



3. Paikkatietoanalyysit

Luvun 3 sisällys:

3. Paikkatietoanalyysit

Uusia termejä?
[Sanasto](#) auttaa!

3.1 Johdanto

Paikkatietoanalyysiin liittyvää hyödyllistä luettavaa:

[3.2 Paikkatietoanalyysin perusteet](#)

[3.3 Vektorianalyysi](#)

P.A. Burrough 1991. Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assessment.

[3.3.1 Vektorianalyysin perusmenetelmät](#)

[3.3.2 Topologia](#)

Monographs on Soil and Resources Survey no 12. Oxford Science Publications

[3.3.3 Kohteensisäinen topologia](#)

[3.3.4 Kohteidenvälinen topologia](#)

[3.3.5 Leikkausanalyysi](#)

[3.3.6 Puskurianalyysi](#)

[3.4 Tietokantahaut](#)

[3.4.1 SQL](#)

[3.4.2 Spatiaalinen SQL](#)

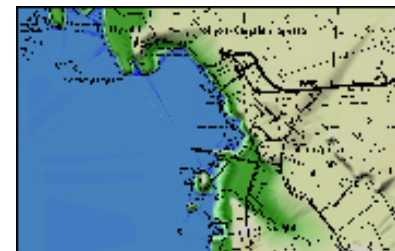
3.1 Johdanto

Paikkatietojärjestelmien avulla voidaan, paitsi varastoida ja visualisoida, myös tuottaa uutta paikkatietoa. Tämä voidaan tehdä analysoimalla vanhaa tietoa tai yhdistelemällä eri lähteistä saatuja paikkatietoaineistoja erilaisten analyysimenetelmien avulla. Uutta tietoa voidaan tuottaa esimerkiksi tutkimuksen, suunnittelun tai päätöksenteon tarpeisiin.

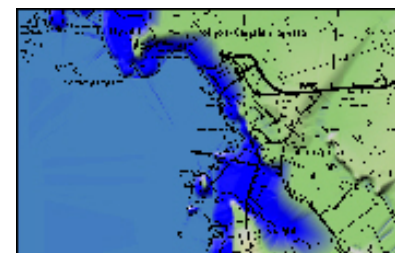
Paikkatietojärjestelmälle voidaan tehdä suuri määrä erilaisia kysymyksiä, ja riippuu järjestelmän tietosisällöstä sekä sen ominaisuuksista, mihin noista kysymyksistä voidaan vastata. Johonkin tiettyyn tarkoitukseen räätälöityjen käyttöliittymien analyysimahdollisuudet ovat yleensä rajalliset, kun taas yleiskäyttöön tarkoitetuissa GIS-ohjelmistoissa ominaisuuksia on enemmän. Usein DesktopGIS-ohjelmistoja laajennetaan tarpeen mukaan erilaisilla analyysipaketeilla.

Esimerkkejä erilaisista kysymyksistä ovat mm. (Burrough 1991):

- Missä objekti A sijaitsee?
- Missä A sijaitsee suhteessa B:hen?
- Kuinka monta tapausta A sijaitsee etäisyyden D sisällä B:stä?
- Mikä on funktion Z arvo pisteessä X?
- Kuinka suuri on B (ala, kehä, sisältymien määrä)?
- Mitä tuloksia syntyy, kun kahta tai useampia tietotasoa tutkitaan päällekkäin?
- Mikä on nopein, edullisin tai vähävastuksisin reitti pisteestä A pisteeseen B?
- Mitä on sijainnissa (X1, Y1), (X2,Y2) jne?
- Luokittele uudelleen tietyt ehdot täyttävät kohteet



Paikkatietoanalyysityökalujen avulla voidaan tehdä malli ja visualisointi esimerkiksi tilanteesta, jossa järven vedenpinta nousisi normaalitilanteesta (yläkuva) 2 metriä (alakuva)



3.5 Interpolointi

3.5.1 Johdanto

3.5.2 Deterministiset interpolointimenetelmät

3.5.3 Geostatistinen interpolointi (Kriging)

3.6 Verkkoanalyysi

3.6.1 Johdanto

3.6.2 Dynaaminen segmentointi

3.6.3 Verkkotietomalli

3.6.4 Geokoodaus verkkojen avulla

3.6.5 Kuljetusongelmat

3.6.6 Ruuhkautuvat verkot

3.6.7 Sijaintiongelmat verkoissa

***Lataa [tulostuskelpoinen
PDF-versio](#) tästä luvusta
koneellesi!***

- Minkälaiset kohteet rajoittuvat tietyt ehdot täyttäviin kohteisiin?
- Simuloi prosessin P vaikutus tiettyyn lähtötilanteeseen S aikana T.

Paikkatiedon analysoijaa (ja analyysin käyttäjää!) kiinnostaa yleensä lopputulos ja sen luotettavuus. Eri analyysitekniikoita sovellettaessa joudutaan usein konversioihin vektoriaineistoista rastereihin ja toisinpäin. On myös tavallista, että aineistoja joudutaan muuntamaan formaatista ja jopa koordinaatistosta toiseen. On tärkeää, että analyysin tekijä pitää mielessään virheiden mahdollisuuden, ja osaa arvioida lopputuloksen luotettavuuden niin lähtöaineiston laadun, analyysimenetelmien luotettavuuden kuin sijaintitarkkuudenkin osalta.

Tässä luvussa keskitytään lähinnä vektoripohjaisten analyysimenetelmien käyttöön. Toisaalta useita menetelmiä on mahdollista lähestyä niin vektori- kuin rasteriesityksenkin kautta.

- [Paikkatietoanalyysin perusteet](#)
- [Takaisin etusivulle](#)

*Tämä sivu ja koko
materiaali on pahasti
kesken. Kommentteja voit
lähettää kuitenkin
osoitteella [markus.
huhtinen@ncp.fi](mailto:markus.huhtinen@ncp.fi). Olen
kiitollinen
parannusehdotuksista!.*



Lataa
[tulostuskelpoinen PDF-versio](#) tästä luvusta
koneellesi.

Diskreetti ominaisuusmuutos tarkoittaa karttaobjektin ominaisuuden selvärajaista muutosta toiseksi. Esimerkiksi tilan omistaja vaihtuu tilanrajalla, kunnan nimi kunnan rajalla jne.

3.2 Paikkatietoanalyysin perusteet

3.2 Analyysin perusteet

Karttatasojen analyysi on **kartta-algebraa**, jossa aritmeettisten operaatioiden lisäksi on yleensä määritelty **spatiaalisia toimintoja**. Nämä voidaan jakaa neljään eri tyyppiin: paikallisiin eli pistefunktioihin (local), paikallisympäristöä käsitteleviin toimintoihin (focal), aluefunktioihin (zonal) ja koko tietotasoa koskeviin toimintoihin (global). Koko tietotasoa koskevat esimerkiksi etäisyysanalyysi pisteiden välillä, verkkoanalyysi tai pisteiden välille kertymäkustannuspinta. (Tokola ja Kallioniemi 2003)

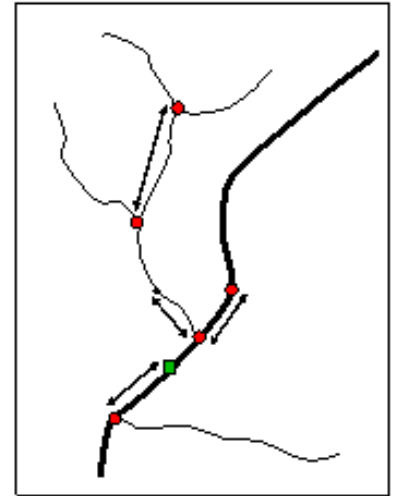
Geometrisen tiedon esitys on valittava sovelluskohtaisesti. Vaihtoehtoina ovat **vektoriesitys**, **rasteriesitys** tai **dynaamiseen segmentointiin** perustuvat tavat. Vektorimuoto sopii erityisesti diskreettien ominaisuusmuutosten ja tarkkoja rajalinjoja sisältävien kohteiden kuvaukseen. Rastereilla on helppo kuvata pieniäkin muutoksen vaihteluja ja jatkuvia ominaisuuspintoja. Dynaaminen segmentointi soveltuu erityisesti nauhamaisten kohteiden ja niiden varrella sijaitsevien kohteiden kuvaukseen.

Vektori- vai rasterianalyysi?

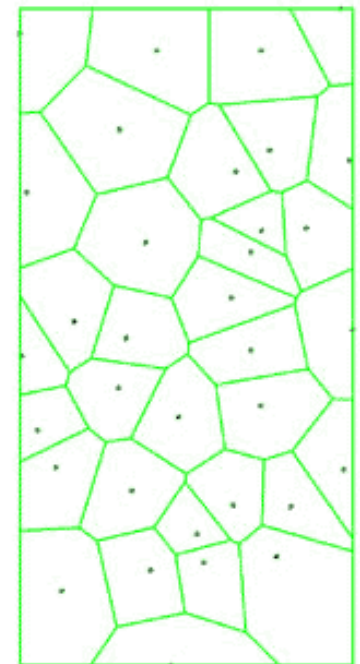
Paikkatietoanalyysi voidaan jakaa karkeasti (Aronoff 1991):

- paikkatietoihin kohdistuvaksi
- ominaisuustietoihin kohdistuvaksi
- sijainti- ja ominaisuustietoihin kohdistuvaksi
- tulostuksen muotoiluun

Ensimmäinen osa liittyy lähinnä tiedon esikäsittelyyn eli karttojen formaattimuunnoksiin, projektiomuunnoksiin, reunanvertailuihin, muokkaukseen, yhteensovitukseen ja suodatukseen. Toinen osa-alue kattaa kyselyt ja ominaisuustietojen ylläpidon. Kolmas osa-alue sisältää varsinaiset mallipohjaiset analyysit, kuten overlay-,



Dynaamista segmentointia käytetään erityisesti verkkoanalyysissä



Luokitellut paikkatietoaineistot ovat diskreettejä. Alunperin vähittäinen muutos on siis pakotettu diskreetiksi. Analyysimenetelmää valittaessa on pidettävä mielessä, että luokituksessa on hävinnyt suuri osa alkuperäisaineiston vaihtelusta. Tämä on erityisen tärkeää analysoitaessa luonnossa esiintyvää vaihtelua, joka on harvoin tarkkarajaista.

Aronoff, S. 1991. *Geographic information system: A management perspective.*

naapuruus ja yhdistävyysoperaatiot.

Analyysistä riippuen se on järkevintä tehdä joko vektori tai rasterimuodossa. Useimmat analyyseistä voidaan tehdä kummassakin ympäristössä, mutta analyysin luonne hieman vaihtelee (Aronoff 1991).

Rasterianalyysin etu vektorianalyysiin nähden on sen yksinkertaisuus niin ohjelmoijan kuin analyysin suorittajankin kannalta. Lähes kaikki analyysimenetelmät voidaan palauttaa yksinkertaisiksi rastereihin kohdistuviksi kyselyiksi, jossa etsitään tietyt ehdot täyttäviä pikseleitä eri rasteroiduilla tasoilta.

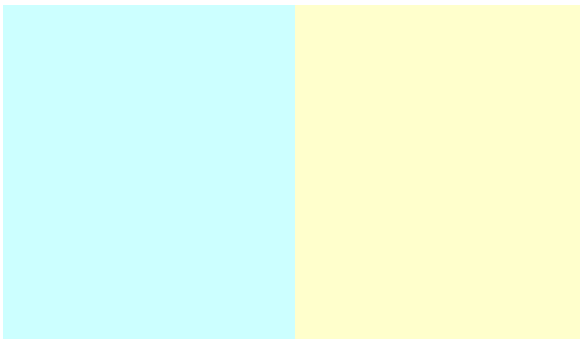
Haittapuolena voidaan pitää sitä, että tuloksen tarkkuuden ja resoluution määrää karkeimman analyysissä käytetyn rasteriaineiston resoluutio. Tätä riskiä liioitellaan usein; suurin osa vektoriaineistoistahan on viime kädessä luotu digitoimalla ne käsin rasteriaineistoista. Näennäisestä tarkkuudestaan huolimatta vektoriaineisto on siis usein rasteriaineiston yleistys ja yksinkertaistus.

Tilanne on toinen matemaattisina kuvioina luotujen karttojen kohdalla. Tällaisia ovat esimerkiksi maanmittauksen perusteella syntyneet kartat, kuten tilanrajat ja kunnan rajat. Mikäli näitä karttoja joudutaan rasteroimaan analyysia varten, täytyy rasteroinnin tuloksena syntyvä likiarvoistus analysoida ja hyväksyä.

Koska tietokoneiden muistikapasitetti ja prosessointikyky kasvaa jatkuvasti, on helppo käyttää analyyseissa yhä tarkempia rasteriaineistoja. On kuitenkin syytä pitää mielessä vanha totuus fraktaaleista; Suomen rannikon mitattu pituus riippuu vain ja ainoastaan tarkastelumittakaavasta. Myös analyysitulosten jakelu ja esittäminen tietoverkoissa saattaa edellyttää karkeaa resoluutiota suurten tiedostokokojen takia.

Koska suurin osa GIS-analyyseista voidaan tehdä riittävällä tarkkuudella niin vektori- kuin rasterianalyysinkin keinoin, riippuu käytettävän menetelmän valinta pääosin ohjelmistokustannuksista ja aineistojen hinnasta. Rasteriaineistot ovat yleensä vektoriaineistoja halvempia ja helpommin saatavilla, ja monipuolisia analyysityökaluja sisältäviä ohjelmistopaketteja (esim. IDRISI) on

Thiessen-polygonit (tai Voronoi-polygonit) ovat tyypillinen vektorianalyysi, joka kuvaa pisteiden vaikutusalueita.



tarjolla suhteellisen edullisesti.

- [Vektorianalyysi](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.3 Vektorianalyysi

Diskreetti ominaisuusmuutos tarkoittaa karttaobjektin ominaisuuden selvärajaista muutosta toiseksi. Esimerkiksi tilan omistaja vaihtuu tilanrajalla, kunnan nimi kunnan rajalla jne.

3.3.1 Vektorianalyysin perusmenetelmät

Overlay-analyysi

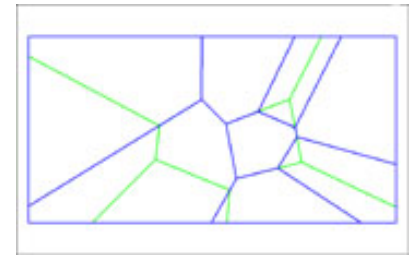
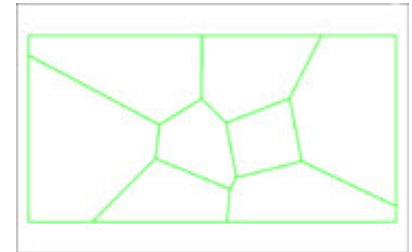
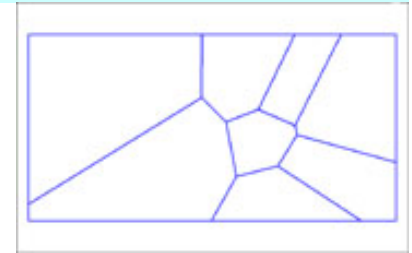
Vektorianalyysin **overlay-analyysillä** tarkoitetaan karttatasojen päällekkäin asettelua ja vastinkohteiden ominaisuuksien vertailua tai yhdistämistä. Viiva- ja aluekohteiden tapauksessa analyysi johtaa kohteiden leikkauspisteiden laskentaan ja uusien alueiden muodostamiseen. Uusille alueille muodostuu joukko **attribuutteja** l. ominaisuustietoja.

Overlay-analyysin tuloksena syntyy usein hyvin paljon pieniä alueobjekteja, joista jokaisella on oma yhdistelmänsä alkuperäisten tasojen ominaisuuksista. Tulosta joudutaan usein suodattamaan esimerkiksi alueen koon perusteella. Toinen mahdollisuus on jatkaa analyysia poimimalla kiinnostavat alueet jonkun ominaisuuskyselyn avulla.

Mikäli overlay-analyysia käytetään eri lähteistä saatujen aineistojen käsittelyyn, on niiden esikäsittely useimmiten välttämätöntä. Esimerkiksi sama rajaviiva on lähes poikkeuksetta digitoitu hieman eri paikkaan (kuva 4, viereinen palsta). Analyysissa syntyy suuri määrä alueita, joiden pinta-ala on hyvin lähellä nollaa. Tämä hidastaa laskentaa, ja suurentaa tiedostokokoa ratkaisevasti. Pienten alueiden suodatus pois tuloksesta on siis tarpeen. Analysoijan täytyy kuitenkin ratkaista, kumpi rajaviivoista on luotettavampi.

Naapuruusanalyysi

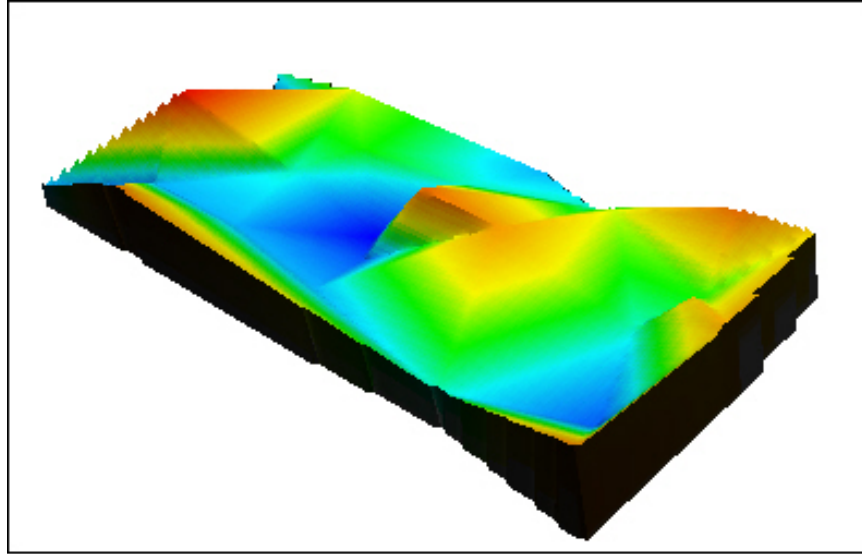
Naapuruusanalyysillä tarkoitetaan puskurivyöhykkeiden määrittystä. Pisteiden, viivojen ja alueiden ympärille voidaan laskea vyöhykealue, jolla on tietty yhtenäinen ominaisuus. Uusia vyöhykealueita voidaan käyttää edelleen overlay-operaatioissa ja hauissa. Tyypillisiä vektorinaapuristoanalyysijä ovat myös ”point-in-polygon” ja ”line-in-polygon”-haut.



Kuvat 1-3. Overlay-analyysissä alueobjektien määrä kasvaa nopeasti.

Kuva 4 (Alla). Eri lähteistä saadut aineistot ovat harvoin yhteneviä

Thiessen-polygonien laskenta eli vaikutusalueiden laskenta pisteille on myös naapuruutta kuvaava laskenta. Thiessen-polygoneja on käytetty kuvaamaan esim. puiden vaatimaa kasvutilaa. Lineaarinen interpolointi vektoripisteiden välille voidaan suorittaa muodostamalla TIN-pinta (kuva 5), jolla saadaan laskettua välialueiden arvojen estimaatit.



Kuva 5. TIN-pinta

Yhdistävyysanalyysi

Yhdistävyysanalyysillä tarkoitetaan kumulatiivisesti laskettavaa funktiota, jota lasketaan analysoitavan aineiston läpi kuljettaessa. Tällaisia tyypillisiä vektoripohjaisia analyyysejä ovat kahden pisteen välinen etäisyys ja lyhin/nopein reitti viivaverkossa. Hydrologisen mallinnuksen jokiin ja uomiin liittyvät simuloinnit analysoidaan tyypillisesti vektoriverkossa.

