

Eija Viirret

Vektorimuotoisten karttojen siirto mobiililaitteelle

Tietotekniikan
pro gradu -tutkielma
27.4.2009

Jyväskylän yliopisto
Tietotekniikan laitos
Kokkolan yliopistokeskus Chydenius

Tekijä: Eija Viirret

Yhteystiedot: viirreei@gmail.com

Työn nimi: Vektorimuotoisten karttojen siirto mobiililaitteelle

Title in English: Transfer of Vector Map Data to Mobile

Sivumäärä: 80 sivua

Linja: Ohjelmistotekniikka

Teettäjä: Jyväskylän yliopisto, Tietotekniikan laitos

TIIVISTELMÄ

Tutkielma käsittelee vektorimuotoisen karttatiedoston siirtoa mobiililaitteelle langattoman siirtotien kautta. Tutkielmassa käsitellään haasteita, jotka vaikeuttavat karttatiedon siirtoa ja muokkausta. Haasteita asettavat mobiililaitteen tietojenkäsittelykyvyn rajallisuus, siirtotien rajallisuus, karttatiedoston suuri koko ja karttatiedoston käsittelyn rajoitteet. Rajoitteiden asettamien haasteiden pienentämiseksi, tutkielmassa on esitetty ratkaisuksi karttatiedon progressiivista lähetystä palvelimelta, mobiililaitteessa sijaitsevalle asiakassovellukselle, jossa karttadata saatetaan esitettävään muotoon. Karttatietoa on käsiteltävä yleistämällä, karttatiedoston koon pienentämiseksi. Yleistämisessä on otettava huomioon kartankäsittelyn rajoitteet ja tallennusmuoto, jonka tulee tukea tiedon progressiivista lähetystä.

AVAINSANAT: mobiili, asiakas, palvelin, kartta, vektori, progressiivinen, lähetys, yleistäminen

ABSTRACT

This study handles progressive transmission of vector map data to mobile through wireless network. This study is dealing with those challenges, which are dealing with transfer and editing of vector map data. Challenging difficulties are limitations in mobile data processing, wireless network, and large size of vector map data file also constrains in vector map data processing cause problems. Study has represented one solution to minimize those limitations. Solution is to send map data from server to mobile progressively, where map data is transformed to presentation mode. Vector map data is generalized to diminish the size of map data file. Generalization limitations in editing of map data should be noted; also the form of saving vector map data should support progressive sending of map data.

KEYWORDS: Mobile, Client, Server, Map, Vector, Progressive, Send, Generalization

SISÄLLYSLUETTELO

1 . JOHDANTO	7
2 . SANASTO	9
3 . KARTTATIEDON SIIRRON RAJOITTEET	12
3.1 Laite- ja siirtotierajoitteet	12
3.1.1 Siirtotien rajoitteet	12
3.1.2 Langattoman mobiililaitteen rajoitteet.....	16
3.2 Siirrettävän tiedon määrän rajausta käyttäjän asettamilla hakuehdoilla ja paikannuksella	18
3.3 Kontekstietoisuus – sopeutumistekniikka mobiililaitteen rajoitteisiin ...	19
4 . ASIAKAS-PALVELIN ARKKITEHTUURI	21
4.1 Arkkitehtuurin työnjako.....	21
4.2 Tietojen latausmallit asiakas- palvelin arkkitehtuurissa.....	25
5 . RASTERIMUOTOINEN ESITYSTAPA.....	27
5.1 Rasteri- ja vektorimuotoisen esitystapojen vertailua	27
5.2 Rasterimuotoinen datan lähetys.....	30
6 . VEKTORIMUOTOINEN ESITYSTAPA.....	32
6.1 Karttojen vektorimuotoinen esitystapa	32
6.2 Topologinen kompleksi ja solut	34
6.3 Vektorimuotoisen kartan eri teematasot.....	35
6.4 Karttojen käsittelyn kartografiset rajoitteet	39
6.4.1 Kartografisten rajoitteiden luokittelu.....	40
7 . VEKTORIMUOTOISEN KARTTADATAN KÄSITTELYN HAASTEET.....	43
7.1 Karttadatan muokkauksen haasteet	43
7.1.1 Kartan esikäsittely yksityiskohtia vähentämällä.....	44
7.1.2 Johdonmukaisuuden säilyttämisen tärkeys.....	47
7.1.3 Mittoja ja yleistyksen mittareita	49
7.1.4 Yleistystoleranssi.....	51
8 . VEKTORIMUOTOISEN KARTAN TALLENNUSTAVAT.....	53
8.1 Karttatiedon yleinen tallentaminen	53

8.2	Kaksi erilaista tallennustekniikkaa	54
8.2.1	Erillisiin tasoihin tallennus	55
8.2.2	Hierarkkinen tasoihin tallennus.....	55
9	VEKTORIMUOTOISEN KARTTADATAN MUOKKAUS.....	58
9.1	Karttaesityksen yleistämis- ja tarkennusoperaatiot.....	58
9.2	Eri tarkkuustasoilla olevien esitysten mallintaminen	62
9.2.1	Suuren karttadatamäärän käsittely	64
9.3	Eri tarkkuustasojen tallennus hierarkiseen tallennusrakenteeseen	66
9.3.1	Tarkkuustasojen väliset linkit.....	67
10	VEKTORIMUOTOISEN KARTTATIEDON SIIRTO PALVELIMELTA ASIAKASSOVELLUKSELLE	72
10.1	Tallennetun karttadatan siirto	72
10.1.1	Karttatiedon lähetys.....	72
10.1.2	Lähetetyn karttatiedon vastaanottaminen mobiililaitteissa....	73
11	TULEVAISUUS, 2½D -JA 3D- KARTAT MOBIILILAITTEISSA.....	77
12	YHTEENVETO	79
	LÄHDELUETTELO	81
	LIITE 1.....	88
	LIITE 2.....	90
	LIITE 3.....	92
	LIITE 4.....	94
	LIITE 5.....	96
	LIITE 6.....	97

1 . JOHDANTO

Aikojen alusta asti ihminen on piirtänyt karttoja neuvoakseen tovereilleen tien hyvälle metsästysapajille ja sotatantereille. Kartat ovat kehittyneet maahan piirrettyjen summittaisten viivojen ja merkkien kautta, paperisiksi ja lopulta digitaaliseksi esityksiksi ympäröivästä maailmasta. Kuten muinaiset esi-isämme aikojen alussa tarvitsemme mekin, saapuessamme tuntemattomaan paikkaan, apua navigoidaksemme perille määränpäähän. Mutta missä on kartta, kun sitä tarvitaan? Toisin kuin esi-isillämme meillä on mahdollisuus päästä käsiksi karttaan, joka on aina ajan tasalla ja joka on aina saapuvilla. Haave saavutetaan mukana kulkevalla mobiililaitteella, jonka avulla päästään käsiksi digitaalisessa muodossa olevaan karttaan. Kehittyneiden mobiililaitteiden yleistyessä, haave jokaisen mukana kulkevasta kartasta ei ole enää kaukainen.

Mutta haavetta ei voida saavuttaa ennen kuin karttatiedon siirron ja karttatiedon käsittelyn haasteet on voitettu. Haasteita aiheuttavat mm. siirtotie, mobiililaitte ja siirrettävän tiedon suuri määrä ja koko. Tiedonsiirtorajoitteita käsitellään tarkemmin luvussa 3. Tiedonsiirron haasteita pyritään hallitsemaan ottamalla käyttöön tehokas luvussa neljä esitelty asiakas -palvelin arkkitehtuuri.

Karttatieto voidaan esittää mobiililaitteessa joko rasteri tai vektorimuotoisena. Kumpaankin esitystapaan liittyvät omat haasteensa ja etunsa. Luvussa 5 tutustutaan tarkemmin rasterimuotoiseen karttaesitystapaan ja siihen miksi vektorimuotoinen esitystapa on valtaamassa tilaa rasterimuotoiselta esitystavalta. Luvussa 6 tarkastellaan vektorimuotoisten karttojen erilaisia esitystapoja ja niiden käsittelyn rajoitteita. Karttatiedon käsittelyn- ja tiedonsiirtorajoitteet vaikuttavat mobiililaitteelle siirrettävän karttatiedoston kokoon ja käsittelytapoihin. Erilaisia karttojen käsittelytapoja ja käsittelytapojen haasteita käsitellään tarkemmin luvussa 7.

Luvussa 8 käsitellään vektorimuotoisten karttojen tallennustekniikoita ja näiden tallennustekniikoiden ongelmia, jotka on ratkaistava parhaimman mahdollisen tiedonsiirtokokemuksen luomiseksi. Luvuissa 9 ja 10 kuvataan esimerkinomaisesti kuinka formaaleja kuvaamistapoja hyväksikäyttäen, vektorimuotoisen kartan yleistys, tallennus ja siirto suoritetaan. Luvuissa käsitellään myös karttatiedon lähettämistä ja vastaanottamista. Luvussa 11 käsitellään hiukan tulevaisuuden 2 ½D- ja 3D-karttoja.

2 . SANASTO

AGPS (engl. Assisted Global Positioning System) Järjestelmä, jossa GPS-järjestelmän paikannuksen heikkouksia, kaupunkiympäristöissä ja sisätiloissa, parannetaan yhdistämällä GPS paikannukseen verkkopaikannus. [33]

Attribuutti Luonnehtiva tai kuvaava piirre. Metatieto-ominaisuus. Ominaisuudella on aina tietotyyppi ja arvoalue.

Esittäminen Paikkatiedon kuvaamista ihmisen ymmärtämässä muodossa

Heterogeeninen Sekakoosteinen, epäyhtenäinen

Homogeeninen Tasakoosteinen, tasarakenteinen, tasalaatuinen

Karttataso, Teemakartta, Kartantarkkuustaso Visuaalinen paikkatietoaineiston esitysmuoto missä tahansa digitaalisessa karttaympäristössä. Käsitteellisesti taso vastaa viipaletta tai kerrosta maantieteellisestä todellisuudesta tietyllä alueella, muistuttaen paperikartan yhtä selitetasoa. Esimerkiksi : Silta , tie ja joet ovat selitteitä eräästä kartan teematasosta. Karttataso voi tarkoittaa myös yhtä kartan tarkkuustasoa.

LTE (engl. Long Term Evolution) LTE teknologia on UTMS standardin parannus. LTE parantaa mm. tietoliikenteen nopeutta.

Maastomalli (engl. terrain model) Mittaamalla saatua tietoa maaston pinnan muodoista avaruuskoordinaatistoon (x,y,z) sijoitettuna.

Mobiililaite, mobiili Laite, joka voi lähettää ja välittää tietoa paikasta riippumatta. Tietoliikenneverkkoon ollaan yhteydessä langattomasti. Mobiililaitteen ominaisuuksiin kuuluu reaaliaikaisuus. Nopea reaaliaikainen tiedonvälitys mahdollistaa interaktiivisuuden ja tätä kautta välittömän kommunikoinnin. Yleensä mobiilipuhelin tai tabletPC.

NFC (engl. Near Field Communication) Korkeiden taajuuksien langaton kommunikointitekniikka, joka mahdollistaa datan vaihdon toisiaan lähellä olevien laitteiden välillä. Tekniikka on RFID-tekniikan jatke.

Ominaisuustieto Tieto, joka kuvailee karttamerkkien maantieteellisiä kohteita

Paikannus (engl. Positioning) Kohteen sijainnin määrittäminen vertausjärjestelmässä. [33]

Primitiivi, Geometrinen primitiivi Geometrinen objekti, joka vastaa yksittäistä jatkuvaa yhtenäistä avaruuden osaa. Primitiivi voi olla piste, viiva, käyrä tai kappale.

Profiili Yhden tai useamman standardin joukko tai osajoukko tiettyä toimintaympäristöä varten

Rajoite (engl. Constraint) Rajoite vähentää ja ohjaa yleistystä

Rasterityyppi, Rasterikartta Rasteri Tietotyyppi, joka kuvaa maanpintaa samankokoisista pienistä ruuduista rakentuvana ruutuverkkona. Ruutuverkko koostuu riveistä ja sarakkeista.

Resoluutio Lyhin kartassa esitettävä etäisyys

Sijaintitieto Kohteen sijaintia sekä maantieteellisiä piirteitä ilmaistaan maantieteellisten koordinaattien ja topologiatietojen avulla. [33]

Solmu (engl. node) Erityispiste, jonka avulla muodostetaan vektorimuotoisen kartan topologia eli kuvataan viivojen risteyskohtia ja viivan loppumista.

Spatiaalinen Data Data, joka viittaa maantieteelliseen paikkaan, muotoon ja maantieteellisten objektien suhteisiin.

Spatiaalinen ominaisuus (engl. spatial attribute) Paikkatietokohteen geometriaa tai topologiaa kuvaileva ominaisuus

Stateless protokolla Asiakassovellus avaa itsenäisen yhteyden palvelimelle, hakee tiedoston ja sulkee palvelin yhteyden. Näin tapahtuu, jokaisella kerralla kun halutaan tietoja palvelimelta. Yhteystiedot ja yksityistiedot siirretään jokaisella yhteyden avauksella.

Topologia (engl. topology) Tieto, joka kuvaa karttaobjektien tai niiden osien välisiä sijaintisuhteita, jotka säilyvät muuttumattomina jatkuvissa muunnoksissa [33]

Topologinen kompleksi (engl. topological complex) Topologinen kompleksi on joukko käsitteellisesti erillisiä topologia primitiivejä, joista jokaisen topologisen primitiivin rajaus voidaan esittää samaan joukkoon kuuluvien alemman dimension topologisten primitiivien yhdistelmänä. [33]

Topologinen primitiivi (engl. topological primitive) Topologinen objekti, joka edustaa yksittäistä, jatkuvaa ja yhtenäistä topologisen avaruuden osaa. Topologinen primitiivi voidaan rajata alemman ulottuvuuden topologisten primitiivien avulla. Topologia primitiivejä ovat solmupiste, linkki jne. [33]

Topologisen primitiivin rajaus Topologinen primitiivi voidaan rajata alemman ulottuvuuden topologisten primitiivien avulla

Vektorityyppi, vektorikartta, vektori Tietotyyppi, joka esittää maantieteellisiä kohteita pisteinä, viivoina ja alueina. [33] Ominaisuustieto on yhdistetty karttakohteeseen.

WLAN (engl. Wireless Local Area Network) Yhdistää kahden tai useamman tietokoneen toisiinsa ilman johtoja, käyttäen radioaaltoja.

Yleistäminen Karttailmaisun yksinkertaistamista, muuttamista toiseen pelkistetympään, vähemmän tallennustilaa vaativaan muotoon, annettujen rajoitteiden puitteissa. ns. "Karttatiedon pakkaus"

QoS-tekniikka (engl. Quality of Service techniques) Palvelun laatutekniikat

3 . KARTTATIEDON SIIRRON RAJOITTEET

Luvussa kerrotaan kuinka vaatimus karttatiedon esittämisestä mobiililaitteessa kohtaa erilaisia rajoitteita, jotka hankaloittavat tiedonsiirtoa. Rajoitteet jaetaan kolmeen rajoiteryhmään: laite-, data-, ja käyttäjärajoitteisiin. Laite- ja datarajoitteet koskevat siirtotietä ja mobiililaitetta. Käyttäjärajoitteet koskevat käyttäjän karttatiedolle asettamia vaatimuksia. Rajoitteisiin on sopeuduttava ja toimittava niiden asettamissa puitteissa. Luvussa käsitellään myös kuinka rajoitteiden vaikutusta voidaan vähentää mahdollisimman tehokkaasti tiedonsiirron varmistamiseksi, ottamalla käyttöön tekniikoita, jotka vähentävät liikuteltavan datan määrää.

3.1 Laite- ja siirtotierajoitteet

Tiedonsiirtolaitteiden, karttatiedostojen esitys- ja tallennustekniikoiden rajoitteet asettavat rajat siirrettävän tiedon koolle, tiedonsiirron tehokkuudelle ja karttatiedostojen paikkansapitävyydelle. Esitys- ja tallennustekniikoiden rajoitteita ovat mm. siirtotie-, mobiililaitte- ja karttatiedon käsittelyn, esittämisen ja pakkauksen rajoitteet. Rajoitteeksi voidaan katsoa myös rajoitteiden vähentämiseen tarkoitettujen tekniikoiden erilaiset ”kustannustehokkuudet”. Kannattaako tehokkaimmaksi todettu tekniikka ottaa käyttöön, jos sen toteutus- ja ylläpitokustannukset ohittavat siitä saatavan teknisen hyödyn. On myös tutkittava onko kehitettävälle karttapalvelulle riittävästi käyttäjiä, jotka omaavat karttapalveluihin kykenevän laitteen ja ovat halukkaita käyttämään tarjottua palvelua.

3.1.1 Siirtotien rajoitteet

Siirtotie on olennainen osa mobiiliverkkoa ja yksi sen pahimmista pullonkauloista. Siirtotien kautta siirretään palvelimella oleva tieto mobiililaitteelle. Langattomalla siirtoväylällä on useita siirtotierajoitteita mm. korkea bittivirheiden

määrä, kapeneva kaistanleveys, siirtotien hitaus, katkeilevat tietoliikenneyhteydet jne. [17]

Ongelmia siirtotielle aiheuttaa myös verkkoa käyttävien laitteiden määrän kasvu, joka johtaa tiedonsiirtoon käytettävän kaistanleveyden kapenemiseen. Kapean tiedonsiirtoväylän ja korkean bittivirhemäärän vaikutuksia pyritään vähentämään käyttämällä yhä tehokkaampia langattomia tiedonsiirtotekniikoita:

- GPRS (64kbit/sek)
- 3G/UMTS (1 ja 2 Mbit/sek)
- 4G/LTE (100 Mbit/sek)
- Erilaiset langattomat verkot IEEE 802, Wimax (70Mbit/sek),

Siirtymällä 2G tekniikoista (GSM) 2½G tekniikan kautta (GPRS, EGPRS), kolmannen (UMTS, WiMax jne.) ja neljännen sukupolven (LTE) laitteisiin, saavutetaan nopeutuvan tiedonsiirtoyhteyden lisäksi muitakin tehokkaamman tiedonsiirron tuomia etuja. Liitteessä 4 luetellaan Nokian GPS puhelimissa käytetyt tiedon-siirtotekniikat. Pakettipohjaisen kommunikoinnin yleistyminen mahdollistaa kehittyneemmän tavan kommunikoida mobiililaitteen ja tiedonsiirtoverkon välillä. Pakettipohjainen kommunikointi mahdollistaa jatkuvan asynkronisen yhteyden verkkoon. Asynkroninen yhteys mahdollistaa sen, että kapeammalla siirtotiellä voidaan siirtää yhä suurempia tietomääriä [18].

Tehokkaampaan tiedonsiirtotekniikkaan siirtyminen ei kuitenkaan poista kaikkia tiedonsiirron ongelmia. Tiedon korruptoituminen siirtotiellä on yksi langattoman siirtotien suurimmista rajoitteista, jonka painoarvo kasvaa siirrettävien tietomäärien kasvaessa. Näiden rajoitteiden vaikutusta voidaan vähentää supistamalla siirtoväylällä siirrettävän tiedon määrää.

Eräs tapa vähentää siirrettävän karttatiedon määrää on karttadatan käyttö-

tarkoitukseen sopivan tallennuspaikan valitseminen. Valinta siitä pidetäänkö karttaa mobiililaitteen muistissa, oheismuistissa (Flash -kortti) tai palvelimella on erityisen tärkeä, koska ladattavan kartan koko voi olla hyvinkin suuri (yli 100 GB ellei karttaa ole käsitelty yleistämällä, pakkaamalla tai rajaamalla). Benner ja Sester ovat määritelleet kolme erilaista tallennustapaa karttatiedolle [9].

Karttatietokanta laitteen paikallisessa muistissa. Karttatietokanta otetaan mobiilisovelluksen käyttöön flash-muistikortin tai mobiililaitteen kovalevyn muistista. Karttatiedon käyttö ja muokkaus tapahtuu mobiililaitteessa. Esimerkiksi Nokian N95:ssä karttatiedot ladataan tietokoneesta tai langattoman siirtotien kautta suoraan mobiililaitteen muistiin. (Liitteessä 3 suppea tilasto Nokian GPS toiminnon omaavista puhelimista ja näiden muistikapasiteeteista.) Tämän tallennustavan huonona puolena on mobiililaitteessa sijaitsevan karttatiedon päivitys karttatietojen muuttuessa. Kriittisen päivityksen laiminlyönti voi johtaa vanhentuneen tiedon käyttöön, joka voi pahimmassa tapauksessa johtaa vakaaviin paikannusvirheisiin. Tietojen muokkaus ja muu käsittely on rajattua johtuen langattoman laitteen ominaisuuksista johtuvista rajoitteista.

Osa karttatietokannasta paikallisella levyllä, osa palvelimella (ns. hybriditallennus). Hybridijärjestelmässä kartta on laitteen muistissa, päivitykset ja lisätiedot palvelimella, josta ne voidaan hakea käyttöön tarvittaessa.

Koko karttatietokanta palvelimella tai palvelimeen suorassa yhteydessä olevassa erillisessä tietokannassa. Kun koko karttatietokanta sijaitsee palvelimella, mobiililaitteessa suoritetaan vain palvelimelta saatujen tietojen tulkinta ja esitys. Tämän tekniikan ylivoimainen etu muihin teknologioihin nähden on palvelimessa tapahtuva tehokkaampi tietojenkäsittely. Palvelimella voidaan hyödyntää tehokkaampia algoritmeja kuin mobiililaitteessa ja käytettävä tietokanta pysyy ajantasaisena. Toisaalta tekniikka vaatii paljon kommunikointia palvelimen ja mobiililaitteen välillä ja siirrettävät tietomäärät ovat suuria. Koko-

naan palvelimella sijaitsevia karttatietokantoja käytetään yleensä mobiililaitteissa olevan selaimen tai erillisen sovelluksen kautta. Useat internetissä toimivat karttapalvelut tarjoavat mobiililaitteiden käyttäjille erillisiä sovelluksia, joiden avulla mobiililaitteen käyttäjä pääsee käsiksi palvelun-tarjoajan palvelimella sijaitsevaan karttatietokantaan. Näiden sovellusten käyttö vaatii mobiililaitteeseen reaaliaikaisen ja langattoman internetyhteyden.

Mobiilisovelluksen käyttötarkoitus vaikuttaa olennaisesti karttatiedon tallennustavan valintaan. Navigaatiolaitteissa käytetään yleensä mobiililaitteen paikallisessa muistissa olevaa karttatiedostoa, koska karttatiedostoihin on päästävää käsiksi ajantasaisesti; kartan päivittyminen näytölle on "jatkuvaa" reaaliaikaista päivittymistä. Navigointiin tarvittavan karttatiedon siirto langattoman siirto-tien kautta palvelimelta mobiililaitteelle ei ole kannattavaa suurten siirtotiekustannusten vuoksi. Myös langattomien verkkojen peittävydessä ja nopeuksissa on huomattavia alueellisia eroja.

Mobiililaitteille on myös kehitetty ns. "kertaluontoisesti" käytettäviä yleiskarttapalveluja. Hyviä esimerkkejä tällaisista kertaluontoisesti käytettävistä yleiskarttapalveluista ovat mm. Googlen, Eniron ja Fonecan tarjoamat karttapalvelut. Kertaluontoisesti käytettävä yleiskartta sijaitsee kokonaan palvelun-tarjoajan palvelimella. Mobiililaitteella sijaitsevan karttasovelluksen tai mobiiliselaimen avulla sovelluksen käyttäjä luo yhteyden karttapalvelimeen ja karttatieto siirretään langattomasti palvelimelta sovellukselle. Langattomalla siirtotielä siirrettävän karttatiedon määrää pyritään vähentämään karttatiedon yleistämällä (Luku 9), rajoittavilla hakuehdoilla (Luku 3.2) ja kontekstittietoisuudella (Luku 3.3). Kertaluontoisen karttatiedon käyttäjälle ei ole tärkeintä karttatiedon siirron reaaliaikaisuus vaan kartassa esitettävän tiedon ajantasaisuus ja tarkkuus.

