

Luonnollista kieltä käyttävä reittiopastus sisätiloihin

Perttu Prusi

Tampereen yliopisto
Tietojenkäsittelytieteiden laitos
Tietojenkäsittelyoppi
Pro gradu -tutkielma
Tammikuu 2005

Tampereen yliopisto

Tietojenkäsittelytieteiden laitos

Perttu Prusi: Luonnollista kieltä käyttävä reittiopastus sisätiloihin

Pro gradu -tutkielma, 63 sivua

Tammikuu 2005

Tiivistelmä

Tässä tutkielmassa käsitellään ihmisen reittiopastustarpeisiin ja reitin etsintään perustuvaa automaattista sisätilareittiopastusta ja sen perustana toimivaa tarvepohjaista sisätilan kuvausta. Tehokkaan automaattisen tilamallinnuksen ja reittiopastuksen suunnittelemiseksi tutkielmassa tarkastellaan tilaa ja erityisesti maamerkkejä navigoimista tukevana elementtinä, ihmisen orientaatioon ja navigaatioon tarvittavia kykyjä, luonnollisen kielen tuottamista sekä automaattista reittiopastusta käsittelevää kirjallisuutta. Tutkielmassa esitetään kirjallisuuskatsauksen pohjalta yleinen malli sisätilassa olevien kohteiden ja niiden ominaisuuksien kuvaamiselle automaattisen reitin etsinnän ja ihmisen reittiopastustarpeiden lähtökohdista. Malli toimii tutkielmassa esitettävän automaattiseen luonnollisen kielen tuottamiseen perustuvan reittiopastuksen lähtökohtana. Yleiselle sisätilakuvaukselle ja reittiopastusmallille esitetään sovellusmahdollisuuksia ja jatkotutkimusmahdollisuuksia erilaisissa käyttö- ja laiteympäristöissä.

Avainsanat ja -sanonnat: reittiopastus, luonnollisen kielen tuottaminen, maamerkit.

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Navigointi ja siihen liittyvä vuorovaikutus	4
2.1	Tila sijoittumista ja liikkumista tukevana resurssina	5
2.1.1	Maamerkit	6
2.1.2	Visuaalinen kiinnostavuus	7
2.1.3	Semanttinen kiinnostavuus	9
2.1.4	Rakenteellinen kiinnostavuus	9
2.2	Ihminen reitin etsijänä ja reittiopasteen vastaanottajana	10
2.2.1	Orientaatio	11
2.2.2	Kognitiiviset kartat	12
2.2.3	Ihmisen reitin etsintä	15
2.2.4	Ihminen reittiopasteen vastaanottajana	18
2.3	Luonnollinen kielen tuottaminen	20
2.3.1	Luonnollista kieltä tuottavien järjestelmien arkkitehtuureista	20
2.3.2	Dokumentin suunnittelu	23
2.3.3	Esityksen suunnittelu	25
2.3.4	Pintamuodon toteutus	26
2.4	Lopuksi	28
3	Reittiopastussovellusten ominaisuudet	30
3.1	Automaattinen esitys tilasta ja reitin etsintä	30
3.1.1	Reitin etsinnän kannalta keskeiset kohteet	30
3.1.2	Sopivan reitin etsiminen tilaa kuvaavasta esityksestä	31
3.1.3	Maamerkkien mallintamisesta	33
3.2	Reittiopasteen sisältövaatimukset	34
3.2.1	Reittiopasteiden osittaminen	35
3.2.2	Päätöksentekokohdan kuvailu	37
3.2.3	Orientaatio päätöksentekokohdassa	37
3.2.4	Polkua määrittävät elementit	39
3.3	Reittiopasteen muotoileminen luonnolliseksi kieleksi	40
3.3.1	Reittiopasteen sisällön määrittely	40
3.3.2	Reittiopasteen esityksen muotoilu	41

3.3.3	Reittiopasteen pintamuodon toteutus	43
3.4	Lopuksi	44
4	Luonnollista kieltä käyttävä sisätilareittiopastus	45
4.1	Tilakuvaus.....	45
4.1.1	Kaikista kohteista mallinnettavia ominaisuuksia.....	47
4.1.2	Päätöksentekokohdat ja vuorovaikutusmahdollisuudet	47
4.1.3	Muut mallinnettavat ominaisuudet	49
4.2	Reittiopasteen toteuttaminen.....	50
4.2.1	Sisätilareittiopasteen sanasto ja rakenne	50
4.2.2	Reittisegmentointi ja tiivistäminen	53
4.2.3	Reittiopasteen pintamuoto kielioppina	55
4.3	Jatkokehitys.....	57
4.3.1	Suomenkielisen reittiopastuskorpuksen kerääminen	58
4.3.2	Sisätilojen maantieteellinen mallintaminen	58
4.3.3	Reittiopastussovelluksen käyttöliittymät ja käyttäjäryhmät	59
4.4	Lopuksi	61
5	Yhteenveto	62
	Viiteluettelo.....	64

1 Johdanto

Suunnan ja sijainnin selvittäminen ovat ihmiselle arkipäiväisiä tehtäviä ja perusedellytyksiä liikkumiselle tilassa. Liikkuminen edellyttää kykyjä havainnoida ja välttää esteitä sekä laatia strategioita, joiden avulla aistein havainnoitavan, välittömässä läheisyydessä olevan ympäristön ulkopuolella olevien kohteiden saavuttaminen on mahdollista. Tuntemattomassa ympäristössä tällaisten strategioiden laatiminen on mahdotonta, jolloin ihminen tarvitsee apua löytääkseen perille kohteisiin, joiden tarkasta sijainnista hänellä ei ole tietoa. Yleisimpiä tapoja avun saamiseksi on opaskarttojen käyttäminen ja opastuskylttien seuraaminen sekä reittiopastuksen kysyminen muilta ihmisiltä. Aina apua ei ole tarjolla ja tällaisissa tilanteissa ihminen voi joutua käyttämään paljon aikaa ja vaivaa löytääkseen perille arvailemalla luotettavampien menetelmien puuttuessa.

