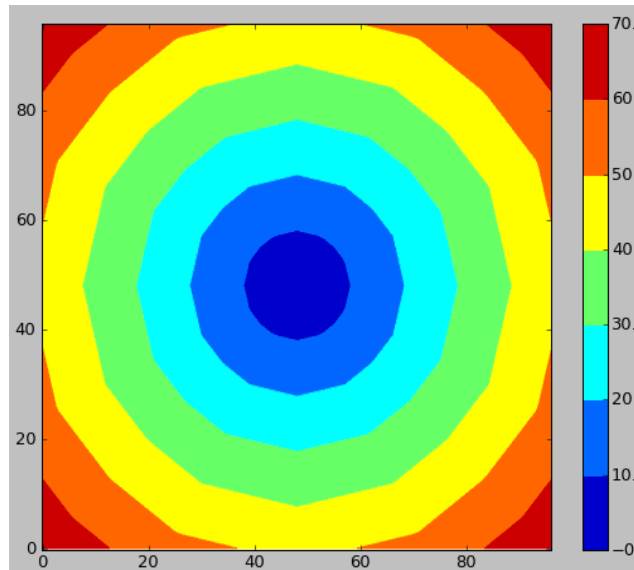
Analýza vzdialenosti

- Príklad kumulatívneho váženého povrchu a výslednej cesty z bodu A do bodu B



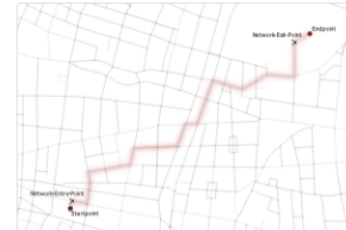
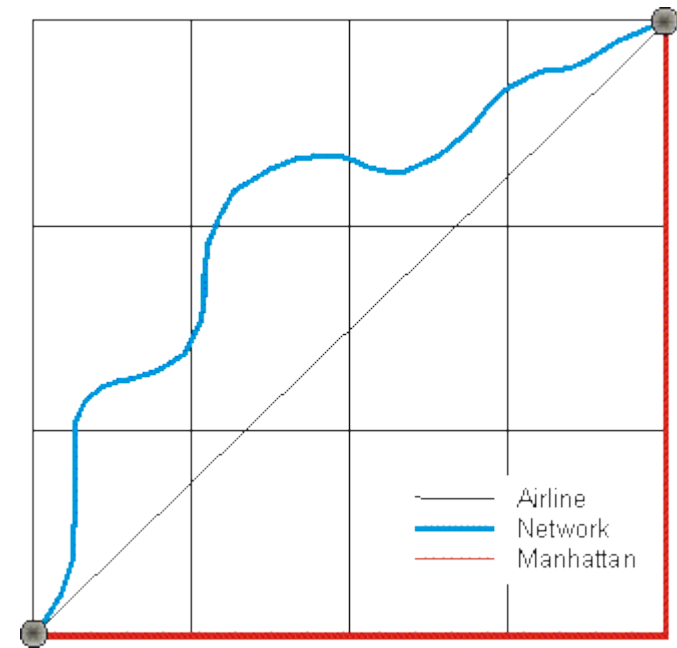
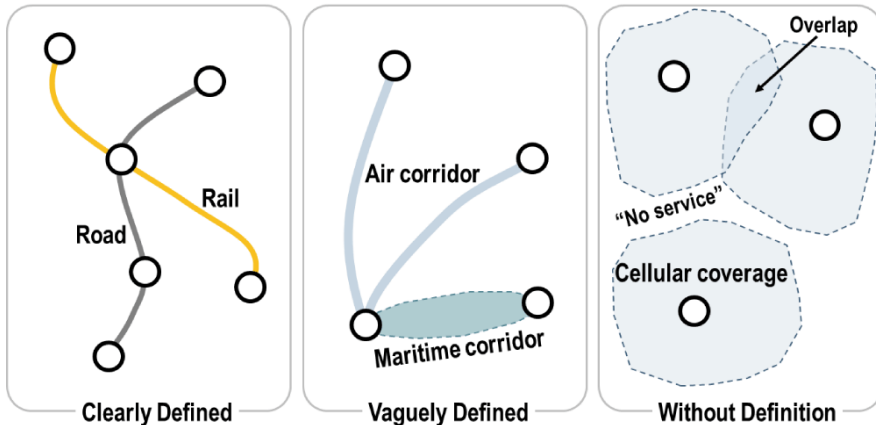
Analýza vzdialenosti

- Transformácia vzdialenosti
- Odvodené z vysokorýchlostného spracovania obrazu
- Poskytuje vylepšené (alebo presné) euklidovské vzdialenosti cez mriežku
- Veľmi jednoduchý a rýchly algoritmus
- Môže ľahko zahrnúť prekážky, sklon a zakrivenie ciest, absolútny vzostup a pokles trás atď.



Analýza vzdialenosti

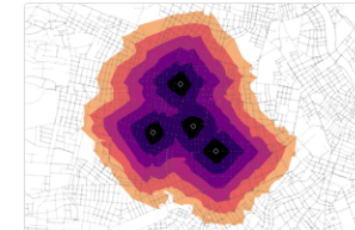
- Sieťová vzdialenosť
 - Vyžaduje topologicky overenú sieť
 - Zvyčajne používa najkratší alebo najmenší čas medzi bodmi
 - Vypočítané pomocou generických kumulatívnych vážených povrchov
 - Často sa ukladajú statické tabuľky (kompletné od/do)
 - Zohľadňuje asymetrické väzby, bariéry, obmedzenia a zákruty
 - Môže obsahovať dopravné modely/dáta



Shortest Path Algorithms

Pathfinding algorithms are the name and the game of network and graph analysis. Using the QGIS3 implementation of the [Dijkstra Algorithm](#), this algorithm computes the *geometry and costs along the shortest path between two points*.

[more](#)



Iso-Area Algorithms

Iso-Areas are essentially the network-based version of buffers. They answer questions like *'How far can i go on a network when travelling 2500 meters from a given Startpoint on a street network?'*. Several approaches to compute Iso-Areas are implemented.