Karttatiedon tallennustapaa valittaessa on myös huomioitava paikannuksen vaikutus siirrettävän tiedon määrään. Jos paikannustiedon laskeminen tapah-

tuu palvelimella, aiheutuu paikannustiedonsiirrosta kuormittavaa liikennettä mobiililaitteen ja palvelimen välille. Ongelmia on myös paikkatiedon siirron luotettavuudessa, paikkatieto voi korruptoitua tai kadota siirtotiellä tai joutua jopa vakoilun kohteeksi. Luotettavin ja tehokkain tapa laskea paikkatieto on suorittaa paikannuslaskenta suoraan mobiililaitteessa. Paikkatiedon päätelaitteessa laskemisen etuna on myös laskennan hajauttaminen ja käyttäjän suurempi kontrolli paikannuksen ja sisällönkäytön suhteen. Tulevaisuudessa yhä useampi mobiililaitte tulee omaamaan paikannusominaisuuden.

Tiedonsiirtoliikennettä mobiililaitteen ja palvelimen välillä voidaan myös karsia ottamalla käyttöön laitteen välimuisti (engl. cache). Mobiililaitteen käsitellessä paikannushakua, haetaan vastausta ensin laitteen välimuistissa olevista tiedoista. Välimuistin tehokas käyttö korostuu mobiileissa ympäristöissä. Välimuistin käyttö supistaa vastausviivettä, tiedonsiirron käsittelyyn kuluvaan virran määrää ja parantaa karttatiedon saatavuutta tilanteissa, joissa yhteys palvelimeen on menetetty. Mobiililaitteen välimuistin ollessa rajallinen, on välimuistin päivitystekniikan oltava tehokas.[14] Kartan tallennuspaikan valinnassa on myös otettava huomioon mobiililaitteen asettamat rajoitteet.

3.1.2 Langattoman mobiililaitteen rajoitteet

Mobiililaitte asettaa teknisiä rajoitteita karttatiedon esittämiselle. Rajoitteita ovat mm. suorittimien nopeus, laitteen muistin rajoitettu koko, lisämuistin käyttövalmius, tallennuskapasiteetti, virrankäyttö, joidenkin laitteiden värituen puuttuminen, näytön pieni koko ja liukulaskentatoiminnon puuttuminen. [31]

Mobiililaitteiden rajoitukset voivat myös erilaisina yhdistelminä aiheuttaa uusia ongelmia, muun muassa siirtokaistan kapeus yhdistettynä mobiililaitteen akun virran loppumiseen voi johtaa laitteen toipumisongelmaan (engl. failure recovery). Toipumisongelmat johtuvat tietoliikenneyhteyden äkillisestä menettämisestä tai laitteen virran loppumisesta, josta mobiililaitte ei toivu toimintati-

laan ilman tietojen menettämistä. Ratkaisuna tähän ongelmaan voidaan nähdä karttadatan prosessoinnin siirto palvelimelle, pois mobiililaitteesta. [17]

Mobiililaitteet eroavat toisistaan myös ominaisuuksien puolesta, jotka vaihtelevat käyttäjien tarpeiden ja laitteen toimintaominaisuuksien mukaan. Mobiiliverkko-operaattorit säätelevät mobiiliverkossa siirrettävän tiedon määrä QoS-parametrien avulla, jotta tarjottavan tiedon laatu säilyisi tasalaatuisena eri laitteissa ja verkoissa, niiden erilaisista toimintaedellytyksistä huolimatta. Siirrettävän karttadatan vähentämiseen käytetyt QoS-tekniikat (engl. Quality of Service techniques) ovat ominaisuuksiltaan rajallisessa tiedonsiirtoympäristössä erittäin tarpeellisia. QoS-tekniikoiden ohjaustietoina toimivat laite-, mobiiliverkko ja käyttäjävaatimukset. QoS-tekniikoiden avulla tiedonsiirto- ja esityskykyjä sopeutetaan vastaamaan asetettuihin vaatimuksiin.

Kolmas tapa karsia langattoman laitteen rajoitteista johtuvia ongelmia on vähentää vastaanotettavan tiedon määrää. Siirrettävää tietomäärän vähentämiseen on kaksi erilaista lähestymistapaa [7]:

Yleisessä lähestymistavassa (engl. generic approach) löydetään keinot sopeuttaa karttadata laitteiden rajoituksiin sopivaksi, käyttäjää huomioonottamatta.

Tarkassa lähestymistavassa (engl. specific approach) pyritään löytämään pienin mahdollinen karttadatan määrä (olennaiset osat karttadatasta), joka vastaa käyttäjän tarpeita. Vain käyttäjän tarvitsema tietomäärä siirretään.

Viimeisimmät karttatietokantatutkimukset ovat keskittyneet oheistiedon, ominaisuuksien ja linkitettävien yhteyksien etsimiseen karttatietodatasta. Tätä "korkean tason" tietoa käytetään yhä tarkempien tietokantahakujen tekemiseen. Karttadatan personointia voidaan kehittää edelleen tekemällä karttadatasta käyttäjäprofiiliin, hakuehtoihin tai laitteen GPS toimintoihin reagoivan. [7] Käyttäjän asettamien vaatimusten ja hakuehtojen kohdistuessa itse karttatiedoston lisäksi myös kartan ulkonäköön ja sisältöön [24]. Siirtotien ollessa

rajallinen karttatiedostoa on käsiteltävä karttatiedoston kokoa pienentävillä yleistysoperaatioilla (Luku 7.1.1), jotta karttatiedon siirto käyttäjälle sujuisi mahdollisimman sujuvasti. Yleistysoperaatioita ohjataan kartografisilla rajoitteilla ja säännöillä (Luku 6.4), jotta yleistyksen lopputulos vastaisi myös käyttäjän kartalle asettamiin laatuvaatimuksiin.

Olellaiset kysymykset siirrettävän datan vähentämisessä ovat, kuinka paljon siirrettävän tiedon määrää voidaan vähentää menettämättä kartan sisällön informaattisuutta ja kuinka paljon laitteen tehoja on säästettävä jotta vastaanotettu karttatieto voidaan tulkita ja analysoida tehokkaasti mobiililaitteessa ilman laitteen jumiutumista ja tietojen menetyksiä.

3.2 Siirrettävän tiedon määrän rajaaminen käyttäjän asettamilla hakuehdoilla ja paikannuksella

Käyttäjälle siirrettävän tiedon määrää voidaan rajoittaa paikannustekniikalla, siirtämällä käyttäjälle vain paikannettu kohde. Paikannus katsotaan osaksi kontekstijärjestelmää. Paikannustoiminto laukaisee (engl. context triggered action) automaattisesti kontekstin uudelleen konfiguroinnin hakutietojen pohjalta (Luku 3.3). Mobiililaitteelle toimitetaan paikannustietojen pohjalta karttatiedot ja mahdollisesti karttatietoon liittyvät oheistiedot.

Paikannusmenetelmät jaetaan kolmeen ryhmään: verkkopaikannus, lähipaikannus ja satelliittipaikannus. Satelliittipaikannuksessa paikannetaan satelliittijärjestelmän avulla, paikkatieto lasketaan satelliittisignaalien kuluaikojen ja ratatietojen avulla. [33] Yksi yleisimmistä satelliittipaikannusjärjestelmistä on GPS (engl. Global Positioning System). Verkkopaikannus tapahtuu matkaviestijärjestelmän avulla. Verkkopaikannuksessa mitataan puhelimen ja tukiasemilta tulevien signaalien vahvuuksia ja lasketaan sen perusteella paikkatieto. Verkkopaikannuksen käytön puolesta puhuu suuret matkapuhelinten käyttäjämäärät, joille voidaan tarjota verkkopaikannukseen perustuvia mobiilipaikannuspalveluja. Satelliittipaikannuksen etuna on hyvä paikannustarkkuus, mutta

ongelmia aiheuttavat laitteiden suuri virrankulutus, käynnistämisen hitaus ja paikannuksen toimivuus kaupunkiympäristössä ja sisätiloissa [29]. Satelliittipaikannusta voidaan myös nopeuttaa yhdistämällä siihen verkkopaikannustoimintoja. Satelliittipaikannusta johon on lisätty verkkopaikannustoimintoja kutsutaan avustetuksi GPS:ksi (engl. Assisted GPS (AGPS))

Useissa mobiililaitteissa on siirrytty paikannustiedon laskemiseen paikallisesti mobiililaitteessa. Esimerkkinä tästä ovat erilaiset navigaatiolaitteet ja Nokian N95, johon on rakennettu AGPS paikannusjärjestelmä. Oman lukunsa paikannuksen kehitykseen antaa, myös langattomien lähiverkkojen ja muiden lyhyen kantaman radiotekniikoihin (WLAN, NFC jne.) perustuva lähipaikannus. Lähipaikannus perustuu yleensä lyhyen kantaman taajuuksien signaalitasojen mittauksiin. Mittausten avulla luodaan paikannusmalleja, joihin sitten lopullinen paikannus perustuu. [33] Lähipaikannus voi muodostua merkittäväksi menetelmäksi mm. kaupungeissa tai sisätiloissa, missä AGPS ei ole käytettävissä. [29]

Karttatiedon oheistietoon kohdistuvien kyselyjen ja paikannustoimintojen avulla mobiilisovelluksen käyttäjä kohdistaa siirrettävän tiedon rajaamaansa osaan kartasta. Siirrettävän karttatiedon valinta tehdään, joko käyttäjän antamien hakuattribuuttien tai paikannustietojen avulla tai hakuattribuuttien ja paikannustietojen yhdistelmällä. Oheistietojen attribuuttihaun ja paikannuksen yhdistelmää käytetään hyväksi ns. mobiililaitteiden läsnäolosovelluksissa (engl. presence applications). Mobiilit ”läsnäolosovellukset” ovatkin yksi tehokkaimmista tavoista vähentää siirtoväylällä siirrettävän karttatiedon kokoa. [33] Läsnaolosovelluksilla on kyky käyttää hyväksi dynaamisesti mobiililaitteiden ja käyttäjien asettamia kontekstuaalisia hakuattributteja.

3.3 Kontekstitietoisuus - sopeutumistekniikka mobiililaitteen rajoitteisiin

Sopeutumista edellisissä luvuissa esitettyihin siirtotie-, käyttäjä-, ja laitevaatimukseen kutsutaan kontekstitietoisuudeksi (engl. context). Konteksti on osa

käyttäjän asiakassovellusta. Kontekstiksi voidaan myös kutsua sitä ympäristöä, jossa asiakassovellus toimii. Keyn ja Adowdin [13] mukaan *”Konteksti sisältää kaiken tiedon, joka määrittelee entiteetin tilan. Entiteetti voi olla ihminen, paikka tai objekti, joka on relevantti käyttäjän ja sovelluksen välisessä vuorovaikutussuhteessa, sisältäen myös käyttäjän ja sovelluksen.”* Järjestelmä on tietoinen kontekstista, jos järjestelmä käyttää kontekstia toimittaakseen relevanttia tietoa tai palveluja käyttäjälle. Konteksti-informaatio muodostetaan seuraavien muuttujien avulla: aikatietoisuus, paikkatietoisuus, laitetietoisuus ja verkkotietoisuus. Kontekstietoiset sovellukset havaitsevat, tulkitsevat ja vastaavat kontekstiin. Kontekstietojen avulla voidaan siirrettävät tiedot *”personoida”* erilaisiin tarpeisiin sopiviksi puhutaan ns. egokeskeisistä adaptiivisista kartoista (engl. Adaptive Ego-centric Maps). Konteksti tulee olemaan olennaisessa osassa tulevaisuuden reaaliaikaisissa mobiileissa paikkatietojärjestelmissä ja niitä hyödyntävissä sosiaalisissa sovelluksissa. Yksi hyvä esimerkki kontekstia ja sosiaalisia toimintoja hyväksikäyttävästä karttasovelluksesta on Googlen mobiilikarttapalvelu, jonka Latitude- ominaisuus mahdollistaa oman sijainnin reaaliaikaisen jakamisen.

Seuraavassa luvussa käsitellään tarkemmin asiakas – palvelin arkkitehtuuria ja miten kontekstietoisuus vaikuttaa arkkitehtuurin rakenteeseen ja siirrettävän karttatiedoston siirtotapaan.

4 . ASIAKAS-PALVELIN ARKKITEHTUURI

Vektorimuotoisten karttatietojen siirrossa mobiililaitteelle käytetään usein asiakas-palvelin arkkitehtuuria (engl. server - client architecture). Jotta asiakas-palvelin arkkitehtuuri vastaisi asetettuihin laatuvaatimuksiin, on arkkitehtuuriin otettava mukaan neuvottelukomponentti (engl. content negotiation component). Neuvotteluprosessi toimii palvelutarpeiden esikäsittelijänä asiakas-sovelluksen ja palvelimen välissä. Neuvotteluprosessi nähdään yhtenä palvelimen osana. Luvussa läpikäydään tarkemmin asiakas-palvelin arkkitehtuuria ja neuvotteluprosessin asemaa karttatietojen välityksessä. Luvussa käsitellään myös asiakassovelluksissa käytettyjä latausmalleja. Latausmallin valinta vaikuttaa siihen kuinka karttatiedot ladataan ja käsitellään asiakassovelluksessa

4.1 Arkkitehtuurin työnjako

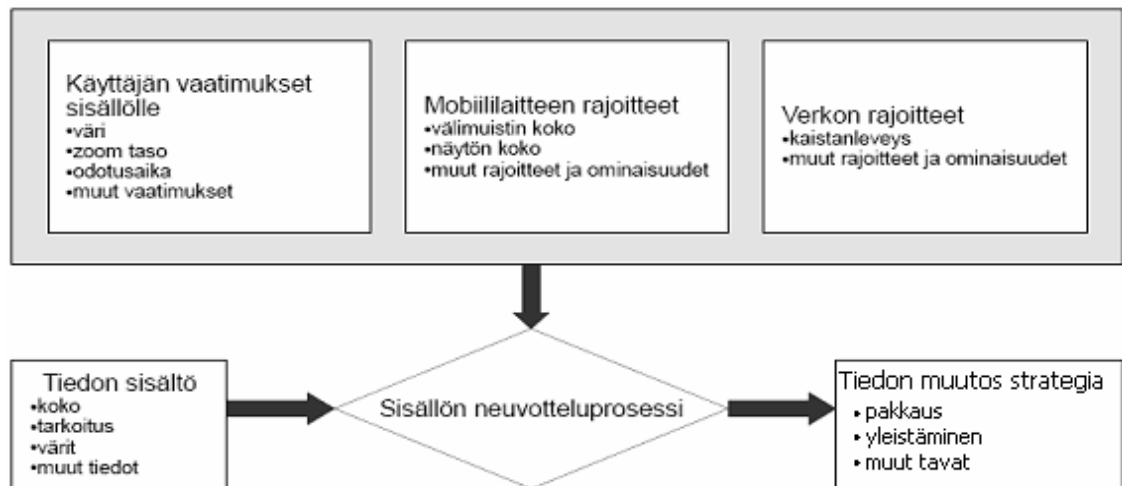
Asiakas-palvelin arkkitehtuuri on usein käytetty arkkitehtuuri langattomissa tietoliikenneverkoissa. Asiakas-palvelin arkkitehtuurista on kehitetty useita erilaisia muunnelmia erilaisiin tilanteisiin. Bertolotton ja Egenhoverin [6] asiakas-palvelin arkkitehtuuriratkaisu perustuu jaettuun asiakas-palvelin arkkitehtuuriin. Bertolotton ja Egenhoverin arkkitehtuuriratkaisu vaatii peruselementeiltään seuraavat toiminnot:

- Palvelin: Esikäsittelytoiminto, jonka avulla luodaan yksityiskohdiltaan eritasoisia karttoja. (Rakennetaan, manipuloidaan ja muokataan lähetettäväksi peräkkäiset eri tarkkuustasoilla olevat karttakuvaukset). Lähetystoiminto, jonka avulla lähetetään karttatiedostot yksi kerrallaan.
- Asiakas (engl. thin client): Yhdistystoiminto (engl. Data Manager), jonka avulla rakennetaan esitettävä kartta asiakassovellukselle saapuvista erillisistä graafisista osista. Integrintialgoritmi, joka kokoaa esittävää karttaa vastaavan datajoukon.

Palvelimen ja asiakkaan välinen kommunikointi voidaan jakaa kolmeen erilaiseen tiedonsiirtomaalliin [32]:

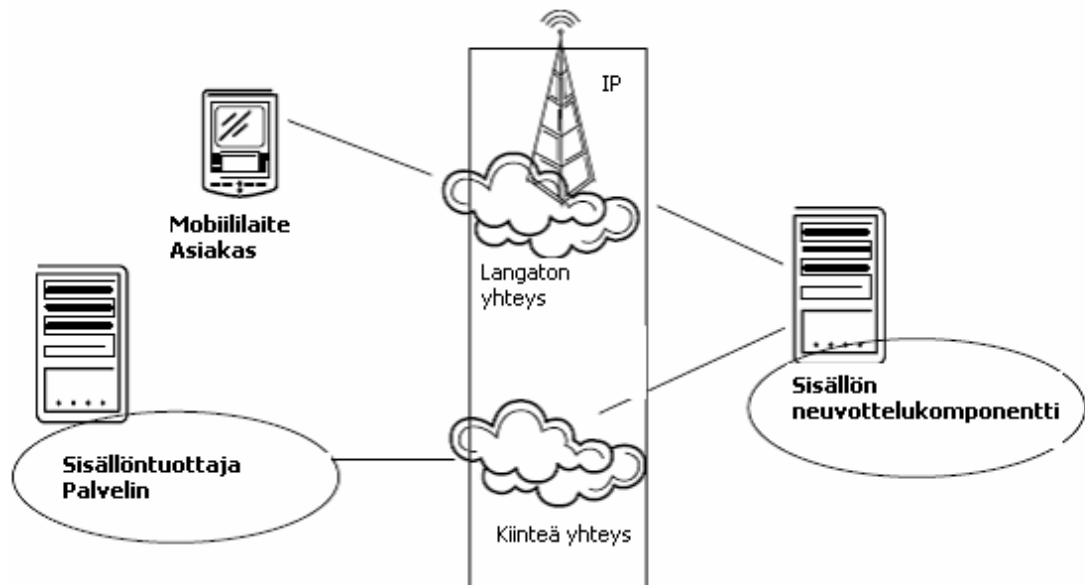
- Yksinkertainen tiedonsiirtomalli: Palvelin lähettää kertalähettyksenä vastauksen asiakkaan karttatietokantakyselyyn.
- Kahden vaiheen tiedonsiirtomalli: Palvelin lähettää vastauksen asiakkaan kyselyyn kahdessa vaiheessa. Ensin palvelin lähettää vastauksen asiakkaan kyselyyn; asiakas tarkistaa saamansa karttadatan kelpoisuuden paikallisesti, jonka jälkeen palvelin lähettää puuttuvat tai päivitettävät kartanosat.
- Tiedonsiirto esikäsitellyn (engl. Pre-computed) kartan kanssa: Asiakas lähettää karttakyselyn palvelimelle. Palvelimelle lähetetty karttakysely sisältää kuvauksen vastauksesta, jonka asiakas sai tehtyään paikallisen kyselyn mobiililaitteen muistissa olleeseen karttatietoon ja alkuperäisen karttakyselyn. Tämän jälkeen palvelin lähettää vastauksen, joka sisältää tiedot lisättävistä tai päivitettävistä tiedoista ja tiedon esityksestä poistettavista tiedoista.

Reaaliaikaiseen tiedonsiirtoon palvelimen ja asiakkaan välillä vaikuttaa useita tekijöitä, joita on hallittava, jotta tiedonsiirto sujuisi ongelmitta. Reaaliaikaisen tiedonsiirtojärjestelmän on oltava kontekstitietoinen, voidakseen reagoida reaaliaikaisesti tiedonsiirrossa tapahtuviin muutoksiin. Kontekstitietoisuuden saavuttamiseksi on asiakas-palvelin arkkitehtuuriin lisättävä reaaliaikainen sisällön neuvotteluprosessi (engl. content negotiation). Neuvotteluprosessi suorittaa mobiililaitteessa esitettävän karttatiedon sisällön määrittelyä, ohjaten rajoitemuuttajien avulla lähetettävän tiedon määrää ja muotoa, jotta asiakas-sovelluksen saama tieto vastaisi sille asetettuihin laatuvaatimuksiin. (Kuva 1)



Kuva 1 : Sisällön neuvottelu prosessi [27]

Neuvotteluprosessi mahdollistaa siirrettävän tiedon sujuvan sopeuttamisen ominaisuuksiltaan toisistaan poikkeaville mobiililaitteille ja tiedonsiirtoväylille. Neuvotteluprosessi päättää automaattisesti sopivat ohjaustoiminnot sisällön muokkaukselle [13]. Näin tavoitetaan ominaisuuksiltaan heterogeeninen, laajempi käyttäjäjoukko. Sisällön muokkausjärjestelmän kriittisenä ongelmana on päättää kuinka paljon konteksti-informaatiota on käsiteltävä tarvittavan laadun saavuttamiseksi ilman alla olevan vastaanotto- ja lähetysjärjestelmän toimintojen muuttamista. [27] (Kuva 2)



Kuva 2 : Sisällön muokkaus rakenne. Järjestelmä sisältää mobiililaitteen (asiakassovellus), palvelimen (karttasisällön lähde) ja erillinen laitekomentti (suorittaa sisällön neuvottelua). Sopivan muokkausmäärän selvittämiseksi käytetään hyväksi QoS-tekniikoita.

Neuvotteluprosessi koostuu kahdesta erillisestä etapista: esikäsitteystä (engl. preprocessing) ja reaaliaikaisesta prosessoinnista (engl. real-time processing). Esikäsitteily tapahtuu ennen mobiililaitteelta tulevaa palvelupyyntöä. Reaaliaikainen tiedonprosessointi käynnistyy mobiililaitteen käyttäjän pyynnöstä [13]. Tiedonsiirron kannalta tehokkaimpaan ratkaisuun päästään, jos karttatietoa on esikäsitelty mahdollisimman pitkälle ennen reaaliaikaisen prosessoinnin aloittamista. Suurimman mahdollisen hyödyn karttatiedon esikäsitteystä saavuttavat ominaisuuksiltaan homogeeniset mobiililaittejoukot homogeenisissa siirtotieverkoissa, jolloin tiedon reaaliaikaista prosessointia ei tarvita niin paljon ja alla olevaa tiedonsiirtojärjestelmää ei tarvitse sopeuttaa useisiin ympäristömuutoksiin.

Reaaliaikainen neuvotteluprosessi tarvitsee toimiakseen paljon tietoa mobiililaitteesta, käyttäjän käyttäjäprofiilista, sovelluksesta, sijainnista (paikannus) ja näiden tietojen muodostamasta kontekstista (Luku 3.3). Näiden henkilökohtaisten tietojen kerääminen palveluntarjoajan tietokantoihin tuo esille huolen

kerättyjen tietojen luottamuksellisuudesta. Pysyvätkö operaattorin keräämät henkilökohtaiset asiakastiedot yksityisinä, vai ovatko tiedot alttiina mahdolliselle pahantahtoiselle hyväksikäytölle. Tämä voidaan välttää ottamalla käyttöön tiedonsuojaus tai Stateles-protokolla. Stateless-protokollassa asiakas-sovellus avaa itsenäisen yhteyden palvelimelle, hakee tiedoston ja sulkee palvelinyhteyden. Näin tapahtuu joka kerta, kun halutaan tietoja palvelimelta. Yhteys- ja yksityistiedot siirretään jokaisella yhteyden avauksella. Varotoimien käyttöönotto asettaa lisävaatimuksia siirtotielle ja palvelimella suoritettaville prosesseille. Siirtoväylällä siirrettävä tieto voidaan myös suojata salauksella. Salaus antaa suojauksen tietosuojarikkomuksia vastaan.

4.2 Tietojen latausmallit asiakas- palvelin arkkitehtuurissa

Kaksi yleisintä karttatiedon latausmallia ovat työntö- (engl. push) ja noutomallit (engl. pull). Raskaissa (engl. thick) asiakassovelluksissa käytetään noutolatausta ja kevyissä (engl. thin) työntölatausta. Asiakassovelluksen toteutustapa riippuu arkkitehtuurista. Arkkitehtuurin yhteydessä määritellyt tiedon latausmallit määrittelevät kuinka tieto ladataan palvelimelta ja kuinka karttatietoa operoidaan palvelimella.