Satelliittipaikannuksen (Global Positioning System, GPS) yleistymisen myötä markkinoille on ilmestynyt reittioppaina toimivia järjestelmiä ja sovelluksia. Erityisesti autoilijoille tarkoitetut opastusjärjestelmät ovat nykyään yleisiä. Niiden käytettävyys ja luotettavuus ovat niin korkeata luokkaa, että autovalmistajat varustavat tuotteitaan kyseisillä järjestelmillä. Myös jalan liikkuville ihmisille on tarjolla satelliittipaikannusta hyödyntäviä reittioppaita, jotka yleistyvät henkilökohtaisten nopeasti kehittyvien kämmenmikrojen ja älypuhelimien mahdollistaessa orientaatioon ja reittiopastukseen tarvittavan laitteiston ja sovellusten hyödyntämisen liikuttaessa.

Reittiopastusjärjestelmiä ja -sovelluksia suunnitellaan ja toteutetaan lähinnä ulkotiloihin, sillä sovellusten toiminnan kannalta keskeinen paikannusmenetelmä, satelliittipaikannus toimii luotettavasti vain ulkotiloissa. Perille löytämiseen liittyviä vaikeuksia ilmenee myös suurissa rakennuksissa kuten lentokentillä, messukeskuksissa ja toimistorakennuksissa. Tarve sisätilareittiopastusjärjestelmille on siis olemassa, mutta niitä on toistaiseksi niukasti tarjolla. Tällä hetkellä käytössä olevat järjestelmät on usein sidottu tietyn käyttäjäryhmän tarpeisiin, tiettyyn laitteistoon tai käyttöympäristöön.

Tässä tutkielmassa tarkastelen automaattisen luonnollista kieltä käyttävän sisätilareittiopastuksen ja sen perustana toimivan sisätilan esityksen suunnittelemiseen ja toteuttamiseen liittyviä ongelmia ja haasteita. Perehdyn näiden ongelmien ja haasteiden selvittämiseen ihmisen liikkumiseen liittyviä kykyjä ja tarpeita, luonnollisen kielen tuottamista sekä automaattista tilamallinnusta ja reittiopastusta käsittelevällä kirjallisuuskatsauksella. Tarkastelujen pohjalta esitän käsitteellisellä tasolla mallin automaattiselle tilamallinnukselle ja tätä käyttävälle luonnollisen kielen muotoiselle reittiopastukselle.

Rajauksellisista syistä en syvenny käsittelemään tässä tutkielmassa reittiopastussovelluksen toteuttamiseen tarvittavia laitteistoresursseja ja käyttöliittymäratkaisuja, vaikka näiden tarkasteleminen on välttämätöntä reittiopastussovellusta tai -järjestelmää toteutettaessa. Esitän tilamallinnusta ja reittiopastusta yleisellä tasolla, jotta niitä voisi soveltaa mahdollisimman monessa käyttö- ja laiteympäristössä. Havainnollistan tuloksia tilaa koskevaan esitykseen ja automaattiseen reitin etsintään perustuvien reittiopasteesimerkeihin ja esittelen jatkotutkimuskohteita reittiopastussovelluksen toteuttamiseksi.

Tutkielman toisessa luvussa perehdyn tilan ja ympäristön tarkasteluun ihmisen liikkumista tukevin resursseina. Tilassa olevista kohteista tarkastelen erityisesti reittiopastuksen kannalta välttämättömiä maamerkkejä ja niiden keskeisimpiä ominaisuuksia. Perehdyn ihmisen tapaan havainnoida tilassa olevia kohteita sekä sisäiseen esitykseen, johon havaintojen kohteita, niiden ominaisuuksia ja kohteiden välisiä suhteita koskevaa informaatiota lisätään. Sisäisen esityksen avulla ihminen kykenee liikkumaan ja opastamaan muita aistiensa ulottumattomissa olevien kohteiden luokse tutussa ympäristössä. Tutustun myös luonnollisen kielen tuottamiseen liittyviin prosesseihin, joilla on keskeinen asema ihmiselle helposti omaksuttavan reittiopastuksen toteuttamisessa.

Teoreettisen taustan lisäksi myös soveltavan tutkimuksen tuntemus on välttämätöntä tuotettaessa sovellettavia tuloksia. Tutkielman kolmannessa luvussa perehdyn reittiopastussovellusten ja -järjestelmien toimintaan, erityisesti tilamallinnuksen, reitin etsimisen ja luonnollisen kielen muotoisten reittiopasteiden tuottamiseen. Tarkastelen automaattista reitin etsintää ja kohteiden mallinnusta hahmottaakseni tilaa koskevan esityksen sisältöä ja rakennetta koskevia tarpeita. Perehdyn reittiopastuksen rakenteen

suunnitteluun kartoittamalla ja vertailemalla reittiopastussovelluksia ja -järjestelmiä käsittelevässä lähdekirjallisuudessa esitettyjä reittiopasteratkaisuja. Keskityn reittiopasteen osittamiseen, joka on perusedellytys erilaisiin käyttö- ja laiteympäristöihin soveltuvan reittiopastuskomponentin toteuttamiseksi. Lopuksi paneudun reittiopasteen muotoilemiseen luonnollisen kielen tuottamisprosessien avulla.

Tutkielman neljännessä luvussa esitän automaattisen tilakuvauksen sekä reittiopasteen tuottamisprosessin tämän kuvauksen pohjalta. Tilakuvaukseen en määrittele yksittäisiä kohteita, sillä ne määräytyvät tapauskohtaisesti kyseessä olevan tilan mukaan. Sen sijaan keskityn käsittelemään tilakuvauksen tarpeita reitin etsinnän ja reittiopastuksen kannalta. Reittiopasteen tuottamiseen paneudun luonnollisen kielen tuottamisprosessien kautta: määrittelen reittiopasteen sanastoa ja sen rakennetta sekä näiden jalostamista korkealaatuisen sisällön tuottamiseksi. Reittiopasteen pintamuodon esitän kieliooppina, jonka pohjalta sisätiloihin soveltuvan reittiopasteen tuottaminen on mahdollista. Esittelen neljännessä luvussa myös reittiopastussovelluksen tai -järjestelmän toteuttamisessa huomioon otettavia seikkoja sekä esittämäni tilakuvauksen että kielioopin toimintaa erilaisissa reittiopastusratkaisuissa. Viidennessä luvussa esitän tutkielman tulokset tiivistettynä yhteenvedona.