[more](#)



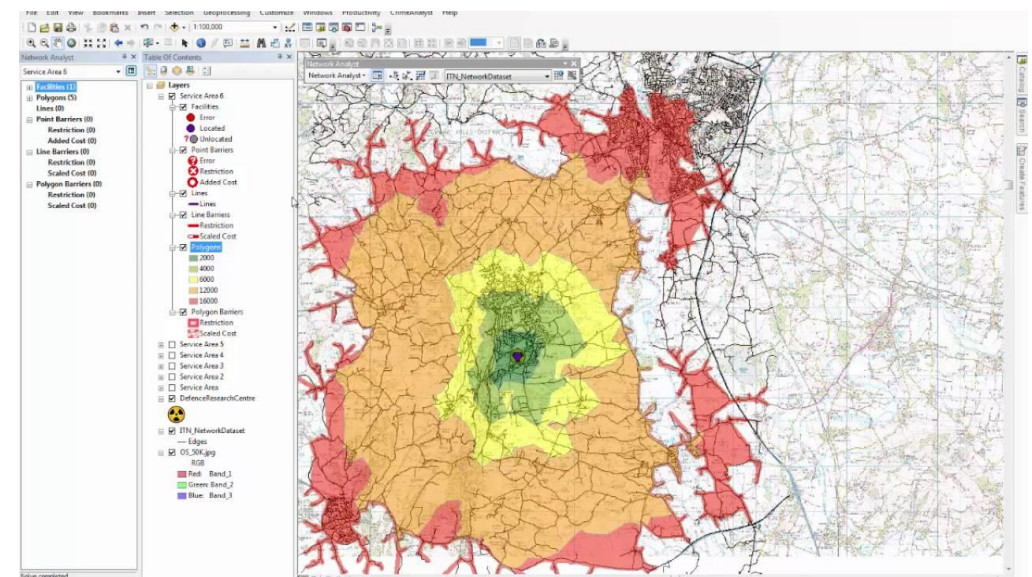
OD-Matrix Algorithms

OD-Matrix algorithms - in case of the QNEAT3 plugin - compute the *travel cost on network (either routed distance or routed time) between all combination of points in a layer*. Travel cost on network without computing the shortest path geometry? These algorithms do the job!

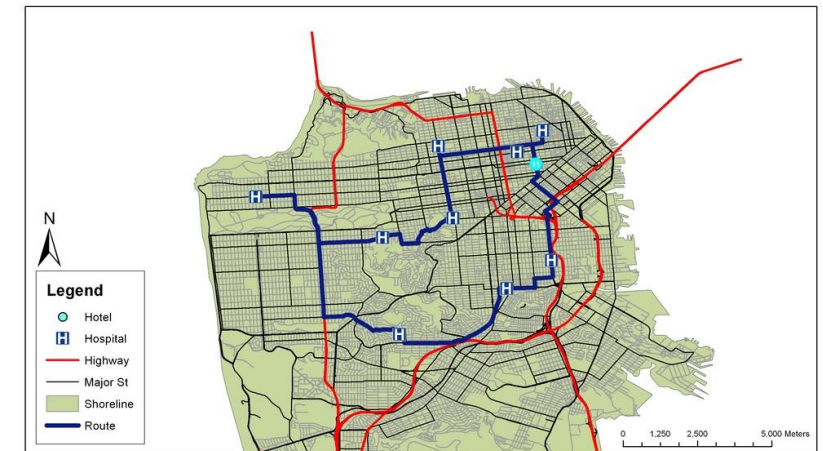
[more](#)

Sieťové analýzy

- Sieť – základné komponenty:
 - Databáza vzájomne prepojených lineárnych tvarov:
 - Línie (Edges, E)
 - Križovatky (Vertices, V)
 - Regióny (Cells, C) – vytvorené rozdelením priestoru líniami
 - Planárne napríklad ulice, všetky objekty v rovnakej výške, uzly na každej križovatke
 - Neplanárne napríklad letecké linky, diaľnice s mostami, elektrické obvody



Fastest Route Around Hospitals in the San Francisco Area



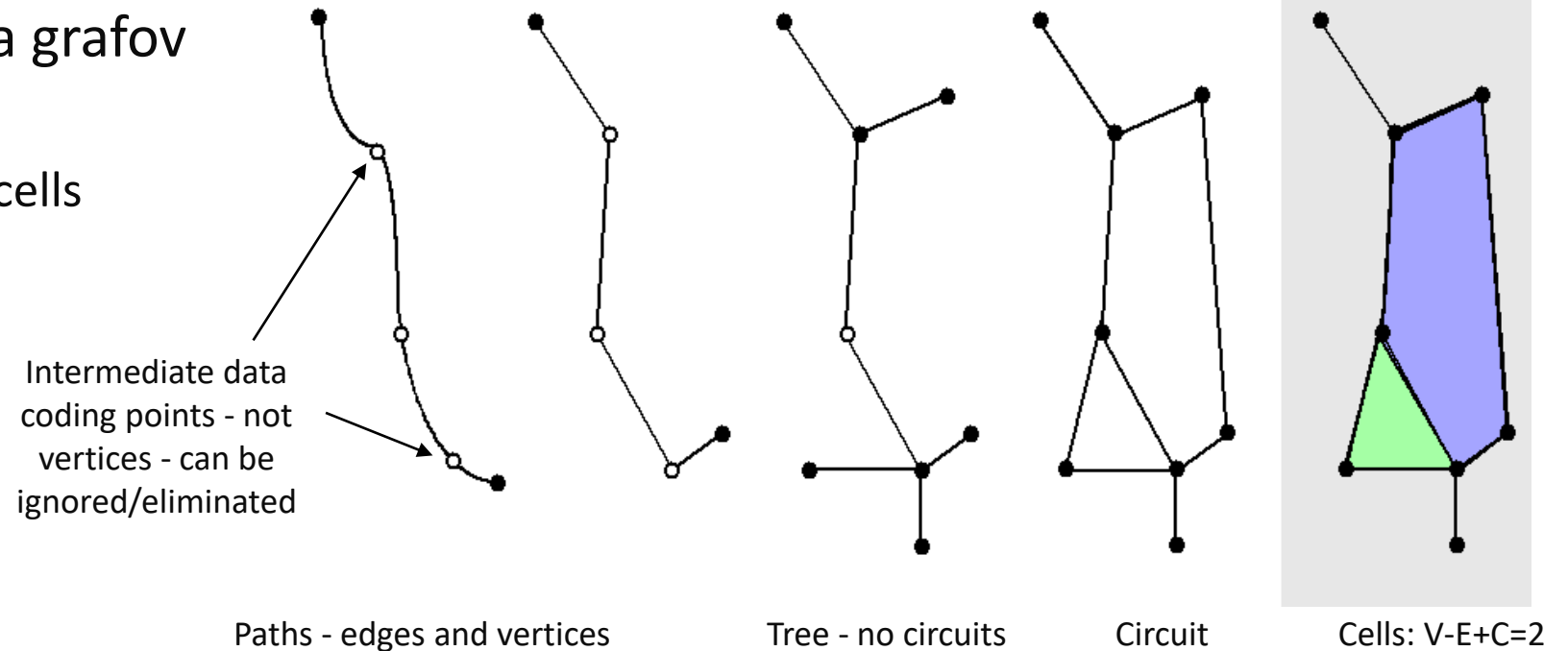
SIETĚOVÉ ANALÝZY

- Riešenia problémov:
 - Najkratšia vzdialenosť (least time/cost) medzi bodmi (SPA)
 - Najkratšia trasa (tree) spojovacia všetky destinácie (MST)
 - Najkratšia trasa prebiehajúca všetkými bodmi a vracajúca sa do štartovacieho bodu (Travelling Salesman Problem, or TSP)
 - Najmenšia váha tvorby siete medzi definovanými bodmi
 - Identifikácia zón so špecifikovaným časom dojazdu/nákladmi
 - Návrh siete s minimálnym časom cesty do špecifikovanej destinácie
 - Obmedzenia napr. kapacita cesty, maximálna povolená vzdialenosť, čas, kapacita vozidla...