Noutomuotoisessa tietojen latauksessa asiakassovellus käsittelee itsenäisesti tarvitsemansa karttatiedot mahdollisimman pitkälle ja pyytää käsittelyn jälkeen palvelimelta, etukäteen määritellyt ja rajatut karttaobjektit. Palvelin toimii suurelta osin orjan (engl. slave) tavoin, suorittaen asiakassovelluksen pyynnöt tallentamatta asiakkaan profiilitietoja. Progressiivisessa vektorikarttojen lähetyksessä käytetään yleisesti noutomuotoa. Noutomuotoisessa lähetystavassa asiakas ja palvelin pitävät yllä omia tietokantoja lähetetyistä ja vastaanotetuista karttaobjekteista. Erilliset tietokannat mahdollistavat sen, että asiakas voi itsenäisesti päättää tarvitsemansa karttaobjektit ja miten objektit "paketoidaan" ja siirretään. Noutomalli mahdollistaa nopean reagoimisen käyttäjän tarpeisiin ja tietoliikenneympäristössä tapahtuviin muutoksiin. Noutomalli yksinkertais-

taa järjestelmän arkkitehtuuria ja vähentää palvelimen raskautta, ottamalla käyttöön asiakaslaitteen tietojenkäsittelyresurssit.

Työntömuotoisessa latauksessa, asiakassovellus lähettää palvelimelle palvelupyynnössä esitettävän kartan laajuuden. Palvelin tutkii asiakkaan lähettämän palvelupyynnön, jonka jälkeen palvelin etsii tietokannastaan pyyntöön sopivan karttaesityksen, päättäen samalla tarkkuustason, jolla tiedot siirretään asiakkaalle. Käyttäjän tarkentaessa asiakassovelluksessa olevaa karttaa, kulkee palvelimen ja asiakassovelluksen välillä karttanäkymän tarkennukseen liittyviä palvelupyynnöitä. Vastatakseen asiakkaan esittämiin karttanäkymän tarkennuspyyntöihin, palvelin ylläpitää tietokannoissaan tietoa asiakassovellukselle lähetettyistä ja lähettämättömistä tiedoista. Palvelin pitää myös yllä tietokantaa käytettyistä tietoliikenneyhteyksistä. Näiden kantojen avulla palvelin voi reagoida asiakassovelluksessa tapahtuviin muutoksiin. Työntömalli käyttää myös tehokkaasti hyväkseen palvelimen moniajo-ominaisuuksia (engl. multi-tasking) huojentaakseen asiakassovelluksen tietojenkäsittelykuormitusta.

Työntömallin puutteet ovat selvät. Karttatietojen progressiivisessa lähetyksessä palvelimen on tällöin pidettävä erillisiä kantoja sekä omasta että asiakassovelluksen toiminnoista, mikä asettaa suuret vaatimukset palvelimen resursseille. Myös asiakkaan ja palvelimen läheinen yhteistoiminta aiheuttaa lisämonimutkaisuuksia järjestelmään.

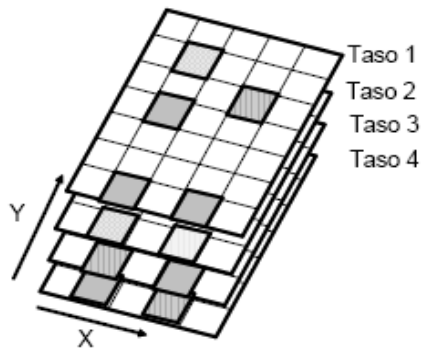
Kun päätös kartan lähettämisessä asiakkaalle on tehty, on päätettävä missä muodossa kartta esitetään. Kartta voidaan esittää joko rasteri- tai vektorimuotoisena. Seuraavassa luvussa käsitellään tarkemmin rasterimuotoista esitystapaa ja sitä miksi vektorimuotoinen esitystavasta on tullut yhä suosittu.

5 . RASTERIMUOTOINEN ESITYSTAPA

Viimeaikoihin asti rasterimuotoinen esitystapa on ollut yleisin ja joissakin tapauksissa ainoa tapa esittää karttoja. Vaihtoehdoksi rasterille on kehitetty vektorimuotoinen esitystapa. Luvussa vertaillaan rasteri- ja vektorimuotoisten karttojen ominaisuuksia.

5.1 Rasteri- ja vektorimuotoisen esitystapojen vertailua

Ensimmäiset karttojen esitys-, muokkaus- ja pakkaustekniikat kehitettiin rasterimuotoiselle kuvaukselle. Yksinkertaisuudestaan ja helppokäyttöisyydestään johtuen rasteri on yhä yleinen tapa esittää karttoja ja tavallisia kuvia. Rakenteen yksinkertaisuudesta johtuen rasterimuotoinen karttojen esitystapa on perusmuodossaan tehoton, sillä rasterimatriisin jokaiselle solulle tallennetaan jokin arvo. Jos jokaiselle solulle talletetaan jokin arvo, voi kartan kuvaaminen rasterimuodossa viedä monin verroin enemmän tallennustilaa kuin vektorimuotoisessa tallennustavassa [8]. Talletusmäärien ero tulee esille kun kuvataan alueita, joissa on vain muutamia esittäviä karttaobjekteja. Karttatiedon esitystarkkuuteen vaikuttaa myös käytettävän solun koko, sillä yksittäinen solu (pikseli, kuva-alkio, hila-alkio) (engl. cell, pixel) on pienin yksikkö, jolla tietoa voidaan kuvata [35]. Vennin joukkojen leikkausanalyysien (Luku 6.3) suoritus rasterimuotoisella karttadatalla on myös helpompaa ja nopeampaa kuin vektorimuotoisella karttadatalla. Tämä johtuu siitä, että rasteritiedossa sijainti esitetään rivien ja sarakkeiden avulla, jolloin karttatasojen päällekkäisanalyysit voidaan laskea solu kerrallaan. (Kuva 3) [35]



Kuva 3: Rasterijärjestelmissä leikkausanalyysissä tutkitaan eri tasojen arvoja pikseleittäin. [35]

Kehittäjien mielenkiinto on viime aikoina siirtynyt enenevässä määrin rasterimuotoisesta esitystavasta vektorimuotoiseen esitystapaan ja siitä onkin kehittynyt varteenotettava vaihtoehto rasterille. [Taulukko 1] Vektorimuotoisen karttadatan käyttöä puoltavat myös seuraavat seikat:

1. Vektorimuotoinen data säilyttää parhaiten ominaisuudet, jotka ovat tärkeitä paikkatiedon analysoinnille ja mallinnukselle.
2. Rasterimuotoinen karttadata voi menettää vektorimuotoiseksi muunnettaessa mm. geometrisen oikeellisuutensa ja dataan voi tulla odottamattomia virheitä ja vääristymiä.
3. Vektorimuotoinen data on helpompi pitää ajan tasalla ja data ei ole sidottu vain yhteen tietokantaan tai vanhoihin informaatiolähteisiin. [10]
4. Rasterimuotoisen esitystavan ongelmana on pistemäisten ja viivamaisten kohteiden kuvauksen tarkkuuden menetys skaalatessa (engl. zooming). Vektorimuotoinen kuva taas säilyttää terävyytensä.

Kartan skaalaus on erittäin hyödyllinen ominaisuus suurennettaessa karttaa mobiililaitteen pienellä näytöllä. Skaalautuvuus mahdollistaa kartan suurentamisen ilman karttatietojen uudelleen latausta. Mobiililaitte voi skaalatessa myös pysyä yhteydettömässä (engl. offline) tilassa, vähentäen näin

kuormittavaa siirtoväyläliikennettä. [21] [26] [30]



Kuva 4 : Rasteri- ja vektorimuotoisten kuvien skaalautuvuuserot. Kuvat vasemmalta oikealle: alkuperäinen kuva, skaalattu rasterikuva ja skaalattu vektorimuotoinen kuva.

Vektorimuotoisen karttadatan käytössä on myös omat haasteensa. Vektorimuotoisten karttojen toteutukset ovat riippuvaisia kartan valmistajan käyttämästä toteutustekniikasta, koska yhtenäistä standardia ei ole. Ongelmia aiheutuu myös karttadatan epätasaisesta levittäytymisestä. Esimerkiksi kaupunki-karttadataan tarvitaan paljon enemmän karttaobjekteja kuin maaseutukarttadatan esittämiseen.

Rasterin edut	Vektorin edut
-	grafiikan tarkkuus
-	traditionaalinen kartografia
-	datan volyymi
-	topologia
laskenta	-
päivitys	-
jatkuva	
integraatio	-
-	epäjatkuva

Taulukko 1 : Rasteri ja vektorimuotoisten datamallien hyödyt ja haitat. [20]

5.2 Rasterimuotoinen datan lähetys

Alun perin rasterimuotoisen datan progressiivinen siirto suoritettiin välilehtitekniikalla (engl. interleaving technique). Välilehtitekniikan yksinkertaisin toteutustapa on ottaa satunnaisesti pikseleitä ladattavasta kuvasta. Kuva palautetaan alkuperäiseen asuun lisäämällä välilehtitekniikan toteutuskaavan mukaan pikseleitä kuvaan kunnes kuva on kokonainen. Toinen välilehtitekniikan toteutustapa on jakaa kuva sarakkeisiin ja riveihin, joista valitaan ladattavat pikselit. Valinnassa on otettava huomioon, missä kohdin kuvaa on eniten "kuvaavia" tärkeitä yksityiskohtia. [6]

Toinen tapa siirtää rasterimuotoisia karttoja rajatulla siirtoväylällä on lähettää tehokkaalla pakkaustekniikalla pakattuja karttiedostoja asiakassovellukselle. Hienostuneemmat rasterimuotoisten karttojen pakkaustekniikat perustuvat kuvien pakkaustekniikoihin, joita on kehitetty edelleen. Yleisin on JPEG (Joint Photographic Expert Group) [25] formaatti. JPEG on muutokseen perustuva pakkausmetodi, jossa kuva pirstotaan osiin ennen pakkausta. Kuvat, jotka on pakattu JPEG-tekniikalla, segmentoidaan suorakulmaisiksi alilohkoiksi; jokainen alilohko käsitellään itsenäisesti. Wavelet-pakkaustekniikka perustuu Fourier-muunnokseen. Wavelet-tekniikka on hyvin tehokas ja säilyttää luonnollisen ulkonäön korkeillakin pakkausasteilla. Fraktaaliteoriaan perustuvat pakkaustekniikat ovat myös vallanneet alaa. On myös kehitetty tehokkaita pakkaustekniikoita, joissa on yhdistetty wavelet - ja fraktaalitekniikat. [6]

Kuviin käytetyt pakkaustekniikat ovat tehokkaita ja niiden käyttö on yleistä. Yleisesti käytettyjen pakkaustekniikoiden tiedon hävikki on vähäistä. Rasterimuotoiseen karttaan käytettävää pakkaustekniikkaa valittaessa on huomioitava, että kuvien pakkaukseen kehitetyt pakkaustekniikat eivät säilytä karttaobjektien välisiä topologisia suhteita. Topologisten suhteiden säilyttäminen on ensiarvoisen tärkeää karttaobjektien manipuloinnissa ja analysoinnissa. [6]

Syy rasterimuotoisten kuvien käyttämiseen on pääasiassa visuaalinen. Rasterimuotoisista kartoista saa kuvan visuaalisen tarkoituksen selville jo pienillä resoluutioilla. Jos kuvaa on käsiteltävä tai sitä on manipuloitava, tällöin vektorimuotoisen esitystavan edut tulevat esille. Vektorimuotoinen esitystapa säilyttää parhaiten karttaobjektien topologiset ominaisuudet ja mittasuhteet. Seuraavassa luvussa käsitellään tarkemmin vektorimuotoista esitystapaa.

6 . VEKTORIMUOTOINEN ESITYSTAPA

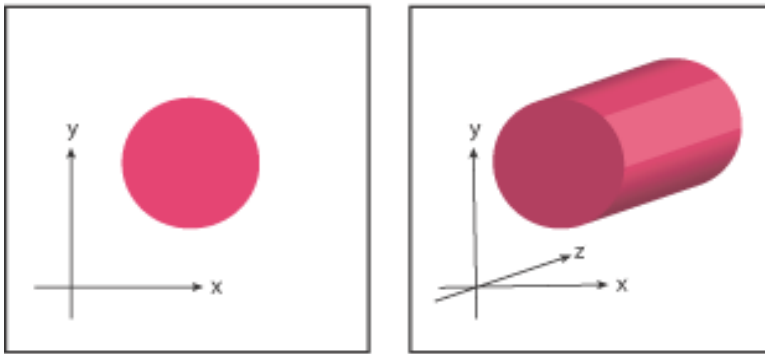
Luvussa käsitellään sitä, kuinka erilaisista vektorimuodoista syntyy esittäviä karttoja ja kuinka karttaobjekteja voidaan jaotella eri teemoja sisältäviin teemasoihin. Tutustutaan termiin topologinen kompleks. Käydään läpi myös kuinka vektorimuotoisiin karttoihin kohdistuvat rajoitteet voidaan ryhmitellä sen mukaan kuinka ne vaikuttavat kartan ulkonäköön ohjatessaan yleistysprosessia.

6.1 Karttojen vektorimuotoinen esitystapa

Vektorimuotoinen paikkatietojärjestelmä perustuu piste-elementteihin, joiden sijainti tiedetään tarkasti. Vektorimuotoisen paikkatietojärjestelmän, tietokantaan tallennettuja geometrisiä objekteja ovat pisteet (engl. point), viivat (engl. line, arcs) ja monikulmiot (engl. polygon) [35]. Objekteihin liittyy kuvaavia attribuutteja, kuten täyteväri, väri ja ääriviiva. Solmut ovat erityispisteitä, joiden avulla muodostetaan vektorimuotoisen kartan topologia eli kuvataan viivojen risteyksiä ja viivan loppumista. Vektorimuotoisten karttojen tulee olla "topologisesti oikeita", jos niiden avulla tehdään pidemmälle meneviä analysointeja tai operaatioita. Topologisia tietoja ovat mm. muodostuminen (esim: alue koostuu viivoista), viereisyys (esim: viivan oikean puoleinen alue ja vasemman puoleinen alue) ja yhdistävyys (esim, verkon viivat yhdistyvät solmussa). Topologinen tieto varastoidaan pisteiden, viivojen ja alueiden erilaisina yhdistelminä. Muodostetuista itsenäisistä kokonaisuuksista syntyy esittäviä geometrisiä muotoja, jotka muodostavat yhdessä maantieteellisesti merkityksellisiä esityksiä. Näistä itsenäisistä kokonaisuuksista muodostuu "saumaton" vektorimuotoinen kartta.

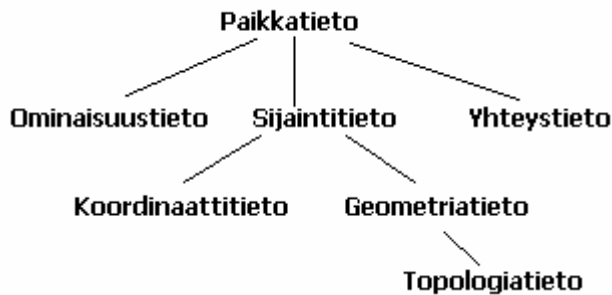
Yleensä kartat esitetään tasona, mutta tekniikan kehittyessä myös 3D-muotoinen esitystapa on kasvattanut suosiotaan. Vektorimuotoiset 3D-kartat muodostuvat yleensä epäsäännöllisistä kolmioverkoista (engl. triangulated irregular

network, TIN).



Kuva 5 : Taso esitys ja kolmiulotteinen esitys

Geometrisiin vektoriobjekteihin voidaan linkittää kuvaavia ja informatiivisia oheistietoja, joita voidaan käyttää hyväksi karttaan tehtävissä hauissa. Mobiili-sovellukset kohdistavat osan hauistaan näihin oheistietoihin, metatietoihin. Useissa paikkatietojärjestelmissä oheistieto pidetään erillään topologiasta ja tallennetaan erilliseen relaatiotietokantaan. [35] Tietokantaan tehtyjen hakujen avulla aloitetaan kartan sisällön neuvotteluprosessi (Luku 4.2).



Kuva 6 : Paikkatiedon koostuminen eri tiedoista

Vektorimuotoisia karttoja muodostetaan mm. satelliittikartoista luomalla viivoja rasterisoluryppäiden ympärille, joille on määritelty samanlainen ominaisuus. Esimerkiksi satelliittikuvassa on yksi yhtenäinen vihreä alue, alueen metatiedoksi on määritelty peltoalue. Peltoalue ympäröidään viivoilla joista muodostuu monikulmio, tietyn geometrian ja topologian omaava karttaobjekti. Luotaessa vektorimuotoisia karttoja satelliittikuvista on otettava huomioon

myös syntyneiden karttaobjektien spatiaaliset suhteet, kuten viereisyysuhteet tai sisältyvyysuhteet. Vektorikarttojen muodostuksessa syntyneiden karttaobjektien leikkausanalyysit (Luku 6.3) ovat monimutkaisia ja raskaita. Leikkausanalyysillä tutkitaan kaikkien syntyneiden vektoritasojen kaikki leikkaukset, jolloin yksittäisten tutkittavien osa-alueiden määrä saattaa kasvaa valtavaksi. Määrän kasvaminen on vaarana etenkin silloin, kun sama raja muodostuu eri vektoritasoilla hieman eri tavoin, jolloin yhdistettävät rajaviivat voivat leikata toisensa useaan kertaan. Tällöin lopulliselle karttatasolle saattaa muodostua ”epäinformaatiota” sisältäviä alueita (engl. silver polygon) [35]

6.2 Topologinen kompleksit ja solut

Solujen topologista kompleksia (engl. cell complex) käytetään yleisesti vektorimuotoisten karttojen matemaattisessa kuvauksessa. Topologinen kompleksit muodostaa perustan itsenäisten karttaobjektien matemaattiselle ja formaalille esittämiselle. Sanastokeskus TSK on määritellyt topologisen kompleksin seuraavasti ”*Topologinen kompleksit on joukko käsitteellisesti erillisiä topologia primitiivejä, joista jokaisen topologisen primitiivin rajausta voidaan esittää samaan joukkoon kuuluvien alemman dimension topologisten primitiivien yhdistelmänä.*” [33]

Topologinen primitiivi kuvaavaa paikkakohteeseen liittyviä abstrakteja ominaisuuksia, primitiivillä ei ole geometristä realisaatiota. Topologia primitiivejä ovat solmupiste (nollaulotteinen topologinen primitiivi, joka on linkin topologinen päätepiste), linkki (yksiulotteinen topologinen primitiivi, joka yhdistää kaksi solmua), tahko (linkkien rajaama kaksiulotteinen topologinen primitiivi) ja topologinen kappale (tahkojen rajaama kolmiulotteinen topologinen primitiivi). [33] Jokainen topologinen primitiivi voidaan rajata alemman ulottuvuuden topologisten primitiivien avulla, tätä sanotaan topologisen primitiivin rajaukseksi. Yksiulotteinen topologinen kompleksit (verkko) koostuu solu pisteistä ja niitä yhdistävistä linkeistä, jotka eivät leikkaa toisiaan muualla kuin solu pisteissä. Kaksiulotteinen topologinen kompleksit (alueverkko)

koostuu tahkoista. Kolmiulotteinen topologinen kompleksi (soluverkko) koostuu topologisista kappaleista.

Esitettävä vektorikartta koostuu sijaintiobjektien geometrisistä realisaatioista, koska topologialla ei ole geometristä realisaatiota eli topologian realisaatio on abstrakti. Sijaintiobjektien geometrisessä toteutuksessa kartta koostuu geometristä primitiiveistä ns. geometrisista objekteista (piste, käyrä, pinta ja kappale). Jokainen geometrinen primitiivi voidaan rajata alemman geometrisen ulottuvuuden geometrinen primitiivien avulla, tätä sanotaan geometriseksi rajaukseksi. Geometrinen primitiivi voi olla nollaulotteinen (piste), yksiulotteinen (käyrä), kaksiulotteinen (pinta) tai kolmiulotteinen (kappale). [33]

Euklidinen avaruus koostuu n -alkioisten vektorien joukosta. Euklidinen avaruus on vektoriavaruus. Euklidisessa topologiassa kartta koostuu homeomorfisista levyistä ns. soluista. Homeomorfismi on kuvaus, jolla voi kutistaa ja venyttää kappaleita toisiin muotoihin, kuitenkin täyttämättä kappaleen reikiä tai repimättä uusia. Homeomorfismi säilyttää topologiset ominaisuudet invariantteina. Vastaavuus kartassa olevien itsenäisten geometrinen karttaobjektien ja euklidisessa avaruudessa olevien homeomorfisten solujen välillä on suora: solumuotoisessa esitystavassa solut kuvaavat kartassa olevia itsenäisiä karttaobjekteja. Pisteet esitetään 0-soluina, viivat 1-soluina ja alueet 2-soluina. Solujen sisällyksen ja rajaominaisuudet mallintavat kartassa olevien itsenäisten karttaobjektien topologisia suhteita.

6.3 Vektorimuotoisen kartan eri teematasot

Vektorimuotoiset kartat voidaan tallentaa tietokantoihin kahdella eri tavalla. Vektoritiedostona, joka koostuu useasta erillisestä teematasosta, kuten vesistöistä, kuntarajoista, tieverkostosta tai osoitteistosta. Vektorimuotoinen kartta voidaan tallentaa myös yhtenä tasona, jossa kaikki erilliset teematasot on yhdistetty yhdeksi vektorimuotoiseksi tasoksi.

Idea erillisistä teematasoista on lähtöisin kartantekijöiden tavasta piirtää eri merkityksen omaavia karttaobjekteja läpinäkyville paperille tai kalvolle päällekkäin samassa mittakaavassa ja tehdä niistä erilaisia yhdistelmiä asettamalla paperit päällekkäin. Karttojen digitalisoinnissa läpinäkyvät paperit on korvattu teematasoilla, jotka kattavat saman maantieteellisen alueen päällekkäisinä tasoina. Yksittäinen teemataso koostuu itsenäisistä kokonaisuuksista, jotka jakavat saman merkityksen. Teematasoissa olevat itsenäiset kokonaisuudet voivat myös risteytyä topologisesti toistensa kanssa. Karttatiedosto on tällöin erillisistä teematasoista koostuva tasokokoelma, jossa ei ole asetettu rajoitteita teemojen päällekkäisyydelle (engl. overlapping). [6]

Esimerkki 1: Kuvassa 7 on kaksi teematasoa päällekkäin: pääteiden teemataso ja sivuteiden teemataso. Nämä kaksi teematasoa risteävät. Huomattavaa on, että risteyspistettä ei välttämättä tallenneta erikseen, ellei risteyspiste ole kiinnostuksen kohteena kummassakin teematasossa. [6]



Kuva 7: Eri teematasoille kuuluvat tiet

Teemojen yhdistysalgoritmeja tarvitaan, kun tehdään tietokantahakuja, jotka koskevat itsenäisiä kokonaisuuksia ja joiden tiedot on tallennettu useammalle kuin yhdelle teematasolle. Esimerkiksi haussa "Kuinka usean kunnan läpi kulkee Tornionjoki?", tarvitaan sekä kunta - ja jokiteematasot.

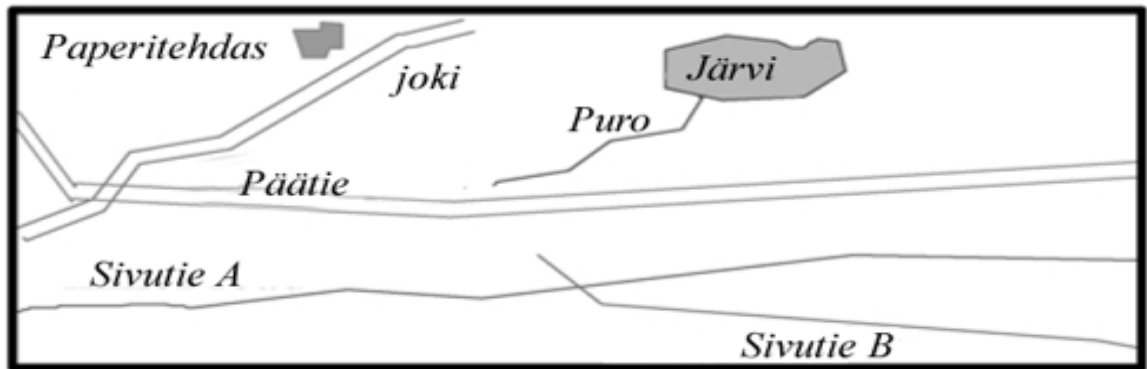
Samalla tarkkuustasolla olevia teematasoja voidaan myös yhdistää yhdeksi yhdistetyksi teematasoksi. Erillisten, mutta samalla tarkkuustasolla olevien, teematasojen käyttö samassa tiedostossa estää itsenäisten kokonaisuuksien segmentoitumisen.