- [Topologia](#)
- [Takaisin etusivulle](#)





3.3.2 Topologia

*Uusia termejä?
[Sanasto](#) auttaa!*

*[Tulostettavissa oleva
PDF-versio tästä
luvusta.](#)*

Topologian käyttö

Topologian avulla järjestelmän on mahdollista toimia oikein esimerkiksi seuraavissa tapauksissa:

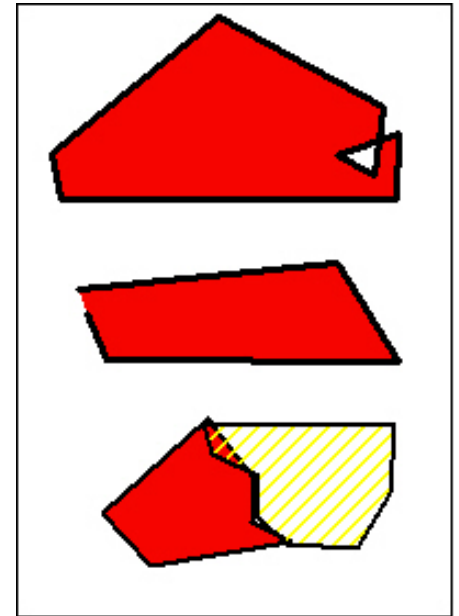
- Sulkeutuuko viiva muodostaen alueen? Halutaanko sen sulkeutuvan esim. tietyn toleranssietäisyyden sisäpuolella?
- Leikkaako alueobjekti itseään. I. syntyykö silmukoita? Siivotaanko "silmukat" pois automaattisesti?
- Jääkö alueobjektien välille aukkoja, vaikka niiden tulisi rajoittua toisiinsa? Yhdistetäänkö rajaviivat ja -pisteet jonkun toleranssietäisyyden avulla?
- Onko piste P alueen A sisällä?
- Mitkä alueet rajoittuvat alueeseen A?
- Mitkä alueet sijaitsevat jonkun etäisyyden sisällä alueesta A?
- Leikkaako alue A aluetta B?

Tämän kaltaisia kysymyksiä esitetään paikkatietojärjestelmille usein. Niihin ei ole mahdollista vastata, ellei järjestelmällä ole tietoa karttakohteiden sisäisestä rakentumisesta ja keskinäisistä suhteista l. topologiasta.

Kohteiden geometriset ominaisuudet

Useimmissa paikkatietojärjestelmissä on valmiit rutiinit, joiden avulla voidaan laskea alueiden tai luokkien pinta-aloja ja pisteiden välisiä etäisyyksiä. Lisäksi vektoripohjaisissa järjestelmissä voidaan laskea viivojen pituuksia. Rasteripohjaisissa järjestelmissä tarvitaan määritelmä viivalle, ja pituus lasketaan sitten esimerkiksi viivaan kuuluvien pikseleiden nurkkakoordinaattien avulla. Todellisten pituuksien ja pinta-alojen saaminen edellyttää karttatason oikaisua johonkin tasokoordinaatistoon.

Kohteidensisäinen ja kohteidenvälinen topologia



Topologisia ongelmia:

Ylimmässä tapauksessa on alueobjektiin muodostunut silmukka, keskimmaisessa tapauksessa ei alueen rajaviiva sulkeudu. Alimmassa tapauksessa yhteinen rajaviiva ei ole sama.

*Kainulainen, S. J.
2002. GIS-
palvelinteknologian
hyödyntäminen
luonnonvarojen
tilastollisessa
tarkastelussa.
Lisensiaattityö.
Teknillinen
korkeakoulu.*

Paikkatietotopologia kuvaa joko **kohteensisäistä topologiaa** eli kohteen rakentumista geometrisista perusprimitiiveistä tai **kohteidenvälistä topologiaa** eli kohteiden keskinäisiä sijainnillisia suhteita. Kohteidenvälistä topologiatietoa ei tallenneta tietokantaan geometriatiedon yhteydessä.

Kohteensisäiseen geometriaan liittyvät topologiaehdot, kuten alueen sulkeutuminen alkupisteeseensä ja itseleikkaavuus, tarkistetaan geometriaa luodessa. Kohteidenväliset topologiset suhteet, kuten sisältyvyys, leikkaavuus ja jatkuvuus on laskettava sovelluksissa geometriatiedon perusteella. Näitä topologisia suhteita eli relaatioita käytetään hyväksi mm. kohteisiin kohdistuvissa sijaintipohjaisissa hauissa. (Kainulainen 2002).

- [Kohteensisäinen topologia](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.3.3 Kohteensisäinen topologia

Lataa [tulostuskelpoinen PDF-versio](#) tästä luvusta koneellesi

Perustuu teokseen:

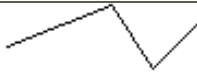
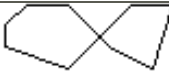
Tokola ja Kalliovirta: Paikkatietoanalyysi. Helsingin Yliopiston metsävarojen käytön laitoksen julkaisuja 34.

Kohteensisäinen topologia

Mikäli haluamme paikkatieto-ohjelmistomme tarkistavan luomiemme karttakohteiden topologian, joudumme ohjelmoimaan järjestelmämme suorittamaan joitain loogisia tarkistuksia.

Kansainvälisten standardointiorganisaatioiden OGC- ja ISO/IEC-määrittelyjen kohteensisäisen topologian eli geometriatiedon laillisuutta varten on määritetty samantasoiset loogiset menetelmät, jotka voidaan kohdistaa geometriaan tai sen alaluokkaan murtoviivaan. Taulukossa 3.1 esitetään sulkeutuvuus- ja leikkaavuusvaihtoehdot ja standardeissa määriteltyjen tarkastelumetodien paluuarvot. (Kainulainen 2002).

Taulukko 3.1. Kohteensisäinen topologiasäännöstö (Kainulainen 2002).

Tapaus				
ISO				
ST_SelfIntersecting	False	False	True	True
ST_Closed	False	True	False	True
OGC				
Simple()	True	True	False	False
Closed()	False	True	False	True

Kainulainen, S. J. 2002.
GIS-palvelinteknologian
hyödyntäminen
luonnonvarojen
tilastollisessa
tarkastelussa.
Lisensiaattityö.
Teknillinen
korkeakoulu. 66 s.

Monissa ohjelmistoissa em. tarkistukset on ohjelmoitu automaattisesti suoritettaviksi. Ohjelma joko kieltäytyy hyväksymästä virheellistä kohdetta, ehdottaa korjausta tai suorittaa korjauksen automaattisesti. Joskus käyttäjä voi valita eri vaihtoehtojen välillä. Näin on menetelty erityisesti sovelluksissa, joissa topologisesti oikein rakentuvan alueverkon luominen on tärkeää. Tällaisia ovat esimerkiksi maanomistuskartat ja metsikkökuvioinnit.

- [Kohteidenvälinen topologia](#)
- [Takaisin etusivulle](#)

3.3.4 Kohteidenvälinen topologia

Kohteidenvälinen topologia

Kohteidenvälisiä suhteita eli topologiaa voidaan tarkastella menetelmällä, jossa verrataan samanaikaisesti leikkaamalla kohteiden ulkopuolta (eng. exterior, $\neg$), sisäpuolta (eng. interior, i) ja kohteita rajaavaa vektorigeometriaa (eng. boundary, ∂). Vertailujen tuloksena voidaan laatia taulukossa 3.2 kuvattu leikkausmatriisi, jossa leikkauskombinaatiot esitetään yhdeksässä matriisin alkiossa eli solussa.

Perustuu teoksiin:

Tokola ja Kalliovirta:
Paikkatietoanalyysi.

Helsingin Yliopiston
metsävarojen käytön
laitoksen julkaisuja 34.

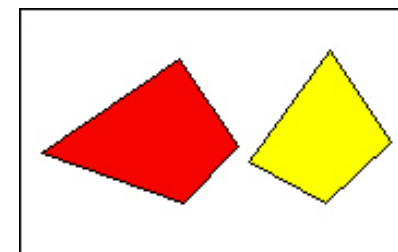
Kainulainen, S. J. 2002:
GIS-palvelinteknologian
hyödyntäminen
luonnonvarojen
tilastollisessa
tarkastelussa.
Lisensiaattityö.
Teknillinen
korkeakoulu.

Taulukko 3.2. Kohteidenvälinen 9-leikkausmatriisi (Kainulainen 2002).

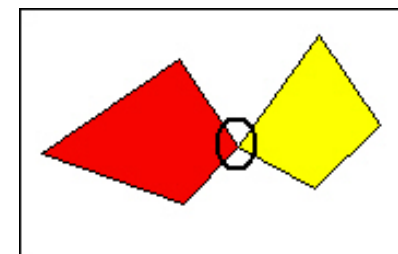
	Sisäpuoli(B)	Raja(B)	Ulkopuoli(B)
Sisäpuoli(A)	$iA \cap iB$	$iA \cap \partial B$	$iA \cap \neg B$
Raja(A)	$\partial A \cap iB$	$\partial A \cap \partial B$	$\partial A \cap \neg B$
Ulkopuoli(A)	$\neg A \cap iB$	$\neg A \cap \partial B$	$\neg A \cap \neg B$

Solujen arvot lasketaan vertailevina joukko-operaatioina, jolloin solu voi saada arvokseen loogisen arvon (tosi tai epätosi) tai laskennallisen operaation tuloksena on tyhjä tai osajoukko geometriaa. Sijainnillisesti dimensioidussa tarkastelussa otetaan huomioon lisäksi leikkauksen tuloksena syntyvän geometrian vapausasteet, jolloin solun arvona on $\emptyset$ (ei leikkausta), 0 (yhteinen piste), 1 (yhtyvä viivasegmentti) tai 2 (pällekkäinen alue).

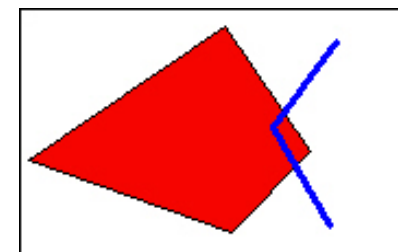
Topologiasuhteita käytetään yleensä kohteiden hakulausekkeiden vertailuissa. OGC on määritellyt viisi tarkasteltavaa tapausta eli predikaattia. Seuraavissa kaavoissa esiintyvä merkintä $dim()$ tarkoittaa leikkauksen dimension määrittämistä sekä P, L ja A vastaavia piste-,



1. Kohteet ovat erillisiä



2. Kohteet koskettavat toisiaan.
Niiden välinen leikkaus on piste



viiva- ja aluegeometrian joukkoja. R tarkoittaa kaikkia mahdollisia geometrioita:

1. Kohteet ovat **erillään (disjoint)**. Mikään osa kohteen a geometriasta ei kosketa kohdetta b . Joukko-opillisesti esitettynä

$$a.Disjoint(b) \Leftrightarrow a \cap b = \emptyset$$

2. Kohteet **koskettavat (touches)**. Kohteet eivät peitä toisiaan, mutta toisen kohteen rajalla oleva piste yhtyy toisen kohteen rajaviivaan. Joukko-opillisesti esitettynä

$$a.Touches(b) \Leftrightarrow (I(a) \cap I(b) = \emptyset) \wedge (a \cap b) \neq \emptyset,$$

$$\text{missä } (a \in R \wedge b \notin P) \vee (a \notin P \wedge b \in R).$$

3. Kohteet **risteävät (crosses)**. Piste- tai viivageometria risteää viiva- tai aluegeometriaa, jos piste on viivan päällä tai alueen sisällä tai jos viiva leikkaa toisen viivan tai alueen rajan.

$$a.Crosses(b) \Leftrightarrow (dim(I(a) \cap I(b)) < \max(dim(I(a)), dim(I(b)))) \wedge (a \cap b) \neq a \wedge (a \cap b) \neq b$$

$$\text{missä } (a \in P \vee a \in L) \wedge (b \in L \vee b \in A).$$

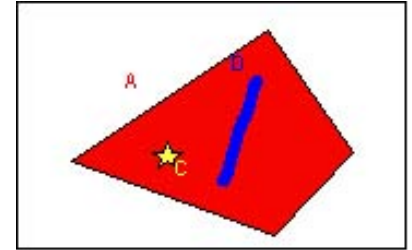
4. Kohde **sisältyy** toiseen (**within**). Kohde a sisältyy kohteeseen b , jos kohde b peittää kohteen a täydellisesti. Kohteen a geometriataso on sama tai alhaisempi kuin kohteella b .

$$a.Within(b) \Leftrightarrow (I(a) \cap I(b) = \emptyset) \wedge (a \cap b) = a$$

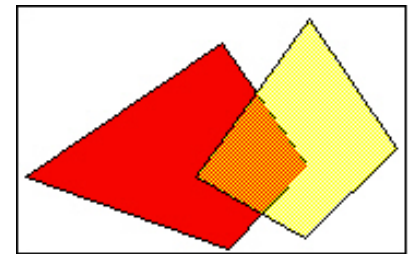
5. Kohteet **peittävät** toisiaan (**overlaps**). Kohteet a ja b peittävät toisensa, jos niiden välinen leikkaus ei ole tyhjä ja niiden geometriataso on sama.

$$a.Overlaps(b) \Leftrightarrow (dim(I(a)) = dim(I(b)) = dim(I(a) \cap I(b))) \wedge (a \cap b) \neq a \wedge (a \cap b) \neq b$$

3. Kohteet risteävät



4. Alue A sisältää pisteen C ja viivan B



5. Alueet leikkaavat toisiaan.

Tapaukset ovat toisensa poissulkevia ja kattavat kaikki topologiset tapaukset. Edellisten lisäksi on käyttömukavuuden vuoksi johdettu predikaatit *sisältää* (*contains*) ja leikkaa (*intersects*) seuraavasti:

$$a.Contains(b) \Leftrightarrow b.Within(a)$$

$$a.Intersects(b) \Leftrightarrow ! a.Disjoint(b)$$

Vertailumenetelmä on toteutettu standardeissa joko tapauskohtaisina vertailuoperaattoreina tai yleisellä relate-tarkastelulla. Relate-toiminto ottaa parametreinä tarkasteltavien geometrioiden lisäksi vertailumatriisin ja palauttaa matriisilla kuvatun vertailun totuusarvon. (Kainulainen 2002).

- [Tietokantahaut](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.3.5 Leikkausanalyysit

Lataa
[tulostuskelpoinen](#)
[PDF-versio tästä](#)
 luvusta koneellesi!

Overlay-analyysillä on runsaasti käyttökohteita niin tutkimuksen, liike-elämän kuin yhdyskuntasuunnittelunkin parissa. Ongelmia aiheuttavat kuitenkin mm. :

- Aineistojen saatavuus
- Aineistojen hinta
- Aineistojen yhteensopivuus
- Aineistojen erimittakaavaisuus
- Analyysiohjelmistojen hinta
- Tietosuojaongelmat

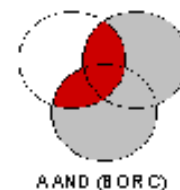
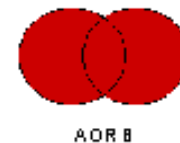
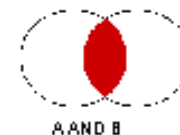
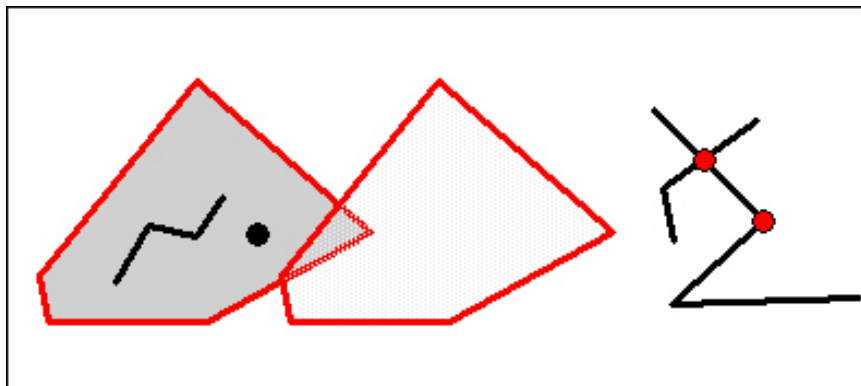
Leikkausoperaation (overlay analysis) avulla voidaan kahdesta tai useammasta karttatasosta muodostaa uusia tasoja tai poimia vain ne alueet, joissa alkuperäisten tasojen ominaisuustietojen yhdistelmä on haluttu.

Esimerkkejä leikkausanalyysin käytölle ei ole vaikea keksiä. Tilastotieteessä tai luonnontieteellisessä tutkimuksessa analyysi- ja tulkintamahdollisuudet ovat rajattomia.

Käytännön työelämässä vaikkapa leimikoiden ostaja voi etsiä sen avulla hakkukypsiä metsiköitä yksityismetsistä. Satelliittikuviin perustuva puustotulkinta koko Suomesta on kaikkien ostettavissa, samoin tilanrajakartta. Suorittamalla overlay-analyysin (esim tilavuus yli 200 m³/ha, omistaja yksityinen) hän saa itselleen tietokannan, jonka avulla ostotarjouksia voi kohdentaa.

Leikkausanalyysi toimii periaatteessa loogisten operaattoreiden (=, <, >, and, or, nor, not, xor) (viereinen kuva) ja aritmeettisten operaattoreiden avulla.

Vektorikarttojen leikkausanalyysijä ovat polygonileikkaukset, sekä viiva polygonissa, piste polygonissa tai piste viivalla -leikkaukset.



*Boolean operaattorit
leikkausanalyysissä*

Kuva 1. Vektorikartan leikkausoperaatioita. Alue sisältää pisteen ja viivan, sekä leikkaa viereistä aluetta. Viivojen tai pisteen ja viivan leikkaus on luonnollisesti piste.