Siet'ové analýzy

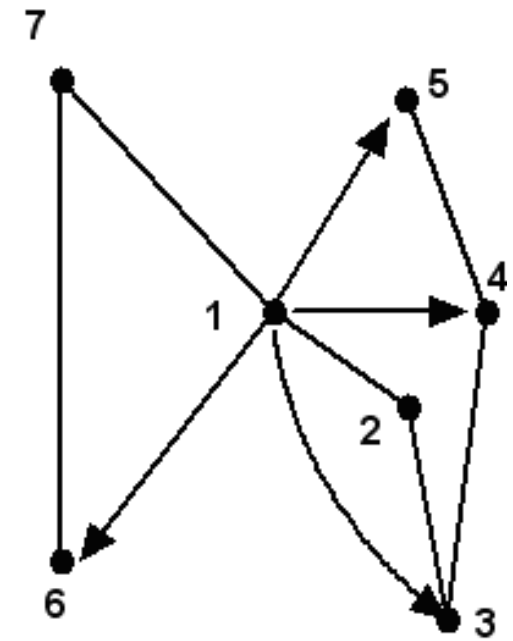
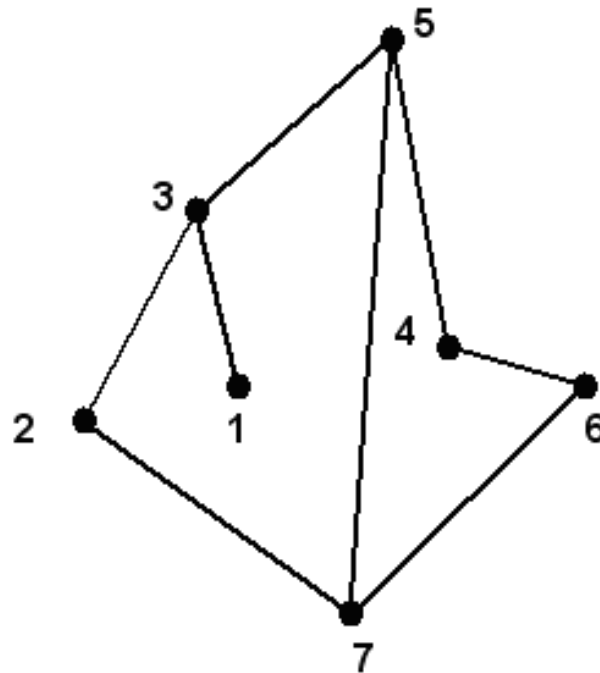
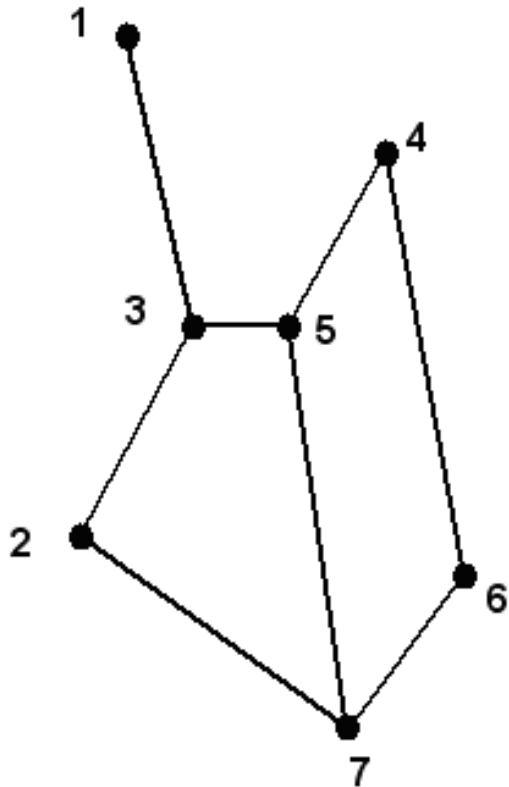
- Spojenia:

- Nariadené (s preddefinovanými smermi – napr. jednosmerky, diaľnice)
- Nenariadené (obojsmerný pohyb)
- Bežná výška, alebo hierarchické (level 1 – n)
- Definované ako grafy/tabuľky
- Spojené alebo skupina grafov
- Hlavné formy:
 - Paths, trees, circuits, cells



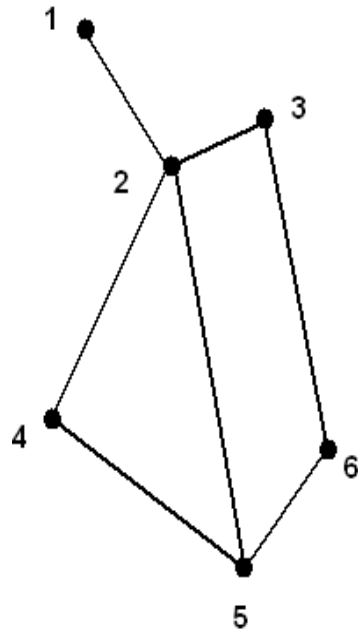
Sieťové analýzy

- Porovnanie topológií:



Sieťové analýzy

- Tabuľkový zápis spojenia uzlov



Z
uzlu
→

		K uzlu					
		1	2	3	4	5	6
1	0	1	0	0	0	0	
2	1	0	1	1	1	0	
3	0	1	0	0	0	1	
4	0	1	0	0	1	0	
5	0	1	0	1	0	1	
6	0	0	1	0	1	0	