2 Navigointi ja siihen liittyvä vuorovaikutus

Kyky hahmottaa suunta ja paikka ovat havainnointiin ja kokemukseen perustuvan tilassa liikkumisen perusta. Liikkuminen tilassa edellyttää jatkuvaa havainnointia sekä havaintojen sisäistä järjestämistä mielekkäästi esitykseksi, joka muodostuu käsitykseksi tilan rakenteesta ja siinä olevien kohteiden ominaisuuksista sekä kohteiden välisistä suhteista. Huntin ja Wallerin [1999] mukaan havaintojen tuottamiin kokemuksiin pohjautuvan rakenteen käyttäminen on tutussa ympäristössä liikkumisen perusedellytys.

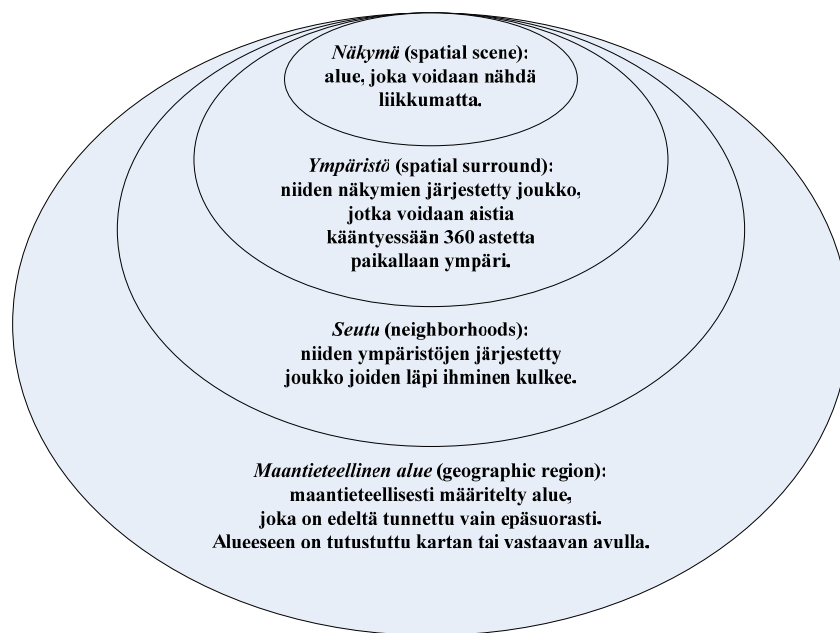
Tuntemattomassa ympäristössä liikkuminen perustuu oletuksiin ja arvauksiin, mutta siltä puuttuu strateginen suunnitelma etenemiselle, jonka edellisessä kappaleessa mainittu rakenne mahdollistaisi. Tällaisessa tilanteessa eteneminen tilassa voi muuttua tuloksettomaksi harhailuksi, jos ulkopuolista apua ei ole saatavilla. Tuntemattomassa ympäristössä liikkumiseen liittyviä ongelmia voidaan helpottaa käyttämällä erilaisia opasteita, jolloin kokemuksen avulla rakennettua esitystä tilasta pyritään korvaamaan opasteiden välittämällä informaatiolla. Yksinkertaisimmillaan opasteet esittävät kehoituksia tai antavat vihjeitä liikkumisen suunnalle. Kehittyneemmät opasteet pyrkivät edesauttamaan liikkumista tukevan rakenteen muodostumista mahdollistamalla laajempia kuvauksia tilasta. Tilaan liittyvää tietämystä mallintava esitys on korvaamaton apu liikkumiselle ja ihmiset turvautuvat usein muihin ihmisiin neuvojen toivossa liikkueissaan oudossa ympäristössä. Reittioppaana toimiessaan ihminen käyttää omaa sisäistä esitystään, jonka tietämystä hän puheen, eleiden tai piirtämisen avulla pyrkii esittämään opastettavalle.

Tässä luvussa selvitän, miten ihminen toimii hahmottaessaan ympäristöään ja mitä prosesseja kuuluu inhimilliseen tilan hahmottamiseen, reitin etsintään. Esittelen myös reittiopastukseen liittyvää terminologiaa, jonka tunteminen on myöhempiin lukuihin perehtyessä tarpeen. Tarkastelen ihmistä reittioppaana, tutkin millaisia menetelmiä ihmiset käyttävät reittiopastuksen tuottamiseen ja mitä näistä menetelmistä pidetään tehokkaimpina. Ensimmäisenä paneudun tilan tarkasteluun suuntien ja etäisyyksien hahmottamisen sekä reitin etsinnän ja liikkumisen kannalta.

2.1 Tila sijoittumista ja liikkumista tukevana resurssina

Raubal [2001a] huomauttaa, että ympäristöön tutustuminen on välttämätöntä liikuttaessa tuntemattomassa tilassa. Ihminen havainnoi tilaa liikkeessaan, näkö-, kuulo-, tansapaino-, tunto-, haju- ja asentoaistien avulla. Tilasta saamia havaintoja ihminen käyttää esteiden väistelyyn ja yksittäisten polkujen yhdistämiseen [Raubal, 2001a].

Tilassa liikkumisen kannalta ihmiset tarvitsevat tietoa siinä olevien kohteiden ominaisuuksista, sijainnista ja etäisyyksistä toisiinsa nähden. Liikkumisen kannalta joillakin kohteilla on enemmän merkitystä kuin toisilla. Tärkeimpiä ovat esimerkiksi kohteet, joiden ympärille liike keskittyy. Tällaisia kohtia voivat olla ulkotiloissa esimerkiksi tien risteykset, liittymät ja sisätiloissa portaat ja aulatilat. Nämä *solmut* ovat tilan määrittelyn välttämätön perusta, sillä ne jakavat tilan liikuttaessa eri näkymiin, ympäris-



Kuva 1. Tilan hierarkkinen jako alueisiin [Darken & Peterson, 2001].

töihin, seutuihin ja maantieteellisiin alueisiin, kuten kuvassa 1 esitetään [Darken & Peterson, 2001]. Hunt ja Waller [1999] määrittelevät solmut reitin *päätöksentekokohdiksi* (*decision point*), sillä juuri näissä kohdissa suunta liikkeelle määritellään uudelleen. Päätöksentekokohdat ovat keskeisiä elementtejä reitillä liikuttaessa, joten niiden havaitseminen ja muistaminen on tärkeätä tilassa liikkuvalla ihmiselle.