Esimerkki 2: Teemojen yhdistämisen jälkeen havaitaan kartassa (Kuva 7) risteyspiste, jonka seurauksena kartassa olevat tiet pirstaloituvat kahdeksi erilliseksi haaraksi.

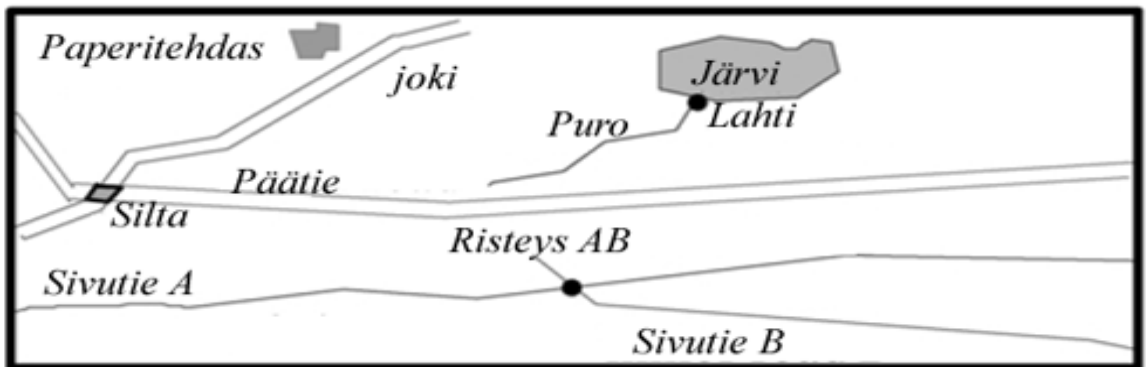
Teiden segmentoituminen ei ole välttämätöntä, jos tiet säilytetään kahtena erillisenä teematasona. Erillisten teematasojen käyttö vähentää tallennustarvetta, samalla saavutetaan myös parempi rakenteisuus (engl. *granularity*), josta on hyötyä karttatiedon lähetyksessä. Viitaten edelliseen esimerkkiin voidaan päätie- ja sivutieteematasot myös poimia karttatietokannasta ja lähettää erikseen, koska niiden tarkkuustasot ovat samat. Päätös siitä, että otetaanko käyttöön yhdistettyjä teematasoja vai erillisiä teematasoja käyttävä lähestymistapa, riippuu siitä onko kartan käytön tarkoituksena hakujen tekeminen vai tiedon visualisointi näytölle.[6]

Kun erilliset teematasot yhdistetään yhdeksi tasoksi oletetaan, että erilliset teemakokonaisuudet yhdistetään (engl. *overlayed*) Vennin joukkojen unioni-, leikkaus- ja erotussääntöjen avulla. Yhdessä tasossa olevassa karttatiedostossa ei tallennettujen yksittäisten kokonaisuuksien välillä saa olla risteymiä. [6]

Esimerkki 3: Kuvan 8 kartassa näkyy, missä itsenäisten kokonaisuuksien risteymät sijaitsevat. Jotta saavutettaisiin yhdistetty joukko itsenäisiä kokonaisuuksia, on jotkut itsenäiset kokonaisuudet tallennettava erikseen lopulliseen karttatiedostoon. Näitä erikseen tallennettavia itsenäisiä kokonaisuuksia ovat sivutie A:n ja sivutien B:n välinen risteymä (Risteys AB), puron ja järven välinen risteymä (Lahti) sekä joen ja päätien välinen risteymä (Silta). Suorittamalla yhdistysalgoritmi kuvan 8 itsenäisille kokonaisuuksille saavutetaan kuvan 9 kartta.



Kuva 8: Kokoelma itsenäisiä kokonaisuuksia, joiden välillä on seuraavat risteymät: sivutie A ja sivutie B, puro ja (raja) järvi, joki ja päätie.



Kuva 9: Yhdistämisalgoritmi suoritettu kuvan 8 itsenäisille kokonaisuuksille.

Erillisten teematasojen yhdistäminen uudeksi yhtenäiseksi karttaesitykseksi noudattaa Venn:in joukkojen tuttuja unioni-, leikkaus- ja erotussääntöjä:

1. Unioni yhdistää kahden eri teematason karttamerkinnät ja attribuutit yhdeksi yhtenäiseksi esitykseksi.
2. Leikkaus määrittää alueet, missä eri teematasot menevät päällekkäin. Päällekkäisten alueiden attribuuttitaulukoille suoritetaan myös leikkaustoiminto.
3. Symmetrinen erotus määrittää esityksen, joka sisältää molemmat teematasot ja niiden sisältämät tiedot, paitsi alueet, jotka menevät päällekkäin.

Jos useasta erillisestä teematasosta koostuva karttatiedosto yhdistetään yhdeksi yhtenäiseksi tasoksi, joudutaan teematasojen yhdistämisessä ottamaan myös

huomioon spatiaaliset suhteet, jotka yhdistävät eri teematasoissa olleita itenäisiä kokonaisuuksia. (Luku 6.3) Vektoritiedoston koostumuksesta johtuen on valittava sellaisia teematasojen yhdistys- ja integrointitekniikoita, jotka säilyttävät eri tasojen väliset graafiset yhteneväisyydet. Käyttöön otettavassa yhdistystekniikassa on huomioitava myös johdonmukaisuuden säilyttäminen. Tasoon yhdistettävien karttaobjektien topologiset suhteet ovat yhdistettävä jo tasossa olemassa oleviin topologisiin suhteisiin.

Eri teematasojen yhdistäminen on monimutkainen operaatio, joka vaatii tietokoneelta kosolti laskentatehoja. Jos kartan tarkoituksena on vain hakujen kohteena oleminen, on etukäteen yhdistettyjen karttojen käyttö resurssien kannalta kannattavinta. Yleensä asiakassovellus odottaa saavansa käyttöönsä jo teemoiltaan valmiiksi yhdistetyn kartan, mutta poikkeuksiakin on. [6]

6.4 Karttojen käsittelyn kartografiset rajoitteet

Karttatiedoston ulkoasua ja kokoa muokataan yleistämällä (Luku 7.1.1). Yleistämisellä parannetaan karttatiedon luettavuutta ja ymmärrettävyyttä, kun niin sanotut ”turhat” yksityiskohdat ”suodatetaan” pois. Yleistyksessä on otettava huomioon kartan lopullinen ulkonäkö, siirrettävyys ja tallennustapa. Yleistys suoritetaan palvelimella. Vektorimuotoisen karttatiedoston yleistäminen pienempään kokoon ei ole suoraviivainen yksittäinen operaatio, vaan usean operaation yhteistulos. Kartografisten rajoitteiden ja sääntöjen tarkoituksena on varmistaa, että karttoihin ei tule kartoitusvirheitä yleistysoperaatioiden seurauksena ja että lopputulos on halutun kaltainen.

Esimerkki 4: Yleistysoperaation aiheuttaman kartoitusvirheen seurauksena talo päättyy väärälle puolelle jokea.

Kartografisten rajoitteiden tarkoituksena on myös karsia erilaisten yleistystoteutusten määrää, sitomatta toteutusta mihinkään tiettyyn toimintatapaan. Yhteen yleistysongelmaan voi olla useampi kuin yksi toimiva ratkaisu rajoitteiden

asettamissa puitteissa.

Kartografiset rajoitteet muodostetaan kartan suunnitteluvaiheessa päätetyistä kartan ohjaustiedoista. Ohjaustietoja ovat mm. luvussa 3 esitetyt kartan käyttötarkoitus, käyttäjä profiilit, käyttötilanne, karttasovellus, kartan esitystyylit, QoS-ohjaustiedot jne. Ohjaustiedot määritellään joko rajoitteiksi tai säännöiksi, joita pyritään joko välttämään tai ylläpitämään. Samat rajoitteet pätevät sekä rasteri- että vektorimuotoisiin karttoihin.

6.4.1 Kartografisten rajoitteiden luokittelu

Kartografiset rajoitteet jaetaan ehdottomiin ja asetettujen raja-arvojen välillä optimoitavissa oleviin rajoitteisiin. Yleistysoperaatioiden ohjausjärjestelmä priorisoi ja ohjaa rajoitteita, toleranssi- ja prioriteettiarvojen avulla. Prioriteettiarvo ilmoittaa rajoitteen tärkeyden suhteessa toisiin rajoitteisiin ja toleranssiarvo ilmaisee kuinka paljon rajoitteesta voidaan tinkiä tietyissä tilanteissa. Huomattavaa on, että rajoitteet ovat tilannekohtaisia eli niiden käytössä käytetään kuhunkin tilanteeseen sopivaa harkintaa. [5]

Rajoitteita voidaan luokitella myös niiden toiminnan mukaan. Rajoitteet voivat koskea vain yhtä yksittäistä aluetta tai kaikkia kyseessä olevan kategorian alueita. Esimerkiksi kartan kaikkia teitä. Vaikka jokin rajoite koskee vain yhtä karttaobjektia, vaikuttaa rajoite toissijaisesti myös sen ympärillä oleviin karttaobjekteihin. Rajoitteiden valinnan kanssa on oltava tarkkana, koska niillä voi olla yllättäviä vaikutuksia lopulliseen yleistystulokseen.

Rajoitteet voidaan jakaa neljään erilaiseen rajoiteryhmään niiden toiminta-alueen mukaan

Graafiset rajoitteet (engl. graphic constraints) koskevat kartan karttaobjektien koon, leveyden ja erottuvuuden havainnointia. Eri väreillä eri teemakategorioissa saadaan aikaan erottuvuuden paranemista. Esimerkiksi karttaobjektin

minimikoko, erottuvuus muiden karttaobjektien joukossa, symbolinen merkitys (Esittääkö karttaobjekti metsää vai järveä) voi riippua objektin väriattribuutista. Esitettävien karttaobjektien erottuvuutta voidaan myös parantaa ottamalla käyttöön symbolit. Symboloinnin käyttöä tulee harkita tarkkaan, koska symbolien viivojen paksuus, koko ja määrä korostuvat etenkin pienessä mittakaavassa. Esimerkiksi mobiililaitteen näytön rajallinen koko vaikuttaa olennaisesti graafisten rajoitteiden valintaan.

Topologiset rajoitteet (engl. topological constraints) käsittelevät perustopologisia suhteita kuten liityntää, päällekkäisyyttä, viereisyyttä ja sisältyvyyttä, joiden tulee säilyä samoina karttatietoja yleistettäessä. Alueiden leikkaukset ja päällekkäisyydet kuuluvat topologisiin yleistysongelmiin. Virheellisen yleistysalgoritmin seurauksena itseään leikkaavia rajoja tai risteyksiä voi syntyä eri objektien välille. Topologiset suhteet muodostavat koko kartan kattavan topologisen järjestelmän.

Rakenteiset rajoitteet (engl. structural constraints) määrittelevät kriteerit, joilla kuvataan tilaa ja datan semanttisia ominaisuuksia. Tilarajoitteet koskevat lähinnä tiettyjen muotojen säilyttämistä (yksittäisen alueen tasolla, ottaen huomioon näytön asettamat rajoitteet) tai rakenteen ja ryhmittymisen säilyttämistä, jos käsitellään useampia alueita samanaikaisesti. Semanttiset rakenteiset rajoitteet käsittelevät alueiden loogisten yhteyksien säilyttämistä. Näille rajoitteille on tärkeää apudata, kuten tie- ja jokiverkostot ja maastomallit.

Hahmolliset rajoitteet (engl. gestalt constraints): Liittyvät esteettisiin muotoseikkoihin, kuten alueiden ominaispiirteiden säilyttämiseen ja yleisen visuaalisen tasapainon säilyttämiseen, kun käsitellään useampaan aluetta tai objektijoukkoa. Hahmolliset rajoitteet ovat monimutkaisia ja vaikeita formalisoida. Hahmollisia rajoitteita toteutetaan mieluummin globaalilla strategialla kuin yksittäisillä taktisilla päätöksillä. [5]

Rajoitteiden toteutusratkaisuja tehdään niin karttaobjektitasolla (micro taso) kuin karttatasolla (macro taso). Molemmat tasot vaikuttavat toisiinsa ja kartan lopulliseen ulkoasuun. Rajoitteiden tärkeyttä ei kuitenkaan saa painottaa liikaa, koska useat rajoitteet voivat olla jopa toistensa kanssa ristiriidassa. Yleistysprosessissa tulee painottaa niitä rajoitteita, jotka ovat tärkeitä tuloksena syntyvän kartan kannalta. Tarkempi luettelo vektorimuotoiseen dataan liittyvistä rajoitteista on saatavilla Beat Peterin artikkelissa "*Measures for the Generalization of Polygonal Maps with Categorical Data*" luvussa 2.2 [4] ja Project AGENT:in "*Constraints Analysis*" dokumentista [2]

Johtuen siirtotien rajallisuudesta on kehitetty yleistystekniikoita, joiden avulla on pyritty pienentämään siirtotiellä siirrettävän vektorimuotoisen tiedoston kokoa. Seuraavassa luvussa käsitellään tarkemmin näitä yleistystekniikoita ja näiden tekniikoiden haasteita ja erilaisia muotoja.

7. VEKTORIMUOTOISEN KARTTADATAN KÄSITTELYN HAASTEET

Vastatakseen mobiilien reaaliaikaisten läsnäolosovelluksien asettamiin karttatarpeisiin, on karttatieto lähetettävä palvelimelta mobiililaitteeseen mahdollisimman tehokkaasti kaikista rajoitteista huolimatta. Palvelimella olevaa vektorimuotoista karttatietoa on käsiteltävä, jotta tehokas tiedonsiirto mobiililaitteelle olisi mahdollista. Luvussa käsitellään kuinka karttatietoa on esikäsiteltävä, yleistettävä ja muokattava kartografisten rajoitteiden asettamissa puitteissa kartan koon pienentämiseksi ja kuinka tätä muutosta voidaan mitata yleistystuloksen laadun parantamiseksi. Luvussa käsitellään myös kuinka mobiililaitteen näytön ominaisuudet asettaa rajat karttatiedon muokkaukselle.

7.1 Karttadatan muokkauksen haasteet

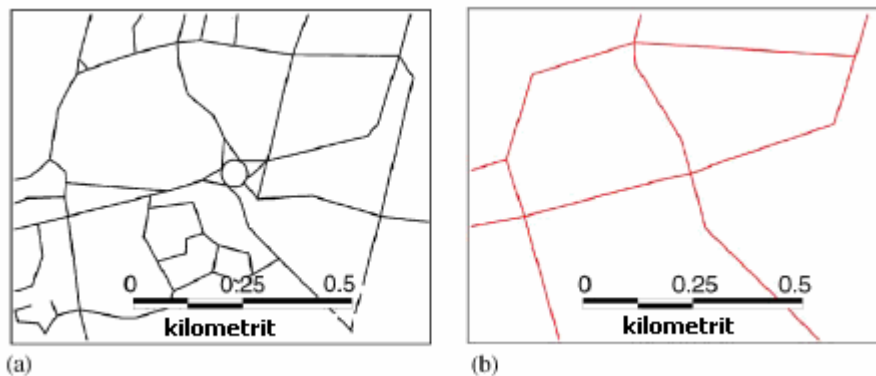
Mobiililaitteelle lähetettävää karttatietoa on esikäsiteltävä karttatiedon tehokkaan siirron mahdollistamiseksi. Käsittely on suoritettava joko etukäteen ennen palvelimelle saapuvaa karttapalvelupyynnöä tai reaaliaikaisesti palvelimelle saapuneen palvelupyynnön tuloksena. Kuten luvussa 4.1 todettiin, esikäsitelyllä saavutetaan huomattavia tiedonsiirron tehokkuuteen liittyviä etuja. Näiden etujen saavuttamiseksi karttatietoa on yleistettävä etukäteen mahdollisimman optimaaliseen muotoon ja kokoon. Yleistämisen jälkeen karttatiedosto tallennetaan palvelimelle. Vektorimuotoinen yleistetty karttatiedosto on tallennettava sellaiseen muotoon, joka mahdollistaa sen siirron hitaiden siirtoyhteyksien kautta.

Vaikka vektorimuotoisille kuvatiedostoille kehitetyistä pakkausmenetelmistä on ollut apua yleistämisen teorioiden kehittämisessä, on vektorimuotoisen karttadatan yleistäminen haastavampaa kuin kuvien pakkaaminen. Yleistämisen haastavuus johtuu kartoille ominaisista ongelmista, kuten johdonmukaisuuden säilyttämisen vaikeudesta ja vain kartoille ominaisista rajoitteista (Luku 6.4),

joita ei esiinny kuvan pakkauksessa, mutta jotka vaikuttavat olennaisesti vektorimuotoisen karttaesityksen yleistämiseen. Yhdistettäessä kartan yleistäminen vektorimuotoisen karttadatan lähetykseen asiakassovellukselle, on löydettävä yleistämisen ja siirrettävän karttadatan koon välinen optimaalinen suhde.

7.1.1 Kartan esikäsittely yksityiskohtia vähentämällä

Mobiililaitteessa esitettävän kartan yksityiskohtaisuus riippuu kartassa olevien karttaobjektien määrästä. Mitä enemmän yksityiskohtia kartassa on, sitä suurempi on kartan tallennuskoko ja sitä enemmän dataa on siirrettävä siirtoväylällä. Kartan yksityiskohtaisuutta voidaan muuttaa poistamalla tai lisäämällä karttaobjekteja. Yksittäisten karttaobjektien tarkkuutta voidaan muuttaa lisäämällä tai vähentämällä karttaobjektien monimutkaisuutta.



Kuva 10 : Yleistys suoritettu karttojen a) ja b) välillä

Yksityiskohtien vähentäminen vektorimuotoisesta kartasta on monimutkainen ja aikaa vievä prosessi. Kartoille suoritettavaa yksityiskohtien vähentämistä kutsutaan **yleistämiseksi**, ei pakkaukseksi kuten vektorimuotoisten kuvien yksityiskohtien vähentämistä kutsutaan. Termierolla pyritään kiinnittämään huomio vektorimuotoisten kartta- ja kuvatiedostojen käsittelyeroihin.

Yleistysprosessit voidaan jakaa kahteen erilaiseen yleistysmalliin sen mukaan kuinka yleistysoperaatiot suoritetaan. Optimointimallissa karttarajoitteet tyydytetään samanaikaisesti yhdellä globaalilla ratkaisumetodilla, joka luo rajoitteiden välisen kompromissin avulla balanssin eri rajoitteiden välille. Agenttipohjaisessa ratkaisussa rajoitteet tyydytetään vaihe vaiheelta. Erilliset, toisistaan riippumattomat vaiheoperaatiot laukaisevat itsenäisiä algoritmeja, jotka ratkaisevat itsenäisesti tunnistettuja ja edellisten vaiheiden sivutuotteena syntyneitä rajoiteongelmia. [19]

Yleistysoperaatiot voidaan myös jakaa niiden suorittamien toimintojen perusteella **diskreetteihin** ja **jatkuihin muutosoperaatioihin**. Diskreetit operaatiot ovat "epäjatkuvia", kerran suoritettavia operaatioita. Karttaobjektin poisto, tiessä olevan kaarteiden poisto, tien kaarteiden etenemisen mallintaminen (engl. bend succession typification) ovat hyviä esimerkkejä yksittäisistä diskreeteistä operaatioista. Jatkuvia operaatioita ovat esimerkiksi objektin muodonmuutos (engl. deformation) ja siirtymän lisääminen topologian säilyttämiseksi. Operaation suoritustavasta riippuu voidaanko operaatiota kutsua diskreetiksi vai jatkuvaksi operaatioksi. Esimerkiksi karttaobjektin siirto voidaan nähdä jatkuvana sekä diskreettinä operaationa.

Kumpi muutosoperaatio karttaobjektille suoritetaan riippuu seuraavista seikoista [19]:

Mittakaavan muutoksen suuruudesta: Pienissä mittakaavan muutoksissa pelkkä muodonmuutos luo tyydyttävän tuloksen. Jos mittakaavan muutos on suuri on käytettävä diskreettejä muunnoksia. [26]

Karttaobjektin tyyppi: Joissakin karttaobjekteissa on ominaisuuksia, jotka pakottavat objektin joko diskreettien tai jatkuvien operaatioiden kohteeksi.

Karttaobjektit voivat olla niin diskreettien kuin jatkuvienkin operaatioiden kohteena. Esimerkiksi tieobjektille voidaan suorittaa niin diskreettejä kuin jatkuvia

operaatioita. Mitä operaatioita tielle suoritetaan, riippuu yleistyksen vaiheesta. Useissa tapauksissa jatkuvia operaatioita käytetään diskreettien operaatioiden sivuvaikutusten hallintaan. Kartta voidaan esikäsitellä diskreeteillä operaatioilla ja viimeistellä jatkuvilla operaatioilla.

Gaffurin [19] mukaan jatkuvat muutosoperaatiot sopivat paremmin optimointimuotoiseen yleistämiseen ja diskreetit muutosoperaatiot agenttimuotoiseen yleistämiseen. Optimointimuotoisessa yleistysmallissa ylläpidettävät karttarajoitteet muutetaan matriisimuotoiseksi yhtälöjärjestelmäksi. Karttarajoitteet kohdistetaan karttaobjekteihin karttaobjektien koordinaattipistetietojen avulla. Rajoitteiden ja yleistysmetodien muodostama ”globaaliyhtälöjärjestelmä” ratkaistaan käyttäen hyväksi käänteismatriisiin perustuvia metodeja (engl. matrix inversion based method). Käänteismatriisien avulla saadaan selville pisteiden siirtymät. Karttapisteiden siirtymätietoja käytetään apuna kun pyritään saavuttamaan tasapaino muutoksen ja ylläpidettävien rajoitteiden välille [19].

Agenttimuotoisessa yleistämismallissa yleistäminen koostuu operaatiosarjoista. Jokainen yksittäinen operaatio ratkaisee yksittäisen kartografisen konfliktin. Agenttimuotoisessa yleistämismallissa kartografisia objekteja kutsutaan agenteiksi, joilla on tavoitteita mihin ne pyrkivät itsenäisesti. Agenttien tavoitteena on rajoitteiden tyydyttäminen. Jotta agentit saavuttaisivat tavoitteensa, agenttien on pystyttävä mittaamaan ja analysoimaan rajoitteidensa tiloja. Agentin on pystyttävä omaamiensa tietojen avulla valitsemaan ja käynnistämään muutosalgoritmeja tilansa parantamiseksi. Agentit suorittavat muutosoperaatioita kunnes ”tyydyttynyt” tila on tavoitettu. Agentilla tehtävät muutosoperaatiot voidaan suorittaa vain, jos muutos tuo parannuksen kartografiseen konfliktiin. Agenttimuotoisessa yleistämismallissa karttadatan etukäteisanalysointi ennen varsinaista yleistystä on ensiarvoisen tärkeää, koska analyysin tuloksia käytetään hyväksi itse yleistysprosessissa.

Yleistysoperaatioiden täydellinen automatisointi ja joidenkin ohjelmistojen reaaliaikaisuusvaatimukset aiheuttavat ongelmia karttatiedon yleistyksen täydelliselle automatisoinnille. Yleistämisen automatisoinnin ongelmat johtuvat yleisten kartografisten toimintaperiaatteiden formalisoinnin puuttumisesta. Täydellinen automatisointi voidaan toteuttaa vain joillekin tarkoin määritellyille osaongelmille. Automatisoinnit perustuvat suurelta osin heuristisiin metodeihin. Täten tehokas yleistämisprosessi vaatii toimivaa vuorovaikutusta kartografin ja puoliautomoitujen yleistysprosessien välillä. [6]

Jos yleistämistä ei suoriteta etukäteen vaan asiakassovelluksen palvelupyynnön johdosta, on yhdistettävä karttatiedon yleistäminen, karttasisällön reaaliaikainen neuvottelu ja yleistyksen automatisoitu johdonmukaisuuden tarkistus toimivaksi järjestelmäksi. Järjestelmän toteuttaminen luo suuria haasteita karttatietojen reaaliaikaiselle käsittelylle, koska muun muassa kartan johdonmukaisuuden tarkistusta ei ole vielä pystytty automatisoimaan kyllin kattavasti ja karttatietoon voi tulla suuriakin virheitä yleistyksen seurauksena. Kaikkien toimintojen reaaliaikainen suorittaminen aiheuttaa myös suuria haasteita palvelimen laskentateholle. Palvelinresurssien mennessä yleistyksien ja tarkistuksien suorittamiseen, jää hyvin vähän aikaa asiakassovelluksen palvelemiseen. Laskennan huomattavasta määrästä johtuen on asiakkaan palvelupyynnön vastaaminen hidasta ja samanaikaisesti ei voida palvella useampaa asiakassovellusta. Näistä syistä johtuen karttatiedon yleistäminen ja johdonmukaisuuden tarkistaminen kannattaa suorittaa etukäteen, ennen asiakassovelluksen palvelupyynnön saapumista. Näin vältetään monilta palvelun laatua heikentäviltä tekijöiltä.