Vektorikarttojen alueleikkaus tapahtuu yleensä seuraavasti:

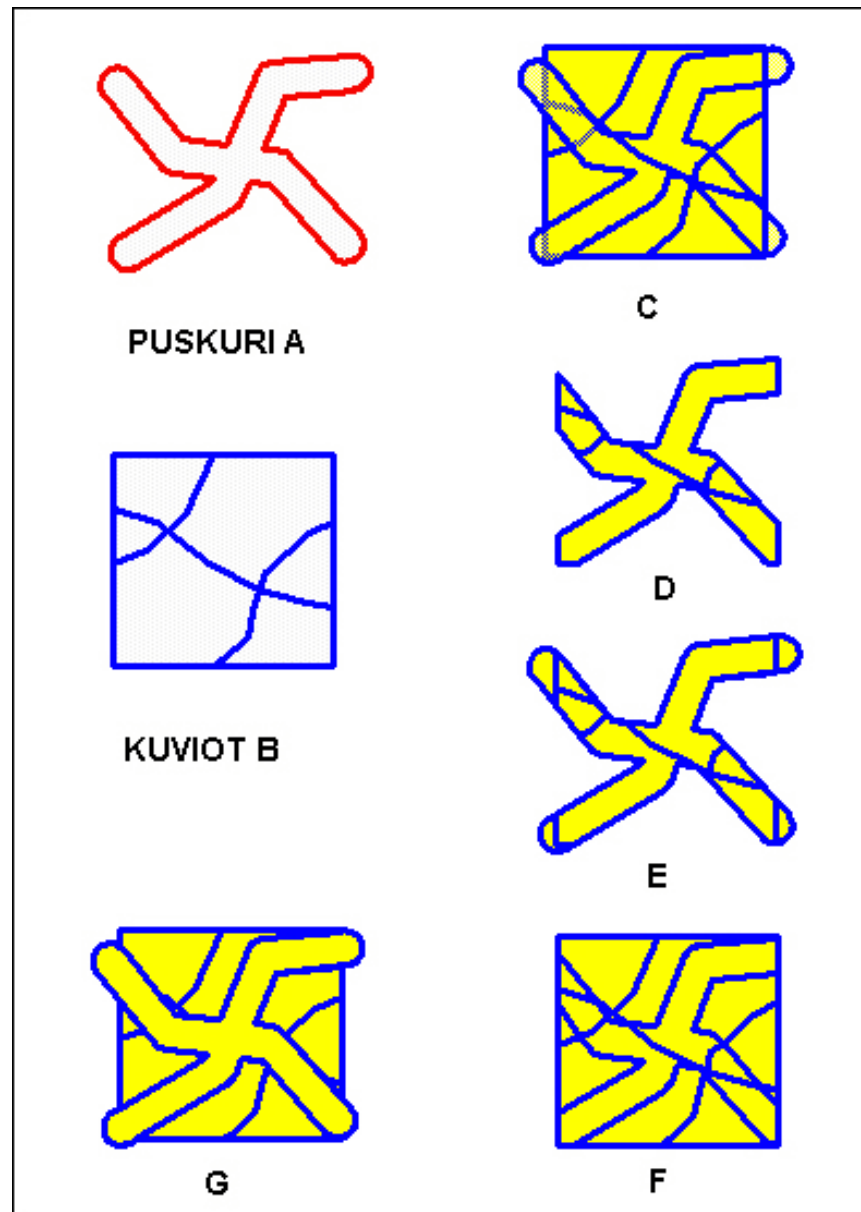
- lasketaan leikkauspisteet
- muodostetaan solmut ja yhteydet
- muodostetaan uusien polygonien topologia
- poistetaan liian pienet polygonit
- viedään uudet ominaisuudet ja lisäykset ominaisuustietokantaan.

Vektorileikkauksen perusoperaatioita ovat:

- yhdiste (union)
- leikkaus (cut, identity)
- kaksoisleikkaus (intersect)
- päivitys (erasecover)

Tehtävä: Tee kuvan "leikkaustyyppit" mukaiset leikkaukset paikkatieto-ohjelmallasi. Mikäli käytät MapInfo-ohjelmistoa, löytyvät toiminnot valikon "Kohteet" alta.

Huomaa, että saatat joutua suorittamaan monta erillistä leikkausoperaatiota halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Loppukäyttäjille tarkoitetuissa käyttöliittymissä usein tarvittavat leikkausanalyysit tavallisesti automatisoidaan.



Kuva 2. Leikkaustyyppit

- **Yhdiste/union** on alueoperaatio. Se katkaisee alueet risteyskohdista ja luo uudet alueet uuteen tulokarttaan (C).
- **Leikkauskartta** on aina alue. Se leikkaa pois leikkauskartan ulkopuolelle jäävät kohdekartan piirteet. Operaation karttojen järjestys siis vaikuttaa lopputulokseen (E ja F).

- **Kaksoisleikkaus (D)** on kuin leikkaus/identity, mutta leikkaa pois piirteet, jotka eivät osu liitettävien karttatasojen yhteisesti peittämälle alueelle. Tulokartta on samaa ominaisuustyyppiä kuin kohdekartta.
- **Päivitys/Erasecover (D)** päivittää osa-alueen tiedot kartalle. Esimerkiksi hakkuualueen, paloalueen, tms. rajojen päivitys metsikkökuviokartan päälle onnistuu helpoiten erasecover-tyyppisellä operaatiolla.

Karttaobjektien kopiointi

Vektorikarttojen karttaobjektien kopiointi ja liittäminen toiseen karttaan liittyy myös leikkausanalyysiin. Kopiointi onnistuu yleensä ongelmitta, mikäli liitettävän materiaalin solmupisteiden koordinaatit ovat yhtenevät alkuperäisen kartan kanssa. Tämä on kuitenkin käytännössä harvinaista.

Näin ollen liitettävän aineiston solmupisteet joko yhdistetään olemassa oleviin pisteisiin jollain toleranssilla, tai luodaan viivojen risteyskohtiin uudet solmut. Tämän jälkeen luodaan tarvittaessa uudet alueobjektit, pyyhitään mahdollisesti syntyvien kohteiden alta vanhat objektit pois, päivitetään ominaisuustiedot jne.

Yleensä uuden aineiston liittäminen vanhaan karttaan on huolellista käsityötä vaativa toimenpide. Mikäli rutiinia tarvitaan usein, voidaan se automatisoida, mutta tällöin mahdolliset virhetilanteet on syytä ennakoida huolellisesti.

- [Puskurianalyysi](#)
- [Takaisin etusivulle](#)

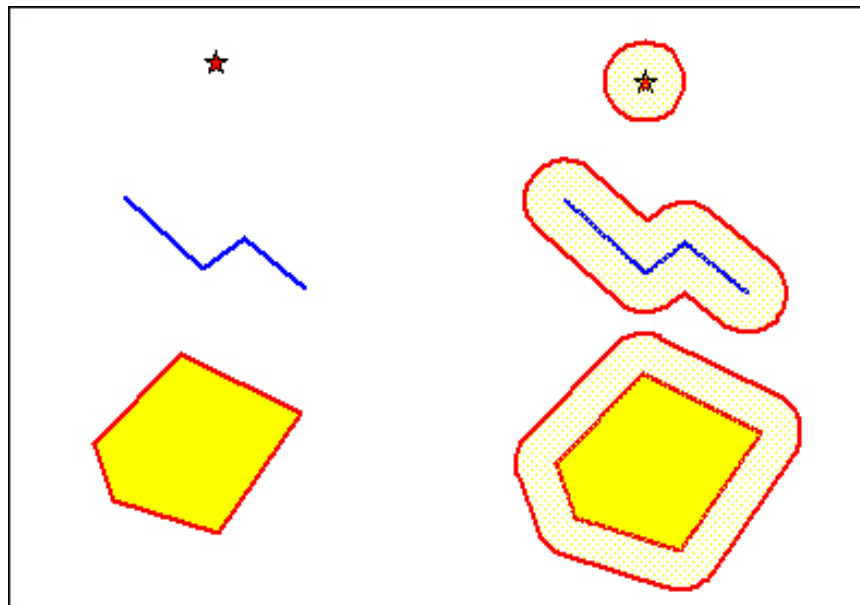


3.3.6 Vaikutusalueanalyysit

Lataa
[tulostuskelpoinen PDF-](#)
[versio tästä luvusta](#)
koneellesi!

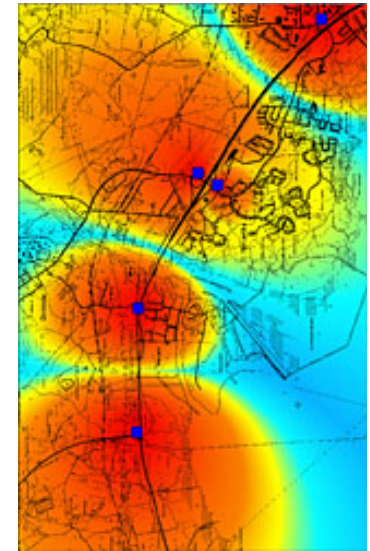
Vaikutusalueanalyysillä (buffering, buffer zones, proximity analysis) voidaan hakea alueet, joissa etäisyys kohteesta on annettua raja-arvoa pienempi. Vektorimuotoisten kohteiden ympärille saadaan tuloksena uusi **vyöhykealue**, jota voidaan edelleen käyttää vaikkapa edellisen luvun leikkausanalyysin syötteenä.

Jos riittää, että etäisyys on kuvattavissa vyöhykkeinä (intervallasteikolla), eikä sovellus tai analyysi tarvitse jatkuvan muutoksen kuvausta, voidaan käyttää vektoripohjaisia puskurivyöhykkeitä.



Kuva 1. Vektoriaineistossa puskurivyöhykkeet voidaan generoida pisteiden, viivojen tai alueiden ympärille.

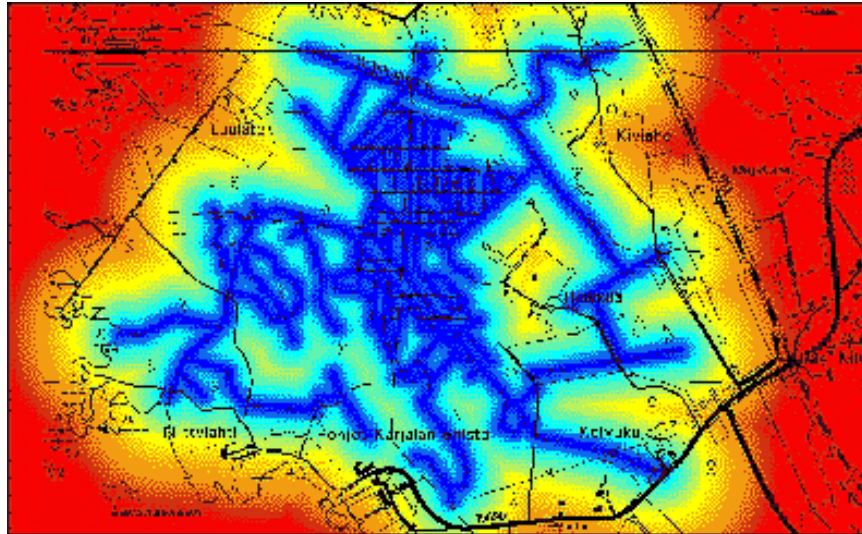
Mikäli puskurointifunktion avulla muodostetaan rasteripinta, jossa



Vaikutusalueanalyysin käyttöä on tutkittu runsaasti myös liiketaloustieteessä. Esimerkiksi ns. Huffin mallin avulla on pyritty etsimään liiketoimintapaikoille optimaalista sijaintia.

Huffin malli on esimerkki ns. vetovoimamalleista, jossa kohteen vaikutus ympäristöön vähenee etäisyyden eksponentiaalisena funktiona. Esimerkkinä mallin avulla luotu kuvitteellisten huoltoasemien vaikutusalue.

jokainen solu saa arvonsa alkuperäisestä kohteesta lasketun etäisyyden funktiona, on erilaisten etäisyysriippuvien analyysien teko helppoa. Käyttöesimerkkejä ovat esimerkiksi tiemelun mallinnus korkeusmallin ja etäisyyden avulla, siitepölyn, saasteen tms. leviäminen jne (kuvat 2, 3 ja 4).

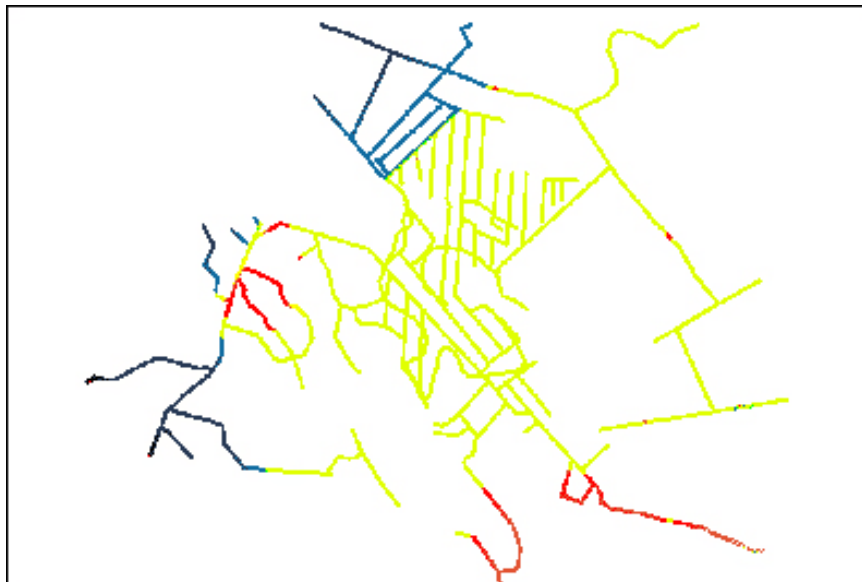


Kuva 2. Rasterianalyysin keinoin on helppo luoda etäisyydestä riippuvia pintoja (kuvassa värillä indikoitu etäisyys ojasta).

Tehtävä: Tee tämän sivun harjoituksen kaltainen puskurointiharjoitus omalla paikkatieto-ohjelmistollasi. Lähtötiedoiksi tarvitset korkeusmallin. Ojaverkoston voit digitoida itse esim. peruskartalta tai käyttää valmista aineistoa. [MapInfo/Vertical Mapper](#)-muotoiset esimerkkiaineistot saat tästä.



Kuva 3. Ojaverkoston ympärille muodostettu 5 m puskuri.



Kuva 4. Edellisen puskurin (kuva 3) ja korkeusmallin yhdistelmänä luotu kuva, jossa väri indikoi ojan korkeutta merenpinnasta (punainen korkea, sininen matala). Ojaverkosto siis laskee kahteen suuntaan!

Kuvan 4 kartta on luotu seuraavasti:

- Ojaverkko erotettiin omaksi tasokseen.
- Ojien ympärille luotiin 5 m puskurivyöhyke (alueobjekti).
- Puskurivyöhyke (alueobjekti) rasteroitiin siten, että ojauskurille tuli arvoksi 1, muille ei arvoa..
- Luettiin toiseksi tasoksi samalta alueelta aiemmin luotu korkeusmalli (DEM).
- Luotiin kyselyn avulla uusi rasteritiedosto, jossa ojauskurirasterin soluille luettiin arvot korkeusmallista.
- Luotiin em. rasteritiedostolle väripaletti.

Kyseessä on siis tyypillinen GIS-analyysi, jossa käytetään niin puskuroinnin, leikkausanalyysin kuin SQL-kyselynkin työkaluja.

- [Tietokantahaut](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.4 Tietokantahaut

Johdanto

Vektorijärjestelmien ominaisuustiedot talletetaan yleensä ulkoiseen tietokantaan, jolloin ne on tavallisemmin rakennettu jonkin tietyn tiedonhallintaohjelman yhteyteen. Joissakin järjestelmissä on mahdollisuus tallettaa myös ominaisuustiedot järjestelmän omaan tietokantaan ja eräät järjestelmät pystyvät hallitsemaan ainoastaan ascii-muodossa olevaa ominaisuustietoa.

Luonnonvaratiedon hallintaan tehdyissä sovelluksissa ominaisuustieto on useimmiten talletettu erilliseen **relaatiotietokantaan**. Yhteys sovellukseen tehdään tietokantakielen avulla (vrt. luku 4.3.2.). Relaatiotietokantojen tapauksessa tietokantakielen tulee tukea relaatioalgebran mukaisia operaatioita.

Relaatioalgebran perusoperaatiot ovat:

- yhdiste (eng. union)
- erotus (eng. difference)
- karteesinen tulo (eng. cartesian product)
- osamäärä (eng. division)

Tämän lisäksi tietokannankäsittelykielet tukevat lisäoperaatioita, joita ovat

- valinta (eng. selection),
- projektio (eng. projection)
- leikkaus (eng. intersection).

Yhdisteessä tulostauluun haetaan kohdetaulujen kaikki kohteiden eri esiintymien attribuuttien arvot. Tällöin tarkasteltavien taulujen tulee olla yhdistettävissä (eng. union-compatible), mikä tarkoittaa sitä, että ne ovat samaa astetta (yhtä monta saraketta) ja niissä on samat attribuutit, jotka saavat arvonsa samasta arvojoukosta (eng. domain).

Erotuksessa tulostauluun saadaan attribuuttien arvot, jotka esiintyvät vain toisessa tauluista.

*Lataa [tulostuskelpoinen](#)
[PDF-versio](#) tästä
luvusta koneellesi!*

Perustuu teokseen:

*Tokola ja Kalliovirta:
Paikkatietoanalyysi.
Helsingin Yliopiston
metsävarojen käytön
laitoksen julkaisuja 34.*

Karteesisessa tulossa muodostetaan kahden taulun yhdistelmä, joka sisältää kaikki mahdolliset attribuuttien arvojen yhdistelmät.

Osamäärässä tulostaulun kohteen esiintymän tulee sisältää jaettavassa taulussa kaikki samat attribuuttien arvot, jotka ovat jakajataulussa.

Lisäoperaatioista **valinnassa** valitaan annetuilla kriteereillä tulostauluun kohdetaulujen rivejä (eng. tuple), kun taas **projektiossa** valitaan sarakkeita. Taulujen **leikkauksen** tuloksena saadaan tulostaulu, joka sisältää esiintymät, joissa attribuuttien arvot ovat samat molemmissa kohdetauluissa.

- [SQL-kieli](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.4.1 SQL-kieli

SQL

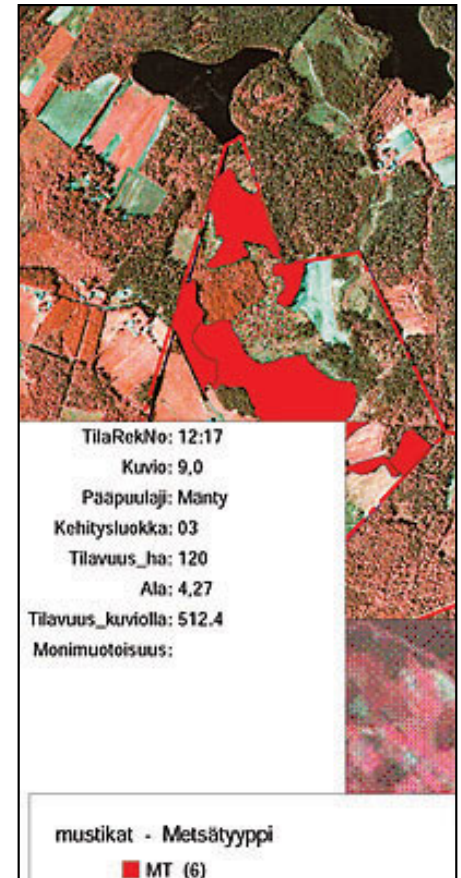
Relaatiotietokantojen tapauksessa tietokannan käsittelykielen standardiksi on muodostunut SQL-kieli (eng. Structured Query Language). E.F. Coddin julkaistua relaatiomallin vuonna 1970, IBM lähti kehittämään relaatiomallin mukaista prototyyppitietokantaa. Tietokannassa tietokantakielenä käytettiin SEQUEL-kieltä, jota myöhemmin alettiin kutsua SQL-kieleksi. Ensimmäinen kaupallinen SQL-tuote oli Oracle vuonna 1979. IBM itse julkisti ensimmäisen SQL-tuotteen SQL/DS:n vasta vuonna 1981. 1980-luvulla syntyi joukko SQL-pohjaisia tuotteita ja nykyisin suurin osa niin kaupallis-hallinnollisista kuin luonnonvarainhallintaan tarkoitetuista sovelluksista tehdään SQL-pohjaisille relaatiotietokannoille.

SQL:ää voidaan käyttää SQL-tuotteissa vuorovaikutteisesti antamalla erityisellä käyttöliittymällä SQL-käskyjä ja saamalla sitten vastaukset omaan ikkunaan. Näitä käyttöliittymiä ovat mm. Oraclen SQLPlus, SQLBasen SQLTalk, kotimaisen Solid Serverin Solid SQL Editor, SQL Serverin ISQL/w ja DB2:n QMF.

Dynaaminen SQL

SQL-käskyjä voi myös upottaa ohjelmointikieleen. Tällöin vastauksena saadut attribuuttien arvot siirretään yleensä ohjelmointikielen muuttujille. SQL-käskyjä voi myös muodostaa dynaamisesti ohjelmassa ja lähettää sitten generoitu SQL-käsky tietokantajärjestelmälle käännettäväksi ja suoritettavaksi (Dynamic SQL). Sovelluskehittimet tukeutuvat usein dynamiseen SQL:ään.