2.1.1 Maamerkit

Päätöksentekokohta määritellään sen liikettä suuntaavan luonteen avulla, mutta tilassa on myös muita kohteita joiden merkitys liikkumisen tukena on suuri. Ihmiset pyrkivät muistamaan reitillä pysymisen kannalta olennaisimmat paikat *maamerkkeinä* (*landmark*), jotka ovat ympäristöstään joillakin ominaisuuksilla erottuvia, mutta helposti tunnistettavia kohteita. Maamerkkien tehtävä on toimia päätöksentekokohtina ja näiden sijainnin hahmottamista tukevana kohteina.

Werner ja muut [1997] toteavat, että maamerkit ovat näkö-, kuulo, haju ja tuntoaistien havaittavia kohteita, jotka erottuvat huomattavasti ympäristöstään. He lisäävät, että maamerkit ovat välttämättömiä liikkumisessa tarvittavien päättelyketjujen muodostumiselle. Myös Raubalin ja Winterin [2002] mukaan tutkimus on osoittanut, että ihmiset käyttävät maamerkkejä orientoituessaan tilaan ja hahmottaessaan reittejä siinä.

Maamerkkien ominaisuuksien määrittelyä vaikeuttaa niiden merkityksien riippuvuus tarkastelijasta, sillä ihmisten tapa hahmottaa ympäristöään vaihtelee yksilöiden välillä. Ominaisuuksien valinta tarkentuu myös käyttäjäryhmän mukaan: näkövammaisen henkilö edellyttää erilaisia ominaisuuksia kohteelta voidakseen käyttää sitä maamerkinä kuin normaalin näkökyvyn omaava henkilö. Tässä tutkielmassa käsittelen rajauksellisista syistä lähinnä näköaistin avulla havaittavia ominaisuuksia.

Luokka	Ominaisuus	Mittaustapa
Visuaalinen	Julkisivu	Leveys * korkeus
Visuaalinen	Muoto	Korkeus / leveys
Visuaalinen	Muodon poikkeavuus suorakulmiosta	(Pienimmän rajoittavan suorakulmion ala - julkisivu) / pienimmän rajoittavan suorakulmion ala
Visuaalinen	Väri	[R, G, B]
Visuaalinen	Näkyvyys	Tarkastetavan kohteen pinta-ala tarkastelupisteestä katsottuna
Semanttinen	Kulttuurillinen tai historiallinen merkittävyys	Kulttuurillinen tai historiallinen painoarvo, painoarvoasteikko: {1,2,3,4,5}, 1 (korkea) - 5 (matala)
Semanttinen	Eksplisiittinen merkki tai opaste	Tosi, epätosi
Rakenteellinen	Solmut ja kaaret	Solmuun tulevien ja siitä lähtevien kaarien lukumäärä * kaarien painoarvo, painoarvoasteikko: {1,2,3,4,5}, 1 (matala) - 5 (korkea)
Rakenteellinen	Rajat	Rajakohteen koko * muototekijä, muototekijä: pitkäsiivu / kapea siivu

Taulukko 1. Menetelmiä maamerkkien kiinnostavuuden mittaamiseksi [Raubal & Winter, 2002].

Lynch [1960] nimeää maamerkin erottuvuuden taustastaan sen merkittävimäksi ominaisuudeksi. Tämä on liian väljä määritelmä, jotta sen pohjalta maamerkkien systemaattinen arvioiminen olisi mahdollista. Raubal ja Winter [2002] määrittelevät erottuvuutta tarkemmin esittäessään mallin maamerkkien erottamiselle automaattisesti muusta maantieteellisestä datasta. Heidän määrittelynsä on tämän tutkielman kannalta merkittävä siksi, että sen lähtökohtana on ominaisuuksien mitattavuus, joka on perusedellytys vertailtaessa kohteiden maamerkkikelpoisuutta. He jakavat maamerkkejä kuvaavat ominaisuudet taulukon 1 mukaisesti kolmeen pääryhmään: visuaalisiin, semanttisiin ja rakenteellisiin ominaisuuksiin. Kuvailen näitä ominaisuuksia seuraavissa kohdissa tarkemmin.

2.1.2 Visuaalinen kiinnostavuus

Kohteen visuaalisen kiinnostavuuden Raubal ja Winter [2002] jaottelevat neljään osatekijään: julkisivuun, muotoon, väriin ja näkyvyyteen. He lisäävät, että kohteilla on olemassa myös muita näköaistin avulla havaittavia tekijöitä, jotka riippuvat liikaa tar-

kastelijasta ja niille on vaikea määritellä objektiivisia arvoja. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi kohteen pintamateriaalia, kuntoa, ikää ja puhtautta kuvaavat tekijät. Seuraavaksi paneudun tarkemmin neljän tärkeimmän osatekijän tarkempaan määrittelyyn.

Julkisivu lienee kuvaavampi termi ulkotiloissa sijaitsevien kohteiden kuvaamiseen, mutta tarkempi määritelmä ei anna aihetta epäillä, ettei julkisivu olisi pätevä ominaisuus myös sisätiloissa: ihmiset kiinnittävät huomiota ympäristössään niihin kohteisiin, joiden julkisivu on joko huomattavasti ympärillä olevien kohteen julkisivua suurempi tai pienempi.

Muoto on yksi tärkeimmistä kohteita erottavista tekijöistä ihmisten arvioidessa havaintojaan. Arvo muodolle ilmaistaan kohteen korkeuden ja leveyden välisenä suhteena. Raubal ja Winter [2002] huomauttavat, että muodon laskeminen ei tuota välttämättä ainutlaatuisia arvoja. Korkeuden ja leveyden suhde saattaa kahdella kohteella olla sama, vaikka esineet olisivat erimuotoisia. Epätavallisen muotoiset kohteet suorakaiteen muotoisten kohteiden joukossa kiinnittävät katsoja huomion. Arvo muodon poikkeavuudelle määritellään sen perusteella kuinka paljon se poikkeaa suorakaiteesta vertaamalla pienimmän kohdetta rajoittavan suorakulmion ja julkisivun erotusta pienimmän kohdetta rajoittavan suorakulmion alaan.