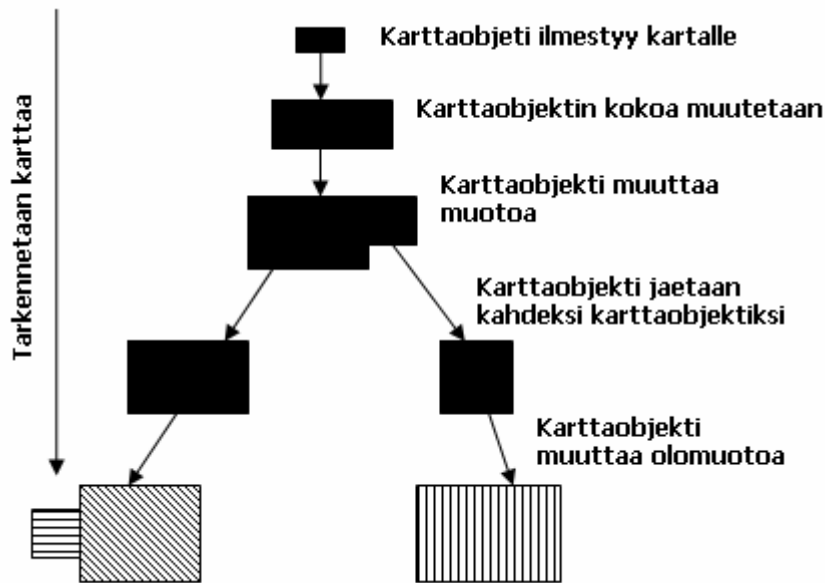
7.1.2 Johdonmukaisuuden säilyttämisen tärkeys

Karttaobjektien umpimähkäinen poistaminen tai yksinkertaistaminen yleistämällä ei johda johdonmukaiseen karttaesitykseen. Karttaobjektien umpimäh-

käinen poistaminen voi johtaa oleellisten karttaobjektien poistamiseen kartasta. Esimerkiksi karttaobjektien umpimähkäinen poisto voi johtaa joen ylittävän sillan poistamiseen kartasta. Tästä riskistä johtuen useat kuvien pakkausmenetelmät eivät sovellu suoraan karttojenyleistämiseen. Johdonmukaisuuden säilyttämiseksi on karttojen yleistämisessä käytettävä erityisesti kartoille luotuja tekniikoita. Yleistysoperaation tulokset on vielä tarkistettava erikseen, jotta yleistetystä kartasta voidaan korjata syntyneet epäjohdonmukaisuudet, jotka ovat jääneet tarkistusalgoritmeilta huomaamatta. Johdonmukaisuuden tarkistus voidaan suorittaa myös automaattisesti ottamalla käyttöön yleistysoperaatiot, jotka kykenevät säilyttämään riittävän johdonmukaisuuden. Johdonmukaisuuden tarkistus voidaan suorittaa myös kartografin toimesta.

Valittaessa käytettävää yleistystekniikkaa on otettava huomioon yleistetyn kartan käyttötarkoitus ja käyttötarkoituksen rajoitteet. Jos tarkoituksena on karttojen esittäminen mobiililaitteessa, on huomioon otettava myös mobiililaitteen rajoitteet. (Luku 3.1.2) Mobiililaitteen rajoitteista johtuen asiakassovelluksessa ei ole yleensä mahdollisuutta tehdä vastaanotetuille karttadataseteille johdonmukaisuuden tarkistusta. Puutteesta johtuen on johdonmukaisuuden tarkistus suoritettava palvelimella.

Johdonmukaisuuden havaitsemiseen kiinnitetään huomiota erityisesti asiakassovelluksessa. Skaalatessa karttaa tarkempaan tarkkuustasoon ei edellisen tarkkuustason karttaobjekteja poisteta nykyisestä tarkkuustasosta, mutta karttaobjektien ulkomuodot voivat muuttua. (Kuva 11) Johdonmukaisuus on olennainen osa kartan käytettävyyttä. Karttatiedon johdonmukaisuuden lisäksi vaatimuksia asetetaan myös kartan visuaaliselle ulkomuodolle. Visuaalisuuden yhteneväisyys on myös tärkeää, koska käyttäjä haluaa työskennellä karttatiedon kanssa, joka on kautta linjan yhteneväistä. Käyttäjä ei saa havaita eri tarkkuustasojen välillä silmiinpistäviä poikkeavuuksia.



Kuva 11 : Yksittäisen karttaobjektin tarkentuminen

7.1.3 Mittoja ja yleistyksen mittareita

Mittoja ja mittareita käytetään karttaobjektien ominaisuuksien kuvauksessa ja yleistysoperaatioiden toiminnan arvioinnissa ja ohjauksessa. Erilaisia mittoja voidaan antaa niin yksittäisille objekteille kuin objektijoukoille. Yksittäisille objekteille voidaan määritellä kuvaavia mittoja, jotka kuvaavat objektin ominaisuuksia. [1] Esimerkiksi joen pituus ja suunta voidaan laskea jokiobjektiin liitettyjen mittatietojen avulla. Jokiobjektiin voidaan liittää myös naapuri objekteihin liittyviä kuvaavia geometrisia mittatietoja, jotka perustuvat paikallisiin topologisiin suhteisiin. Esimerkiksi jokiobjektiin voidaan liittää tiedot jokeen laskevan puro-objektin kulmasta tai joen rannalla kulkevan tien viereisyydestä.

Mittareilla ohjataan ja mitataan yleistystoimintoja. Mittarit jaetaan kolmeen tyyppiin:

- Mittareiden avulla havaitaan jonkin karttaobjektille ja karttaobjektijoukolle spesifi ominaisuus (engl. Characteristic), joka joko säilytetään tai poistetaan yleistyksen yhteydessä. Mittaritietojen avulla esimerkiksi

havaitaan poistettavat karttaobjektit.

- Mittareiden avulla mitataan karttaobjektien ja karttaobjektijoukkojen ominaisuuksia. Ominaisuustietojen avulla optimoidaan yleistysalgoritmien toimintaa. Mitatut ominaisuustiedot vaikuttavat esimerkiksi yleistysoperaatioiden valintaan ja yleistysoperaatioita ohjaaviin parametreihin.
- Mittareiden avulla mitataan kuinka yleistysoperaatiot vaikuttavat karttaobjekteihin ja karttaobjektijoukkoihin. Mittareilla mitataan yleistysoperaatioiden haittavaikutuksia ja tehokkuutta. Mittaustulosten avulla parannetaan yleistysalgoritmien toimintaa.

Mittarit voidaan edelleen jakaa sisäisiin ja ulkoisiin mittareihin. Sisäiset mittarit (engl. *intrinsic measurement*) vertaavat yleistyksen aiheuttaman tilamuutoksen vaikutusta yksittäiseen karttaobjektiin tai karttaobjekti joukkoon. Esimerkiksi mitataan yleistyksen aiheuttamaa muutosta yksittäisen polygonin leveydessä, alassa tai usean polygonin muodostaman joukon rakenteessa (engl. *pattern*). Ulkoiset mittarit (engl. *extrinsic measurement*) vertaavat kahta tilaa, ennen ja jälkeen yleistyksen. Ulkoiset mittarit jaetaan implisiittisiin ja eksplisiittisiin mittareihin. Esimerkiksi implisiittiset mittaukset vertaavat kahden sisäisen mittarin toimintaa ennen ja jälkeen yleistyksen. Eksplisiittinen mittari vertaa objektin tai objektijoukkojen tilaa peräkkäisesti (engl. *concurrently*). Esimerkiksi verrataan objektien vektorien siirtymistä yleistystoimenpiteiden seurauksena eri tarkkuustasoissa. Ulkoiset mittarit toimivat itsenäisesti, mutta riippuvat samalla yleistettävästä kokonaisuudesta. Ulkoisilla mittareilla ohjataan kuinka yleistystoimenpiteen jälkeen karttaobjekti sulautuu toisten karttaobjektien joukkoon. [1] Lisätietoja mittareista ja niiden toiminnasta löytyy Project AGENT:in "*Selections of Basic Measures Constraints Analysis*" dokumentista [1] ja Beat Peterin artikkelista "*Measures for the Generalization of Polygonal Maps with Categorical Data*" [4]

7.1.4 Yleistystoleranssi

Yleistystoleranssi määrittelee kuinka useasti karttaa yleistetään missäkin tilanteessa. Mitä enemmän karttaa yleistetään, sitä vähemmän on kartassa esittävää tietoa. Esimerkiksi mobiililaitteessa esitettävän kartan mittakaava vaikuttaa kartan yleistystoleranssiin. Pientä aluetta kuvaava, mutta suuressa mittakaavassa oleva kartta esittää kartan yksityiskohtaisemmin kuin pienessä mittakaavassa oleva samaa aluetta kuvaava kartta, josta on jouduttu karsimaan pois kartan yksityiskohtia yleistystoleranssin noustessa.

Myös mobiililaitteen näytön pikselikoko vaikuttaa kartan resoluution kautta esitettävän kartan yleistystoleranssiin, koska jokainen kartan tarkentaminen kaksinkertaistaa resoluution. Resoluution yksikköä, lyhintä kartassa esitettävää etäisyyttä, tarkennustasolla i merkitään r_i . Resoluutio toimii referenssipisteenä, jonka perusteella määritellään yleistystoleransseja. Hyväksyttävä resoluutio-
poikkeama riippuu myös resoluutiotarkastelun kohteena olevasta kartta-
objektista. On turhaa yrittää saavuttaa parempaa resoluutiota kuin mobiili-
laitteen näytöllä kyetään esittämään.

Yleensä kartta-aineiston yleistys suoritetaan kymmenen kertaa. Persson on huomannut tutkimuksissaan, että karttadatan määrä tarkennustasolla kymmenen tulee olla yksi miljoonasosa alkuperäisestä datamäärästä, jotta hahmotettava informaatiotiheys pysyisi muuttumattomana. Karttainformaation tiheys on verrannollinen resoluutioyksikön neliön käänteisarvoon. [28]

Yksistään karttaobjektimäärän vähentäminen yleistämällä ei johda pienempään kokonaisgeometriamäärään, koska tällöin vain karttaobjektien välinen jaettu geometria poistetaan. Jaettu geometria poistetaan, poistamalla geometrian sisältävästä tallennusrakenteesta jaettu tieto, pisteiden koordinaatit, viivat ja alueet. Tiedot tallennetaan vain kerran tallennusrakenteeseen. Poistettavien karttaob-

jektien valintaoperaation toiminta riippuu karttadatan luonteesta ja on usein asteittaista. Esimerkiksi kadut poistetaan, mutta tiet jätetään. Persson on päätellyt, että yleistysoperaatioiden toimiessa tehokkaasti yhdessä on mahdollista leikata karttadatan volyymiä suhteelliseen arvoon $1/r_i$. [28]

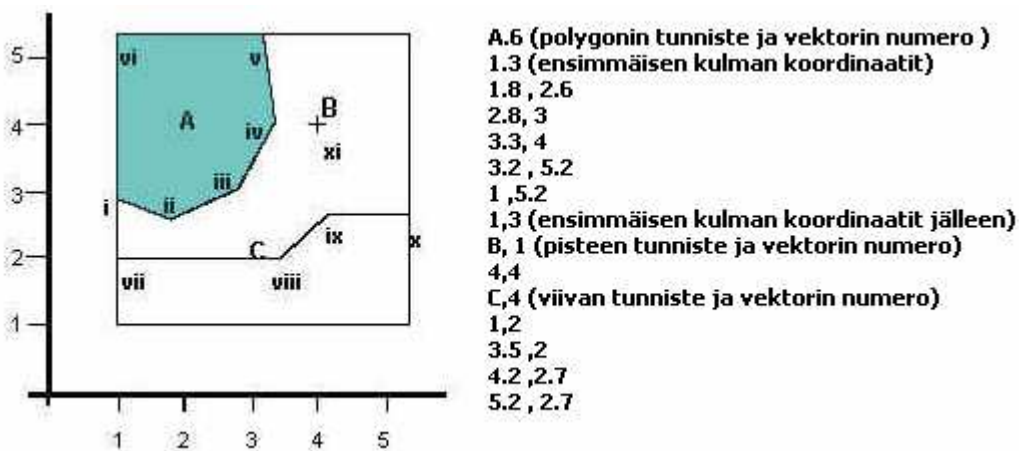
Seuraavassa luvussa käsitellään kolmea erilaista karttojen tallennustapaa ja kuinka tallennustavan valinta vaikuttaa kartan siirtämiseen mobiililaitteelle.

8 . VEKTORIMUOTOISEN KARTAN TALLENNUSTAVAT

Luvussa käsitellään karttatietojen tallennusta ja kuinka topologia on otettava huomioon tallennustapaa valittaessa. Luvussa käsitellään myös kuinka vektori-
muotoinen karttatieto voidaan tallentaa erilaisiin tallennusrakenteisiin ja kuin-
ka valittu karttadatan tallennustapa vaikuttaa mobiililaitteen ja palvelimen väli-
sen tiedonsiirron määrään. Luvussa käsitellään tarkemmin hierarkista siirto-
mallia.

8.1 Karttatiedon yleinen tallentaminen

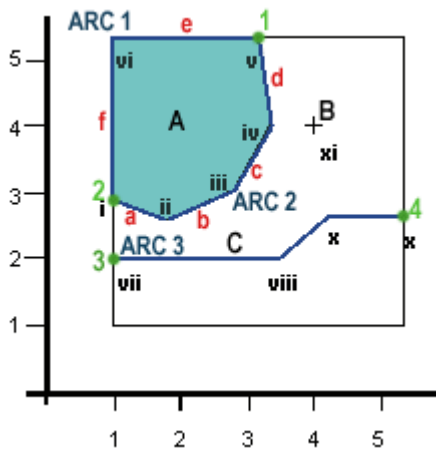
Vektorien datamallit kuvaavat kuinka vektorit tallennetaan tietokantaan. Vektorien muodostamat yksittäiset karttaobjektit identifioidaan karttatietokan-
noissa vektorinumeroiden tai tietokanta-avainten (engl. Key) avulla. Karttatieto
tallennetaan tietokantaan ns. "spagetteina". (Kuva 12)



Kuva 12: "Spagettitallennus" ja yksittäisten karttaobjektien tunnistus tietokannasta vektorinumeroiden avulla.

"Spagetti" muotoinen tallennustapa on yksinkertaisin tapa tallentaa vektori-
muotoista dataa, mutta se ei ota kantaa topologiaan. "Spagetti" muotoinen
tallennustapa vaatii paljon tallennustilaa, koska tietokantaan tallentuu paljon
duplikaattitietoa. "Spagetti" muotoisesta tallennustavasta on myös kehitetty ns.
"vektorisankirja"-versio, jossa duplikaattitiedot on poistettu.

Amerikan yhdysvaltojen tilastokeskuksessa (engl. US Bureau of the Census) on kehitetty TIGER vektoriformaatti (engl. Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing System) vektorimuotoisten karttojen tallentamiseen. TIGER: n etu spagettimuotoiseen tallennustapaan verrattuna on sen topologian säilytyskyky. TIGER:ssä vektoritiedostot koostuvat pisteistä, viivoista, solmuista, yhdistyvistä viivoista ja alueiden (Polygoni) muodostamista joukoista. Tarkempi kuvaus TIGER:in sisällöstä löytyy Amerikan Yhdysvaltojen tilastokeskuksen internet sivuilta. [34]



Kuva 13: Kaari / Solmu / Polygonien tallennus rakenne. (Liite 2. Kuvan 16 tietojen tallennus tietokantaan)

8.2 Kaksi erilaista tallennustekniikkaa

Vektorimuotoisten tarkentuvien karttojen tallentamisen on kehitetty kaksi erilaista ratkaisua. Toinen perustuu erillisiin karttatiedostoihin, jossa jokainen itsenäinen karttatiedosto tarkentaa alkuperäistä karttaa ja toinen perustuu kartan tallentamiseen hierarkkiseen puurakenteeseen, jossa kartta tarkentuu ja yleistyy puurakenteessa, riippuen siitä mihin suuntaan tallennusrakenteessa liikutaan.

8.2.1 Erillisiin tasoihin tallennus

Kartta lähetään erillisinä yksityiskohdiltaan tarkentuvina kokonaisina karttatasoina. Tarkentuviin karttatasoihin tallennetaan edellisessä karttatasossa olleet karttaobjektit ja uudet edellistä karttatasoa tarkentavat karttaobjektit. Karttaa tarkennettaessa haetaan palvelimelta aina uusi kokonainen karttataso. Uuden tason tulee aina sisältää edellisen tason informaatiot, jotta luvussa 7.1.2 mainittu johdonmukaisuus tasojen välillä säilyisi.

Kokonaisen karttatason lähetyksessä, kaikki yksityiskohdat sisältävästä karttatiedostosta muodostetaan yleistäen sarja yhä vähemmän yksityiskohtia sisältäviä karttatiedostotasoja palvelimelle. Jokainen itsenäinen karttataso sisältää edellisen tason karttaobjektit ja karttatasolle lisätyt karttaobjektit. Käyttäjän tarkentaessa karttanäkymää palvelin toimittaa asiakkaalle yhä enemmän yksityiskohtia sisältäviä karttatasoja. Tämä tiedonsiirtotapa on tehokas ja yksinkertainen tapa toteuttaa asiakaspalvelin arkkitehtuuria. Käyttäjä pääsee jo latauksen varhaisessa vaiheessa käsiksi kohtuulliseen tarkkaan karttaesitykseen. Siirtotavan huonopuoli on se, että tarkennettaessa karttanäkymää siirtotien yli joudutaan siirtämään kokonaisia karttatiedostoja. Mitä enemmän yksityiskohtia siirrettävässä kartassa on sitä suuremmiksi tiedostojen koot kasvavat ja karttatiedoston yleistyksessä saavutetut hyödyt menetetään.

8.2.2 Hierarkinen tasoihin tallennus

Hierarkisessa tallennusrakenteessa puun alimmalle tasolle tallennetaan karttaobjekteja kaikkein tarkimmalla tarkkuustasolla ja mitä ylemmäksi puussa edetään sitä vähemmän kartta sisältää sillä tasolla esittäviä yksityiskohtia. Liitteessä 5 on kuva topologian säilyttävästä hierarkkisesta tallennusrakenteesta. Puussa liikutaan vertikaalisesti kun esitettävää karttaa tarkennetaan ja horisontaalisesti kun kartalla siirrytään paikasta toiseen. Tietoa siirretään palvelimen ja mobiililaitteen välillä sitä mukaan kun kartassa liikutaan, vain tarkentuvat ja

lisättävät karttaobjektit siirretään.

Esimerkki 5: Hierarkkiseen puuhun on tallennettu tie Oulusta Kokkolaan.

Kaikkein ylimmällä tasolla puuhun on tallennettu suora viiva kaupunkien välille. Tarkennettaessa tien esitystä siirrytään puun alempiin kerroksiin. Tiehen lisätään kuvaavia yksityiskohtia kuten mutkia ja risteyksiä, joita ei ollut kartassa edellisellä tarkkuustasolla. (Kuva 11)

Tunnettuja hierarkisia tiedon tallennuspuita ovat esimerkiksi GAP-puu (engl. Generalized Area Partitionin-tree) [36] ja dynaaminen spatiaalinen indeksointi rakenne (engl. Multi-scale R-tree) [11] ja Strip-puu [3]

Hierarkista tallennusrakennetta käytettäessä mobiililaitteelle lähetetään yksi karkea karttataso, jota tarkennetaan hakemalla palvelimelta karttaan lisättäviä yksityiskohtia. Käyttäjän tarkentaessa karttanäkymää, asiakassovellus pyytää palvelimelta karkeaan karttaan lisättäviä karttaobjekteja ja yksittäisten karttaobjektien tarkennuksia. Tarkennukset ja lisäykset eivät ole kartan päälle lisättäviä erillisiä teematasoja, vaan tarkennukset tekevät mobiililaitteissa jo olevasta karkeasta kartasta yksityiskohtaisemman. Karttaobjektien siirtoa palvelimen ja asiakassovelluksen välillä käsitellään tarkemmin luvussa 10.

Karttaan lisättäviä erillisiä teematasoja voidaan myös tallentaa hierarkkiseen puurakenteeseen, kartan hierarkkisen tallennusrakenteen rinnalle. Erillisiä teematasoja käytettäessä on huolehdittava siitä, että siirrettävät karttatasot ja tasoihin liitettävät eri teematasot pysyvät synkronisaatiossa johdonmukaisuuden säilyttämiseksi.

Teematasojen hierarkkinen tallennusmalli perustuu useiden erillisten teematasojen itsenäiseen yleistämiseen karkeammiksi esityksiksi, jotka sitten lähetetään erillisinä itsenäisinä tasoina asiakassovellukselle. Asiakassovelluksessa suoritetaan teematason lopullinen yhdistäminen karttatasoon.

Vektorimuotoisen teematason muokkaus koostuu seuraavista askelista [8]:

1. Teemojen erottaminen: Eri teematasot (esimerkiksi vesijohtoverkosto, liikenneverkosto) tallennetaan eri tiedostoihin.
2. Teeman sisällä karttaobjektit järjestetään prioriteettijärjestykseen niiden lähetystarpeiden mukaan.
3. Vektoreiden hierarkinen jako karttaobjektin sisällä: Jokainen viiva jaetaan esimerkiksi iteratiivisesti Douglas-Peucker algoritmilla [15] ja tallennetaan hierarkiseen tallennuspuuhun. Douglas-Peuckerin optimointialgoritmia käytetään yleisesti viivojen (engl. polyline) yleistämiseen.

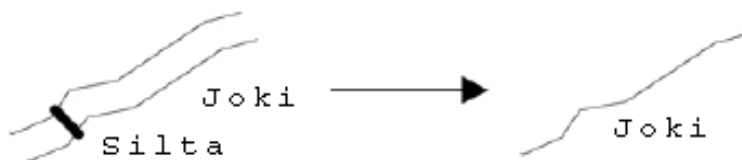
Seuraavassa luvussa käsitellään tarkemmin kuinka tapahtuu vektorimuotoisen kartan yleistäminen muotoon, joka mahdollistaa tehokkaan karttojen siirtämisen. Luvussa käsitellään myös yleistämisen formalisointia.

9 . VEKTORIMUOTOISEN KARTTADATAN MUOKKAUS

Luvussa käsitellään kuinka vektorimuotoista karttaesitystä on käsiteltävä, jotta tehokas tiedonsiirto olisi mahdollinen. Luvussa kerrotaan kuinka atomisia operaatioita hyväksikäyttävä yleistysmalli pyrkii säilyttämään eri tarkkuustasojen välisen johdonmukaisuuden ja yhteneväisyyden sekä kuinka näitä operaatioita käytetään tehokkaasti suuriin karttoihin. Luvussa käsitellään myös linkkejä, joiden avulla liikutaan hierarkisessa tallennusrakenteessa olevien tarkkuustasojen välillä.