Tyypillisesti SQL-kysely tuo joukko-opillisesti (vrt. relaatioalgebra) joukon samanrakenteisia taulun rivejä raakamuodossa. Käytännön raportoinnissa tarvitaan välisummia, loppusummia ja esim. numeroiden desimaaliosien muotoilua.



Tietokantaan on kohdistettu SQL-kysely, jonka avulla on poimittu metsätyyppejä MT edustavat metsikkökuviot. Nämä on sitten väritetty punaisiksi teemakartaa luotaessa (MapInfo)

Perustuu teokseen:

*Tokola ja Kalliovirta:
Paikkatietoanalyysi.
Helsingin Yliopiston
metsävarojen käytön
laitoksen julkaisuja 34.*

Nämä viimeksi mainitut asiat hoituvat parhaiten jollakin raportointivälineellä. Useat relaatiotietokantoja käyttämään kykenevät paikkatietojärjestelmät sisältävät raportin muotoilutyökaluja. Esimerkiksi MapInfo sisältää Crystal Reports-nimisen raportointiohjelman.

Client/Server ja ODBC

Nyky päivänä sovellukset ovat usein asiakas-palvelinjärjestelmiä (Client/Server). SQL:n rooli on muodostunut tätä laitteistoarkkitehtuuria käyttävissä järjestelmissä erityisen tärkeäksi. Näissä järjestelmissä asiakkaiden työasemilla sijaitsevat ohjelmat lähettävät verkon yli korkean tason SQL-lauseita palvelimella olevalle tietokannalle, joka suorittaa tietokannan luvun ja lähettää halutut rivit takaisin asiakkaalle tai päivittää ehdot täyttävät tietueet.

ODBC (Open DataBase Connectivity)-standardin myötä miltei minkä tahansa sovelluskehittäminen, raporttigeneraattorin tai taulukkolaskimen voi liittää lähes mihin tahansa SQL-tietokantatuotteeseen.

- [Spatiaalinen SQL](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.4.2 Spatiaalinen SQL

OGIS eli Open GIS Consortium on tärkeä elin, joka laatii maailmanlaajuisia standardeja ja suosituksia paikkatietoalan toimijoille. Lisätietoja WWW-osoitteesta www.opengis.org

Spatiaalinen SQL-kyselykieli

Spatiaalinen SQL-kyselykieli on SQL-kielen ja sen käyttämien tietorakenteiden laajennus, joka hyödyntää erityisesti **geometrisia tietotyypppejä** sekä näihin kohdistettavia operaattoreita ja funktioita. Spatiaalista kyselykieltä ja abstrakteja tietotyypppejä ovat standardoineet sekä kansainvälinen standardointijärjestö (ISO/IEC) että GIS-ohjelmistotoimittajien yhteenliittymä (OGIS, Open GIS Consortium inc.). (Kainulainen 2002).

Tietotyypit ja funktiot

Geometriatiedon kyselyä ja laskentaa varten käytetään normaaleja abstrakteja tietotyypppejä (ADT). Oliopohjaisesti määriteltyjä tietotyypppejä voidaan käsitellä ja ne voivat palauttaa laskennallisia tai kohteen rakenteeseen liittyviä tietoja luokittain periytyvien metodien avulla.

Funktiot ovat laskentasarjoja, jotka palauttavat määriteltyä tietotyyppiä olevan paluuarvon. Funktion syötteenä eli parametrinä voi olla yksi tai useampi määritetty tietotyyppiä oleva parametri tai tyhjä parametri. Maantieteelliset funktiolaajennukset voivat palauttaa parametreinä syötettyjen geometrioiden (ADT) käsittelyn tuloksena lasketun skalaariarvon tai uutta laskennallista geometriaa. (Kainulainen 2002).

Hakupredikaatit

Hakupredikaatit ovat funktioita tai metodeja, jotka palauttavat loogisen arvon. Niitä käytetään yleensä valintausekkeen ehto-osassa (*where-lause*) määrittelemään palautettavat rivit. Maantieteelliset hakupredikaatit palauttavat joko kohteensisäiseen topologiaan liittyviä loogisia arvoja vertailuparametrinä annetun geometrian luokan metodien mukaisesti (esim. rajageometrian sulkeutuvuus, itseleikkaavuus) tai kohteidenvälisen topologian vertailuarvoja. Hakupredikaatit ja maantieteelliset funktiot voidaan luokitella

Kainulainen, S. J. 2002.
GIS-palvelinteknologian
hyödyntäminen
luonnonvarojen
tilastollisessa
tarkastelussa.
Lisensiaattityö.
Teknillinen korkeakoulu.
66 s.

Tärkeimpien
spatiaalisten SQL-
funktioiden määritykset
löytyvät seuraavasta
[taulukosta](#).

toiminnallisesti (Kainulainen 2002):

- **Vertailuoperaattoreihin** eli predikaatteihin, jotka palauttavat kohteiden välisen vertailun tuloksen totuusarvona.
- **Mittausfunktioihin**, jotka palauttavat skalaariarvon joka on laskettu kohteen geometriasta tai johdettu kohteiden keskinäisestä sijainnista.
- **Geometrian laskentafunktioihin**, jotka palauttavat yhdestä kohteesta tai kohteiden keskinäisestä sijainnista johdettua uutta geometriaa.
- **Konstruointifunktioihin**, joilla luodaan koordinaattipohjaisesti uusia geometrisia kohteita. Konstruointifunktioihin kuuluvat myös olemassa olevan geometriatiedon päivitykseen käytetyt funktiot.
- **Rakennefunktioihin**, jotka palauttavat tietoa kohteen sisäisistä ominaisuuksista tai rakenteesta.
- **Erikoisfunktioihin**, jotka liittyvät mm. koordinaattijärjestelmämuunnoksiin.

Erillisenä sivuna esitettävissä spatiaalisen SQL-kielen funktioita kuvaavissa [taulukoissa](#) luetellaan merkittävimpiä standardienmukaisia funktioita ja kuvataan niiden tarkoitus lähinnä analyysijä varten. Näiden lisäksi on määritelty erityisiä funktioita mm. koordinaattijärjestelmien käsittelyä varten. Taulukoissa ei esitetä olemassa olevan geometrian muokkaamiseen, geometrian luontiin eikä kohderakenteeseen liittyvää toiminnallisuutta (konstruktio- ja rakennefunktiot) täydellisenä. (Kainulainen 2002)

- [Interpolointi](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.5 Interpolointi

**Lataa
tulostuskelpoinen PDF-
versio tästä luvusta
koneellesi!**

Nykyaikaisissa GIS-ohjelmistoissa on vakiovarusteenakin joukko erilaisia interpolointimenetelmiä. Niitä on yleensä mahdollista hankkia lisää erilaisten analyysityökalupakettien mukana. Yleensä niiden käyttö on helppoa, mutta oikean menetelmän valinta ja tuloksen luotettavuuden arviointi vaatii perustietoja menetelmästä ja aineistosta.

3.5.1 Johdanto

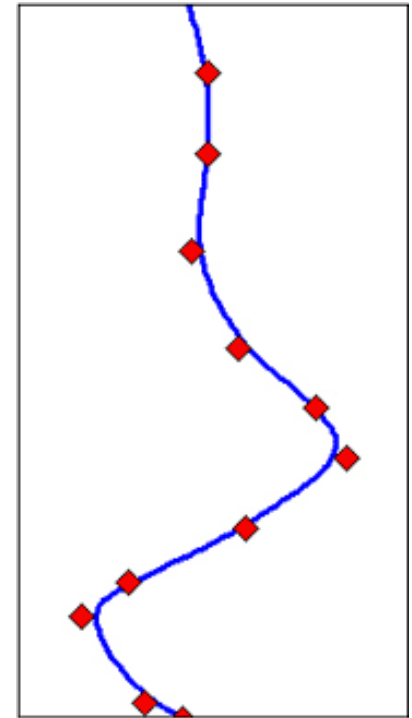
Paikkatietojärjestelmän käyttö perustuu sijainniltaan tunnetun tiedon käyttöön. Tieto ei kuitenkaan aina ole alueellisesti kattavaa, joten esimerkiksi tunnettujen pisteiden välisten alueiden kuvaamiseksi joudutaan käyttämään spatiaalisen interpoloinnin menetelmiä.

Joskus kiinnostuksen kohteena olevan ominaisuuden arvo voidaan mitata suoraan kaikilta alueen pisteiltä. Esimerkiksi kaukokartoitusmateriaalia tulkittaessa menetelläänkin usein näin. Useimmiten on kuitenkin mahdotonta havainnoida ominaisuuden arvo suoraan kaikkialta, koska tutkittavan ominaisuuden mittaaminen voi olla työlästä, aikaa vievää ja/tai kallista. Tällöin joudutaan turvautumaan näytteeseen l. mittauspisteverkkoon, jonka tiheys ja koko riippuu budjetista ja halutusta luotettavuudesta..

Spatiaalisessa interpoloinnissa paikkaan sidottua havaintopistetietoa käyttämällä muodostetaan interpoloimalla joko **jatkuva pinta** tai **tihennetään** olemassa olevaa pisteverkkoa. Uusille pisteille lasketaan arvot alkuperäisten havaintojen perusteella.

Lämpötila, ilmanpaine, typpipitoisuus peltomaassa tai säteily ydinvoimalan läheisyydessä ovat esimerkkejä tunnetusta pisteestä mitatusta pistetiedosta. Spatiaalisen interpoloinnin ajatuksena on käyttää mitattuja arvoja tunnetuissa pisteissä ja ennustaa arvot mitattujen pisteiden välisille alueille.

Spatiaalinen interpolointi perustuu havaintoon, että lähellä toisiaan sijaitsevien pisteiden arvot ovat suuremmalla todennäköisyydellä lähellä toisiaan kuin kauempana olevien pisteiden arvot (Burrough 1987). Ilmiötä nimitetään **spatiaaliseksi autokorrelaatioksi**. Spatiaalisissa interpolointimenetelmissä pyritään mallintamaan ominaisuuden spatiaalinen autokorrelaatio tutkimusalueella ja



Pisteiden arvojen perusteella interpoloitu korkeuskäyrä. Huomaa, että käytetyssä menetelmässä käyrää ei ole pakotettu kulkemaan alkuperäisten mittauspisteiden kautta.

Burrough, P. A. 1987.
*Principles of
 Geographical
 Information Systems for
 Land Resources
 Assessment.
 Monographs on Soil and
 Resources Survey No 12.
 Oxford Science
 Publications.*

käyttämään tätä mallia hyväksi ennustettaessa ominaisuusarvoja tuntemattomille pisteille.

Ongelmana on sopivan **interpolointimenetelmän** valinta. Menetelmän tulee soveltua kyseessä olevan ominaisuuden mallintamiseen ja sen tulee pystyä hyödyntämään tehokkaasti käytettyä havaintopisteverkkoa. Jotkut menetelmät soveltuvat paremmin laaja-alaisen trendinomaisen vaihtelun kuvaamiseen, toiset taas pienimuotoisemman paikallisen vaihtelun mallintamiseen.

Myös havaintopisteiden määrä ja niiden sijoittuminen tutkittavalle alueelle vaikuttavat interpolointimenetelmän valintaan. Osa menetelmistä soveltuu hyvinkin pienen havaintomäärän mallintamiseen, toiset taas edellyttävät tietyn **vähimmäismäärän** havaintopisteitä toimiakseen luotettavasti. Eräät interpolointimenetelmät soveltuvat paremmin **systemaattisesti sijoitetun koealaverkon** avulla mitattujen havaintojen tasoittamiseen, kun toiset taas soveltuvat paremmin **satunnaisesti** sijoittuvien havaintojen interpolointiin. (Tokola&Kalliovirta 2003)

Useimmissa interpolointimenetelmissä oletetaan, että tarkasteltava tekijä muuttuu tasaisesti ja että sitä voidaan kuvata matemaattisesti määritellyn pinnan avulla. Interpolointimenetelmiltä voidaan vaatia:

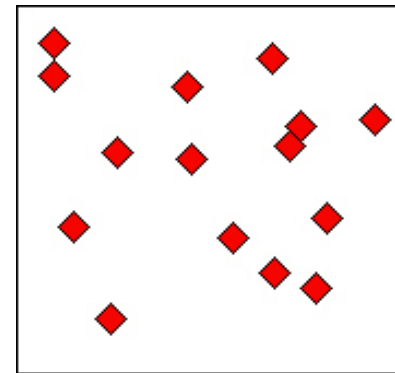
- Ajallista ja alueellista jatkuvuutta,
- Kohdepisteen tarkkaa maantieteellistä sijaintia
- Pientä keskivirhettä

Deterministinen vai geostatistinen menetelmä?

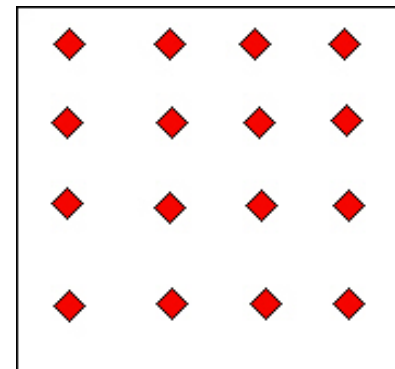
Interpolointi on mahdollista tehdä joko **deterministisellä** tai **geostatistisella** interpolointitekniikalla. Molempiin tekniikoihin sisältyy erilaisia menetelmiä. Deterministiset menetelmät käyttävät interpolointiin matemaattisia funktioita. Geostatistiset menetelmät käyttävät sekä matemaattisia että tilastollisia menetelmiä. Geostatististen menetelmien etu on niiden kyky tuottaa tietoa ennusteen luotettavuudesta

Globaaliset ja paikalliset menetelmät

Interpolointimenetelmät voidaan jakaa myös **globaalsiin** ja



Pistetietoa voidaan mitata satunnaisesti (yläkuva) tai systemaattisesti (alakuva) sijoitetulta koealaverkolta



Lisätietoja:

*Tokola ja Kalliovirta
2003.
Paikkatietoanalyysi.
Helsingin yliopiston
metsävarojen käytön
laitoksen julkaisuja 34*

paikallisiin menetelmiin (Burrough 1987). Globaalisissa menetelmissä ominaisuuden vaihtelua kuvaavassa mallissa käytetään tarkasteltavan alueen kaikkien pisteiden havaintoja, paikallisissa menetelmissä käytetään vain naapuripisteiden havaintoja. Yleensä valitaan jokin maksimietäisyys, jota lähempänä olevat pisteet otetaan tasoitukseen mukaan.

Tunnetuimpia interpolointimenetelmiä ovat:

Globaalisia menetelmiä:

- Trendipinta-analyysi
- Fourier-sarjat

Paikallisia menetelmiä:

- Splinit
- Liukuvien keskiarvojen menetelmä
- Kaksoislineaarinen interpolointi
- Kriging (paikallisia menetelmiä)

.

- [Interpolointimenetelmiä](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.5.2 Deterministiset interpolointimenetelmät

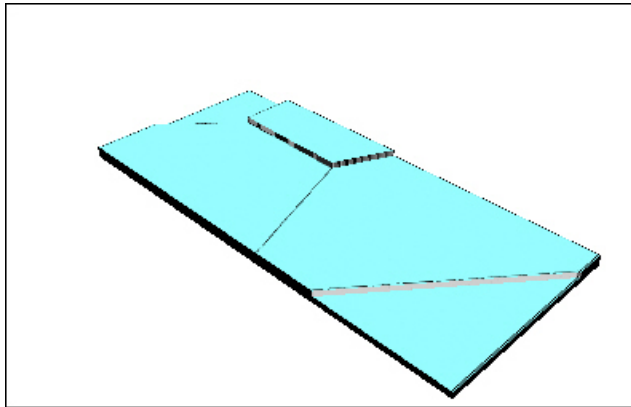
[Lataa tulostuskelpoinen PDF-versio tästä luvusta koneellesi!](#)

Porrasmalli

Porrasmalli

Porrasmalli on yksinkertainen epäjatkuvan tasoituspinnan tuottava interpolointimenetelmä. Siinä pyritään määrittämään tasoituspinnan rajalinjat siihen kohtaan, jossa ominaisuuden arvo muuttuu. Rajalinjat rajaavat alueita, joissa ominaisuuden arvo on likimain sama. Menetelmä tuottaa porraskuvan, jossa kunkin alueen arvo voidaan kuvata arvoa vastaavana portaana (kuva 1). Siirryttäessä alueelta toisella on nouseva tai laskeuduttava askelma. Menetelmä perustuu oletukseen, että ominaisuuden arvo muuttuu hyppäyksittäin rajalinjaa ylitettäessä eikä vaihtelee alueiden sisällä.

Luonnonprosesseissa tämä oletus pitää kuitenkin harvoin paikkaansa. Menetelmä soveltuu luokka-asteikollisten muuttujien interpolointiin ja olosuhteisiin, joissa joudutaan käsivaraisesti tasoittamaan jonkin ominaisuuden vaihtelua (Burrough 1987).



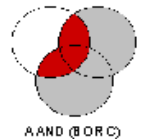
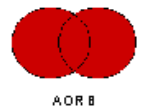
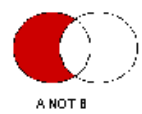
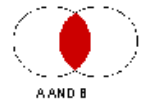
Kuva 1. Porrasmallitekniikalla on rajattu kohdealueelta 5 aluetta Porrasmallissa portaan korkeus kuvaa ominaisuuden arvoa, joka keskimäärin vallitsee alueella.

Lähimmän naapurin menetelmä

Porrasmallitekniikan keskeinen ongelma on, miten rajata alueet havaintopisteiden ympäriltä. Ongelma on pyritty ratkaisemaan esimerkiksi **Lähimmän naapurin menetelmällä**. Menetelmä perustuu alueenmuodostustekniikan käyttöön, joka tunnetaan nimellä **Voronin polygonit** (Thiessen-polygonit, Dirichlet-solut)

Voronin polygonit rajaavat kunkin havaintopisteen ympärille alueen, jonka sisällä kaikki pisteet ovat lähimpänä kyseistä havaintopistettä. Voronin polygonit saadaan piirtämällä keskinormaalit havaintopistenaapureita yhdistäville janoille.

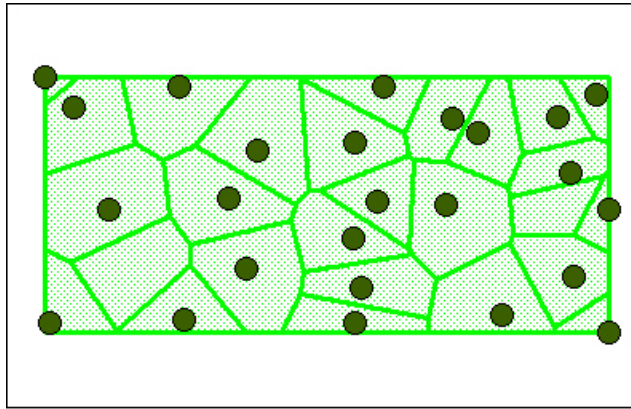
Lähimmän naapurin menetelmä



Boolean operaattorit leikkausanalyysissä

Tehtävä: Tee kuvan "leikkaustyyppit" mukaiset leikkaukset paikkatieto-ohjelmallasi. Mikäli käytät MapInfo-ohjelmistoa, löytyvät toiminnot valikon "Kohteet" alta.