Spojenie uzlov: 0= nemá spojenie resp. sám so sebou, 1= má spojenie

Sieťové analýzy

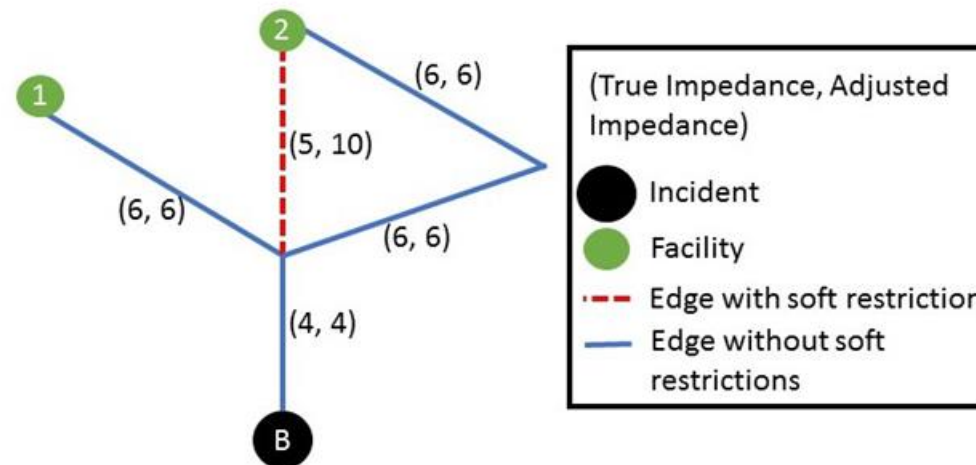
- Základné komponenty pre sieťové analýzy:
 - Smer dopravy
 - Rozsah (dĺžka, čas, cena...)
 - Objem (množstvo dopravných prostriedkov z uzla do uzla)
 - Váhy/Požiadavky na uzloch (križovatky, mýto...)

Zdroj dát

- Cestná sieť
 - Zložená z množiny bodov v rovine
 - Návrhy rozšírenia a aktualizácia siete
- Sieťové analýzy
 - Existujúca množina vrcholov, hrán a súvisiacich údajov o atribútoch
 - Preddefinovaná alebo uložená topológia
 - Problémy s reprezentáciou údajov

Sieťové analýzy

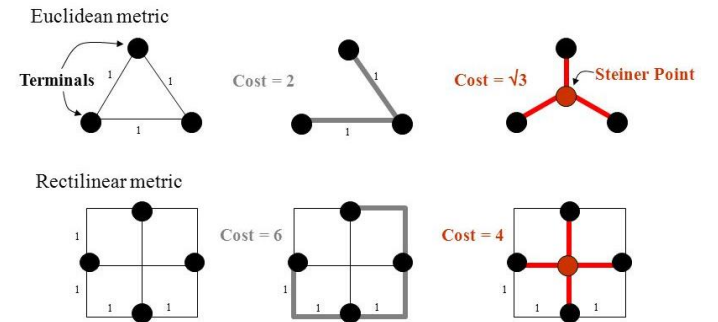
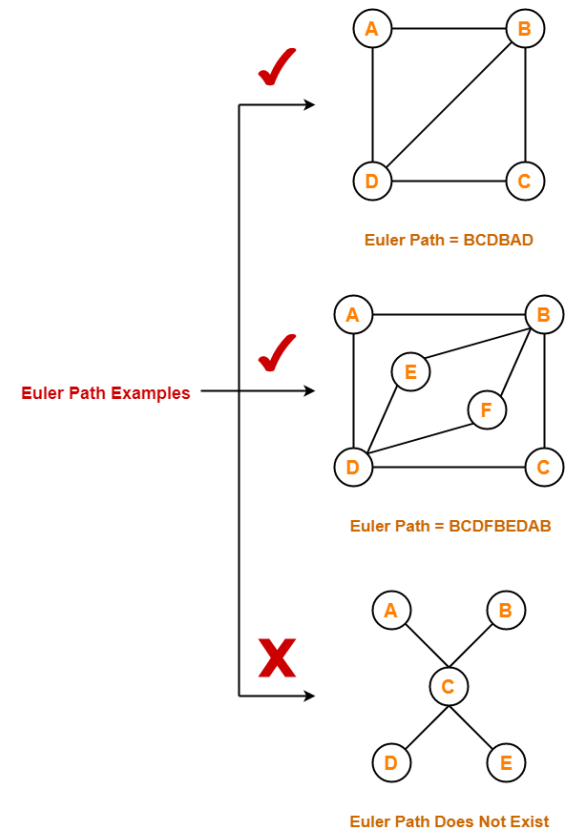
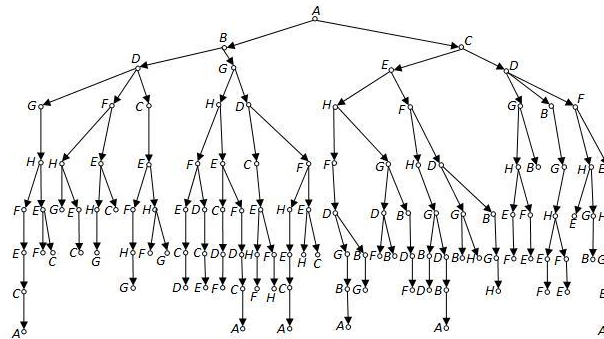
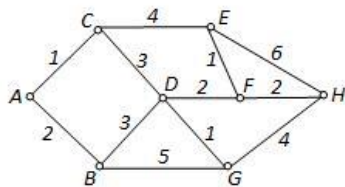
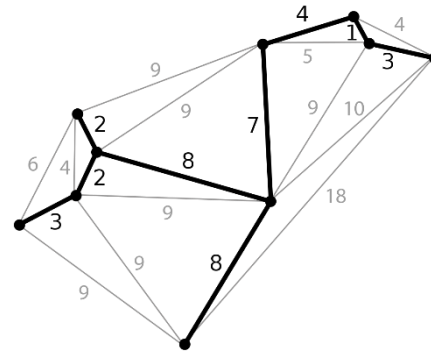
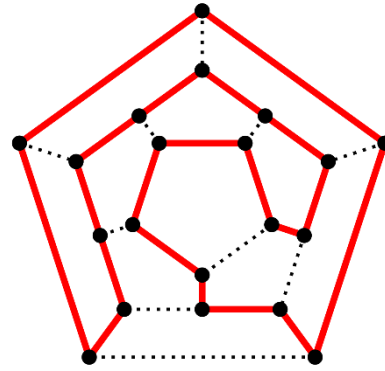
- Siete - ukážkové atribúty:
 - atribúty odbočiek na križovatkách: povolené / nepovolené, tresty za odbočky, povolenia odbočky
 - definícia váh podľa smeru
 - definícia jednosmerných hrán a ich smer
 - špecifikácia akýchkoľvek trvalých alebo dočasných prekážok
 - úrovne obmedzenia dopytu a kapacity (založené na hrane/vrchole)