9.1 Karttaesityksen yleistämis- ja tarkennusoperaatiot

Tässä tutkielmassa käsitellään tarkemmin yleistysmallia, joka alun perin perustui Puppon ja Dettorin malliin [12], jota Bertolotto myöhemmin edelleen formalisoi [6]. Karttamalli koostuu sarjasta karttaesityksiä annetulta alueelta, jossa jokainen erillinen karttataso on eri tarkkuustasolta. Yleistysoperaatioiden avulla muodostettu karttasarja tallennetaan palvelimelle ja lähetetään asiakkaalle pyydettyäessä. Bertolotto määritteli atomiset yleistysoperaatiot, joiden on todettu tuottavan riittävän yhdenmukaisia karttayleistystyksiä. Atomiset yleistysoperaatiot suorittavat topologisia muutoksia (muutoksia dimensioissa, monimutkaisuudessa). (Kuva 14)

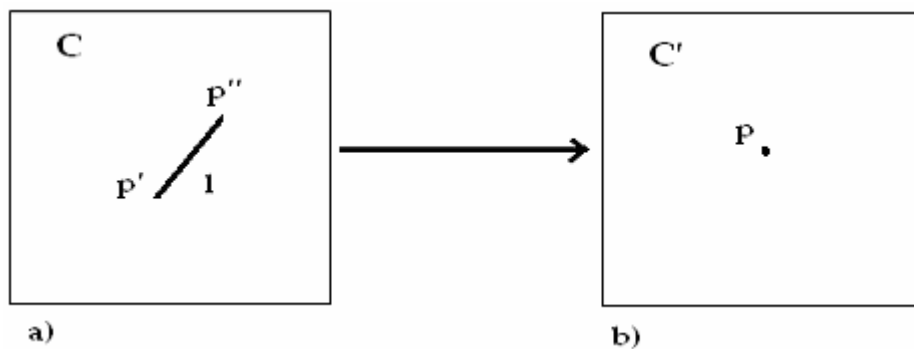


Kuva 14: Topologinen muutos kahden eri tarkkuustasolla olevan kartan välillä. Korkeammalla tarkkuustasolla oleva joki (vasen) esitetään kahtena erillisenä alueena, joita erottaa silta (viiva); alemmalla tarkkuustasolla (oikea) silta on poistettu ja jokea esittää pelkkä viiva [6].

Määriteltyjä atomisia yleistys- ja tarkennusoperaatiota ovat [4]:

- Viivan supistus pisteeksi
- Alueen supistus pisteeksi
- Alueen kaventaminen viivaksi
- Viivaan yhdistys (kahden erillisen viivan, jotka jakavat yhteisen pisteen, yhdistämien yhdeksi yhtenäiseksi viivaksi)
- Alueiden yhdistys (kahden alueen, joita jakaa rajaviiva, yhdistäminen yhdeksi alueeksi)
- Pisteen eliminointi (yksittäisen pisteen poisto alueen sisältä tai viivasta)
- Viivan poisto (yksittäisen viivan poisto alueen sisältä)

Nämä operaatiot on formalisoitu funktioiksi topologisten kompleksien välillä. Funktiot kuvaavat muutoksia, jotka tapahtuvat alkuperäisen kartan ja muokatun kartan, johon on suoritettu kyseiset operaatiot, välillä.



Kuva 15 : Viivan supistusoperaatio karttojen a) ja b) välillä

Esimerkki: Yleistysoperaatio, viivan supistus pisteeksi (kuva 15). Kaavassa 1 viivan l loppupiste on p'' ja alkupiste on p' . Viivan supistusoperaation tulos on piste p . Viivan supistaminen voidaan formalisoida funktioksi $lc: C \rightarrow C'$, missä C ja C' ovat topologisia komplekseja. Funktion $lc: C \rightarrow C'$

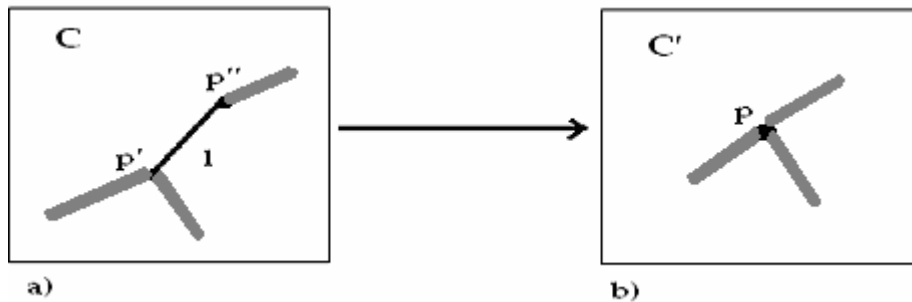
suorittamisesta syntyvä erotusdata Δ , tallennetaan erilliseen tietokantaan. Tietokantaan talletettua erotusdataa käytetään hyväksi hierarkisessa talletusrakenteessa.

Bertolotto on määritellyt funktion lc seuraavasti

$$lc(p') = lc(p'') = lc(l) = p \quad (1)$$

$$lc(e) = e, \forall e \in C, e \neq p', p'', l \quad (2)$$

Kaava 2 ilmaisee, että kaikki C :ssä olevat itsenäiset kokonaisuudet paitsi p' , p'' ja l säilyvät ennallaan. Muutosoperaation kohteena olevaa karttaobjektia merkitään symbolilla e . Viivan muutosfunktioita lc suoritettaessa kartan topologiset suhteet on säilytettävä ottamalla huomioon topologiset rajoitteet (Luku 6.4).



Kuva 16: Paksujen viivojen loppupiste muuttuu yleistyksen seurauksena

Esimerkki: Kuvan 16 a) kartassa olevat paksut viivat, joiden loppupisteet ovat pisteessä p'' ja p' , kuvataan C' :ssä viivoiksi, joiden loppupisteet ovat pisteessä p . Kuvaus koko prosessista löytyy Bertolotton tohtori-väitöskirjasta [6]. Jos Funktio $lc: C \rightarrow C'$ suoritetaan käänteisesti $lc^{-1}: C' \rightarrow C$ tarkentuu piste p viivaksi l . Funktion lc^{-1} suorittamisessa käytetään hyväksi erilliseen tietokantaan tallennettua erotusdataa Δ .

Supistamis- ja kaventamisoperaatiot vähentävät itsenäisten kokonaisuuksien ulottuvuuksia, yhdistämisoperaatiot yhdistävät kaksi itsenäistä kokonaisuutta

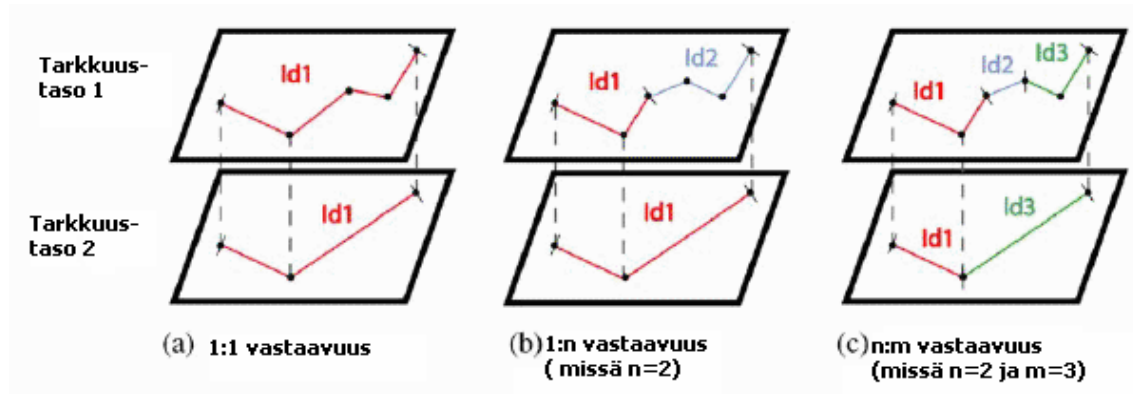
yhdeksi kokonaisuudeksi ja poisto poistaa itsenäisen kokonaisuuden alueesta. Näitä operaatioita kutsutaan atomisiksi operaatioiksi, koska ne tekevät minimaalisia muutoksia. Liitteessä 6 on esimerkkejä muutamista atomisista yleistys- ja tarkennusoperaatioista. Luomalla funktioita, jotka vastaavat näitä yksittäisiä atomisia operaatioita, voidaan määritellä monimutkaisia kartan muunnoksia. Nämä atomiset operaatiot ovat diskreettejä agenttimuotoisia operaatioita.

Yhteneväisyyden ja johdonmukaisuuden säilyttämisen varmistus on yksi tehokkaan yleistyksen kulmakivistä (Luku 7.1.2). Varmennus on suoritettava palvelimella, koska asiakassovelluksessa ei voida tätä yhteneväisyyttä luotettavasti varmistaa. Käytettäessä kuvattuja atomisia operaatioita, voidaan yhteneväisyys saavuttaa automaattisesti. Bertolotto on osoittanut, että atomiset operaatiot luovat minimaalisen, mutta riittävän joukon funktioita, jotka luovat yhden yhtenäisen, vähemmän karttaobjekteja sisältävän kartan. Atomiset operaatiot mahdollistavat myös kartassa olevien itsenäisten kokonaisuuksien rajojen säilyttämisen. Atomisten operaatioiden käännteinen kuvaus säilyttää eri tarkkuustasojen välisen yhteneväisyyden [6] ja atomisten operaatioiden käytön karttojen tarkentamisessa.

Atomiset operaatiot voidaan vielä jakaa kolmeen kategoriaan, sen mukaan kuinka operaatiot vaikuttavat karttaobjekteihin [4] [12] :

- Operaatioita, jotka vaikuttavat karttaobjektien muotoon kutsutaan metrisiksi operaatioiksi.
- Operaatioita, jotka vaikuttavat karttaobjektin ulottuvuuksiin ja kompleksisuuteen kutsutaan topologisiksi operaatioiksi. Topologiset operaatiot voivat myös epäsuorasti aiheuttaa metrisiä muutoksia.
- Operaatioita, jotka aiheuttavat muutoksia karttaobjektin attribuutteihin kutsutaan semanttisiksi operaatioiksi.

Yleensä metrinen operaatioiden avulla suoritetaan mittakaavassa 1:1 olevia muutoksia, topologisten operaatioiden avulla suoritetaan 1:n ja n:m mittakaavassa tehtäviä muutoksia, mutta poikkeuksiakin on. (Kuva 17)



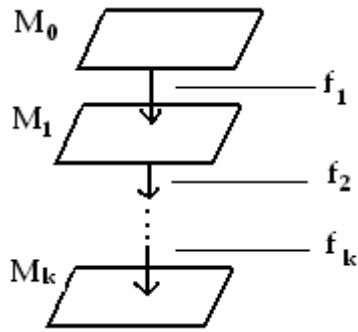
Kuva 17: Murtoviivan (engl. polyline) vastaavuus kahden eri tarkkuustason välillä [16]

Tarkemmat kuvaukset mitä atomisia operaatioita käytetään mihinkin 1:1, 1:n ja n:m muutokseen löytyy Jean-Michael Follin ym. artikkelista "Multi-resolution Extension for Transmission of Geodata in a Mobile Context" [16].

9.2 Eri tarkkuustasoilla olevien esitysten mallintaminen

Eri tarkkuustasoilla olevien karttaesitysten matemaattiset mallit pohjautuvat Hugues Hoppen verkkomalliin (engl. progressive mesh), jota on edelleen kehitetty vektorimuotoiselle karttadatalle paremmin sopivaksi [23]. Bertolotto on luonut oman yksinkertaistetun mallinsa Hoppen mallin pohjalta.

Bertolotton määrittelemien muutosoperaatioiden avulla eri tarkkuustasoilla oleva karttaesitysten sarja $M_0, M_1, \dots, M_{k-1}, M_k$, voidaan mallintaa. Palvelimelle on tallennettu alkuperäinen kartta M_0 . Alkuperäisessä kartassa on tallella kaikki geometriset karttaobjektit. Kun kaikki peräkkäiset muutosfunktiot f_1, f_2, \dots, f_k on suoritettu saavutetaan kartta M_k . Liitteessä 1 on esitelty muutamia muutosfunktioita, jotka suorittavat erilaisia yleistysoperaatioita kartan karttaobjekteille. Kuva 18



Kuva 18: Kartalle suoritettavien muutosfunktioiden sarja

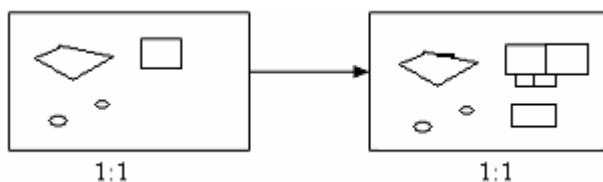
Esimerkiksi

$$f_{1 \rightarrow k} : M_0 \rightarrow M_1, f_2 : M_1 \rightarrow M_2, \dots, f_k : M_{k-1} \rightarrow M_k \quad (3)$$

on sarja muutosfunktioita. Muutosfunktioiden sarja muodostaa seuraavan kaavan.

$$F = f_k \circ f_{k-1}, \dots, f_2 \circ f_1 : M_0 \rightarrow M_k \quad (4)$$

Muodostettu karttasarja M_0, \dots, M_k koostuu eri tarkkuustasoilla, mittakaavassa 1:1, olevista kartoista. Yksittäinen kartta koostuu erillisistä karttaobjekteista. Karttasarjassa olevat kartat koostuvat yhä vähemmästä ja vähemmästä määrästä karttaobjekteja. Karttasarjaa kutsutaan karttaesityksen yleistyssarjaksi. Liikkumalla karttaesitysten yleistyssarjassa ylös- ja alaspäin siirrytään kartan eri tarkkuustasojen välillä. Siirtymällä tarkkuustasojen M_0, \dots, M_k välillä muutosfunktioiden f_k^{-1}, f_{k+1}^{-1} jne. avulla saavutetaan kartan tarkentuminen.



Kuva 19 : Kartan tarkentuminen eri tarkkuustasojen välillä (Kartat pysyvät samassa mittakaavassa). Karttaobjektit tarkentuvat ja muuttavat muotoaan näkymää tarkennettaessa. Karttaan ilmestyy myös uusia karttaobjekteja.

Käytettyjen muutosfunktioiden f_k, f_{k+1} oikealla valinnalla voidaan karttaesitys-

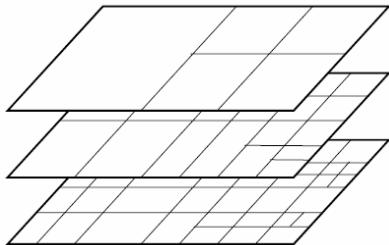
sarjaan M_0, \dots, M lisätä myös mittakaavan vaihtaminen eri tarkkuustasojen välille. Kuva 20



Kuva 20: Eri mittakaavassa olevien karttojen muutokset. Mittakaavan muutos ja näkymän tarkentuminen tai yleistäminen aiheuttavat muutoksia karttaobjektien ulko-
näössä.

9.2.1 Suuren karttadatamäärän käsittely

Suoritettavien muutosoperaatioiden määrä kartan eri kohdissa voi poiketa toisistaan huomattavasti. Kartassa voi olla suuria alueita, joille tehdään vain vähäisiä määriä yleistysoperaatioita ja pieniä alueita, joille on suoritettava useita yleistysoperaatioita. Tähän ongelmaan voidaan tarttua jakamalla (engl. clipping) kartta osiin (engl. tile) sen mukaan kuinka tiheästi kartan eri osissa on karttadataa. (Kuva 21) Eri tarkkuustasoille luodaan omat erilliset jaot. [28]



Kuva 21: Käsitteltävän alueen koko määräytyy alueella olevan tiedon määrän tiheyden mukaan.

Ongelmana tässä tavassa käsitellä suuria karttatiedostoja on joidenkin karttaobjektien kuuluminen samanaikaisesti useaan alueeseen. Ongelma voidaan ratkaista yhdistämällä eri alueisiin jaettu karttaobjekti tarvittaessa ja suorittamalla yleistysoperaatio yhdistetylle karttaobjektille.

Persson on kehittänyt eteenpäin Bertolotton kaavaa 5 muodostamalla yleistysgeneraattorin (kaava 5), joka suorittaa vaiheittaisen yleistämisen portaittain.[28]

$$\{M_i, \Delta_i\} = f(M_{i-1}), 1 \leq i \leq k, \quad (5)$$

missä M_i on karttataso ja Δ_i on tarkkuustasojen välinen erotus. Jokainen tarkkuustasoa M_i seuraava tarkkuustaso M_{i+1} sisältää puolet karttadatasta. Yksityiskohtien vähennysprosessi jatkuu kunnes saavutetaan taso M_k . Vain vähiten karttadataa sisältävä karttaesitys M_k ja tasojen väliset erotukset Δ_i tallennetaan erilliseen tietokantaan Perssonin mallissa.[28]

Tasolla M_k olevan karttadatan jälleenrakentaminen tasolle M_0 tapahtuu käänteisfunktion f^{-1} avulla seuran funktion avulla

$$M_i = f^{-1}(M_{i+1}, \Delta_{i+1}), 0 \leq i \leq k. \quad (6)$$

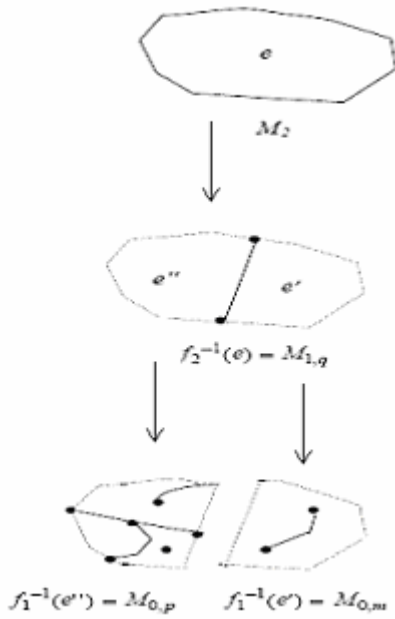
Yleistysfunktioista f on oltava mahdollista muodostaa käänteisfunktio, jonka avulla suoritetaan kartan tarkennustoimintoja. Käänteisfunktion toiminnassa käytetään hyväksi tietokantaan tallennettuja erotusarvoja Δ_i . Haastavaa on löytää ne funktiot f , jotka minimoivat tallennettavan erotusdatan Δ_i määrän ja jotka toimivat tehokkaasti. Erotusdatan vähentäminen merkitsee karttadatan uudelleenkäytön maksimointia eri tarkkuustasojen välillä. Tästä voidaan päätellä, että yleistysfunktioita, jotka muuttavat karttaobjektien ulkonäköä radikaalisti eri tarkkuustasojen välillä tulisi välttää. Suurin haaste on niiden algoritmien löytäminen, jotka toimivat paikallisesti. Esimerkiksi on löydettävä algoritmeja, jotka eivät tarvitse käyttöönsä kaikkea karttadataa toimiakseen. Tämä on ilmeisistä syistä mahdotonta suurissa kartoissa. Valitettavasti tämä rajoite vähentää yleistyksen laadukkuutta, mutta useissa tapauksissa saavutettu laatu on riittävän hyvä käytettäväksi. [28]

9.3 Eri tarkkuustasojen tallennus hierarkiseen tallennusrakenteeseen

Yksi tärkeimmistä asioista karttojen käsittelyssä ja siirtämisessä mobiililaitteelle on eri tarkkuustasoissa olevien karttaesitysten tallentaminen palvelimelle. Kartan olennaisten karttaobjektien tulee säilyä muuttumattomina läpi eri tarkkuustasojen. Olennaiset karttaobjektit tulisi tallentaa vain kerran karkeimpaan tarkkuustasoon, sen sijaan että ne turhaan tallennetaan erikseen jokaiselle tasolle. Suorin tapa vähentää päällekkäisyyksiä eri tarkkuustasojen välillä, on tallentaa karkeimmalle tasolle kaikki olennaiset karttaobjektit ja lisätä seuraavissa tasoissa karttaobjekteja karttaan.

Tallennuksessa sarja karttatasoja M_0, \dots, M_k tallennetaan hierarkkiseen tallennusrakenteeseen. Tallennusrakenteessa pyritään välttämään karttaobjektien duplikaatteja. Puppon ja Dettorin [12] tallennusrakenteessa karttaobjektien duplikaatit tallennetaan erillisille karttatasoille käänteisobjekteina. Puppon ja Dettorin tallennusrakenne [12] formaalisti kuvattuna: Kartan M_i ($1 \leq i \leq k$) osakartta on M_{ij} . Osakartta M_{ij} koostuu karttaan liitetystä uusista ja muokatuista karttaobjekteista e . Muokatuille karttaobjekteille on suoritettu operaatio f^{-1}_i . Operaation f^{-1}_i avulla tasolla M_{i-1} olleista karttaobjekteista tulee tason M_{ij} karttaobjekteja.

Esimerkki: Tasolla M_{i-1} olevalle karttaobjektille e suoritettu operaatio f^{-1}_i , jonka seurauksena tasolla M_{ij} karttaobjekti jakautuu kahdeksi erilliseksi karttaobjektiksi (Kuva 22). Karttaobjekti e on määritelty funktion f^{-1}_i avulla sisältämään enemmän yksityiskohtia kuin se sisälsi edellisellä tasolla M_{i-1} .



Kuva 22: Esimerkki eräästä tallennusrakenteesta[4]. Kartta tarkentuu ylhäältä alaspäin. Huomaa yhteneväisyys kuvan 11 kanssa.

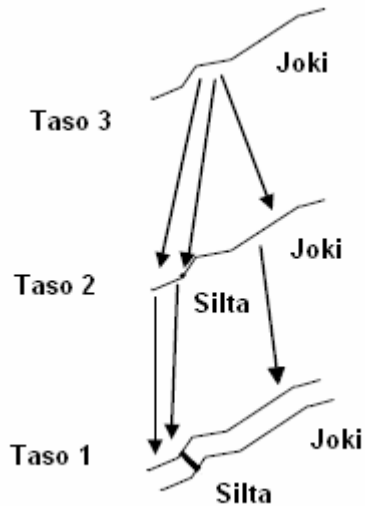
Hierarkisessa tallennusrakenteessa kartan karkein taso M_k tallennetaan kokonaan ja seuraavilta tasoilta tallennetaan esimerkiksi muutosfunktiot f^{-1}_i ja linkki erotusdataan $C\Delta$. Perssonin yleistysgeneraattoria voidaan käyttää muokattuna myös karttatiedon tallentamiseen.

Kun palvelimelle tallennetaan kokonaan vain vähiten yksityiskohtia sisältävän karkein karttataso ja seuraavista tasoista tallennetaan vain tarkennukset, vähenee siirrettävän karttadatan määrä, tiedonsiirto nopeutuu ja palvelimen resursseja säästyy.

9.3.1 Tarkkuustasojen väliset linkit

Hierarkisessa tallennusrakenteessa tarkkuustasojen väliset linkit mahdollistavat eritasoisten karttaesitysten luomisen. Linkit mahdollistavat myös liikkumisen eri tarkkuustasojen välillä. Linkkejä voidaan kutsua joko sisäisiksi tasojen välisiksi linkeiksi tai vertikaaleiksi linkeiksi, koska ne luovat peräkkäisyyden hierarkiseen tallennusrakenteeseen. Linkkien avulla voidaan selvittää,

mitkä karttaobjektit säilyttävät alkuperäisen olomuotonsa milläkin tasolla ja mitkä joutuvat yleistysoperaatioiden kohteiksi. Kuvasta 23 saa kuvan kuinka eri tarkkuustasojen välillä liikutaan linkkien avulla ja kuinka joki tarkentuu liikkeessa hierarkisessa tallennusrakenteessa.



Kuva 23: Tasojen väliset linkit yhdistävät eri tarkkuustasoilla olevat silta ja joki karttaobjektit. [4]

Linkitys voidaan muodostaa vain peräkkäisten tasojen välille. Mutta yhdistämällä eri tasojen välisiä linkkejä voidaan linkitys muodostaa myös tasojen välille, jotka eivät ole peräkkäisiä.

Tasojen väliset linkit mahdollistavat karttaobjektin hierarkisen sijainnin päätelyn, jota käytetään hyväksi tietokantakyselyissä. Tietokantakyselyjä suorittava käyttäjä voi olla kiinnostunut usealla eri tarkkuustasolla olevasta karttatiedosta. Tasojenvälinen linkitys mahdollistaa tasojen välisen navigoinnin, ilman jokaiselle tasolle suoritettavaa erillistä kyselyä. Karttatietokantakysely suoritetaan oletusarvoisesti karkeimmalle yksityiskohtatasolle. Tietokantakyselyn tulos arvioidaan käyttäjän antamia hakuattribuutteja vastaan. Hakuattribuutteja ovat muun muassa käyttäjän laitteen paikannustiedot ja käyttäjän antamat hakuehdot. Tietokantakyselyn tulosten vastatessa käyttäjän antamia hakuattribuutteja, lisäkyselyjen tekeminen tarkemmille tasoille on tarpeetonta.