Huomaa, että saatat joutua suorittamaan monta erillistä leikkausoperaatiota halutun lopputuloksen saavuttamiseksi. Loppukäyttäjille



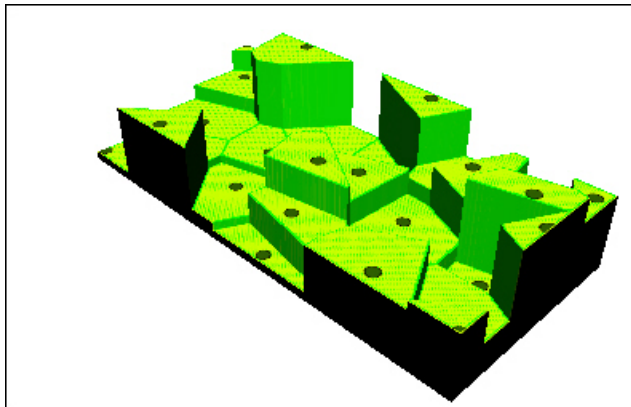
Kuva 2. Voronoin polygonit epäsäännölliselle pisteverkolle.

Interpoloinnissa kaikki polygonin sisällä sijaitsevat pisteet saavat sitten havaintopisteen arvon.

Menetelmän ongelmia ovat:

- Ennusteen arvo riippuu vain yhdessä havaintopisteessä mitatusta arvosta.
- Voronoin polygonit ovat riippuvaisia havaintopisteverkosta, ts. siitä, kuinka havaintopisteet on sijoitettu kohdealueelle.
- Menetelmä ei kuvaa alueiden sisäistä vaihtelua.

Vaikka kunkin alueen sisälle havaintoarvolle estimoidaan sama arvo, on Voronoin polygonit kuitenkin paras interpolointimenetelmä luokka-asteikollisten tunnusten interpoloimiseksi.



Kuva 3: Edellisen kuvan Voronoin polygoneja käyttävä porrasmalli

Voronoin polygoneja sovelletaan usein yhdistettynä johonkin kehittyneempään menetelmään. **Luonnollinen naapuruus** -nimellä (eng. natural neighbourhood) tunnetussa menetelmässä tekniikkaa sovelletaan liukuvien keskiarvojen menetelmässä tarvittavien painojen määrittämiseen. Voronoin polygoni -tekniikkaa voidaan soveltaa myös splin-tasoituksessa tarvittavien osa-alueiden määrittämisessä.

Liukuvien keskiarvojen menetelmä

Liukuvien keskiarvojen menetelmä. on yksinkertaisin **jatkuvan ennustepinnan** tuottava interpolointimenetelmä. Siinä kohdepisteelle lasketaan arvo ympäristön havaintojen painotettuna keskiarvona. Painot lasketaan havaintopisteiden ja kohdepisteiden välisen etäisyyden funktiona seuraavan kaavan

Liukuvien keskiarvojen menetelmä

Ripley, B. D. 1981. *Spatial Statistic*. Wiley series in probability and mathematical statistics. New York

mukaisesti (Ripley 1981).

$$\hat{Z}(x) = \sum_1^N \lambda_i Z(x_i) \quad \sum \lambda_i = 1, \quad \lambda_i \propto w(d(x, x_i)), \text{ missä}$$

$\hat{Z}(x)$ = pisteelle x ennustettu arvo

N = havaintopisteiden lukumäärä

$Z(x_i)$ = havaintopisteessä x_i havaittu arvo

λ_i = havainnon x_i painokerroin

w_i = painofunktio

$d(x, x_i)$ = etäisyys pisteestä x pisteeseen x_i

Yleensä painofunktion arvo lähenee ääretöntä, kun havaintopisteen ja kohdepisteen välinen etäisyys lähestyy nollaa.

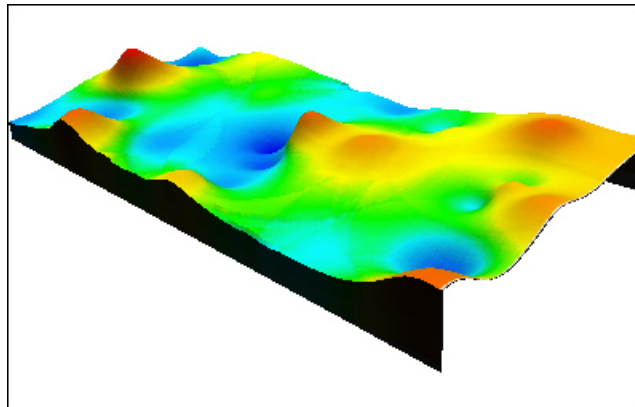
Menetelmää sovellettaessa käytetään myös lähimpien havaintojen lukumäärään perustuvaa painofunktion määrittystä, jolloin menetelmää voidaan kutsua lähimmän naapurin menetelmäksi. Käytännössä tiettyä maksimietäisyyttä kauempana olevat painot määritellään nolliksi. Jos maksimietäisyyttä lähempänä ei kuitenkaan ole yhtään havaintoa, siirretään kohdepisteelle lähimmän havaintopisteen arvo.

Liukuvien keskiarvojen menetelmän etuja ovat:

- Yksinkertaisuus ja helppo laskennallinen toteutus.
- Pystytään ottamaan huomioon myös pienimuotoinen paikallinen vaihtelu, kun valitaan painofunktion parametrit sopivasti.

Liukuvien keskiarvojen menetelmän heikkoutena on **herkkyys havaintopisteiden ryhmittäisyydelle**. Mikäli kohdepistettä lähellä on samalla etäisyydellä ryhmä havaintopisteitä ja toisaalla taas yksittäinen havainto, painottuvat ryhmän havaintopisteet interpoloinnissa liikaa. Menetelmä soveltuu siis suhteellisen tasaisin välein sijoittuvien havaintopisteiden avulla kerättyjen aineistojen interpolointiin.

Käänteisneliömenetelmä (**eng. inverse square distance interpolation, IS**) on liukuvien keskiarvojen-menetelmän erikoistapaus, jossa painofunktio $w=d^{-2}$. Joskus näistä käytetään myös nimitystä "painovoimafunktiot".



Kuva 4. IDW-menetelmällä (liukuvien keskiarvojen menetelmän erikoistapaus) luotu pinta samasta aineistosta, josta edellisen kuvan Voronoi-porraskuvia oli piirretty.

Trendipintamenetelmä

Yksinkertaisin tapa kuvata asteittaisia muutoksia on mallittaa niitä polynomiregressiolla. Ajatuksena on sovittaa viiva tai pinta pienimpien neliösummien avulla niin, että pinta tai käyrä poikkeaa mahdollisimman vähän havaintoarvoista. Spatiaaliset koordinaatit X ja Y oletetaan selittäjiksi ja kiinnostuksen

Trendipintamenetelmä

kohde Z on selitettävä muuttuja (Burrough 1987). Menetelmä soveltuu hyvin laaja-alaisen, hitaasti vaihtuvan vaihtelun mallintamiseen. Se ei ota huomioon pienialaista paikallista vaihtelua.

Yksinkertaisin tapa yksiulotteisessa aineistossa mallittaa ominaisuutta Z on käyttää lineaarista regressiota

$$Z = b_0 + b_1 X$$

missä Z on mallitettava ominaisuus ja X muodostuu havaintopisteistä, b_0 ja b_1 ovat parametrejä. Kaksiulotteisessa aineistossa otetaan mukaan myös Y -koordinaatti. Tuloksena on taso, joka kulkee havaintopisteen kautta.

Epälineaarisen vaihtelun mallittamisessa voidaan käyttää korkeamman asteen polynomifunktiota (Burrough 1987), jolloin tuloksena on (polynomifunktion asteluvusta riippuen) käännepisteitä sisältävä pinta.

Trendipintamenetelmän heikkouksia ovat:

- Reunavaikutus, jolloin interpoloitavan alueen rajojen lähellä ekstrapoloidut arvot voivat olla epärealistisia.
- Joustamattomuus pienillä asteluvuilla.
- Korkeamman asteen polynomifunktioiden termien merkitysten tulkinta on vaikeaa.
- Mikäli havaintopisteitä on vähän, voivat ääriarvot vääristää estimoitua pintaa voimakkaasti.
- Menetelmällä tuotettu ennustepinta ei kulje havaintopisteiden kautta eli menetelmä tuottaa pehmennetyn ennusteen havaintoaineistosta.

Regressiotekniikkaan perustuva trendipintamenetelmä on helppo ymmärtää ja ohjelmallisesti helppo toteuttaa. Menetelmää käytetään usein mallintamaan koko tutkimusalueen laaja-alainen vaihtelu ennen paikallisen interpolointimenetelmän käyttöä (Tokola ja Kalliovirta 2003).

Splinifunktiot

Splinit ovat paloittaisia funktioita, jotka sovitaan tarkasti muutamaan havaintopisteeseen kerrallaan. Samanaikaisesti varmistetaan, että käyrän osien liittymäkohdat ovat jatkuvia (Burrough 1987). Splinien avulla on mahdollista muokata käyrän osaa ilman, että koko käyrää tarvitsee laskea uudelleen.

Splini-nimeä käytettiin ensimmäisen kerran menetelmälle, jossa paloittaisen kuutiopolynomifunktion (piecewise cubic polynomial) avulla tasoitettiin havaintoaineisto jatkuvaksi käyräksi, jolla on jatkuva 1. ja 2. derivaatta (Burrough 1987). Menetelmässä aineisto jaetaan "paloihin", ja jokaisessa "palassa" aineistoon sovitaan kolmannen asteen polynomifunktio niin, että se ei muodosta epäjatkuvuuskohtaa liittyessään seuraavan "palan" polynomifunktioon. Myöhemmin splini-nimi laajennettiin koskemaan myös edellä kuvatusta menetelmästä johdettuja interpolointimenetelmiä. (Tokola ja Kalliovirta 2003)

Paloittaisen polynomifunktion $p(x)$ yleinen määritelmä on:

$$p(x) = p_i(x) \quad x_i < x < x_{i+1} \\ i = 0, 1, \dots, k-1$$

Funktiot $p_i(x)$ ovat polynomifunktioita (Burrough 1987). Splinejä voidaan käyttää sekä tarkkaan interpolointiin että karkeaan tasoittamiseen (Burrough 1987). Kolmiulotteisessa tapauksessa, kun halutaan ennustaa pinta havaintopisteiden avulla, voidaan käyttää niin sanottuja B-splinejä, jotka koostuvat kukin useasta pienemmästä splini-funktiosta (Burrough 1987). B-splinejä voidaan kuvata pieninä mäkinä ja laaksoina, joita yhdistelemällä saadaan kuvattua haluttu pinta.

Splinifunktioiden käytön etuja ovat:

- Koska splinifunktiot käsittelevät aineistoa pala kerrallaan, on interpolointi nopeaa.
- Tasoitettu pinta voidaan määrätä kulkemaan tarkalleen havaintopisteiden kautta tai pinta voidaan pehmentää keskimääräiseksi tasoitukseksi, joka ei mukaile kaikkia äärihavaintoja.
- Menetelmällä pystytään ottamaan huomioon myös pieniä paikallisia piirteitä tarkemmin kuin esim. liukuvien keskiarvojen menetelmässä.

Splini-menetelmän tarvitsemien parametrien määrääminen on hankalaa:

- Minkä verran ennustepinta saa poiketa havaintoarvoista?
- Palojen koko?

- Onko osavälien raja havaintopisteiden välissä vai kohdalla?

Nämä parametrit vaikuttavat oleellisesti siihen, minkälaisen ennustepinnan menetelmä tuottaa. Menetelmä ei myöskään tuota suoraan arviota estimoidun pinnan luotettavuudesta.

- [Geostatistiset interpolointimenetelmät](#) (Kriging)
- [Takaisin etusivulle](#)

Splinifunktiot



3.5.3 Kriging

[Lataa tulostuskelpoinen PDF-versio tästä luvusta koneellesi!](#)

Kriging-menetelmän kehittivät geologian ja kaivosteollisuuden käyttöön Georges Matheron ja D.G. Krige 1971.

Deterministiset menetelmät perustuvat suoraan ennustettavan pisteen ympäristön mitattuihin arvoihin tai matemaattisiin funktioihin, jotka määrittelevät ennustepinnan muodon. Toinen tapa interpoloida pinta paikkaan sidotun havaintopistetiedon avulla on käyttää hyväksi tilastollisia malleja, jotka huomioivat aineiston **autokorrelaation** l. havaintojen yhteisvaihtelun lähellä sijaitsevien havaintopisteiden kanssa. Näiden **geostatististen** menetelmien avulla saadaan ennustepinnan lisäksi myös tietoa ennusteen luotettavuudesta.

Kriging

Kriging-menetelmät on spatiaalinen interpolointimenetelmäperhe, jossa perusajatus on, että analysoimalla ominaisuuden spatiaalinen vaihtelu ja mallintamalla se, voidaan kullekin havaintopisteelle määrätä optimaalinen paino ennustepintaa laskettaessa (Tokola ja Kallioniemi 2003).

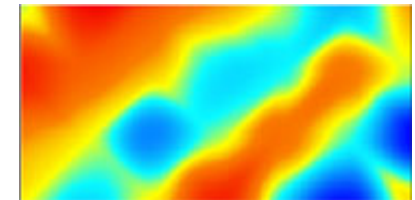
Kriging-menetelmä eroaa liukuvien keskiarvojen menetelmästä siinä, että ryhmittäisyyden vaikutus otetaan automaattisesti huomioon ja ryhmän havaintoarvot saavat pienemmän painon, kuin vastaava yksittäinen havaintoarvo Kriging-menetelmässä havaintoarvojen painot määrätään **alueellisen l. spatiaalisen vaihtelun** perusteella.

Kriging perustuu oletukseen, että spatiaalinen vaihtelu voidaan esittää kolmen komponentin avulla, jotka ovat:

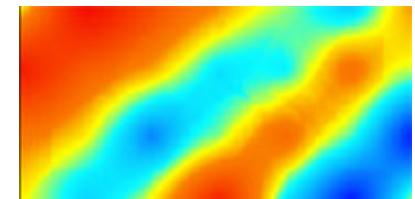
1. **Rakenteellinen komponentti**, jota voidaan kuvata pysyvällä keskiarvolla tai trendinomaisella vaihtelulla.
2. **Satunnainen spatiaalisesti korreloitunut komponentti.**
3. **Satunnainen spatiaalisesti korreloimaton komponentti** (kohina), johon voi sisältyä myös mittausvirhe (kuvat 1 ja 2).

30	55	45	37	30	22	37
52	42	35	25	26	39	30
38	32	18	29	40	28	8
32	24	32	52	25	9	33

Esimerkki Kriging-menetelmän soveltuvuudesta spatiaalisesti järjestyneen aineiston vaihtelun ennustamiseen. Yläkuvan havainnot voisivat olla esimerkiksi tyypillisen lounaasta koilliseen kulkevan harjumaيسان korkeusarvoja, jotka on saatu säännöllisen koealaverkon avulla.

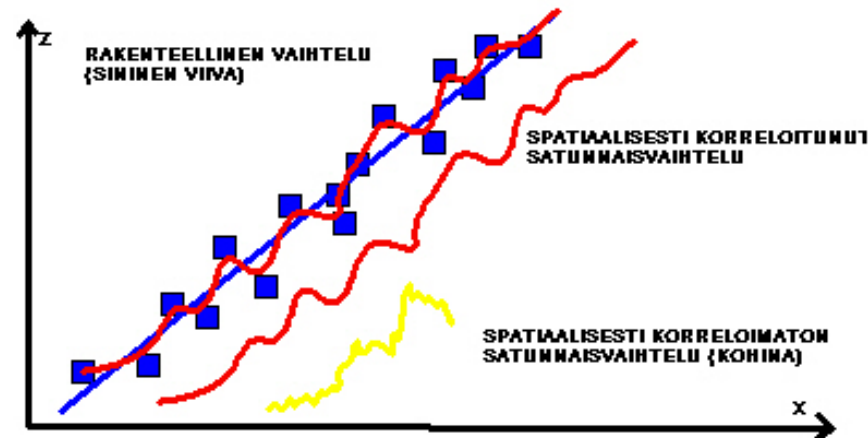


Tavalliselle TIN-menetelmään perustuvalla interpoloinnilla koealaverkko on liian harva.



Kriging-menetelmä tunnistaa

säännöllisen vaihtelun, ja piirtää
oikeamman kuvan tilanteesta



Kuvat 1 ja 2. Spatiaalisen vaihtelun komponentit tapauksissa, joissa rakenteellinen vaihtelu on äkillistä (kuva 1) tai trendinomaista (kuva 2) (Burrough 1987).

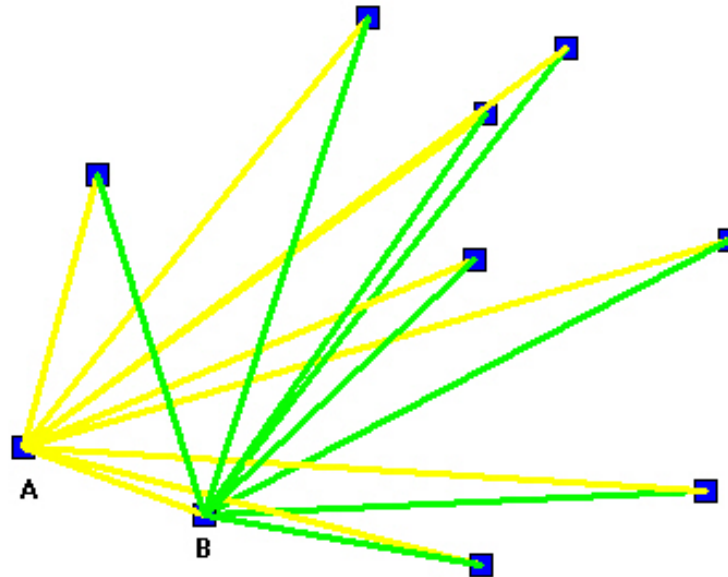
Tavallisessa krigingissä (eng. ordinary kriging) rakenteellinen komponentti kuvataan koko tutkimusalueen keskiarvona, kun taas **universaalissa krigingissä** (eng. universal kriging) rakenteellinen

komponentti kuvataan sijainnin funktiona. Se voi siis vaihdella alueen eri osissa.

Seuraavassa käydään läpi ordinary kriging- menetelmän vaiheet:

Semivariogrammin laskeminen: Autokorrelaation olemassaoloa sekä sen ominaisuuksia tarkastellaan **semivariogrammin** avulla. Kahden toisiaan lähellä olevien pisteiden arvojen erotus on pienempi kuin toisistaan kaukana sijaitsevien pisteiden arvojen erotus. Semivariogrammin avulla tutkitaan, kuinka kaukana toisistaan olevat pisteet korreloivat keskenään eli ovat **spatiaalisesti autokorreloituneita**.

Menetelmässä muodostetaan ensiksi kaikki mahdolliset havaintoaineiston pisteparit (kuva3). Tämän jälkeen piirretään semivariogrammi piirtämällä pisteparien väliset semivarianssit koordinaatistoon etäisyyden funktiona.



Kuva 3. Semivariogrammin laskemiseksi muodostetut pisteparit. Selvyyden vuoksi kuvaan on piirretty ainoastaan pisteille A ja B muodostetut pisteparit.