Taustasta poikkeava väri parantaa kohteen tunnistettavuutta. Esimerkiksi hälytysajoneuvot maalataan yleensä kirkkailla väreillä, jotta ne erottuisivat muista ajoneuvoista ja täten herättäisivät huomiota jo pitkän matkan päästä. Värin mittaamista hankaloittaa sen vaihtelevuus tarkastelijan silmässä riippuen valon määrästä ja kohteen pintamateriaalin heijastavuudesta. Raubal ja Winter [2002] toteavat, että värille ei voi edellä mainituista syistä johtuen määritellä yksikäsitteistä arvoa. He vertailevat kohteiden väriarvoja likimääräisesti RGB värikartan avulla: määritellään kohteen ja sen ympärillä olevien kohteiden värien keskiarvon avulla alueen taustaväri ja verrataan kohteen RGB-väriarvoa tähän pohjaväriin. Kohteen värierottuvuus määräytyy sen poikkeavuudella taustaväristä.

Julkisivun muodon lisäksi kohteen näkyvyys vaikuttaa sen tunnistettavuuteen. Kohde joka erottuu havainnoitsijalle jo kaukaa, tulee todennäköisemmin valituksi maamerkiksi, sillä sitä voidaan lähestyttäessä tarkastella pidemmän aikajakson ajan. Raubal &

Winter [2002] määrittelevät kaksiulotteisen näkyvyyden seuraavasti: lasketaan pinta-ala sille alueelle, josta maamerkki on nähtävissä. Näkyvyys ja tunnistettavuus ovat toisistaan riippuvia tekijöitä, sillä kaukaa katsottuna kohteet voivat näyttää erilaisilta kuin läheltä nähtyinä. Tästä syystä näkyvyyttä kuvaavaa arvoa rajoitetaan raja-arvolla, jota kauempana olevia kohteita ei oteta tarkastelussa huomioon. Näin näkyvyyttä kuvaavan arvon laskemiseen liittyvää monimutkaisuutta voidaan vähentää.

2.1.3 Semanttinen kiinnostavuus

Ihminen pystyy havainnoimaan ympäristöstään erottuvia kohteita näköaistin lisäksi myös muilla perusteilla. Kohteen semanttinen kiinnostavuus voi johtua sen kulttuurillisesta tai historiallisesta merkittävydestä tai sillä voi olla sovittu merkitys [Raubal & Winter, 2002]. Ulkotiloissa kulttuurillisesti tai historiallisesti merkittäviä kohteita voidaan määritellä esimerkiksi turistiopaskirjoihin perehtymällä. Näissä kirjoissa löytyy myös usein numeerinen asteikko esimerkiksi välille 1-5, kohteen merkittävyyden määrittämiseksi.

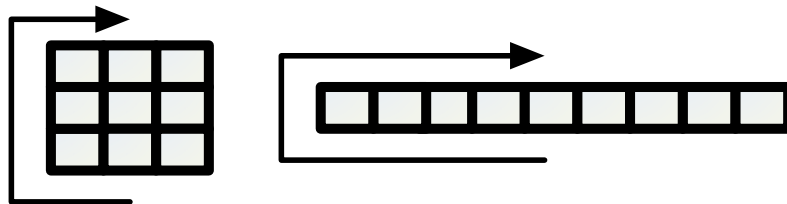
Sovitut merkit kuten opastekyltit, joissa voi olla tekstiä, nuolia tai muita tunnettuja symboleja ovat merkkejä, joita ihmisten oletetaan osaavan tulkita. Opasteet voivat sisältää myös ei-visuaalista informaatiota kohteeseen liittyen, kuten määritelmiä kohteen käyttötarkoituksesta. Jos kohteeseen on sidottavissa opaste, tämä voidaan määritellä loogisella arvolla tosi. Jos opastetta ei ole, arvoksi asetetaan epätosi. Raubal & Winter [2002] huomauttavat, että kohteilla voi olla myös muita, vaikeammin määriteltäviä semanttista kiinnostavuutta määrittäviä arvoja. Kohdetta tarkastelemalla voi päätellä jotain sen käyttötarkoituksesta. Esimerkkinä tästä ovat vanhat kirkot, jotka noudattavat tunnistettavaa rakennetta. Näille tekijöille on vaikea määrittää arvoja, sillä tekijöiden merkitys riippuu vahvasti tarkastelijan kokemuksesta ja kulttuurillisesta taustasta.

2.1.4 Rakenteellinen kiinnostavuus

Kohde on rakenteeltaan mielenkiintoa herättävä, jos sillä on keskeinen asema ympäristössään. Ulkotiloissa tällaisia kohteita ovat esimerkiksi risteykset ja kaupunkien keskusta-alueiden aukiot. Kohteen rakenteellisesti keskeistä asemaa voidaan määritellä tarkastelemalla siihen liittyvien kohteiden, kulkuväylien ja alueiden lukumäärää ja keskeisyyttä.

Kohtia, joissa polut yhtyvät kutsutaan solmuiksi. Autoilijoille solmuja ovat tien risteykset ja kävelijöille niitä voivat olla kohteet tilassa ja liikematkustajille lentokentät. Solmun määritelmä vaihtelee kohderyhmästä riippuen, mutta sen keskeisin piirre on yhdistyvyys muihin tilassa oleviin kohteisiin, kulkuväyliin ja alueisiin. Yhdistyvyyttä voidaan myös määritellä esimerkiksi solmuun liittyvien kulkuväylien jaottelulla. Suuret liikenneväylät kuten moottoritiet ovat kужia merkittävämpiä kulkuväyliä ulkotiloissa samoin kuin aulatilat ovat yksittäisiä käytäviä merkittävämpiä sisätiloissa.

Solmujen lisäksi tilasta voidaan määritellä rajoja esimerkiksi niiden ylittämiseen tarvittavan energian avulla. Raubal ja Winter [2002] otaksuvat, että raja on sitä luotettavampi maamerkki, mitä enemmän energiaa sen kauttakulkemiseen on käytettävä. Sekä ulko- että sisätiloista voidaan havaita merkittäviä muotoja, *soluja*, jotka sulkevat sisäänsä läpikulkemisen estäviä alueita. Vastakkaisten sivujen väliin jäävän etäisyyden ollessa pieni solun muototekijä määritellään suureksi, kuten kuvasta kaksi voidaan nähdä. Solun koko kerrottuna muototekijällä määrittävät maamerkin rakenteellista merkittävyyttä. Rajoittavia tekijöitä voivat ulkotiloissa olla esimerkiksi rautatiet ja joet ja sisätiloissa väliseinät tai käytävät.