Siet'ové analýzy

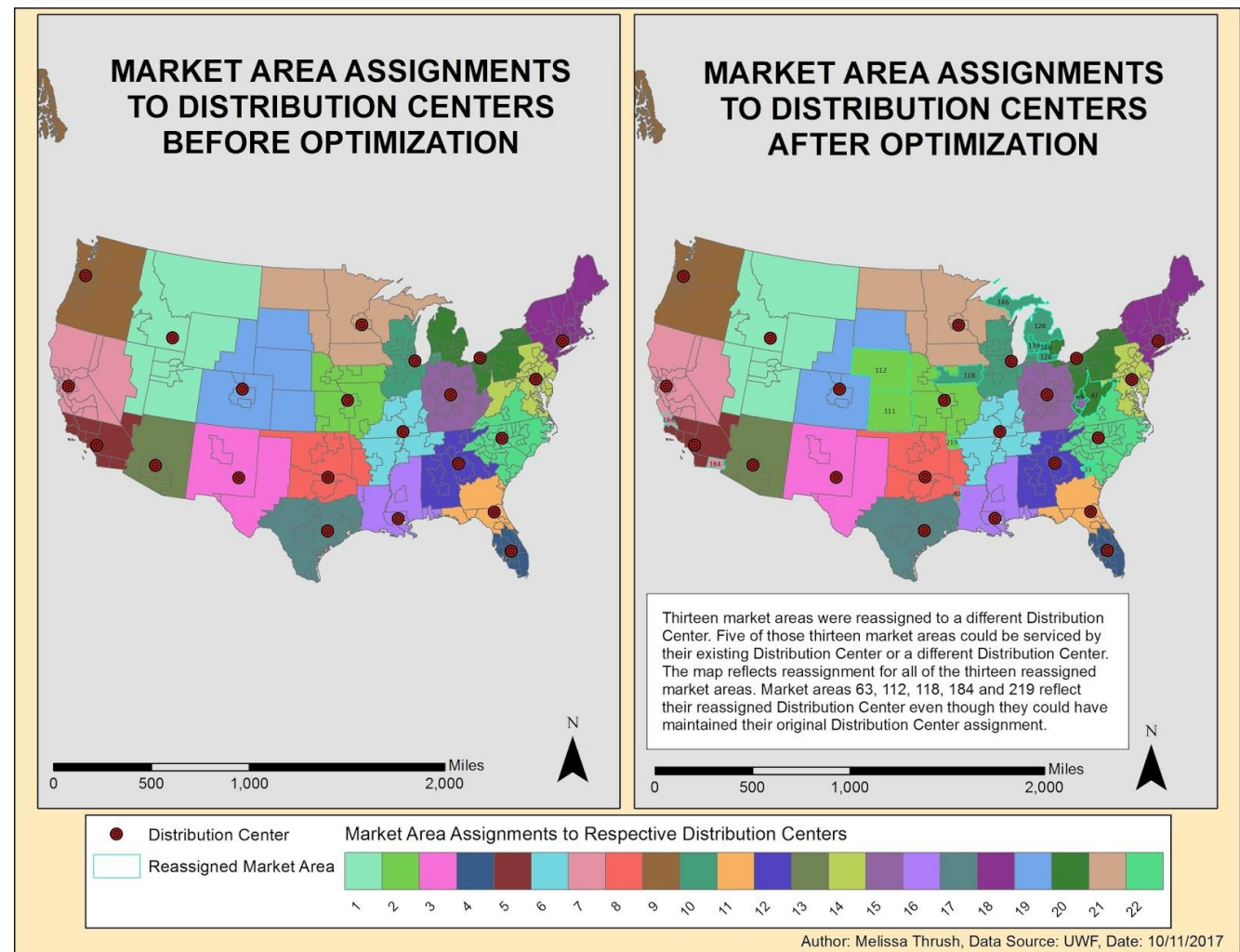
- Prístupy:

- Hamiltonian circuit (HC) – NP-complete
- Eulerian circuit (EC)
- Shortest path (SP) – P (linear--)
- Spanning tree (ST)
- Minimal spanning tree (MST) – P (linear--)
- Steiner MST – NP-complete
- Steiner tree – NP-complete
- Travelling salesman problem (TSP) – NP-complete



Sieťové analýzy

- Kľúčové problémy
 - Problémy so smerovaním vozidla
 - Problémy s prepravou
 - Problémy s prekládkou
 - Problémy so smerovaním oblúka
 - Umiestnenie zariadenia (skladu/stanice) v sieti:
 - p -median/ p -centre/coverage



Siet'ové analýzy

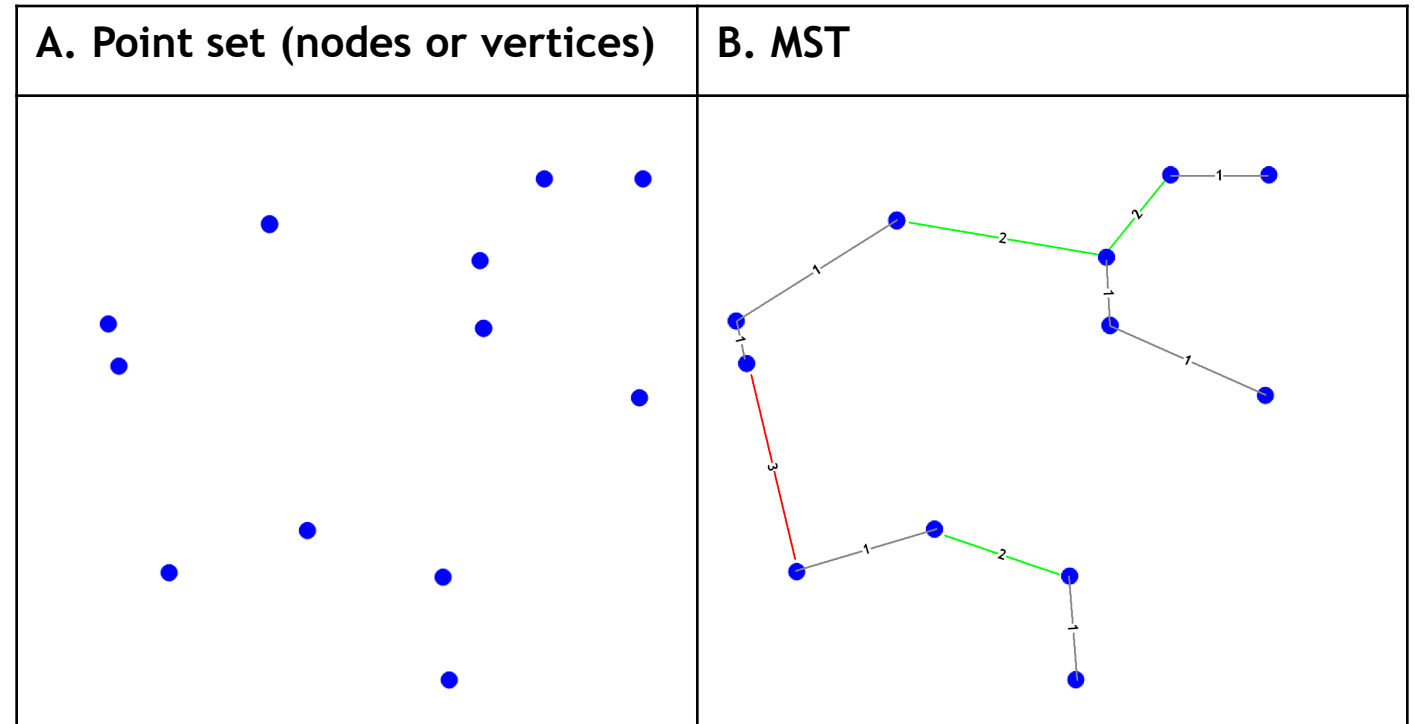
- Problematické parametre:
 - Objektívna funkcia (dĺžka, váha, čas...)
 - Obmedzenia na ceste (priame alebo prostredníctvom určených uzlov)
 - Vstupná geometria (prekážok/incidentov)
 - Dimenzia problému (2D, planárna)
 - Typ pohyblivého objektu (jednoduchý, obmedzenia)
 - Dotazy s jedným záberom a opakovaným režimom
 - Statické verzus dynamické prostredie
 - Presné vs. približné algoritmy
 - Známe vs. neznáme mapy