Jos haun tuloksena saatua karttanäkymää halutaan tarkentaa siirrytään tarkempaan tasoon vertikaalilinkkien avulla. Esimerkiksi tarkennettaessa karttanäkymää tallennuspuun solmussa olevat karttaobjektit, jotka eivät ole halutulla tarkkuustasolla, poistetaan ja korvataan solmun lapsissa olevilla karttaobjekteilla.

Peräkkäisten karttatasojen väliset linkit kuvataan "muutosfunktioina", jotka määrittelevät karttaesitysten sarjan. "Muutosfunktiot" suorittavat yleistysoperaatioita. Käänteisoperaatiot (operaatiot, jotka tekevät kartoista yksityiskohtaisempia) muodostetaan suorittamalla "muutosfunktiolle" käänteisoperaatio. "Muutosfunktiot" eivät ole injektiivisiä, vaikka karttaobjektin käänteiskuvaus kuuluu yleistysfunktioiden topologisten kompleksien väliseen yhteismäärittelyjoukkoon (engl. co-domain). Topologiset kompleksit, jotka esittävät karttoja on määritetty siten, että karttaobjekteja voidaan muokata mahdollisimman vähällä lukumäärällä operaatioita. [6]

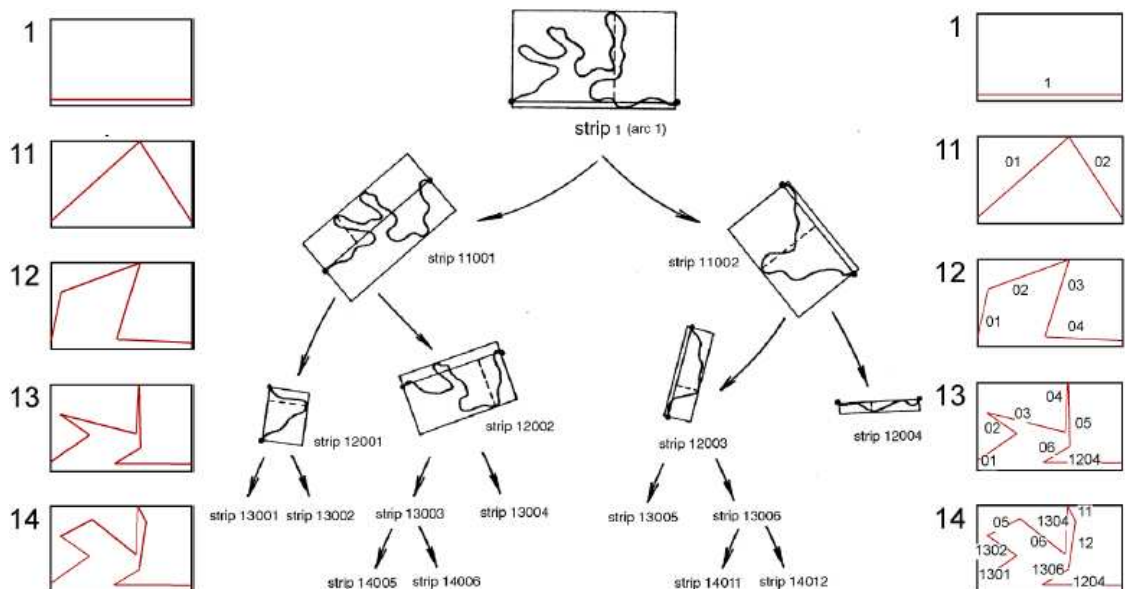
Esimerkiksi supistus- ja kavennusoperaatioiden käänteisoperaatiot ovat yksittäisen karttaobjektin muunnoksia joukoksi karttaobjekteja. Liitteessä 1 on kuvattu muutamia tarkennusoperaatioita, jotka suorittavat näitä muunnoksia. Muunnoksia ovat muun muassa yhdistämisen vastakohta katkaisu, joka jakaa karttaobjektin kahdeksi samalla tasolla olevaksi erilliseksi karttaobjektiksi. Karttaobjektin poistolle alueesta vastakohtana on karttaobjektin asettaminen alueen sisälle.

Tarkennusoperaatioiden avulla täsmennetään tallentamisen formaalia kuvausta lisäämällä formaaliin kuvaukseen tasojen väliset linkit. Syntyvä formaalimalli muistuttaa hierarkista puurakennetta. Puun juuren muodostaa karttataso M_k . Jokainen osakartta $M_{i-1,p}$, vastaa jonkin karttatasolle $M_{i,j}$ kuuluneen karttaobjektin e käänteistä kuvausta tasolla i . Osakartat $M_{i-1,p}$ tallennetaan solmuihin ja kutsutaan $M_{i,j}$:n lapsiksi. Linkkiä, joka yhdistää tasoja $M_{i,j}$ ja $M_{i-1,p}$ merkitään e :llä. Tämä lapsi-vanhempisuhte on tarkentamista ja vanhempi-

lapsisuhde on yleistämistä. [6].

Puumuotoisena hierarkisena tallennusrakenteena (Luku 8.2.2) voidaan esimerkiksi käyttää muokattua Dana Ballardin Strip-puu mallia [3]. Muokatussa Ballardin tallennusrakenteessa solmuihin tallennetaan yleistyksessä muodostettu topologinen kompleksi. [10] (Luku 6.2) Solmuun voidaan tallentaa myös tiedot lapsista ja viereisistä (engl. adjacent) solmuista. Solmuun tallennetaan minimissään solmun identifiointi numero, koordinaattien loppupisteet, viivan maksimi poikkeamat molemmin puolin ja kolme viittauspistettä. Solmuun voidaan tallettaa hierarkista talletusrakennetta käytettäessä myös viittaus erotusdataan. Esimerkiksi osakartta $M_{i-1,p}$ voi olla tallennettuna yhteen solmuun. Solmussa voi olla myös viittaus osakartan $M_{i-1,p}$ viereiseen osakarttaan $M_{i-1,m}$. (Kuva 24) Viereisyystietojen avulla kootaan puusta halutulla tarkkuustasolla oleva kartta. Solmussa olevien lapsitietojen avulla voidaan liikkua eri tarkkuustasojen välillä.

Myös muita tietoja voidaan tallentaa solmuihin. Esimerkiksi attribuutteja ja karttaan liitettävää metadatatä tai metadatalinkkejä voidaan tallentaa yksittäisiin solmuihin.



Kuva 24: Strip-puu rakenne. Kartta tarkentuu mitä alemmaksi puurakenteessa edetään.

Tallennettaessa eri tasoilla olevia karttatasoja esille tulee kysymys kuinka monta erillistä tarkkuustasoa on tallennettava palvelimelle. Tallennettavien erillisten karttatasojen määrä riippuu seuraavista seikoista:

- kartan katsomiseen käytettävästä ohjelmasta
- karttatiedon käytön tarkoituksesta
- laitteesta, jota käytetään kartan katseluun
- siirtotieyhteystä
- palvelimella ja mobiililaitteessa olevasta tallennustilasta.

Tarkkuustasojen määrästä päätettäessä on otettava huomioon karttatietojen siirron tehokkuus. Määrään vaikuttaa myös yleistystoleranssi.

Seuraavassa luvussa käsitellään karttatietojen tallentamista ja kuinka tallennettu karttatieto lähetetään asiakkaalle ja vastaanotetaan asiakassovelluksessa. Luvussa kuvataan myös kuinka asiakassovellus vastaanottaa palvelimen lähettämän karttatiedon, kooten vastaanotetun karttatiedon jälleen esitettävään muotoon.

10 . VEKTORIMUOTOISEN KARTTATIEDON SIIRTO PALVELIMELTA ASIAKASSOVELLUKSELLE

Luvussa käsitellään karttatiedon siirtämistä ja kokoamista vastaanottavassa asiakassovelluksessa.

10.1 Tallennetun karttadatan siirto

Eri tarkkuustasojen lähettämisessä ja vastaanottamisessa on kriittisiä pisteitä, joihin vaikuttavat siirtotie ja laite, johon karttatietoa siirretään (Luku 3.1). Lähetettävän tiedon määrään vaikuttavat myös karttasovelluksen käyttäjän toiveet, käyttäytyminen ja toiminta (Luku 3.2). Oman osansa tiedonsiirron haasteisiin antaa karttatiedon tallennusrakenne (Luku 8.2.2) ja käytetty tiedonsiirron latausmalli (Luku 4.2). Tiedon vastaanottamiseen vaikuttaa olennaisesti valittu integrointialgoritmi, jonka avulla vastaanotetuista karttatiedoista muodostetaan lopullinen mobiililaitteessa esitettävä kartta.

10.1.1 Karttatiedon lähetys

Hierarkista tallennusrakennetta käytettäessä mobiililaitteelle lähetetään yksi karkea karttataso, jota tarkennetaan hakemalla palvelimelta karkeaan karttaan lisättäviä yksityiskohtia, jotka oli poistettu yleistyksen yhteydessä. Karttatiedon lähetys palvelimelta asiakkaalle alkaa siis karkeimman tallennetun karttatason M_k siirrolla.

Yksinkertaisessa karttojen lähetysmallissa käyttäjä lataa portaattomasti palvelimelta karttadataa liitettäväksi mobiililaitteessa jo olevaan karkeaan karttaan M_k . Jokainen ladattu kartan yksityiskohta vastaa yhtä datapakettia. Ensimmäisen karttadatapaketin lähdettyä, palvelin jatkaa karttadatapakettien lähetystä, kunnes käyttäjä keskeyttää lähetysprosessin tai kun haluttu tarkkuustaso on saavutettu. (Luku 4.1) Asiakassovelluksessa käytetään mobiililaitteen välimuistia eri karttatasoihin tulevien lisäysten tallentamiseen. Kehittyneemmässä kartta-

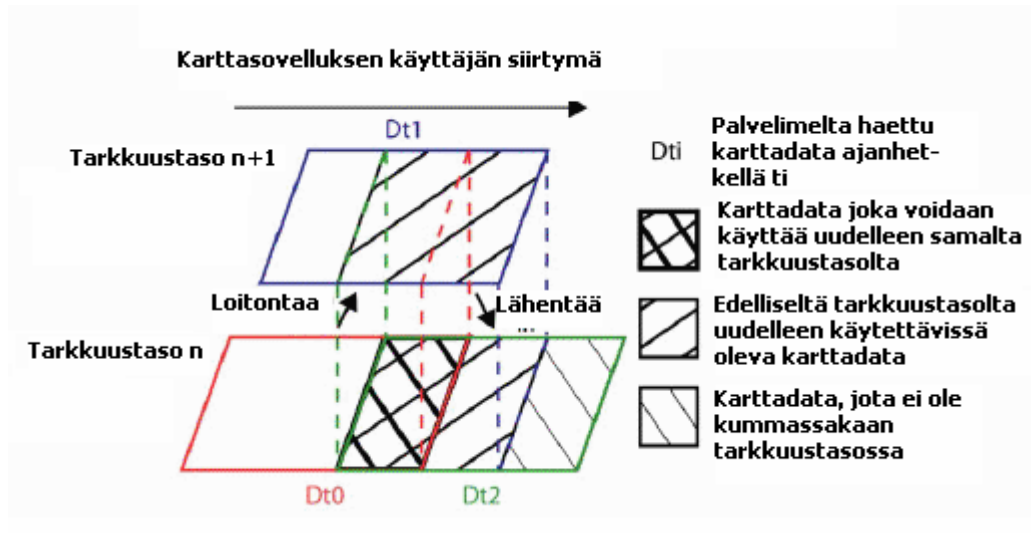
datan lähetyksessä uudelleen käytetään jo kerran mobiililaitteen muistiin ladattuja karttatietoja, vain tasojen väliset muutokset lähetetään asiakassovellukselle. Vastaanotettujen uusien karttaobjektien lisääminen vähemmän yksityiskohtia sisältävään karttaan ei ole helppoa etenkin, jos halutaan säilyttää eri tarkkuustasojen välinen yhteneväisyys ja johdonmukaisuus esitettävässä kartassa.

Kartan topologisen yhteneväisyyden säilyttämiseksi karttaobjektit lähetetään erillisinä toisistaan riippumattomina paketteina asiakassovellukselle. Karttaobjektit voivat myös olla topologisesti toisistaan riippumattomia. Topologinen riippumattomuus mahdollistaa , käyttäjän kyvyn valita ne kartanosat, joihin tarkennukset halutaan. Käyttäjän kykyä valita tarkennettavat karttaosat kutsutaan "valitsevaksi lähetykseksi" (engl. selective transmission). Käyttäjä voi valita tarkennettavat kartanosat käyttäen hyväksi tarkkaa lähetystapaa (Luku 3.2) ja kontekstietoisuutta (Luku 3.3). Tehtyjen valintojen avulla karsitaan huomattavasti siirrettävän karttatiedon määrää.

10.1.2 Lähetetyn karttatiedon vastaanottaminen mobiililaitteissa

Palvelimelta ladattavan karttatiedon siirron säateleminen on käyttäjän käsissä. Käyttäjä voi halutessa lopettaa tiedon vastaanottamisen, kun haluttu tarkkuustaso on saavutettu. Kuvan 24 esimerkissä kuvataan kuinka karttadata ladataan mobiililaitteelle. Kuvassa käyttäjä tekee karttahaun ajan hetkellä t_0 tarkkuustasolla n olevaan karttadataan. Ajanhetkellä t_1 käyttäjä loitontaa karttanäkymää kysymällä karttadataa tarkkuustasolta $n+1$ ja lopulta ajanhetkellä t_2 käyttäjä tekee uuden karttahaun. Mobiililaitteen muistissa on talletettuna hakuja vastaavat karttadatajoukot D_{t_0} ja D_{t_1} (Ajanhetkinä t_0 ja t_1 haetaan kopiot palvelimelta). D_{t_2} on karttadata, jota pyydetään ajanhetkellä t_2 palvelimelta.

[16]



Kuva 24: Kolmen tyyppistä karttadataa, kahden eri tarkkuustason mobiilikarttajärjestelmässä [16]

Ajanhetkellä t_2 voidaan tunnistaa kolme tyyppistä dataa [16] :

- Karttadata, joka voidaan uudelleen käyttää usealla tasolla. Uudelleen käytettävä karttadata on karttadatajoukkojen Dt_0 ja Dt_2 leikkaus.
- Edelliseltä tarkkuustasolta $n+1$ uudelleenkäytettävä karttadata. Uudelleen käytettävä karttadata on karttadatajoukon Dt_1 , ja karttadatajoukon Dt_2 se osa jota Dt_0 ei kata, leikkaus.
- Karttadata, jota ei ole jo ladatuissa tarkkuustasoissa n tai $n+1$, ja joka pitää ladata palvelimelta. Palvelimelta ladattava karttadata voi koostua karttadatasta, joka on poistettu tarkkuustasojen n ja $n+1$ välisessä yleistämisprosessissa tai erillisistä teematasoista jne.

Kun tarvittavat karttaobjektit on siirretty mobiililaitteen välimuistiin, alkaa käyttäjälle esitettävän karttaesityksen rakentaminen. Vastaanotettujen karttadatajoukkojen mukana tulee myös niihin liittyvät "rakennusohjeet". [16] Asiakassovelluksessa suoritetaan "rakennusohjeiden" avulla integrointioperaatioita, joiden avulla muodostetaan vastaanotetuista karttatiedoista karttatason yhtenäinen esitys. Asiakassovellus suorittaa "rakennusohjeiden" avulla tarkkuus-

tasojen välillä muuttuvien karttaobjektien muuttamisen ja uusien objektien lisäämisen. Myös "uusien" ja "vanhojen" karttaobjektien välille luodaan toimivat spatiaaliset suhteet. Integroiointioperaatio palauttaa "rakennusohjeiden" avulla yleistyksessä menetetyt topologiset suhteet karttaan liitettyjen uusien karttaobjektien ja kartassa jo olemassa olevien "vanhojen" karttaobjektien välille. Tallennusmallin hierarkisesta rakenteesta johtuen kahden tasolla i olevan, yksityiskohtaobjektien e ja e' topologinen suhde rakennetaan sen perusteella mikä oli niiden suhde edellisellä tarkkuustasolla. [6]

Integroiointialgoritmi voi myös mahdollistaa karttatiedon muokkauksen ja manipuloinnin, mutta algoritmista tulee vaikeasti toteutettava. Integroiointialgoritmin ei tarvitse olla monimutkainen, jos tarkoituksena on vain katsella karttatietoja. Tällöin riittää vastaanotettujen karttaobjektien lisäksi itsenäisinä graafisina kerroksina jo laitteessa tallennettuina olevien graafisten karttatasojen päälle. Myös asiakassovelluksessa voidaan liikkua vertikaalilinkkien avulla (Luku 9.3.1). Vertikaalilinkit siirretään karttaobjektitietojen mukana asiakassovellukselle.

Esimerkki 5: Neljästä tasosta koostuva kartta on tallennettu palvelimelle ja lähetetään progressiivisesti asiakassovellukselle. Jokaisesta karkeimman tarkkuustason päälle liitettävästä uudesta tarkkuustasosta asiakassovellus vastaanottaa lisäykset ja tasojen väliset linkit. Tässä esimerkissä vain karkein taso (taso neljä) (kuva 8) esitetään kokonaan. Karkeinta tarkkuustasoa seuraavat tarkkuustasot kootaan yhteen asiakassovelluksessa. Tason kolme rakentaminen suoritetaan tason numero neljä pohjalta. Karttatason tarkentaminen sisältää joen tarkentamisen, uusien karttaobjektien lisäämisen (silta, päätie, sivutie a, sivutie b ja risteys ab) ja karttaobjektien spatiaaliset suhteet. Seuraavat integroiointioperaatiot suoritetaan asiakassovelluksessa esitettävän kartan (Kuva 9) kokoamiseksi:

- Viiva, joka esittää jokea tasolla neljä, korvataan kahdella viivalla, jotka jakavat päätepisteensä sillan kanssa.
- Silta, päätie, sivutie a, sivutie b ja risteys ab lisätään uusina karttaobjekteina.
- Spatiaaliset suhteet tasolle kolme luodaan tekemällä unioni tasolta neljä jääneiden karttaobjektien ja uusien karttaobjektien välille.(Sisältäen uusien karttaobjektien väliset tasolinkit.)

Seuraavassa luvussa käsitellään tarkemmin 2D- ja 3D-karttojen tulevaisuutta, niiden muokkauksen haasteita ja voidaanko 2D-karttojen avulla muodostaa toimivia 3D-karttoja.

11 . TULEVAISUUS, 2½D -JA 3D- KARTAT MOBIILILAITTEISSA

Tutkielmassa käsitellyt yleistys- ja tiedonsiirtotoimenpiteet vektorimuotoiselle karttadatalle toimivat 2D-kartoille ja joillekin 2½D-kartoille, riippuen 2½D-kartan toteutus- ja esitystavasta. 2D-kartoista voidaan tehdä 2½D-karttoja käyttäen hyväksi kartan maastomallia (engl. terrain model), kolmannen korkeusulottuvuuden luomiseksi. Maastomalli on mittaamalla saatua tietoa maaston pinnanmuodoista avaruuskoordinaatistoon (x,y,z) sijoitettuna. Näihin 2½D-karttoihin voidaan lisätä alkuperältään aidosti 3D-muotoisia lisätieto-objekteja, "aidomman" kolmiulotteisen vaikutelman luomiseksi. Yksinkertaisten 2½D-mallien siirtämisessä siirtoväylällä ja tallentamisessa voidaan käyttää hyväksi 2D-malleista tuttuja siirto- ja tallennustekniikoita. 2D-kartan muuntaminen 2½D-kartaksi tapahtuu tällöin mobiililaitteessa. Palvelimelta mobiililaitteelle tullut 2D-muodossa oleva karttatieto muokataan mobiililaitteessa reaaliaikaisesti maastomallin avulla 2½D-kartaksi. Silloin maastomalli siirretään mobiililaitteeseen samanaikaisesti 2D-karttatietojen kanssa tai maastotiedon on oltava jo tallennettuna mobiililaitteen muistiin. Mobiililaiterajoitteiden takia 2½D-kartaksi muunnos on erittäin haastava ongelma ratkaista. Muunnoksen tekeminen mobiililaitteessa merkitsee suuria vaatimuksia mobiililaitteen tietojenkäsittelylle ja grafiikkakäsittelylle. Päätettävä on, suoritetaanko muunnos 2½D-kartaksi palvelimella etukäteen vai mobiililaitteessa reaaliaikaisesti. Palvelimella suoritettavassa muunnoksessa langattomalla siirtoväylällä siirrettävän karttatiedon määrä kasvaa, mutta mobiililaitteen tietojenkäsittelyresurssit pääsevät vähemmällä rasituksella.

Tehokas grafiikkasuoritin puuttuu yhä useista mobiililaitteesta. Grafiikkasuorittimen puuttuminen asettaa rajoitteita vaativien 3D-muotoisen grafiikoiden esittämiselle. Joissain mobiililaitteissa toki on jo alkeellisia 3D-piirejä, mutta niiden vaatima korkeampi virrankulutus asettaa haasteita mobiililaitteen käytettävyydelle.

Alkuperäisille "aidoille" 3D-kartoille on omat yleistys-, tallennus ja siirto-tekniikkansa. 2D-karttoihin käytettyjä tekniikoita voidaan myös muokattuina käyttää 3D-karttojen käsittelyyn. 3D-vektorimuotoisiin karttoihin käytettyjen käsittelytekniikoiden on huomioitava 3D-kartoille spesifiset esitystapatekniikat ja rajoitteet.

2½D- muodossa olevien ja aitojen 3D-muotoisen karttojen käsittely ja esittäminen ovat erittäin paljon laitteiden käsittelyresursseja vaativia toimintaa. Käsittelyresurssien rajallisuudesta johtuen mobiililaitteiden on vielä kehityttävä aidosti käytettävien 2½D- ja 3D-vektorimuotoisten mobiilikarttojen luomiseksi. 2½D- ja 3D-karttojen suuresta koosta ja niiden vaatimista suurista tietojenkäsittelyresursseista johtuen 2½D- ja 3D-kartat yleistyvät vielä tällä hetkellä nopeammin kiinteissä internetverkoissa.

12 . YHTEENVETO

Karttasovellusten tulevaisuus on vielä edessäpäin. Yhä useampi mobiililaitte tulee tulevaisuudessa omaamaan GPS:n ja sitä hyväksi käyttävän karttasovelluksen. Mikä on tehokkain tapa saada kartta mobiililaitteeseen, on vielä monella tapaa auki. Nykyään useissa mobiililaitteissa kartta sijaitsee ”kova-levyllä”, mutta yhä useampi laite lataa jo sovelluksessa esitettävän karttadatan laitteeseen langattoman siirtotien yli. Silloin karttadatan tehokas siirtomekanismi tulee tarpeeseen. Yhä useampi ladattava kartta tulee olemaan vektori-muotoinen. Vektorimuotoinen karttojen esitystapa on saavuttanut suuren suosion joustavuudellaan ja skaalautuvuudellaan. Vektorimuotoisten karttojen esitystavan soveltuessa myös vaativien kolmiulotteisten karttojen esittämiseen.

Muotoja, joilla vektorimuotoinen karttadata tallennetaan palvelimelle tai mobiililaitteelle on useita. Yhtenäistä standardia vektorimuotoisten karttojen esittämisestä ja tallentamisesta ei ole vielä määritelty, tämä rajoittaa yhtenäisten karttarajapintojen kehittämistä. Vektorimuotoisen karttatiedoston tallennus-tavasta riippuu myös sen käsittelytapa ja käsittelytavan tehokkuus. Mobiili-laitteille siirrettävän karttadatan kokoa joudutaan käsittelemään siirtotie- ja laiterajoitteiden takia. Rajoitteista johtuen karttadataa yleistetään käyttäen hyväksi agentti- tai optimointimuotoisia kartankäsittelytapoja. Optimointi- ja agenttimuotoiset kartankäsittelytavat eroavat toisistaan toiminnallisesti, vaikka paljon on tehty tutkimusta niiden lähentämiseksi. Tutkimuksella pyritään kummankin kartankäsittelytavan hyvien puolien hyödyntämiseen.