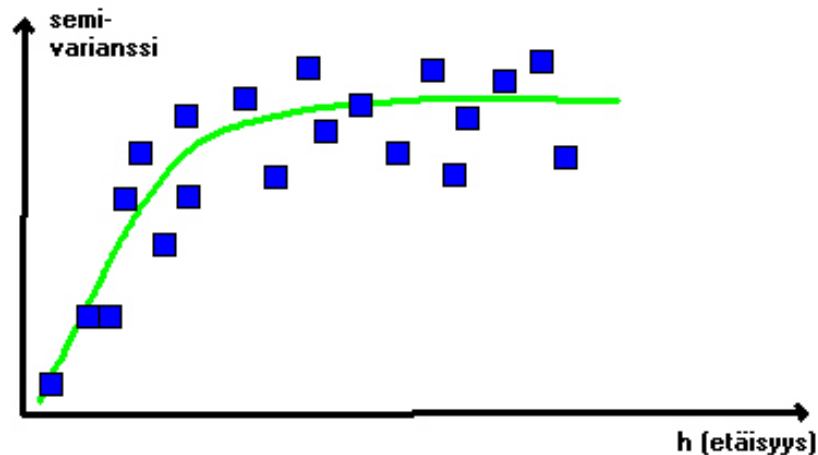
Globaali trendi on esimerkiksi vallitsevan tuulen suunnasta johtuva suuntautuneisuus savukaasujen leviämisessä. Ilmiö tunnetaan, ja se voidaan mallittaa jo ennen semiovariogrammin laskemista (Tokola ja Kallioniemi 2003).

Kuten kuvasta huomataan kasvaa pisteparien määrä nopeasti havaintopisteiden lukumäärän kasvaessa. Havaintopisteparit voidaan tällöin myös luokitella niiden keskinäisen etäisyyden perusteella. Jos luokkaväli on liian suuri, saattaa tärkeitä jaksottaista vaihtelua jäädä havaitsematta. Tasavälisen otoksen tapauksessa sopiva luokkaväli on usein havaintopisteiden välinen etäisyys.

Semivariogrammi voidaan laskea erikseen esimerkiksi länsi-itä ja etelä-pohjoinen suunnille. Mikäli autokorrelaatio on sama joka suuntaan, sanotaan aineiston olevan **isotrooppinen**. Muussa tapauksessa aineistoa kutsutaan **anisotrooppiseksi**. Anisotropiaa ei pidä sekoittaa **globaaliin trendiin**, joka voidaan mallittaa ja poistaa laskennallisesti. Anisotropia on tilastollisesti havaittavaa, mutta selittämätöntä suuntautunutta spatiaalista vaihtelua.

Anisotropian toteamiseksi aineistoa voidaan tutkia sektori kerrallaan. Englanninkielinen termi tutkittavan alueen leveydelle on bandwidth.

Mallin sovittaminen: Malli autokorrelaatiosta saadaan sovittamalla tasoituskäyrä semivariogrammin pisteparveen (kuva 4). Pisteparveen sopivin malli saadaan, kun sovitus tehdään pienimmän neliösumman menetelmällä. Tällöin minimoidaan pisteiden ja pisteparveen piirretyn tasoituskäyrän etäisyyksien neliöiden summa. Saatu malli määrittelee aineiston spatiaalisen autokorrelaation. Tasoituskäyrinä käytetään monenlaisia funktioita.



Kuva 4. Tyypillinen semivarianssin pisteparveen sovitettu semivarianssimalli.

Matriisien muodostaminen: Ordinary kriging- interpolointimenetelmä sisältää matriiseja ja vektoreita, jotka ovat riippuvaisia spatiaalisesta autokorrelaatiosta sekä pisteiden tilajakaumasta. Sovitettua autokorrelaatiomallia käytetään interpoloinnissa hyväksi määrittäessä etsintäsäde ja painot interpoloitavan pisteen naapuripisteille. Painot valitaan niin, että laskettu estimaatti on harhaton ja estimaatin varianssi on pienempi kuin minkään muun lineaarisesti muodostetun estimaatin varianssi (Burrough 1987).

Pisteen arvon ennustaminen: Laskettujen painotusten mukaan voidaan laskea ennustearvo pisteelle, jonka arvo on tuntematon. Varsinainen interpolointi tuottaa kullekin kohdepisteelle ominaisuuden arvon ennusteen lisäksi myös arvion ennustetun arvon virheestä. Näin voidaan tuottaa esimerkiksi 95 % luottamusväli ennustetulle arvolle.

Kriging-menetelmä vastaa siis tilastollisen tarkastelun avulla monien determinististen menetelmien yhteydessä esitettyyn kysymykseen kuinka kaukaa ja millaisin painotuksin naapuripisteiden arvot tulisi huomioida pisteen arvoa ennustettaessa. Teoriassa kriging- menetelmä antaa erittäin hyviä tuloksia, ja vastaa myös kysymykseen estimaatin luotettavuudesta, mutta perusoletusten paikkansapitävyys havaintoaineistossa tulee tarkastaa huolellisesti ennen menetelmän soveltamista.

- [Verkkoanalyysi](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.6 Verkkoanalyysit

Lataa
[tulostuskelpoinen PDF-versio](#) *tästä luvusta*
koneellesi!

3.6.1 Johdanto

Verkolla (network) tarkoitetaan tässä luvussa erilaisia jakelu- ja kulkuverkkoja, jotka muodostuvat linjamaisista kohteista. Tyypillisiä verkkoja ovat esimerkiksi tie- ja katuverkot, vesireitit, puhelin- ja sähköverkot ja viemärit. Analyysien avulla voidaan laskea tuottavuutta, optimoida kuljetuksia ja reitityksiä sekä jakaa resursseja. Joku verkon osa voidaan myös tarvittaessa kiertää tai sulkea.

Verkko-operaatiot on helpoin tehdä vektoritiedon avulla. Operaatiot perustuvat:

- jatkuvaan, katkeamattomaan verkkoon, jossa on topologia kunnossa.
- sääntöihin verkossa liikkumiselle, esim. hidasteet, sallitut kääntymissuunnat jne.
- mittayksikön määrittäminen.
- ominaisuuden kertymiseen verkossa liikuttaessa.
- sääntöihin attribuuttien arvojen muuttumiselle.

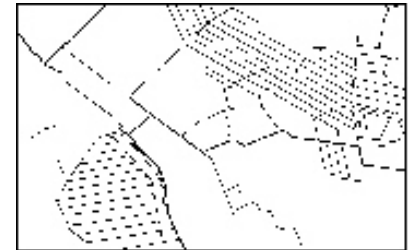
Erilaiset verkkomallityypit voidaan jakaa kahteen pääluokkaan: **ruuhkautumaton** (uncongested) ja **ruuhkautuva** (congested). Edellinen tarkoittaa verkkoa, jossa virtaus joidenkin kahden solmun välillä ei vaikuta muihin virtauksiin. Toisin sanoen virtausten vaikutusta toisiinsa tai virtauksen ruuhkautumista ei tarvitse huomioida.

Tällainen tilanne on tyypillinen abstrakteille verkoille, jotka kuvaavat logistisia ongelmia. Tällaiset abstraktit verkot esittävät asioiden loogisia suhteita, jotka eivät välttämättä vastaa reaali maailman tilanteita.

Ruuhkautuvat verkot tarkoittavat tilannetta, jossa verkon virtaukset vaikuttavat toisiinsa ja aiheuttavat kuljetuksen viivästymisiä tai muita ruuhkautumiseen liittyviä kustannuksia. Tämä vastaa reaali maailman verkkoa, jossa virtaus kulkee katuverkkoa tai muuta kuljetusverkkoa pitkin. (Tokola ja



Joensuun keskustan katuverkkoa



Tyypillistä ojaverkkoa metsäojitusalueelta

Kallioniemi 2003).

Verkkoanalyyzeihin törmää myös käytännön elämässä. Moniin kuluttajille suunnattuihin digitaalisiin kartta-aineistoihin on liitetty ainakin lyhimmän/nopeimman reitin etsintä tieverkkoa pitkin. Myös internetissä on sovelluksia, jotka etsivät lyhyimmän tai nopeimman reitin erilaisten palveluiden luo.

Kuljetusongelmien ratkaisu verkkomalleja käyttäen on arkipäivää monissa jakeluyrityksissä. Suurimmat puunjalostusyritykset käyttävät pitkälle vietyjä optimointialgoritmeja yhdessä verkkomallien kanssa etsiessään raaka-aineelleen tehokkainta tietä kannoilta ja pinoilta tehtaille.

Sijaintianalyysejä tarvitaan, kun etsitään edullisinta sijaintia liiketoiminnalle, pelastuspalvelulle tms. verkon sisältä. Kysymykseen voi tulla esim. matkustuskustannusten minimointi, maksimietäisyyden minimointi jne.

- [Dynaaminen segmentointi](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.6.2 Dynaaminen segmentointi

[Lataa 3. luvun tulostuskelpoinen PDF-versio tästä](#)

Lineaarinen segmentointi

Tavallisesti viivaverkko digitoidaan käsin tai digitointiohjelmien avulla seuraten verkon maantieteellisiä koordinaatteja. Syntyvä verkko on harvoin sellaisenaan sopiva verkkoanalyysin tarpeisiin. Verkko on yleensä tarpeen **segmentoida** viivoiksi, joilla on tunnettu alkupiste, loppupiste sekä verkon toiminnan kannalta relevantti yksilöllinen ominaisuus.

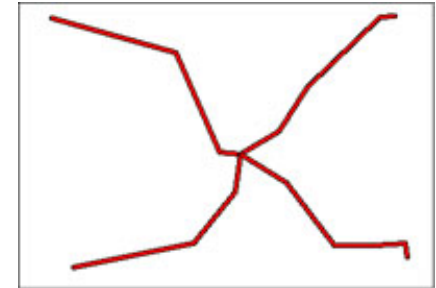
Esimerkiksi tieverkon osa risteyksestä risteykseen on usein yksi segmentti, mikäli tien päällyste, välityskyky, leveys, numero tms. pysyy muuttumattomana tällä välillä. Verkko voidaan toisaalta tarvittaessa jakaa uusiin segmentteihin esim. polygonilayerin avulla (viereinen kuva).

Dynaamisella segmentoinnilla tarkoitetaan viivan varrella olevan kohteen paikantamista **etäisyyden** perusteella jostain **tunnetusta lähtöpisteestä**. Viiva jaetaan osiin, jotka seuraavat toisiaan jonkun suureen kasvaessa määrätyn määrän. Tie voidaan jakaa osiin esim. etäisyyden, leveyden tai vaikkapa sen varrella sijaitsevien talojen tiheyden perusteella.

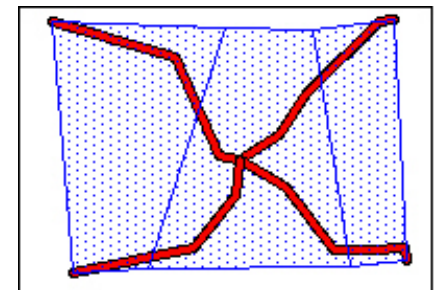
Reitti (route) on viivakohde, joka muodostuu viivoista ja niiden osista. Yhdessä viivakarttatasossa voi olla useita reittejä. **Segmentti** (segment, section) on periaatteessa viiva tai viivan osa, joka kuuluu määrättyyn reittiin. **Tapahtuma** (event) taas on paikallistettava reitin osaan liittyvä ominaisuus. Se voi olla viivamainen tai pistemäinen. Tapahtuman sijainti ilmoitetaan etäisyytenä reitin alkupisteestä.

Dynaaminen segmentointi on geometrian esitystapa kuten vektori ja rasterimallitkin. Syitä tällaisen paikantamisen käyttöön ovat mm. (Tokola ja Kalliovirta 2003):

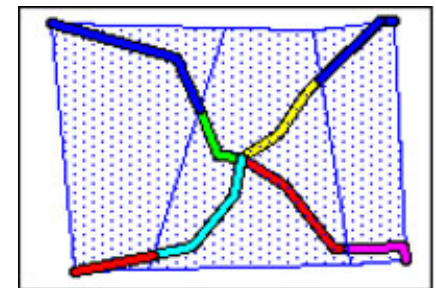
- Verkko on yleensä sijainniltaan staattinen (kuten tiestö tai joki).
- Sijainti voidaan esittää ilman x, y -koordinaatteja.
- Verkossa tapahtuvat ilmiöt tai niiden havainnoinnit ovat usein

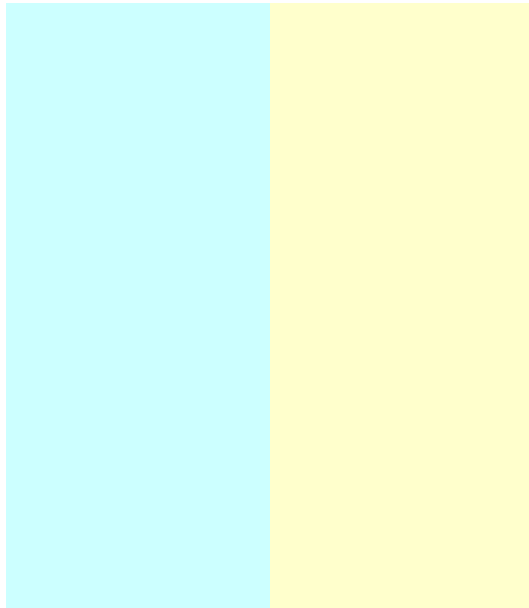


Neljään segmenttiin jakautunut tieverkko



Overlay esim. kuntarajojen kanssa





esiintyviä.

- Tapahtumat voivat olla piste- tai viivatyyppejä.
- Tapahtumaan liittyy ominaisuustietoja.
- Ei haluta muodostaa olemassa olevaan viivaan lisää tapahtumaan liittyviä solmuja.

Tapahtumien esittäminen tavallisessa viivakarttatasossa vaatisi pistetapahtuman sijoittamista solmupisteeseen. Viivatapahtuma pitäisi vastaavasti sijoittaa omaan viivaansa.

- [Verkkotietomalli](#)
- [Takaisin etusivulle](#)

*Lopputuloksena saadaan
8 segmenttiin jakautunut tieverkko*



3.6.3 Verkkotietomalli

Lataa
[tulostuskelpoinen PDF-](#)
[versio tästä luvusta](#)
koneellesi!

Verkkojen tietomalli luodaan kuvamaan verkon todellisuutta ja se yleensä yritetään muotoilla niin, että sitä on helppo käyttää.

Matematiikassa verkkoja käsitellään graafiteoriassa. Verkko on graafi, johon voidaan sisällyttää myös vuorovaikutusta ja liikkumista kuvaavaa käyttäytymistä. Verkoille on ominaista, että sen osat (solmut ja viivat) voivat sisältää painoja eli ”läpivirtauskustannuksia”.

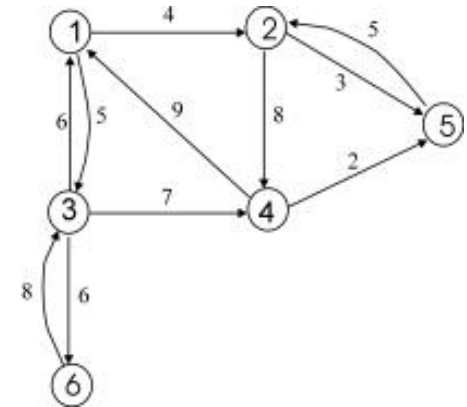
Kuljetusverkon kuvaus voi perustua joko **solmu-viiva-esitykseen** tai **dynaamiseen segmentointiin**. Verkon analysointia varten tästä geometrian kuvauksesta usein tehdään analysointia varten sopiva tietokanta. Jos halutaan tehdä yksittäisistä viivoista verkko on selvää, että viivojen virheetön liittyminen toisiinsa solmupisteissä on tärkeää (topologia).

Solmupisteiden välisiä viivoja kutsutaan myös **linkeiksi** (Links). Linkeissä voidaan oletusarvoisesti liikkua molempiin suuntiin. Linkin kautta kulkemisesta koituvaa kustannusta kutsutaan **impedanssiksi** ja siinä olevat estot ovat **esteitä** (barriers). Este esitetään negatiivisena impedanssina. **Risteykset** sijaitsevat solmupisteissä.

Kun koordinaateista ei ole tietoa, joukko toisiinsa solmuin liittyviä viivoja muodostavat loogisen verkon. Verkon tietomallin elementit ovat:

- Solmuelementtitaulu (junction element table)
- Viivaelementtitaulu (edge element table)
- Liitostaulu (connectivity table)

Oikean sarakkeen kuvissa 1 ja 2 on esitetty eräs mahdollinen verkon tietomalli nimeltään **Node-Node Adjacency Matrix**. Tietomallissa matriisin rivit ja sarakkeet kuvaavat verkon solmuja. Nollasta



Verkko, jossa solmujen välillä on yhteyksiä ja niillä eri vastuksia.

	j					
	0	4	5	0	0	0
	0	0	0	8	3	0
	6	0	0	7	0	6
i	9	0	0	0	2	0
	0	5	0	0	0	0
	0	0	8	0	0	0

Yllä esitetyn verkon solmujen yhteyksiä kuvaava matriisi, ns. Node-Node-Adjacency Matrix. Nollasta poikkeavat luvut kuvaavat verkon linkin vastusta solmusta solmuun. 0 taas indikoi, että yhteyttä ei ole. (Tokola ja Kallioniemi 2003).

poikkeavat luvut rivillä i ja sarakkeessa j kertovat verkon linkin arvon solmusta i solmuun j . Arvo nolla tarkoittaa, että solmujen i ja j välillä ei ole linkkiä.

Node-Node Adjacency Matrix -tietomallin vaatima tallennustila kasvaa verkon solmujen lukumäärän kasvaessa potenssiin kaksi. Tietomallin etuna on sen yksinkertaisuus, helppokäyttöisyys sekä sopivuus suurille verkoille. Muita mahdollisia tietomalleja ovat esim. **Forward Star** ja **Reverse Star**-tietomallit (Tokola ja Kallioniemi 2003).

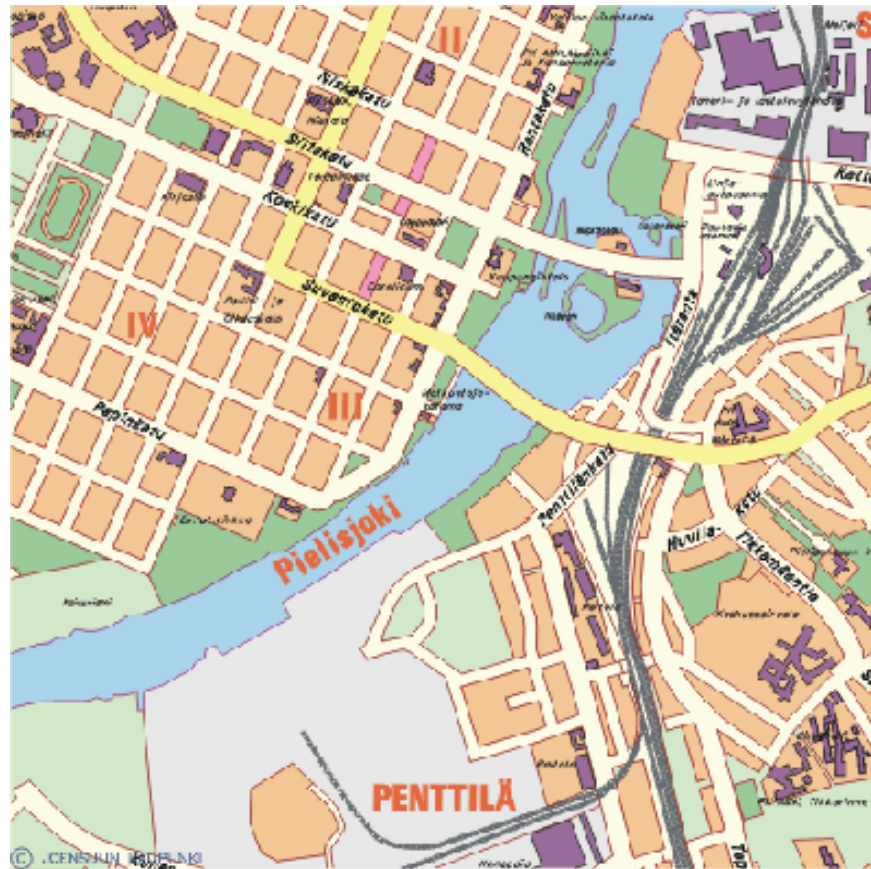
- [Geokoodaus](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.6.4 Geokoodaus verkkojen avulla

Geokoodaus

Asiakasrekisterit tai muut osoitteelliset tiedot voidaan paikantaa kartalle osoitteen tai muun paikantavan tekijän avulla. Tyypillisin sovellus on osoitteiden **geokoodaus**. Geokoodausta varten tieto on tietokantaan vietävässä muodossa ja lisäksi käytössä on oltava **geometriatiedon** omaava **referenssitietokanta**. Referenssitietokannan avulla osoitetieto voidaan sovittaa mahdollisimman lähelle oikeaa sijaintia.