Sieťové analýzy

- Príklad funkcií logistického softvéru :
 - vedenie vozidla s prihliadnutím na jednosmerné ulice
 - smerovanie cesty s prihliadnutím na obmedzené križovatky
 - meniace sa rýchlosti dopravy podľa typu cesty a dennej doby
 - trasovanie vozidiel s cieľom vyhnúť sa spoplatneným cestám
 - smerovanie dodávok s prihliadnutím na obmedzenia prístupu zákazníkov podľa dennej doby
 - ovládače smerovania nočných/víkendových nákladných automobilov
 - obmedzenia hmotnosti a výšky
 - náklady na smerovanie vozidla na km alebo hodinu
 - náklady na vedenie vozidla spojené s hmotnosťou/stúpaním

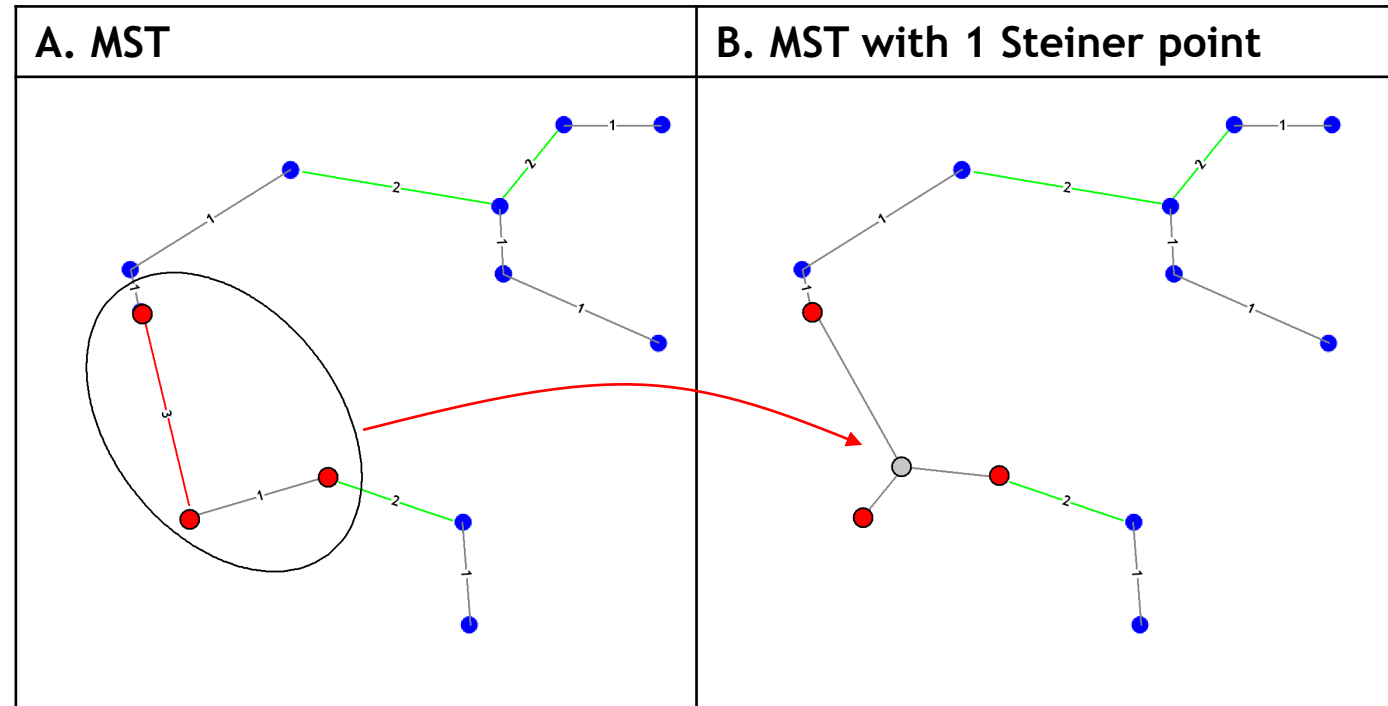
Sieťové analýzy

- Minimum spanning tree
 - pripojí každý bod k svojmu najbližšiemu susedovi - zvyčajne to bude mať za následok viacero neprepojených podsietí
 - pripojenie každej podsiete k jej najbližšej susednej podsieti
 - opakovanie kroku 2, až kým nie je každá podsieť prepojená



Siet'ové analýzy

- Steiner tree (unweighted, Euclidean)

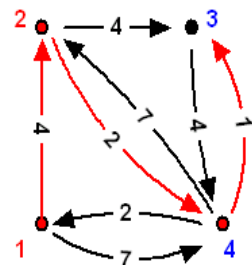
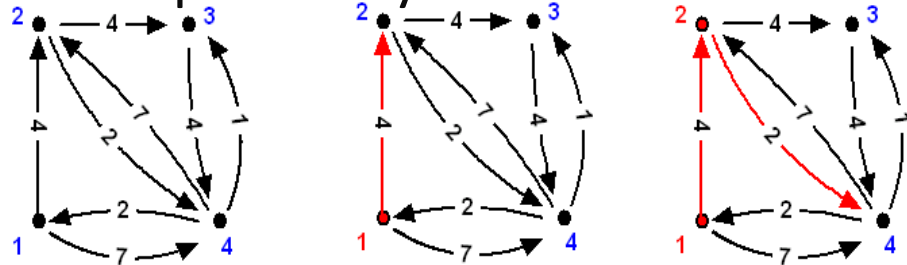