Siirrettävän tiedon määrää voidaan myös karsia tekemällä karttatietokantaan tietokantahakuja. Rajaaminen voidaan suorittaa suorilla tai epäsuorilla haku-ehdoilla, paikannustietojen avulla tai niiden yhdistelmällä, konteksti-tietoisuudella. Kontekstitietoisuuden avulla siirrettävän karttatiedoston kokoa voidaan säädellä eri rajoitteiden asettamisissa puitteissa. Aidon, langattomassa verkossa toimivan kontekstitietoisuuden toteuttaminen on haastavaa. Kartta-

tiedon käsittelyssä käytettyjen tietojenkäsittely- ja siirtoarkkitehtuurien on kontekstitietoisuuden mahdollistamiseksi tuettava kattavaa karttatiedon ja toimintaresurssitietojen ennakkokäsittelyä ja adaptiivista sopeuttamista asetettujen toimintarajoitteiden puitteissa. Kontekstitietoisuus tulee tulevaisuudessa olemaan entistä tärkeämpi tutkimuksen ala, kun markkinoille tulee yhä enemmän suorituskyvyiltään mitä moninaisimpia mobiililaitteita, langattomia tiedonsiirtoverkkoja ja palveluja, joita halutaan personoida käyttäjille.

Vaatus yleistystoimenpiteiden suorittamisesta reaaliaikaisesti paremman kontekstitietoisuuden saavuttamiseksi, asettaa tulevaisuudessa haasteita yleistystoimenpiteiden suorittamiselle ja niiden oikeellisuuden tarkistukselle. Jos mahdollista, reaaliaikaista yleistämistä tulee välttää, vaikka pyritään karttatiedon reaaliaikaiseen käsittelyyn. Reaaliaikaisesti yleistetyn karttatiedoston jälkitarkistus on erittäin paljon tietojenkäsittelyresursseja vaativaa toimintaa ja tarkistuksesta huolimatta ei tietojen oikeellisuutta voida varmistaa luotettavasti. Jälkitarkistuksien automatisoinnissa ja reaaliaikaistamisessa on vielä paljon tutkittavaa. Koska tähän mennessä ei ole kehitetty luotettavaa jälkitarkistustapaa karttatiedoston oikeellisuuden varmistamiseksi, tulee suurta karttatiedon esikäsittelyastetta suosia edelleen. Tulevaisuudessa oman vaikeusasteensa karttatietojen käsittelylle asettaa kolmiulotteisuuden vaatimus. Siihen on pyritty vastaamaan ottamalla käyttöön 2½ D-muotoiset kartat.

Digitaalisten karttojen tutkimus ja käsittely on vielä kehittyvä tutkimuksen ala, jolla tullaan vielä näkemään monia uusia innovaatioita.

LÄHDELUETTELO

- [1] AGENT-projekti, "*Selection of Basic Measures*", saatavilla WWW-muodossa <URL:<http://agent.ign.fr/deliverable/DC1.html>> (22.2.1999)
- [2] AGENT-projekti, "*Constraints Analysis*", saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://agent.ign.fr/deliverable/DA2.html> > (26.8.1998)
- [3] Ballard Dana H, "*Strip trees: a hierarchical representation for curves*" Communications of the ACM, No. 5, Vol. 24, (1981), s 310 – 321, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://doi.acm.org/10.1145/358645.358661>>
- [4] Beat Peter, "*Measures for the Generalization of Polygonal Maps with Categorical Data*" Fourth ICA Workshop on Progress in Automated Map Generalization, Peking, 2-4, (2001) saatavilla WWW-muodossa <URL: http://www.geo.unizh.ch/publications/beatp/ICA01_Working_Group_Paper.pdf >
- [5] Beat Peter ja Weibel Robert, "*Using Vector and Raster-Based Techniques in Categorical Map Generalization*" , Third ICA Workshop on Progress in Automatic Map Generalization, Ottawa, Canada, saatavilla WWW-muodossa <URL: http://www.geo.unizh.ch/~beatp/ICA99_Working_Group_Paper.pdf > (12-14.8 .1999)
- [6] Bertolotto Michela ja Egenhofer Max J, "*Progressive Transmission of Vector Map data over the World Wide Web*", Geoinformatica, No.4, Vol 5, (2001) s 345-373, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.springerlink.com/content/u82765580v322612/>>

- [7] Binh, Pham ja On Wong, *Handheld Devices for Applications Using Dynamic Multimedia Data*, Kirjassa "Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia, Proceedings of the 2nd international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia", ACM, s: 123 - 130, 2004, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://doi.acm.org/10.1145/988834.988856> >
- [8] Burrough P. A , "Principles of geographical information systems for land resource assessment" , Clarendon Press, Oxford,1986
- [9] Brenner Claus ja Sester Monika, "Continuous Generalization for Small Mobile Displays", Int. Conference on Next Generation Geospatial Information, Boston, saatavilla WWW-muodossa <URL:<http://www.ikg.uni-hannover.de/mitarbeiter/brenner.html> > (19.-21. 2003.)
- [10] Bittenfield Barbara P, "Transmitting Vector Geospatial data across the Internet", Kirjassa "Geographic Information Science", Springer, Berliini/ Heidelberg, 2002, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.springerlink.com/content/4kgffqdnmk962brv/> >
- [11] Chan, E. P.F ja Chow K, "On Multi-Scale Display of Geometric Objects ", Data and Engineering (DKE) 40, s 91-119, 2002
- [12] Dettori, G ja Puppo, E, "How Generalization interacts with the topological and Geometric structure maps ", Proceedings Spatial Data Handling '96, Delft, Alankomaat, 1996

- [13] Dey Anind K, Abowd Gregory D , Brown Peter J, Davies Nigel, Smith Mark ja Steggles Pete, *Towards a Better Understanding of Context and Context-Awareness*, Kirjassa "Lecture Notes In Computer Science; Vol. 1707 ,Proceedings of the 1st international symposium on Handheld and Ubiquitous Computing", Springer, Karlsruhe, s304 - 307, 1999
- [14] Dik Lun Lee, Jianliang Xu, Baihua Zheng ja Wang-Chien Lee, "Data Management in Location-Dependent Information Services" IEEE Pervasive Computing, No. 3, Vol. 1 , (2002), s65 - 72, saatavilla WWW-muodossa < <http://dx.doi.org/10.1109/MPRV.2002.1037724> >
- [15] Douglas H David ja Peucker K Thomas, "Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature" Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization, No. 2, Vol. 10, (1973) s112-122, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://utpjournals.metapress.com/content/fm576770u75u7727/>>
- [16] Follin Jean-Michael, Bouju Alain, Bertrand Frederic, Bousier Patrice, "Multi-resolution extension for transmission of geodata in a mobile context", Computers & Geosciences, No.2, Vol 31, (2005) s179-188, , saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2004.05.014> >
- [17] Forman George H ja Zahorjan John, "The Challenges of Mobile Computing", Computer, No. 4 ,Vol 27, (1994) s38-47, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://dx.doi.org/10.1109/2.274999> >

- [18] Flemming Nissen, Anders Hvas, Munster- Swendsen Jorgen ja Brodersen Lars, "*Small – Display Cartography*", saatavilla WWW-muodossa <URL: http://gimodig.fgi.fi/pub_deliverables/D3_1_1.pdf > (7.2.2003)
- [19] Gaffuri Julien, "*How to merge optimization and agent-based techniques in a single generalization model?*", Workshop of the ICA Commission on Map Generalization and Multiple Representation, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://aci.ign.fr/Portland/paper/ICA2006-Gaffuri.pdf>> (25. 6. 2006)
- [20] GIS self learning tool, Melbourne School of Engineering, Department of Geomatics, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.sli.unimelb.edu.au/gisweb/>) (25. 11. 2008)
- [21] Guiard Yves, Beaudouin-Lafon Michel, Bastin Julien, Pasveer Dennis, ja Zhai Shumin, *View Size and Pointing Difficulty in Multi-Scale Navigation*, Kirjassa "*AVI, Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces*", ACM, s: 117 - 124 , 2004, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://doi.acm.org/10.1145/989863.989881> >
- [22] Han Haiyang, Tao Vincent ja Wu Huayi, "*Progressive Vector Data Transmission*", Proceedings of the 6th AGILE Conference on GIScience, Lyon, Ranska , saatavilla WWW-muodossa <URL: http://plone.itc.nl/agile_old/Conference/lyon2003/proceedings/14.pdf >(24-26.4.2003)

- [23] Hoppe Hugues, *Progressive meshes*, Kirjassa "International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques" , ACM, New York, USA, s: 99 - 108, 1996, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://doi.acm.org/10.1145/237170.237216> >
- [24] Hunolstein Stefan von ja Alexander Zipf, "Towards task Oriented Map-based Mobile Guides" , saatavilla WWW-muodossa <URL:<http://www2.geoinform.fh-mainz.de/~zipf/mhci-zipf-hunolstein-taskMapGuides.2003.last.pdf> > (2003)
- [25] International Telecommunication Union, "Information technology - digital compression and coding of continuous - tone still images- requirements and guidelines", saatavilla WWW-muodossa <URL:<http://www.w3.org/Graphics/JPEG/itu-t81.pdf>> (viitattu 25.4.2007)
- [26] Kreveld Marc Van "Smooth Generalization for Continuous Zooming" , saatavilla WWW-muodossa <URL:<http://www.geo.unizh.ch/ICA/docs/beijing2001/papers01.html>> , (2001)
- [27] Lum Wai Yip ja Lau Francis C. M, "A Context-Aware Decision Engine for Content Adaptation" ,IEEE Pervasive Computing, No. 3 Vol. 1 , (2002) s: 41 - 49 , saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://dx.doi.org/10.1109/MPRV.2002.1037721> >

- [28] Persson Johan, *Streaming of compressed multi-resolution geographic vector data*, Kirjassa "Geoinformatics, Proceedings of the 12th International Conference on Geoinformatics Geospatial Information Research: Bridging the Pacific and Atlantic", University of Gävle, Sweden, (7-9. 6. 2004), saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://www.hig.se/~bjg/geoinformatics/files/p765.pdf> >
- [29] Rainio Antti, "Paikannus mobiilipalveluissa ja sovelluksissa" Teknologia katsaus 143 (2003), saatavilla WWW-muodossa <URL:http://www.tekes.fi/julkaisut/paikannus_mobiilipalveluissa.pdf>
- [30] Robbins Daniel C, Cutrell Edward, Sarin Raman ja Horvitz Eric, *ZoneZoom Map Navigation for Smartphones with Recursive View Segmentation*, Kirjassa "AVI, Proceedings of the working conference on Advanced visual interfaces", ACM, New York, USA, s: 231 - 234, 2004, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://doi.acm.org/10.1145/989863.989901> >
- [31] Satyanarayanan M, *Fundamental Challenges in Mobile Computing*, Kirjassa , Kirjassa "Annual ACM Symposium on Principles of Distributed Computing, Proceedings of the fifteenth annual ACM symposium on Principles of Distributed computing" ,ACM, New York, USA, s1-7, 1996, saatavilla WWW-muodossa <URL: <http://doi.acm.org/10.1145/248052.248053> >

- [32] Stockus, A. Bouju, A. Bertrand, F. Boursier, P. "*Accessing to spatial data in mobile environment*", Web Information Systems Engineering, 2001. Proceedings of the Second International Conference, 3-6, s 56-62 volume 2, Joulukuuta, 2001 saatavilla WWW-muodossa <URL:
http://ieeexplore.ieee.org/xpls/abs_all.jsp?isnumber=21513&arnumber=996705&count=29&index=7 > (27.1.2009)
- [33] TEPA- termipankki, Sanastokeskus TSK:n kokoama ja ylläpitämä termipankki, saatavilla WWW-muodossa <URL:
<http://www.tsk.fi/tepa/netmot.exe> > (11.11.2008)
- [34] TIGER, U.S. Census Bureau Geography Division saatavilla WWW-muodossa <URL:
<http://www.census.gov/geo/www/tiger/> > (12.01.2009)
- [35] Tokola Timo, "*Y193 Desktop-GIS*", (2002), saatavilla WWW-muodossa <URL:
http://www.mm.helsinki.fi/GIS/Courses/GIS1/luennot_GIS1/Desktop_GIS.pdf > (viitattu 3.3.2008)
- [36] van Oosterom P, "*Gap- tree, An Approach on On-the-Fly of Map Generalization of An Area Partitioning*", Kirjassa "*GIS and Generalization: Methodology and Practice*", Lontoo, s 120-132,1995

LIITE 1

Lähde [6]

Seuraavissa kuvauksissa p , l ja r vastaavat pistettä, viivaa ja aluetta.

Alueen käänteiskuvaus voidaan suorittaa seuraavien operaatioiden avulla (engl. inverse image of region):

- $\{ r, r', l \}$ (Esimerkiksi: Alueen yhdistysoperaation määrittelyjoukko)
- $\{ r, p \}$ (Esimerkiksi : Pisteen eliminointi operaation määrittelyjoukko)
- $\{ r, l \}$ (Esimerkiksi : Viivan poisto operaation määrittelyjoukko)

Viivan käänteiskuvaus (engl. inverse image of line):

- $\{ p, l, l' \}$ (Esimerkiksi : Viivojen yhdistys operaation määrittelyjoukko)
- $\{ l, l', r \}$ (Esimerkiksi : Alueen kavennusoperaation määrittelyjoukko)

Pisteen käänteiskuvaus (engl. inverse image of point):

- $\{ r, l, p \}$ (Esimerkiksi : Alueen supistus pisteeksi operaation määrittelyjoukko)
- $\{ l, p, p' \}$ (Esimerkiksi : Viivan supistus pisteeksi operaation määrittelyjoukko)

Käänteiset yleistysoperaatiot voidaan määritellä seuraavasti

- Pisteestä alueeksi laajennus (rajojen sisällä):

$$p \rightarrow \{ r, l, p' \}$$

- Pisteestä viivaksi laajennus (loppupisteiden välillä):

$$p \rightarrow \{l, p', p''\}$$

- Viivasta alueeksi laajennus (rajojen sisällä):

$$l \rightarrow \{r, l', l''\}$$

- Viivan katkaisu kahdeksi erilliseksi viivaksi (jakavat loppupisteen):

$$l \rightarrow \{l', l'', r\}$$

- Alueen katkaisu (jakavat rajaviivan):

$$r \rightarrow \{r', r'', l\}$$

- Pisteen asetus alueen sisälle:

$$r \rightarrow \{r', p\}$$

- Viivan asetus alueen sisälle:

$$r \rightarrow \{r', l\}$$

LIITE 2

Lähde [20]

Tiedosto 1. Solmujen koordinaatit ja kaarien vektorit			
Kaari	F_solmu	vektori	T_solmu
1	3,2, 5,2	1, 5,2	1,3
2	1,3	1,8,2,6 2,8,3 3,3,4	3,2, 5,2
3	1,2	3,5,2 4,2,2,7	5,2,2,7

Tiedosto 2. kaarien topologia				
Kaari	F_solmu	T_solmu	R_polygoni	L_polygoni
1	1	2	Ulkoinen	A
2	2	1	A	Ulkoinen
3	3	4	Ulkoinen	Ulkoinen

Tiedosto 3. Polygonin topologia	
Polygoni	Kaari
A	1, 2

Tiedosto 4. Solmujen topologia	
Solmu	Kaari
1	1,2
2	1,2
3	3
4	4
5	5

LIITE 3

Lähde www.forum.nokia.com

	Resolution	CPU Count	Graphics Processor	GPS Features	Max User Storage	NAND Memory	Free Executable RAM Memory	Max Memory Card Size
Nokia N97	360 x 640	-	-	A-GPS	32 GB	-	-	16 GB
Nokia 6220	128 x 128	-	-	-	5 MB	-	-	-
Nokia 5800 XpressMusic	360 x 640	Single CPU	-	A-GPS	81 MB	256 MB	-	16 GB
Nokia N96	240 x 320	Dual CPU	-	A-GPS	16 GB	256 MB	-	8 GB
Nokia N85	240 x 320	Single CPU	-	A-GPS	74 MB	78 MB	-	8 GB
Nokia N79	240 x 320	Single CPU	-	A-GPS	50 MB	-	-	8 GB
Nokia E71	320 x 240	Single CPU	-	A-GPS	110 MB	256 MB	71 MB	8 GB
Nokia E66	240 x 320	Single CPU	-	A-GPS	110 MB	256 MB	71 MB	8 GB
Nokia N95 8GB	240 x 320	Dual CPU	3D Graphics HW Accelerator	A-GPS	8 GB	256 MB	90 MB	-
Nokia N95-3 NAM	240 x 320	Dual CPU	3D Graphics HW Accelerator	A-GPS	157 MB	256 MB	81 MB	2 GB
Nokia N82	240 x 320	Dual CPU	3D Graphics HW Accelerator	A-GPS	100 MB	256 MB	90 MB	4 GB
Nokia N78	240 x 320	Single CPU	-	A-GPS	70 MB	256 MB	48 MB	8 GB
Nokia 6110 Navigator	240 x 320	Single CPU	-	A-GPS Built-in Maps	40 MB	128 MB	17 MB	-2,147,483,648 Bytes
Nokia 6650	240 x 320	Single CPU	-	A-GPS	30 MB	128 MB	20 MB	8 GB
Nokia 6210 Navigator	240 x 320	Single CPU	-	A-GPS	120 MB	256 MB	20 MB	8 GB

Nokia N96-3	240 x 320	Dual CPU	-	A-GPS	16 GB	256 MB	-	8 GB
Nokia E90 Communicator	800 x 352	Dual CPU	3D Graphics HW Accelerator	A-GPS	128 MB	256 MB	80 MB	4 GB
Nokia 6220 classic	240 x 320	Single CPU	-	A-GPS	120 MB	256 MB	80 MB	8 GB

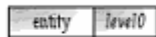
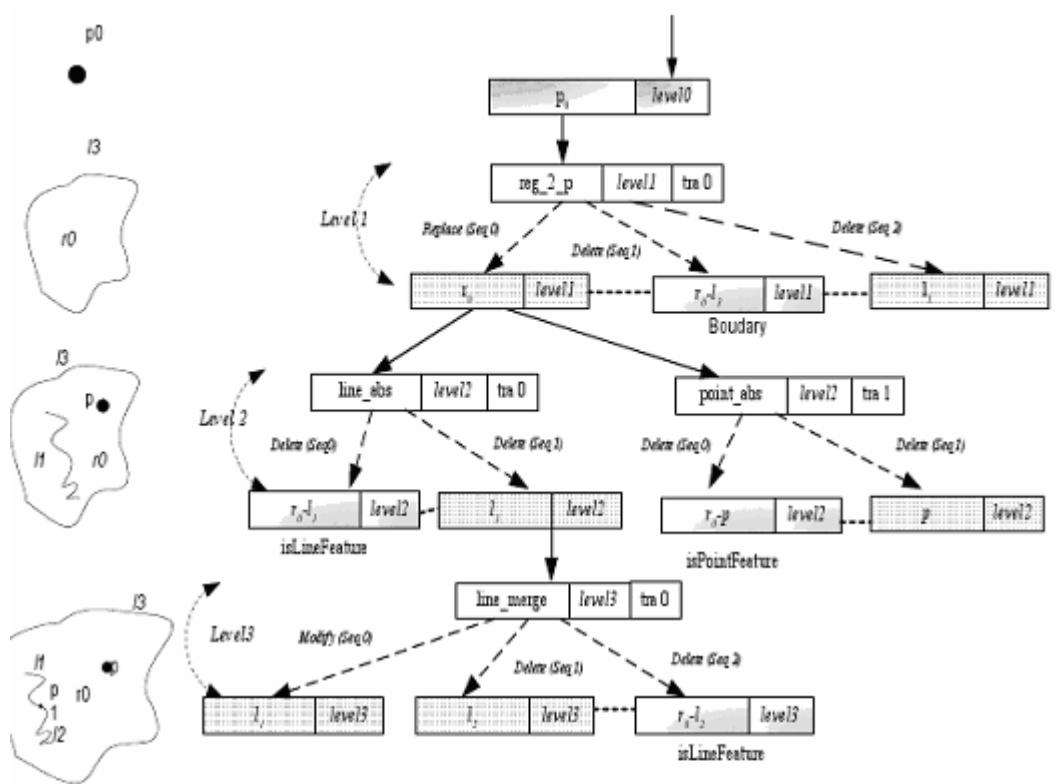
LIITE 4Lähde www.forum.nokia.com

	Data Bearer	WLAN support
Nokia N97	EGPRS HSDPA WCDMA	802.11b/g
Nokia 6220	EGPRS GPRS HSCSD	-
Nokia 5800 XpressMusic	CSD Dual Transfer Mode (MSC 11) EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	802.11b/g WEP WPA WPA2 (AES/TKIP)
Nokia N96	CSD Dual Transfer Mode (MSC 11) EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	802.11b/g WEP WPA WPA2 (AES/TKIP)
Nokia N85	CSD Dual Transfer Mode (MSC 11) EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	802.11b/g WEP WPA WPA2 (AES/TKIP)
Nokia N79	CSD Dual Transfer Mode (MSC 11) EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	802.11b/g WEP WPA WPA2 (AES/TKIP)
Nokia E71	CSD Dual Transfer Mode (MSC 11) EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	802.11b/g Nokia VoIP 2.3 WEP WPA WPA2 (AES/TKIP)
Nokia E66	CSD Dual Transfer Mode (MSC 11) EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	802.11b/g Nokia VoIP 2.3 WEP WPA WPA2 (AES/TKIP)
Nokia N95 8GB	CSD EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	802.11b/g Nokia VoIP 2.1 WPA WPA2 (AES/TKIP)
Nokia N95-3 NAM	CSD EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	802.11b/g Nokia VoIP 2.1 WPA WPA2 (AES/TKIP)
Nokia N82	CSD Dual Transfer Mode (MSC 11) EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	802.11b/g Nokia VoIP 2.1 WEP WPA WPA2 (AES/TKIP)
Nokia N78	CSD Dual Transfer Mode (MSC 11) EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	802.11b/g WEP WPA WPA2 (AES/TKIP)
Nokia 6110 Navigator	CSD EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	-
Nokia 6650	CSD Dual Transfer Mode (MSC 11) EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	-
Nokia 6210 Navigator	CSD Dual Transfer Mode (MSC 11) EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	-
Nokia N96-3	CSD Dual Transfer Mode (MSC 11) EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	802.11b/g WEP WPA WPA2 (AES/TKIP)

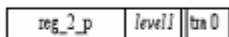
Nokia E90 Communicator	CSD EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	802.11b/g Nokia VoIP 2.1 WPA WPA-Enterprise WPA2 (AES/TKIP)
Nokia 6220 classic	CSD Dual Transfer Mode (MSC 11) EGPRS GPRS HSCSD HSDPA WCDMA	-

LIITE 5

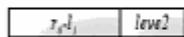
Lähde [16]



Juuri solmu



Tarkkuustasojen välinen linkki (atomisen operaation tunniste, tarkkuustaso, toiminta tunniste)



Inkrementti solmu (Topologinen suhde)



Inkrementti solmu (Karttaobjekti)



Toiminta


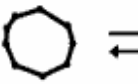
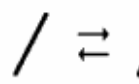
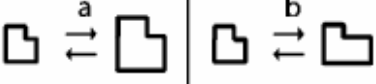
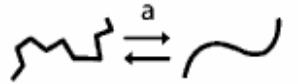
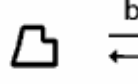
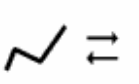
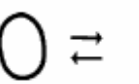
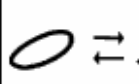
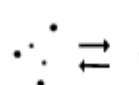
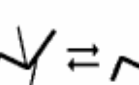
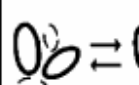
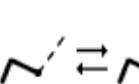

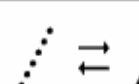
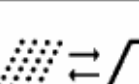

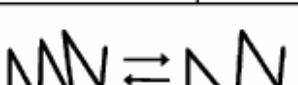
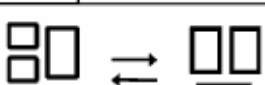


Sarja

Esimerkki hierarkkisesta topologisesta datasta, joka on talletettu neljään eri tarkkuustasoon

LIITE 6

Lähde [16]

		\Rightarrow Yleistysoperaatio (1) \Leftarrow Tarkennusoperaatio(2)			
A				Yksinkertaistaminen: Pisteen poisto (1) Pisteen lisäys (2)	Metriset operaatiot
B				Parannus: Suurennus (1a) ja liioittelu(1b)	
C				Esteettinen tarkennus: Silittäminen(1a) ja suoristus(1b)	
D				Supistus (1) Laajennus (2)	Topologiset operaatiot
E				Valinta/poisto (1) Valinta/lisäys (2)	
F				Sulautuminen : Fuusio (1a) tai Sulautuminen (1b) erottaminen (2)	
G				Yhdistyminen (1)	
H				Mallintaminen (1)	

Yleistys - ja tarkennusoperaatiot