Kuva 2. Molemmat solut ovat samankokoisia, mutta oikeanpuoleisen solun muototekijä on suurempi, joten se muodostaa suuremman esteen [Raubal & Winter, 2002].

2.2 Ihminen reitin etsijänä ja reittiopasteen vastaanottajana

Havainnot ympäristöstä ja havaittuihin kohteisiin liittyvä tietämys ovat tilassa liikkumisen perusta. Tässä kohdassa syvennyn tarkastelemaan ihmisen havainnointikykyä ja rakennetta, johon ihminen tallentaa tilaa koskevat havainnot. Tutkin tapaa, jolla ihminen hyödyntää aikaisempien kokemusten tuottamaa tietämystä tilasta, navi-

goidessaan siinä. Lisäksi tarkastelen ihmisen kykyä vastaanottaa reittiopastusta ja vertailen erilaisia lähdekirjallisuudessa esitettyjä tapoja reittiopasteiden välittämiseen.

2.2.1 Orientaatio

Orientaatio (orientation) on tietoisuutta ympäröivästä tilasta [Hunt & Waller, 1999]. Se käsittää ympäröiviä kohteita, niiden ominaisuuksia ja kohteiden välisiä suhteita. Tilassa liikkumisen lähtökohtien, suunnan ja sijainnin määrittäminen ja reitin etsiminen ovat mahdollisia vain orientaation avulla. Sitä on syytä käsitellä ensimmäisenä, kun paneudutaan reittiopastukseen [Raubal, 2001a]. Ross ja Blasch [2002] erottavat orientaation liikkeestä siinä, että liike edellyttää välittömässä läheisyydessä olevien esteiden väistelemiseen tarvittavia kykyjä. Orientaatio puolestaan edellyttää etäisyydenhahmotuskykyä suhteessa tilassa oleviin kohteisiin ja suunnan ylläpitämistä näkökentän ulkopuolella olevien kohteiden saavuttamiseksi. Sen tarkoituksena on tuottaa käsitys näkökentän ulkopuolella olevien kohteiden sijainnista ja suunnasta suhteessa tarkastelijaan, jotta matkasuunnitelman tekeminen näiden kohteiden luokse pääsemiseksi olisi mahdollista. On syytä huomata, että erilaisissa ympäristöissä ja tilanteissa tarvitaan erilaisia kykyjä. Esimerkiksi tieverkostossa liikuttaessa orientoituminen tilaan tapahtuu eri kykyjä käyttäen kuin rakennuksen sisällä kuljettaessa [Raubal & Worboys, 1999].

Orientaatio perustuu ympäristössä olevien kohteiden havainnointiin. Kaikki havaitsemamme kohteet eivät ole samanarvoisia, kun niitä tarkastellaan orientaation tai liikkumisen näkökulmista (kohta 2.1). Kuvassa 1 esitetty hierarkkinen rakenne esittää jaon sille, minkälaisista kokonaisuuksista ihmisen tilaa koskeva tietämys koostuu. Höök [1991] huomauttaa, että aluejako parantaa ihmisen käsitystä tilasta, sillä kykenemme säilyttämään orientaation eri alueiden välillä, mutta emme välttämättä alueella olevien yksittäisten kohteiden välillä.

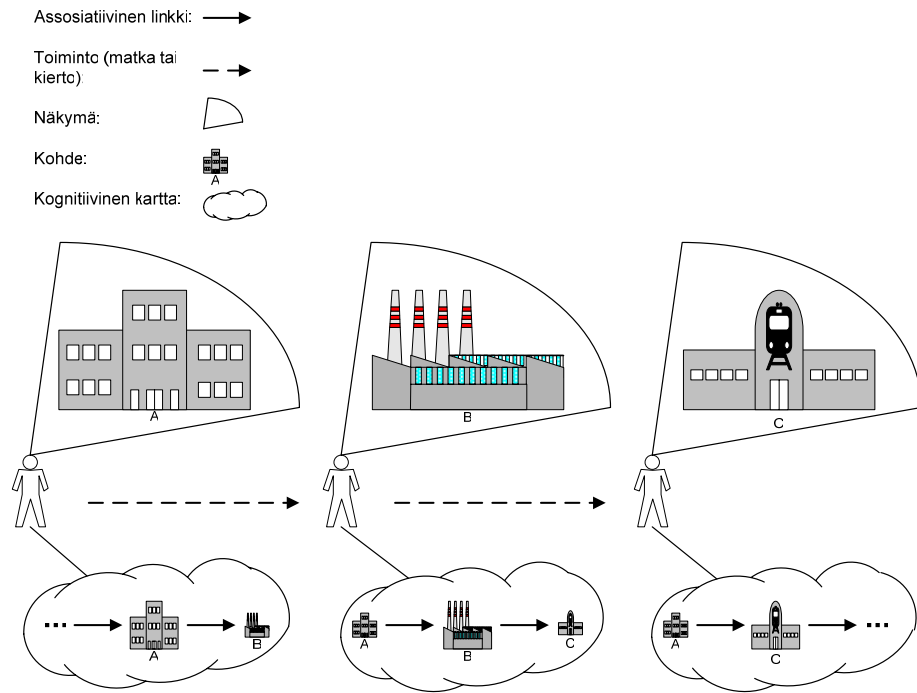
Hunt ja Waller [1999] kuvailevat koetta, jonka tarkoituksena oli tutkia, miten kohteiden havainnointi riippuu niiden havainnointinäkökulmasta. Kokeen ensimmäisessä vaiheessa koehenkilöille näytettiin ensin huonetta, jonka eripuolilla oli esineitä. Tämän jälkeen koehenkilöt johdatettiin takaisin huoneeseen, josta tällä kertaa oli poistettu kaikki esineet. Orientoitumista helpottamaan heille kerrottiin, mitä esinettä kohden heidän piti kuvitella seisovansa. Tämän jälkeen heitä pyydettiin osoittamaan jokin

toinen huoneessa aikaisemmin ollut esine. Koe osoitti, että koehenkilöt osoittivat nopeasti pyydettyjä esineitä, jos ne olivat heidän edessään. Toiseksi nopeimmin he osoittivat välittömästi takanaan olevia esineitä ja hitaimmin sivulla olevia esineitä. Sama koe toistettiin ulkotiloissa siten, että koehenkilöiden piti osoittaa kaupunkien suuntia esineiden sijaan. Kokeen alkutilanteessa heille osoitettiin edellisen kokeen tapaan se ilmansuunta, jota kohden he itse seisoivat. Koehenkilöiden osoittamiseen kulunut aika väheni huomattavasti, kun heidän kerrottiin katsovan kohti pohjoista. Orientoituminen muihin ilmansuuntiin lisäsi osoittamiseen kulunutta aikaa.