Sieťové analýzy

- Shortest paths

- Vstup: existujúca sieť, zdrojové vrcholy a cieľové vrcholy (t) alebo vrcholy
- Výstup: najkratšia cesta - dĺžka, $d(t)$ a zoznam vrcholov; súbor najkratších ciest (1., 2.,... najkratšia); zdroj do všetkých vrcholov (shortest path tree)
- Riešenie pomocou algoritmu systematického vyhľadávania (jednotlivé cesty v takmer lineárnom čase)

- Veľké problémy rieši heuristika A *



Dantzig Shortest path algorithm

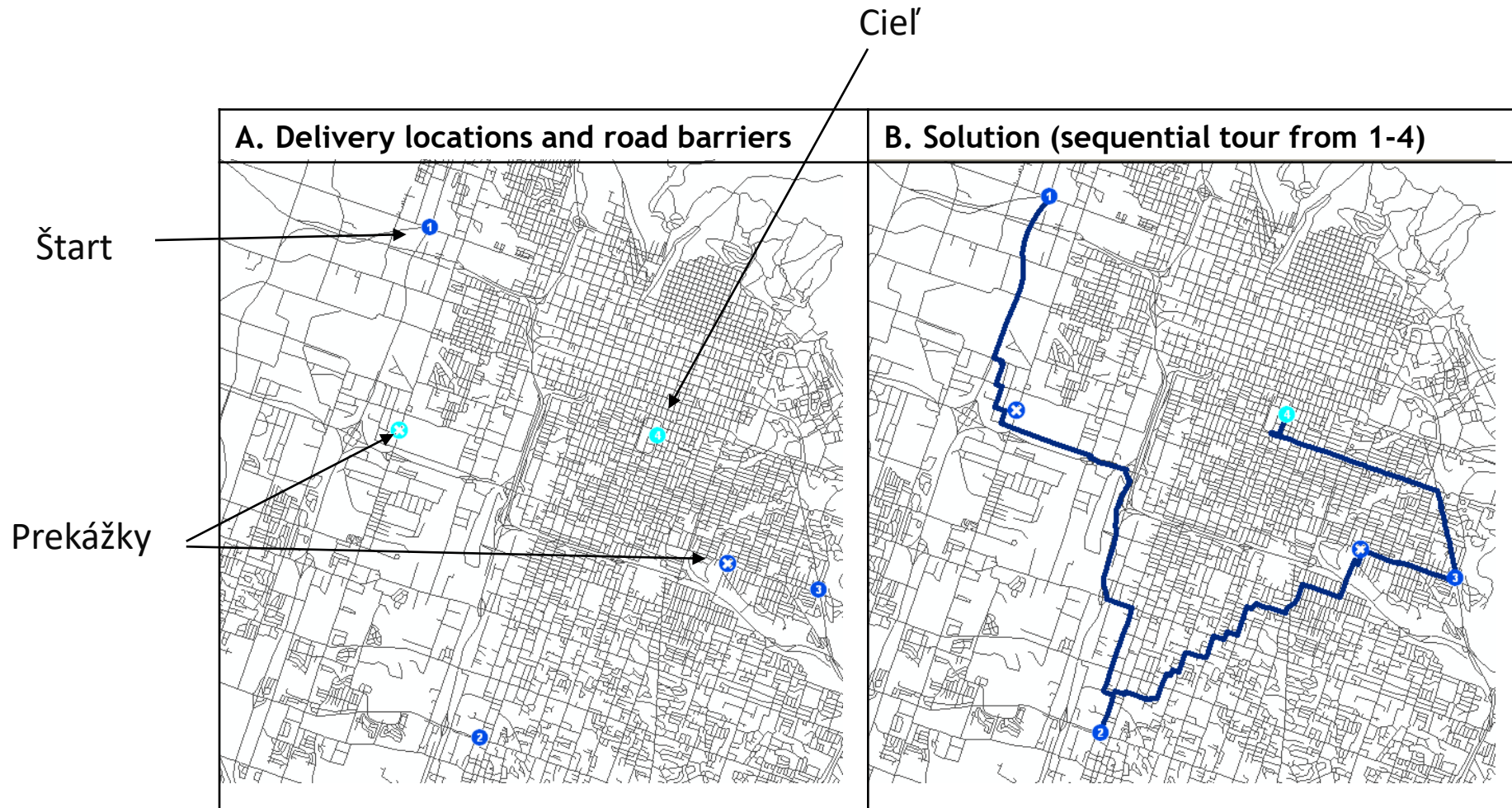
Krok 1: identifikovanie najkratšej (najmenšej vzdialenosti / náklady / čas) spojenie z vrcholu 1 do vrcholu 2 (náklady = 4).

Krok 2: identifikuje najkratší (najnižší náklad / čas) z vrcholu 1 alebo z vrcholu 2 a vzdialenosť 1 - to je vrchol 4 z 2 (cena = 6).

Krok 3: identifikuje najkratší (najnižší náklad / čas) do posledného vrcholu 3 (náklady = 7)