Kuva 1. Joensuun keskusta. Tyypillinen opaskartoissa ja geokoodauksessa käytettävä rasterikäyttöliittymä. Kartan "alla" on geometriatiedon, katujen nimet ja numerotiedon sisältävä verkko (viereinen palsta).



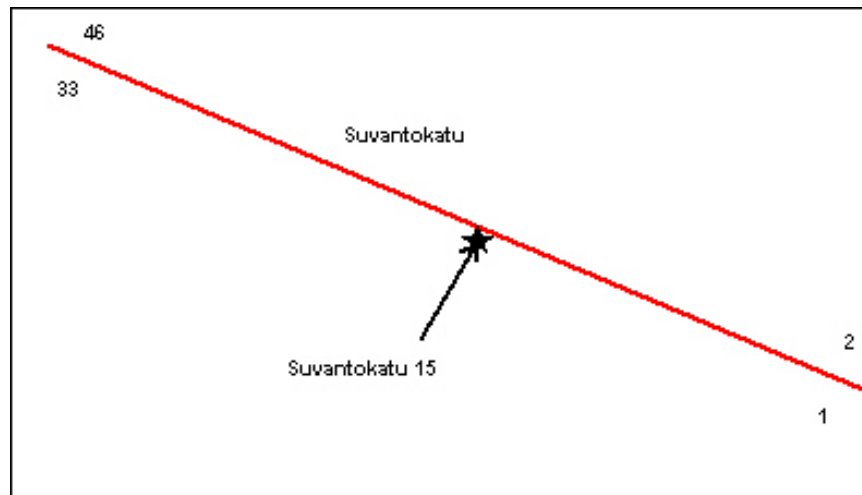
Viereiseen karttaan liittyvä verkko, joka sisältää esim. katujen nimet, verkon osien alku- ja loppukoordinaatit sekä tiedon solmuista (risteykset). Verkko näkyy harvoin loppukäyttäjälle.

Lataa tulostuskelpoinen PDF-versio tästä luvusta koneellesi!

Geokoodaus on yleisnimi analyyseille, joiden avulla osoite-, postinumero- tai muun tunnistetiedon omaaville tietueille luodaan spatiaalisen tiedon sisältävien tietueiden avulla maantieteellinen sijainti.

Osoitteiden geokoodaustarpeen takia luotiin Suomen haja-asutusalueille uusi tien nimeen ja etäisyyteen sen alkupisteestä perustuva osoitejärjestelmä.

Referenssitietokannan tauluissa on siis oltava vastaavat osoitteet. Osoitetiedon tarkkuudesta riippuu paikantamisen tarkkuus. Jokainen katu on jaettu **segmentteihin**, joilla on alku- ja loppuosoite. Tämä tekee mahdolliseksi arvioida segmentin välillä olevien osoitenumeroiden sijainnin arvioinnin (kuva 2). Joissakin toteutuksissa kummallakin tien puolella on oma numerointinsa, jotta sijainti saadaan sijoitettua oikealle puolelle tietä.



Kuva 2. Osoitteen sijainnin etsintä tiesegmentin alueelta.

Osoitetaulun ja referenssikannan lisäksi tarvitaan **geokoodausproseduuri**, joka sisältää erilaiset geokoodaussäännöt ja -toleranssit. Lopputuloksena tietokannan osoiterivistölle saadaan sijainnit karttakoordinaattien muodossa. Osoitteiden sovituksen etenee pääpiirteittäin seuraavasti:

1. Osoitetietojen rakenteen ja tyylin määrittäminen.
2. Sovitus ja toleranssien määrittäminen
3. Osoitteiden sovitus ja tunnistus
4. Tulosten tarkastus ja toleranssien korjaus
5. Uudelleen sovitus
6. Osoitteilla koordinaatit

*Lähde: Tokola ja
Kallioniemi:
Paikkatietoanalyysi*

*Helsingin yliopiston
metsävarojen käytön
laitoksen julkaisuja*

Helsinki 2003

Ensimmäinen vaiheessa määritetään standardoitu osoitteen rakenne referenssikannalle ja itse prosessoitavalle osoitelistalle. Esimerkiksi ”500 Rankin Street NE”:ssä on neljä osaa: etäisyys kadun alkupisteestä (500), kadun nimi (Rankin), kadun tyyppi (Street) ja suunta (NE). Suomalaisessa osoitteessa ”Hakunintie 21” on vain kadun nimi ja numero.

Sovitusalgoritmi ottaa yleensä sovitettavan osoitteen osa kerrallaan ja käy läpi kaikki referenssikannan kohteet. Jokaiselle referenssikannan kohteelle lasketaan ns. **yhteensovituskerroin**, joka kuvaan osoitteiden samanlaisuutta. Korkeimman pistemäärän saaneita kohteita kutsutaan kandidaateiksi. Sovitusparametrien avulla määrätään kandidaateiksi valittavien minimikerroin ja yhteensovituksen minimikerroin.

Oikeinkirjoituksen herkkyyys (eng. spelling sensitivity) kontrolloi kuinka paljon variaatiota voidaan sallia kandidaattien etsinnässä. Alhainen oikeinkirjoitusherkkyys sallii ”Mane”, ”Maine” ja ”Man” kandidaatit

Yleensä osoitteistoissa on virheitä ja puutteita, ja vain osa osoitteiden yhteensovituksesta onnistuu ensimmäisellä kerralla. Puutteita voidaan korjata editoimalla, interaktiivisesti sovittamalla tai käyttämällä uudelleensovitusta uusien parametrein.

- [Kuljetusongelmat](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.6.5 Kuljetusongelmat

*Lataa
tulostuskelpoinen
PDF-versio tästä
luvusta koneellesi!*

Lyhin reitti

Tilojen ja tilasiirtymien muodostamaa verkkorakennetta kutsutaan tietojenkäsittelytieteessä **tila-avaruudeksi**. Tila-avaruuden hakualgoritmit vaativat usein, että tila-avaruus on esitetty siten, että jokaisesta **tilasta** u voidaan muodostaa **joukko** $Adj(u)$, jossa ovat ne alkiot, joihin tilasta u on olemassa **tilasiirtymä**.

Tilasiirtymiin voidaan liittää **paino** (weight) $d(u,v)$, joka kertoo, millainen **kustannus** vaaditaan kuljettaessa tilasta u tilaan v . Tilaa s kutsutaan tavallisesti **lähtötilaksi** (source) ja tilaa t **maalitilaksi** (goal, sink). Lyhintä polkua $s - t$ kutsutaan myös **optimaaliseksi poluksi** tai **reitiksi**. (Tuikkala 2002)

Leveyshaku on ehkä yksinkertaisin tila-avaruuden etsintäalgoritmi. Leveyshaku etenee annetusta lähtötilasta s tasaisena rintamana käyttäen tilasiirtymiä, kunnes se saavuttaa maalitilan t . Jos kaikilla tilasiirtymillä on sama paino niin leveyshaku löytää lyhimmän reitin tilasta s tilaan t , olettaen, että t on saavutettavissa s :stä.

Tehtävissä, joissa on yleisessä tapauksessa (tilasiirtymillä erilaisia painoja) löydettävä lyhin polku s :stä t :hen, tarvitaan toisenlaista algoritmia. Eräs mahdollisuus on käyttää **Dijkstran** algoritmia.

Dijkstran algoritmi ratkaisee yhden lähteen lyhimmän polun ongelman painotetuille suuntaamattomille graafeille. Yhden lähteen lyhimmän polun ongelmassa on annettuna yksi lähtöpiste s ja yksi tai useampi maalipiste t . Tehtävänä on löytää lyhin polku lähtöpisteestä kaikkiin maalipisteisiin.

Leveyshakualgoritmi ylläpitää jonoa Q , jossa sijaitsevat käsittelemistä odottavat pisteet (so. etsintärintama). Kun jostain pisteestä v_i löydetään kaari johonkin toiseen pisteeseen, tämä piste siis lisätään jonon Q perälle. Jos lisäksi halutaan tietää löydetyn polun paino, on löydettyihin solmuihin algoritmin edetessä tallennettava kumulatiivinen paino (so. edellisen solmun paino johon lisätään solmujen välisen kaaren paino). Matemaattisesti asia ilmaistaan seuraavasti $d(v) = d(u) + d(u,v)$. Käytännössä usein riittää, että lasketaan polun etäisyys lähtöpisteestä, jolloin kaava yksinkertaistuu muotoon $d(v) = d(u) + 1$. (Tuikkala 2002).

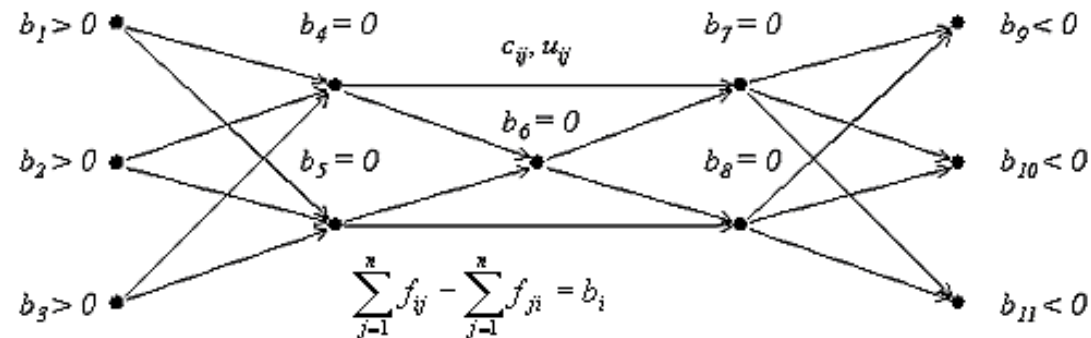
Virtaus ruuhkautumattomien verkkojen läpi

Minimikustannusvirtaus

Minimikustannusvirtaus on verkon virtausongelmien perustapaus. Minimikustannusvirtaus määrittelee kustannuksiltaan pienimmän reitin verkon läpi alkusolmusta loppusolmuun. Monet tärkeät virtausongelmat ovat tämän yleisen ongelman erikoistapauksia. Tällaisia analyysityökaluja on liitetty viime aikoina myös paikkatieto- ja kuljetusohjelmiin.

Oletetaan, että on olemassa suunnattu (virtaus voi kulkea vain määrättyyn suuntaan) verkko $G = [N, A]$ seuraavin ominaisuuksin (Kuva 1):

- Virtaus tulee verkkoon tarjontasolmujen kautta ja poistuu verkosta kysyntäsolmujen kautta.
- Tarjottu ja kysytty määrä on näissä solmuissa tunnettu.
- Kuljetussolmut eivät tuota tai poista virtausta verkosta.
- Kaikki virtaus, joka tulee kuljetussolmuun kulkee ainoastaan sen kautta ja lähtee eteenpäin.



Kuva 1. Minimikustannusvirtaus

Edellisen perusteella minimikustannusvirtaus voidaan esittää minimointiongelmana (Miller & Shaw 2001):

c_{ij} = kahden solmun (i, j) välisen viivan virtauskustannus yksikköä kohti

u_{ij} = kahden solmun (i, j) välisen viivan virtauskapasiteetti

b_i = nettovirtaus solmussa i , b_i :n arvo riippuu solmun tyypistä:

$b_i > 0$, jos solmu i on lähtö- tai tarjontasolmu,

$b_i = 0$, jos solmu i on kuljetussolmu,

$b_i < 0$, jos solmu i on loppu- tai kysyntäsolmu,

f_{ij} = kahden solmun (i, j) välisen viivan virtaus.

$$\text{Min}_{(f_{ij})} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} f_{ij}$$

Rajoituksilla:

$$(1) \quad \sum_{j=1}^n f_{ij} - \sum_{j=1}^n f_{ji} = b_i$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$(2) \quad 0 \leq f_{ij} \leq u_{ij}$$

jossa n on solmujen määrä.

Rajoituksen 1 mukaan virtauksen erotus solmusta i solmuun j on oltava yhtä suuri kuin solmun i nettovirtaus (b_i). Rajoitus 2 määrittää, että virtaus kahden solmun välillä ei voi olla negatiivinen eikä solmujen välistä kapasiteettia suurempi.

Minimikustannusvirtausta käsittelevällä ongelmalla ja sen erikoistapauksilla on kaksi tärkeää

ominaisuutta. Ensimmäinen on käyvän ratkaisun ominaisuus. Käypä ratkaisu minimikustannusvirtausongelmaan on olemassa, jos

$$\sum_{i=1}^n b_i = 0$$

Toisin sanoen kysyntäsolmuista verkosta poistuvan virran ja tarjontasolmuista verkkoon tulevan virran pitää olla yhtä suuret. Toinen ominaisuus on kokonaislukuratkaisu. Jos sekä nettovirtaukset (b_i) että suunnatut virtauskapasiteetit (u_{ij}) ovat kokonaislukuja, myös optimiratkaisuksi tulee kokonaisluku. Kokonaislukuoptimointi on tarpeen tilanteessa, jossa kuljetettavat yksiköt ovat jakamattomia.

Minimikustannusvirtauksen erikoistapauksia

Kuljetusongelma

Kuljetusongelmassa on m tarjontasolmua, joista kuljetus tapahtuu n kappaleeseen kysyntäsolmuja. Merkitään tarjontasolmuja $\{s_i\}$ ja kysyntäsolmuja $\{d_j\}$. Jokainen tarjontasolmu on suoraa yhteydessä kaikkiin kysyntäsolmuihin viivoilla, joiden kapasiteetti on rajoittamaton ($\{u_{ij}\} = \infty$). Viivojen painot $\{c_{ij}\}$ ilmaisevat yhden yksikön kuljetuskustannuksen tarjontasolmusta i kysyntäsolmuun j . Kuljetussolmuja ei ole. (Miller & Shaw 2001)

Kuva 2 esittää kuljetusongelmaa. Kuljetusongelman standarditulkinnassa tarjontasolmuja ovat tuotantotehtaat tai varastot ja kysyntäsolmuja varastot tai vähittäiskaupat. Kuljetusongelman avulla voidaan määrittää esim. mistä tehtaista kukin kauppa saa tuotteensa niin, että kuljetusten kokonaiskustannukset minimoituvat.

$$\underset{(f_{ij})}{Min} \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} f_{ij}$$

Rajoituksilla:

Tuikkala, J. 2002. Lyhyimmän polun etsiminen ja painotettujen alueiden ongelma. Turun yliopisto. LUK-tutkielma. Tietojenkäsittelytiede. 33 s.

Miller, H. J. ja Shaw, S. 2001. Geographic information systems for transportation. Oxford University Press.

$$(1) \quad \sum_{j=1}^n f_{ij} = s_i$$

$$(2) \quad \sum_{i=1}^m f_{ij} = d_j$$

$$j = 1, 2, \dots, n$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

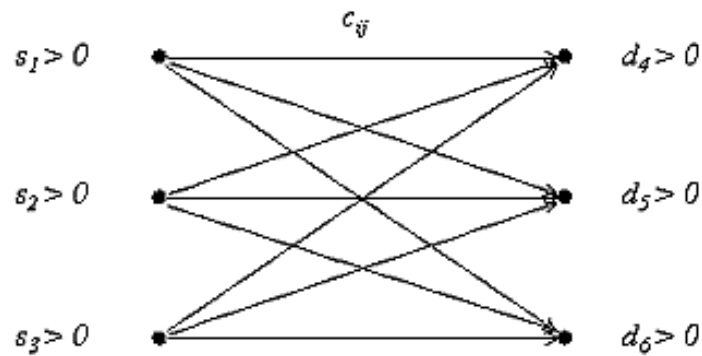
$$(3) \quad f_{ij} \geq 0$$

Käypä ratkaisu on olemassa, jos

$$\sum_{i=1}^m s_i = \sum_{j=1}^n d_j$$

Jos tämä ei pidä paikkaansa, yhtälöön voidaan lisätä eron tasaava dummy-muuttuja.

Kuljetusongelman laajennusta, jossa on myös välisolmuja, kutsutaan nimellä transshipment- eli siirtämisongelma (transshipment problem). Nämä välisolmut voivat toimia kuljetus-, tarjonta- tai kysyntäsolmuina. Reaalimaailmassa transshipment-ongelma voi olla tilanne, jossa tehtaista kuljetetaan tuotteita varastoihin ja niistä edelleen vähittäiskauppoihin. Matemaattisesti tämä ongelma on samanlainen minimikustannusvirtausta käsittelevän ongelman kanssa muuten paitsi, että kahden solmun välisen viivan ei-negatiivisuus ja kapasiteettirajoitteen tilalla on nyt pelkkä ei-negatiivisuusrajoite (Miller & Shaw 2001).



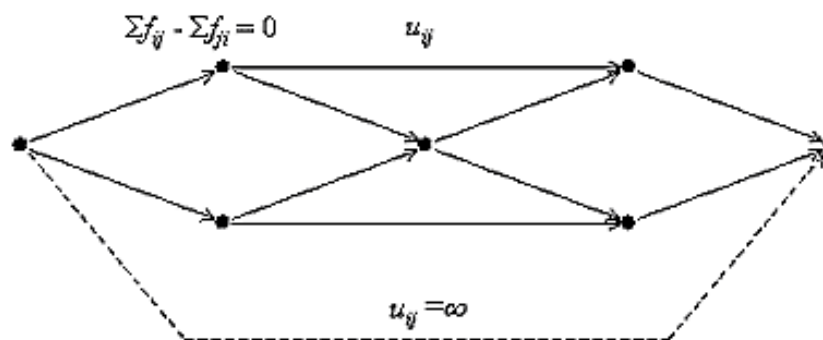
Kuva 2. Kuljetusongelma

Maksimivirtaus

Maksimivirtausongelmassa on tarkoitus löytää verkosta reitti, jota pitkin verkon läpi alkusolmusta loppusolmuun voi mennä suurin mahdollinen määrä esim. jotain tuotetta. Tässä tapauksessa on olemassa **yksi tarjontasolmu** ja **yksi kysyntäsolmu**. Näiden välillä olevat solmut ovat **kuljetussolmuja**.

Koska nyt on tarkoituksena saada verkosta läpi maksimimäärä esim. jotain tuotetta kustannuksista piittaamatta, virtauskustannus $\{c_{ij}\} = 0$.