Tilaan orientoituminen on helpointa tutussa ympäristössä, mutta orientoitumiskyky vaihtelee yksilöittäin. Orientaatioon ja reitin löytämiseen liittyvät kyvyt paranevat ja huononevat iän myötä: alle seitsemänvuotiaita lapsia täytyy vahtia tai he saattavat eksyä, kymmenvuotiaat voivat liikkua lähes yhtä helposti kuin aikuiset ja orientaation puute taas on yksi seniiliyden tunnusmerkki. Orientaatiokykyyn vaikuttavat iän lisäksi myös jotkut sairaudet. Ainakin Alzheimerin taudin tiedetään heikentävän ihmisen kykyä löytää perille, vaikka ympäristö olisi tuttu [Hunt & Waller, 1999]. On syytä huomata yhtenä aikaa vievään ja keskittymistä vaativaan orientaatioon vaikuttavana tekijänä myös motivaatio. Esimerkiksi suunnistaja tai luotsi havainnoi ympäristöään tarkasti, mutta odottamatta orientoitumiseen pakotettu ihminen saattaa olla huonosti motivoitunut ja keskittynyt tämän tehtävän suorittamiseen.

2.2.2 Kognitiiviset kartat

Suoriudumme tilassa perille käyttäen apuna siihen liittyvää järkeilyä: yhdistämme mielessämme useita tilasta tekemiämme havaintoja tietorakenteeksi ja ratkaisemme sen avulla reitin löytämiseen liittyviä ongelmia [Kuipers, 1977]. Kuipers [1982] kutsuu tätä tietorakennetta *kognitiiviseksi kartaksi* (*cognitive map*) eli sisäiseksi esitykseksi, johon tallennetaan käsityksiä ympäristön rakenteesta ja sen kohteista. Kuva 3 havainnollistaa kognitiivisen kartan ja reaalimaailman välistä suhdetta. Hunt ja Waller [1999] tarkentavat, että kognitiivinen kartta on esitys, joka pitää sisällään tietoa suunnasta ja etäisyydestä, mutta sisältää liikaa virheitä ja vääristymiä vastatakseen oikeata karttaa. Tiedon kerääminen kognitiiviseen karttaan on edellytys menestykselliselle reitin löytämiselle [Raubal & Egenhofer, 1998; Darken & Peterson, 2001].



Kuva 3. Kognitiivisen kartan ja assosiativisten linkkien käyttäminen ihmisen etsiessä reittiä tutussa ympäristössä.

Kognitiiviset kartat perustuvat informaatioon, jonka ihminen on kerännyt havaintojen, luonnollisen kielen ja päättelyn avulla. Kartan rakenne muodostuu maamerkkeihin ja muihin päätöksentekokohtiin ja niiden välisiin suhteisiin liittyvästä informaatiosta. Edetessään tilassa ihminen täydentää tätä karttaa ajan kuluessa ja havaintojen lisääntyessä [Kuipers, 1977]. Raubal [2001a] toteaa, että ihmiset käyttävät mieluummin pinnanmuotoja kuin tarkkoja pituusmittoja painaessaan mieleensä havaintoja ympäristöään. Myös Hunt ja Waller [1999] havaitsivat, että ihmisillä on enemmän vaikeuksia hahmottaessaan etäisyyksiä kuin suuntia. Tähän lienee syynä se, että pinnanmuotoihin liittyvät ominaisuudet pysyvät paremmin muuttumattomina erilaisten muutosten, kuten käännösten, kiertojen ja skaalaamisen suhteen.

Tilaan liittyvää tietoa jalostettaessa kognitiivinen kartta muunnetaan maamerkkikartasta reittikartaksi, jota käyttäen kuljetaan kohteelta toiselle. Epätarkkuuksiin ja vääristymiin vaikuttavat ympäristön hahmottamiseen liittyvät vaikeudet: monimutkaiset rakenteet ympäristössä johtavat suurempaan epätarkkuuteen kognitiivisessa kartassa. Kartan muodostuminen tällaisissa olosuhteissa vie enemmän aikaa. Lynch [1960] pyysi koehenkilöitään piirtämään reittejä näille tuttuun paikkojen välille kaupungin sisällä. Reittikarttoja tarkastellessaan hän huomasi seuraavaa: vaikka hänen käyttä-

mänsä koehenkilöt piirsivät havaintoihinsa perustuviin karttoihin paljon vääristymiä ja virheitä, he tekivät niitä harvoin paikkojen järjestysten suhteen. Reittien varsilla olevat maamerkit muistettiin oikeassa järjestyksessä. On syytä huomata, että hyvin piirretty kartta on osoitus hyvästä tilanhahmottamiskyvystä, mutta huono kartta saattaa olla osoitus huonosta piirtäjästä eikä välttämättä ole paras tapa havainnollistaa ihmisen orientaatiokykyä.