Stop: Všetky cieľové vrcholy dosiahnuté

Sieťové analýzy

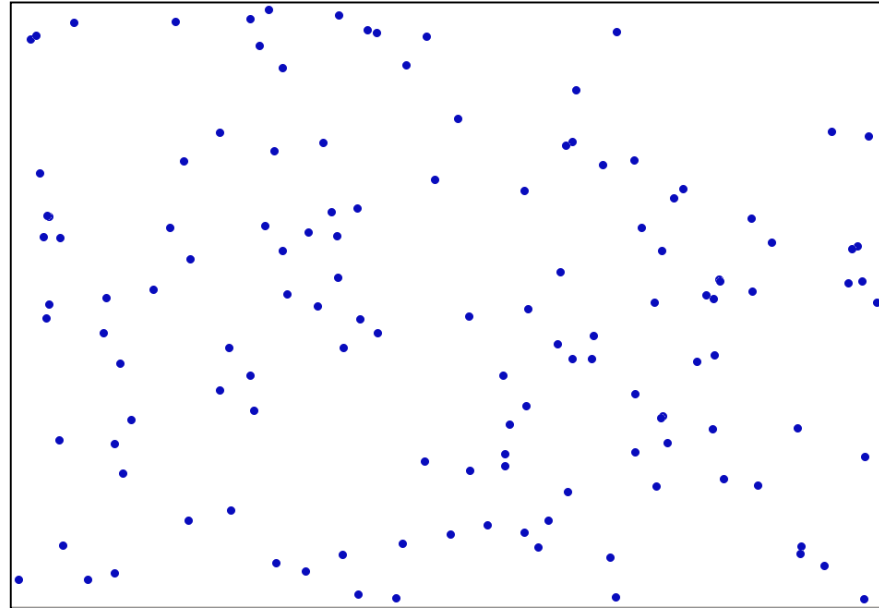


Sieťové analýzy

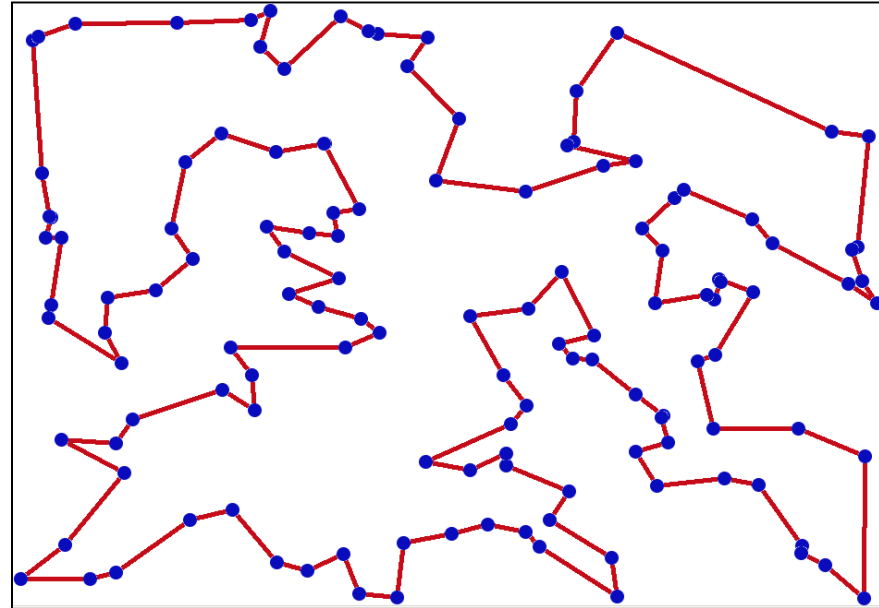
- Travelling salesman problems (TSPs)
 - Základný problém: čo je najkratší kompletný obvod, vzhľadom na umiestnenie N lokácií v rovine
 - Veľmi ťažké vyriešiť pre vysokú hodnotu N (NP-complete)
 - Problémy s malými rozmermi možno vyriešiť presne, napr. systematickým stromovým prehľadávaním, LP + rezaním rovín
 - Väčšie problémy možno „vyriešiť“ pomocou heuristických metód, napr. Genetické algoritmy, metódy krížovej entropie, simulované žíhanie
 - Aplikácie: predajcovia navštevujúci zákazníkov; obsluha obchodných priestorov; zásobovanie maloobchodných predajní; hliadkovanie bezpečnostných služieb; analýza DNA sekvencií ...

Siet'ové analýzy

A. Source vertices (130) – from TSPLib

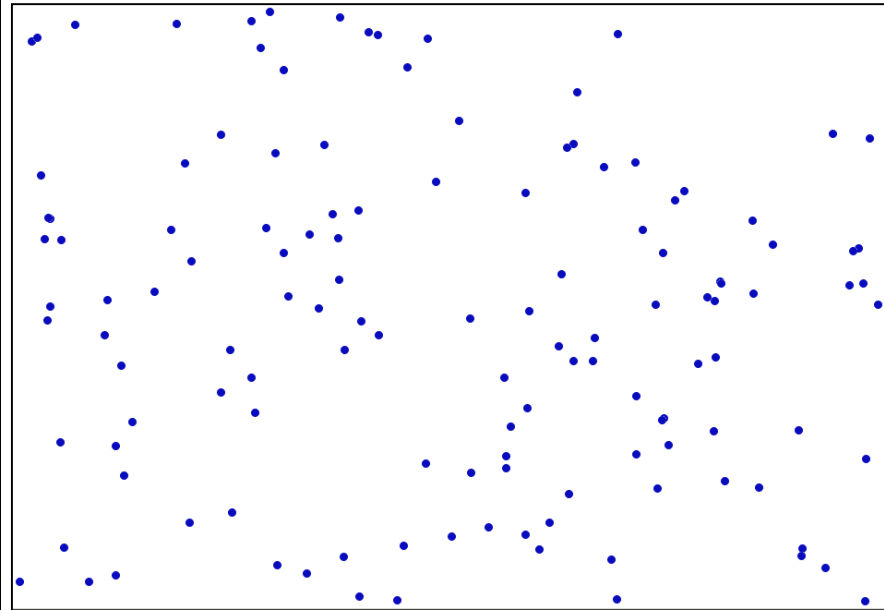


B. Exact TSP solution (Concorde)

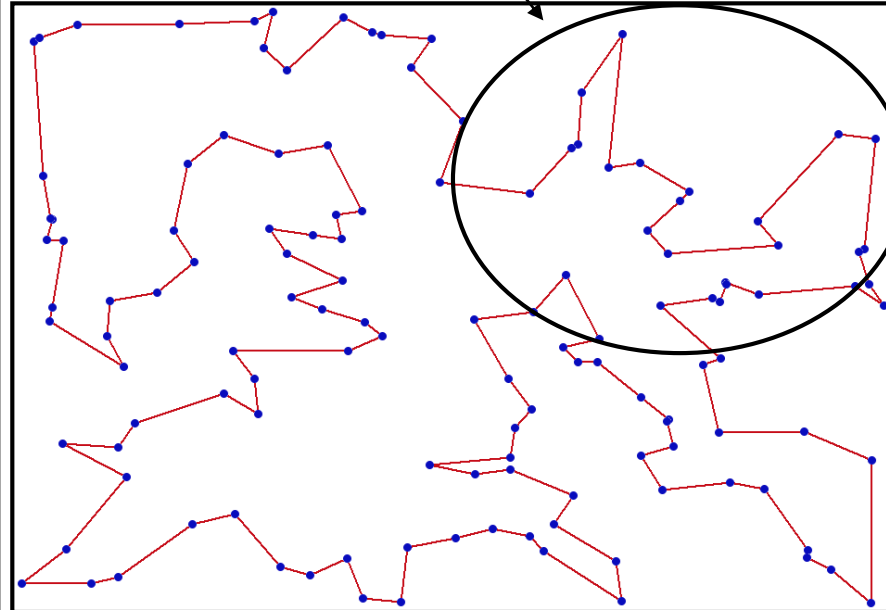


Sieťové analýzy

A. Source vertices (130) – from TSPLib



B. Heuristic TSP solution



Sieťové analýzy

- Časové pásma dojazdu

Zóny odvodené od siete v rovnakom čase dojazdu od umiestneného bodu

Vytvorené ako vrstva mnohouholníka

Na výpočet odhadovaného dopytu sa môžu používať techniky mapovej algebry

Môžu zahŕňať rozdielne rýchlosti pre typ trasy a terénu