Määritetään verkon läpi kulkevan virtauksen yläraja $\bar{F}$. Sekä tarjonta- että kysyntäsolmu saavat tämän arvon. Kuva 3 esittää maksimivirtausongelmaa. (Miller & Shaw 2001)



Kuva 3. Maksimivirtausongelma

Kun verkon lähtösolmu on 1 ja kohdesolmu n , voidaan maksimivirtausongelma kirjoittaa yhtälön muotoon (Miller & Shaw 2001):

$$\underset{(f_{ij})}{Max} \quad \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} f_{ij}$$

Rajoituksilla:

$$(1) \quad \sum_{j=1}^n f_{ij} - \sum_{j=1}^n f_{ji} = \begin{cases} \overline{F}, & i = 1 \\ 0, & i = 2, 3, \dots, n-1 \\ -\overline{F}, & i = n \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, n$$

$$(2) \quad 0 \leq f_{ij} \leq u_{ij}$$

Minimikustannusvirtausongelman ja sen erikoistapausten ratkaiseminen

Edellä käsitellyt virtausongelmat koostuvat lineaarisista yhtälöistä. Kaikki ongelmat on muotoiltu **lineaarisen ohjelmoinnin** edellytysten mukaan eli sekä **kohdeyhtälöt** että **rajoitukset** ovat **lineaarisia**. Lineaarinen optimointiyhtälö on kätevä ratkaista **simplex-algoritmin** avulla. Verkon ja kuljetuksen optimoimiseksi on olemassa omat tähän tarkoitukseen laaditut simplex-menetelmät. (Miller & Shaw 2001)

- [Ruuhkautuvat verkot](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



3.6.6 Ruuhkautuvat verkot

[Lataa tulostuskelpoinen PDF-versio tästä luvusta koneellesi!](#)

Miller, H. J. ja Shaw, S. 2001. Geographic information systems for transportation. Oxford University Press.

Käsitteitä

Edellisessä luvussa käsiteltiin klassisia kuljetusongelmia, jota voidaan yleensä ratkaista lineaarisen optimoinnin keinoin. Ruuhkautuvien verkkojen tapauksessa matkustuskustannukset (ja/tai ajat) muuttuvat liikennemäärien mukaan. Näin ollen koko verkolle voidaan määritellä kustannusfunktio tietyllä virtaustavalle.

Funktio voi olla luonteeltaan **erotteleva** tai **erottelematon**. Erotteleva funktio erottelee kustannukset eri reittien ja virtaustapojen suhteen. Vaikka koko verkkoa koskeva erottelematon funktio olisi realistisempi, on edellisen käyttö yleisempää analyttisen ratkaisun löytämiseksi.

Verkon virtauksen tasapaino

Virtauksen tasapaino tarkoittaa verkon pysyvää tilaa. Useimmat verkon tasapainomallit ovat **staattisia** ja tasapainotilan oletetaan säilyvän läpi ajan.

Ruuhkautuvan verkon virtaus on kuitenkin **dynaaminen** ilmiö. Tukkeumat kasaantuvat ja purkautuvat ajan kuluessa. Staattiset verkon tasapainomallit ovat käyttökelpoisia pitkän ajan strategisessa suunnittelussa, mutta sopivat huonosti käytännön toiminnan esim. liikenteen ohjauksen tai tehokkaiden kuljetussysteemien suunnitteluun. (Miller & Shaw 2001)

Käyttäjäoptimaalinen tasapaino

Käyttäjäoptimaalinen verkon virtauksen tasapaino on kaikkein tavallisimmin analyseissä käytetty verkon tasapainotyyppi. Tasapaino-olosuhteet on perinteisesti kuvattu seuraavasti:

- Verkon tasapainotilassa matkustaja ei pysty vähentämään matkustuskustannuksiaan vaihtamalla reittiään yksipuolisesti (eli itsenäisesti vaihtamaan reittiään siten, että muiden verkon

käyttäjien reitit eivät muuttuisi). Tämä tarkoittaa, että kaikilla käytössä olevilla reiteillä lähtösolmusta kohdesolmuun on sama pienin mahdollinen kustannus, eikä millään käyttämättömällä reitillä ole alempaa kustannusta. (Miller & Shaw 2001)

- Oletuksen mukaan jokaisen verkon virtaustavan virtaukset kulkevat lähtösolmusta kohdesolmuun ainoastaan minimikustannusreittejä pitkin. Matkustajalla ei ole minimikustannusreittejä edullisempia kulkuväyliä ilman jotain ulkoista häiriötä.
- Reittien valinnassa matkustajien käyttäytymisen oletetaan olevan järkevää. Lisäksi matkustajien oletetaan olevan kyvykkäitä päätöksentekijöitä. Matkustaja valitsee siis reiteistä kustannuksiltaan pienimmän.

Huolimatta vahvoista oletuksista, käyttäjäoptimaalisten tasapaino-olosuhteiden voidaan katsoa olevan sellaisessa tasapainossa, joka vastaa reaalimaailman tilannetta. (Miller & Shaw 2001)

Mallit, jotka ratkaisevat käyttäjäoptimaalisia virtauksia käyttävät usein **sama-arvo-optimointia** (equivalent optimization). Kun ratkaisu saadaan, on vielä tarkistettava, että ratkaisu on yksikäsitteinen ja yhtäpitävä tasapaino-olosuhteiden kanssa.

Optimointi on mahdollista tehdä sama-arvo-optimoinnin lisäksi myös muilla tavoilla. **Heuristisissa menetelmissä** optimaalista ratkaisu haetaan iteroinnin avulla. Ongelmana on mm. se, että saatu ratkaisu ei välttämättä ole optimi. Käyttäjä hyväksyy siis "riittävän hyvän" ratkaisun.

Systemioptimointi

Käyttäjäoptimaalisen ongelman ideana on minimoida jokaisen yksilön matkustuskustannus erikseen. Ruuhkautuvassa verkossa jokaisen matkustajan reittivalinta vaikuttaa toisten matkustajien reittien kustannuksiin. Vaikka jokaisen yksilön kohdalla valittu reitti olisi optimaalinen, kaikkien matkustajien reittien kustannukset saattavat yhdessä olla suuremmat kuin koko systeemin optimitilanteessa.

Systemioptimaalinen tasapaino tarkoittaa tilannetta, jossa

optimointi tehdään suuremmalle kokonaisuudelle esim. kaikkien matkustajien kokonaiskustannukset ovat minimissä. Tällaisen optimoinnin periaate on yhteiskunnallinen, jossa pyritään toiminnan tehokkuuteen. Siinä minimoidaan esim. energian kulutusta tai saastepäästöjä kokonaisuutena.

Dynaaminen tasapaino

Staattisen tasapainon yhtälöissä oletetaan, että verkon virtaukset lähestyvät tasapainotilaa, kun ajallista vaihtelua ei tapahdu.

Tasapaino on paljon laajempi käsite, kun verkon virtauksissa huomioidaan myös aikaulottuvuus. Aika voidaan käsittää joko diskreettinä tai jatkuvana. Tasapaino-olosuhteet voidaan ilmaista ajanjaksojen sisäisinä tai välisinä. Perinteisesti ymmärretyn verkon tasapainotilan saavuttaminen ei ole itsestäänselvyys erityisesti silloin, kun aika on jatkuva muuttuja. (Miller & Shaw 2001)

Matkustajien oletetaan reagoivan verkossa tapahtuviin muutoksiin ajan kuluessa. Matkustajan voidaan ajatella päivittävän reittiään vallitsevan liikennetilanteen mukaan. Toisessa vaihtoehdossa jokaiselle matkustajalle määritetään ensisijaiset reitit verkon eri tilanteisiin ennalta. Tätä lähestymistapaa kutsutaan ennustavaksi

Dynaaminen käyttäjäoptimaalinen perusongelma voidaan ratkaista kahdella menetelmällä. **Dynaaminen liikenteen määrittäminen** (dynamic traffic assignment) on heuristinen ratkaisumenetelmä, jossa on kiinnitetty huomiota erityisesti ratkaisuaian kohtuullisuuteen. **Lähenevä dynaaminen algoritmi** (convergent dynamic algorithm) antaa puolestaan ratkaisuksi ongelman aidon optimin. (Miller & Shaw 2001)

Verkon virtauksen simulointi

Toinen vaihtoehto mallittaa virtauksia ruuhkautuvassa verkossa on verkon virtauksen simulointi. Simulointimallit pystyvät käsittelemään kuljetussysteemien ominaisuuksia ja osia hyvin realistisesti. Jatkuva prosessointitehon nousu, visualisointimenetelmien kehittyminen ja lähes reaaliaikainen liikennetiedon keräys mahdollistavat simulointimenetelmien laajenevan käytön.

Simulointi on pyrkimys kuvata tai matkia todellisen maailman ilmiöitä ja toimintaa niin realistisesti kuin mahdollista. Raja simuloinnin ja perinteisen mallituksen välillä on häilyvä.

Perinteinen mallitus perustuu ongelman kuvaamiseen matemaattisten mallien avulla ja analyttisten ratkaisujen hakemiseen. Simuloinnissa kuvataan puolestaan systeemin eri osien käyttäytymistä ja niiden välisiä vuorovaikutuksia. Simulointi sallii paljon realistisemmän kuvauksen kuin perinteinen mallitus silloin, kun ei tarvitse kiinnittää huomiota ratkaisun olemassaoloon tai yksikäsitteisyyteen.

Virtauksen simulointimallit voidaan jakaa kolmeen luokkaan riippuen tasosta, jolla ajoneuvon käyttäytymistä on mallitettu.

- Makroskooppiset mallit käyttävät liikennevirran teoreettisia suhteita ja käsittelevät ajoneuvoja kokonaisvirtauksena.
 - Mikroskooppiset mallit esittävät ajoneuvojen käyttäytymistä yksilötasolla. Ne simuloivat jokaisen ajoneuvon liikkeistä suhteessa muihin ajoneuvoihin. Virtauksen ominaisuudet muodostuvat yksittäisten ajoneuvojen käyttäytymisen vuorovaikutuksesta.
 - Mesoskooppiset mallit ovat mikroskooppisten ja makroskooppisten mallien ”puolivälissä”. Ne eivät käsittele virtausta ajoneuvojen kokonaisvirtauksena, mutta eivät myöskään mallita ajoneuvoja yksilötasolla. (Miller & Shaw 2001)
-
- [Sijaintiongelmat verkoissa](#)
 - [Takaisin etusivulle](#)



3.6.7 Sijaintiongelmat verkoissa

[Lataa tulostuskelpoinen PDF-versio tästä luvusta koneellesi!](#)

Johdanto

Edullisimman sijainnin menetelmissä on tarkoituksena löytää toiminnalle optimaalinen tai lähes optimaalinen sijainti **verkon alueella**. Edullisimman sijainnin etsiminen on tavallisinta aloilla, joiden kysyntä tai tarve on sijainnista riippuva (kauppa, julkisen sektorin palvelut, pelastuspalvelut jne).

Tavoitteisiin perustuen edullisimman sijainnin ongelma voidaan jakaa kolmeen perusluokkaan.

- **Mediaaniongelmissa** (median problems) pyrkimyksenä on sijoittaa palvelut siten, että minimoidaan kokonaismatkustuskustannukset kysynnän ja palvelua tarjoavien sijaintien välillä. Mediaaniongelman lähestymistapa on kaikkein tavallisin menetelmä etsiä palveluiden edullisimpia sijainteja. Se on sopiva yksityisen sektorin esim. kauppojen tai kunnallisten palveluiden sijoittamiseen.
- **Keskusongelmat** (center problems) sopivat parhaiten hälytyspalveluiden sijoittamiseen, koska niissä ajatuksena on minimoida suurinta mahdollista asiakkaan matkustuskustannusta. Sijoitus tehdään siis siten, että kaikkein kauimpana ja vaikeimpien yhteyksien takana olevat asiakkaat ovat kohtuullisen matkustuskustannusten päässä hätäpalveluista.
- **Vaativuusongelmissa** (requirements problems) palvelut sijoitetaan jonkin ennalta määritetyn vaatimuksen mukaan. Esimerkiksi kysyntä tulee tyydytetyksi vain jollakin etukäteen määritellyllä etäisyydellä palvelusta.

Mediaani- ja keskusongelmat voidaan jakaa edelleen alaluokkiin sen mukaan, voivatko kysyntä-, tarjonta- ja/tai optimipisteet sijaita ainoastaan verkon solmuissa, vai onko niiden sijoittuminen vapaa. Solmupistetapeauksissa laskenta on yksinkertaisempaa.

P-mediaani sijoitusongelma



Tyypillistä haja-asutusalueen tieverkkoa. Sijaintiongelman avulla voitaisiin tutkia vaikkapa kaupan, koulun päiväkodin, paloaseman tai terveyskeskuksen edullisinta sijoittamista verkon alueelle.

P-mediaani sijoitusongelma on ehkä kaikkein eniten käytetty edullisimman sijainnin etsimismenetelmä. Ongelmana on sijoittaa p palvelupistettä optimaalisesti palvelun mahdollisten sijaintipisteiden m joukkoon palvelemaan kysyntäpisteitä n , jossa $p < m \leq n$.

- Sekä mahdolliset palvelupisteet että kysyntäpisteet voivat sijaita vain verkon solmupisteissä.
- Kaikki verkon pisteet eivät ole mahdollisia palvelupisteitä eikä kaikilla pisteillä ole kysyntää.

P-mediaaniongelman kannalta keskeinen tieto verkossa on solmujen välinen **matkustuskustannus**.

Tällaista ongelmaa nimitetään myös **sijainti-allokaatio-ongelmaksi** (location-allocation problem), koska siinä määritetään samanaikaisesti sekä palveluiden sijainnit että asiakkaiden jakautuminen näihin palvelupisteisiin

Vaikka sijaintipisteitä etsitään ainoastaan verkon solmupisteistä, on p-mediaaniongelma ei-deterministinen ja ratkaisu vaatii yleensä heurististen menetelmien käyttöä.

Yhdistetty lineaarinen malli

Sen lisäksi, että p-mediaaniongelma on käyttökelpoinen itsessään, se on keskeisellä sijalla myös monissa muissa sijoitusongelmissa. Kun p-mediaaniongelma esitetään yleisessä matemaattisessa muodossa ja sekä tavoitefunktio että rajoitteet ovat lineaarisia, käytetään siitä nimitystä **yhdistetty lineaarinen malli**. Sen avulla voidaan p-mediaaniongelma johtaa mm. seuraavat erikoistapaukset:

Maksimietäisyysrajoitteella määritetään suurin mahdollinen etäisyys tai matkustuskustannus, johon tietty palvelu ylettyy. Tämän alueen ulkopuolella jäävät verkon osat jäävät palvelua vaille.

Peittävyysongelmissa (covering location problem) on tarkoituksena sijoittaa palvelut siten, että kysyntäpisteet sijaitsevat aina vähintään yhden palvelupisteen peittoalueella. Peittoalue määritetään etäisyyden,

ajan tai matkustuskustannuksen avulla. Peittävyysongelmia on kahta päätyyppiä.

Määrätyn peittävyyden (set covering)

sijoitusongelmassa on ajatuksena löytää minimimäärä palvelupisteiden sijoitussolmuja siten, että kaikki kysyntäpisteet ovat jonkin palvelupisteen vaikutusalueella. Palvelupisteiden vaikutusalueet on määritetty joko etäisyyden tai matkustuskustannuksen mukaan.

Maksimipeiton (maximal covering) sijoitusongelma löytää asetetulla palvelupisteiden määrällä palvelupisteiden sijainnit siten, että niiden peittoalue kattaa maksimimäärän kysyntäpisteitä.

P-mediaaniongelma etäisyydellä painottaen (p-median with powered distance) on yritys huomioida kohtuullisuus p-mediaani ongelmien ratkaisuihin. Etäisyyden tai matkustuskustannusten merkityksen painottaminen potenssiin korottamalla voi parantaa palvelujen tasapuolisuutta.

P-keskuksen sijoitusongelma on määrittää p kappaletta palvelupisteiden sijainteja minimoiden suurinta mahdollista matkustuskustannusta tai etäisyyttä asiakkaan ja palvelun välillä. Ongelmaa kutsutaan myös nimellä ”minmax”-ongelma.

- [Takaisin Paikkatietoanalyysit-luvun etusivulle](#)
- [Takaisin etusivulle](#)



Materiaali jakaantuu moduleihin:

1. [Paikkatietojärjestelmien perusteet](#) 1.5 ov

Markus Huhtinen

2. [Rasteritietomalli ja sen analysointi](#) 1 ov

Timo Riikonen, Markus Huhtinen

3. [Paikkatietoanalyysit](#) 1.5 ov

Markus Huhtinen

4. [Tietoverkkovälitteiset paikkatietoratkaisut](#) 0.5 ov

Markus Huhtinen

5. [GPS ja muut paikannusjärjestelmät](#) 0.5 ov

Jani Hyttinen, Ismo Trast, Markus Huhtinen

6. [Kuvankäsittelyn perusteet](#) 0.5 ov

Paikkatietojärjestelmät

VirtuaaliAMK-projektin paikkatiedon tuotantorenkään tavoite on ollut tuottaa 5 opintoviikon interaktiivinen paikkatiedon WWW-opintomateriaali Virtuaaliammattikorkeakoulu-projektin käyttöön. Materiaalin avulla opiskelija voi tulevaisuudessa suorittaa paikkatiedon opintojaksoja riippumatta siitä, tarjotaanko hänen oppilaitoksessaan alan opintoja.

Materiaali koostuu HTML-dokumenteista, joiden katselemiseen riittää normaali selain. Materiaali on koostettu käyttäen MS IE 5.0-selainta ja FrontPage-ohjelmaa. Ohjelmaa ei ole testattu käyttäen muita selaimia. Näytön resoluutioksi on taittoa suunniteltaessa oletettu 1024*768 kuvapistettä. Lisäksi kukin luku on ladattavissa PDF-dokumenttina.

Materiaalin omaksuminen etäopiskeluna vaatii melko intensiivistä ohjausta sähköpostin välityksellä. Käyttökelpoisimmillaan opintomateriaali lienee WWW-oppikirjana, lähdeoteoksena ja oheismateriaalina ohjatuille harjoituksille. Materiaaliin sisältyy harjoitustöitä, joiden työohje, materiaalit ja joissain tapauksissa tarvittavat ohjelmistotkin on pakattu ZIP-muotoisiksi tiedostoiksi.

Materiaali jakaantuu moduleihin oheisen sisällysluettelon mukaisesti. Kukin moduleista muodostaa oman kokonaisuutensa, ja on suoritettavissa itsenäisenä opintojaksona.

Moduleihin liittyy tehtäviä, ja tehtäväaineistoja, jotka on yleensä laadittu MapInfo-ohjelmistoa käyttäen. Aineistot on mahdollista muuntaa myös muille ohjelmistoille sopiviksi.

GPS-laitteiston osalta tehtävien suoritus vaatii ainakin yksinkertaisen GPS-laitteen ja tiedonsiirtokaapelin hankintaa.

Joensuussa 30.10.2003

Tekijät

Markus Huhtinen (koordinaattori)
lehtori



Paikkatietojärjestelmät (GIS) ovat keinoja esittää tietoa maasta



Satelliittikuvat ovat tärkeä apu maankäytön suunnittelussa ja seurannassa



GPS auttaa luonnonvarojen

Markus Huhtinen

***Vaikka materiaali on
käytössä, otamme
kiitollisina vastaan kaikki
korjaus- ja
parannusesitykset.***

***Parhaiten tavoitat meidät
sähköpostilla osoitteesta
markus.huhtinen@ncp.fi***

Pohjois-Karjalan AMK
013 260 6958
email markus.huhtinen@ncp.fi

Timo Riikonen
lehtori
Seinäjoen ammattikorkeakoulu
0201 245731
GSM 0400666465
email: timo.riikonen@seamk.fi

Ismo Trast
yliopettaja
Satakunnan AMK
email: itrast@tp.spt.fi
02 620 3297

Tuotantorenkaiden koordinoinnista vastasi Pohjois-Karjalan AMK.

Sivun laati 3.11. 2003 [Markus Huhtinen](#)

kartoituksessa