Kuipers [1982] kuvaa tiedonprosessointimallissaan kognitiivisen kartan monimutkaiseksi tietorakenteeksi ja joukoksi tähän liittyviä vuorovaikutuskäyttäytymistä sisältäviä prosesseja. Tätä mallia kutsutaan *kognitiivisen tilallisen kuvauksen (cognitive spatial representation)* malliksi. Tämän mallin prosessit sulauttavat ihmisen hahmottamisjärjestelmän tuottaman sarjan rakenteina esitettyjä havaintoja omiin tietorakenteisiinsa muuttamalla tai laajentamalla rakenteita sisältämään myös havainnoista saadun informaation. Mallissa käytetään kuvassa kolme esiintyvää *assosiatiivista linkkiä (associative link)*, joka tarkoittaa seuraavaa: Jos kohteen A avulla voidaan etsiä kohde B, niin tästä seuraa, että A on linkitetty B:hen. Reitti rakennetaan ketjuttamalla tällaisia assosiatiivisia linkkejä, kunnes reitti lähtöpaikasta etsittyyn kohteeseen on muodostunut. Linkki on epäsymmetrinen. Jos A:ta voidaan käyttää B:n löytämiseen, se ei välttämättä tarkoita, että B:n avulla A:n löytäminen olisi mahdollista. Kuipers [1982] huomauttaa, että reitin varrella olevien maamerkkien muotojen samankaltaisuus eri suunnista lähestyttäessä tukee symmetristä reitinmuodostusta. Yhtenä syynä asymmetrisyyteen voi olla näkymiin mahdollisesti liittyvät maamerkit: ne voivat näyttää erilaisilta tai olla näkymättömissä eri puolelta lähestyttäessä. Kuljettaessa reittiä takaperin, maamerkkien odotus edellyttää erilaisten näkymien havainnoimista. Myös reitin varrella olevien kohteiden etäisyydet voivat tallentua kognitiiviseen karttaan asymmetrisesti. Tämä ilmenee esimerkiksi siinä, että ihmiset saattavat arvioida etäisyyden A:sta B:hen erimittaiseksi kuin etäisyyden B:stä A:han.

Kognitiivinen kartta on malli ihmisen tilaan liittyvän tiedon esittämiselle. Se tarjoaa mahdollisuuden käsittää kuinka ihminen omaksuu reittejä. Kirjallisuudessa tätä mallia käytetään usein juuri ihmisen tilanhahmottamiskyvyn tutkimiseen [Hunt & Waller, 1999; Kuipers, 1982], mutta mallia hyödynnetään myös automaattista reittiopastusta käsittelevässä tutkimuksessa [Darken & Peterson, 2001; Raubal & Egenhofer, 1998; Raubal, 2001a, b; Burnett, 2000; Werner *et al.*, 1997; Dale *et al.*, 2004; May *et al.*,

2003]. Kognitiivisen kartan mukaisen tietorakenteen toteuttaminen automaattisesti ohjaa tietokonetta hahmottamaan tilaa ihmisen näkökulmasta. Mallin mukainen tietorakenne tukee ihmisille soveltuvien reittiopasteiden tuottamista.

2.2.3 Ihmisen reitin etsintä

Kohdissa 2.2.1 ja 2.2.2 olen perehtynyt ihmisen tilanhahmottamiskykyyn ja tilassa liikkumiseen liittyviin prosesseihin. Tässä kohdassa syvennyn tutkimaan tarkemmin sitä miten ihmiset hahmottavat reittejä liikkuessaan ja miten ihmiset muodostavat mielessään reittikuvauksia, jotka mahdollistavat reittien muistamisen. Ihmisen *reitin etsintää* (*route finding*) koskeva tutkimus keskittyy kognitiiviseen karttaan perustuvaan liikkumisen tarkasteluun [Raubal, 2001a]. Ihmisen tilaan liittyvän tiedon esittämiseen, oppimiseen ja käyttämiseen liittyvien kykyjen tunteminen on tärkeitä, kun päätetään mitä automaattisen reittiopastuksen tulee sisältää [Höök, 1991].

Reitin etsintä ja liike liittyvät läheisesti toisiinsa havaintojen ja kognitiivisen kartan muodostamien assosiatiivisten linkkien vuorovaikutuksessa, jota kutsutaan *navigaatioksi*. Navigaation vuorovaikutus perustuu kuvassa 3 esitettyyn havaintojen ja liikkeen väliseen suhteeseen, jossa havaintojen tuottamat näkymät johtavat liikkumiseen liittyvien päätösten tekemiseen ja liike uusien havaintojen syntymiseen. Reitin etsintä on navigoinnin kognitiivinen elementti. Se ei pidä sisällään minkäänlaista liikettä, vaan ainoastaan havaintoja hyödyntävät taktiset ja strategiset osat, jotka ohjaavat liikettä. Werner ja muut [1997] toteavat, että ihmiset käyttävät samanlaisia strategioita navigoimiseen sekä avoimessa että suljetussa tilassa, vaikka eroja tilan havainnoinnissa ja täten kognitiivisen kartan muodostuksessa saattaa ilmetä avoimien ja suljettujen tilojen välillä.

Käyttämällä kohdassa 2.2.2 esiteltyjä assosiatiivisia linkkejä Kuipers [1982] määrittelee mallin prosessista, jonka avulla ihminen oppii uuden reitin havaintojen avulla. Mallia hän kuvaa seuraavasti: Aloitetaan olettamalla, että reittiä etsivällä ihmisellä ei ole lainkaan kognitiivista tilallista kuvausta eikä edes tietoa sellaisista käsitteistä kuten paikka tai reitti. Oletetaan, että hänen tekemänsä havainnot koostuvat sarjasta aistivaraisia ja motorisia kuvauksia, *näkymiä* (*view*) ja *toimintoja* (*action*). Näkymät voivat olla muistiin tallennettuja yksittäisiä tai monimutkaisia prepositionaalisia kuvauksia. Näkymillä voidaan tarkoittaa näköaistilla havainnoitavien aistimusten lisäksi

myös muita aistein havaittavia kokonaisuuksia ympäristöstä (kohta 2.1.1). Toimintoja on kahta eri tyyppiä: *kierto (rotate)* tarkoittaa kiertoliikkeestä syntynyttä kulmaa ja *etäisyys (travel)* tietoa kuljetusta matkasta [Kuipers, 1982]. Kuipersin [1982] mukaan näyttää siltä, että ihmiset käyttävät hyvin vähän hyväkseen tietoa siitä, että näkymät muuttuvat jatkuvasti heidän liikkueessaan tilassa.

Ihmisen edetessä suunnittelemaansa reittiä pitkin hän luo assosiatiivisen linkin jokaisen reitin varrella olevan näkymän ja toiminnon välille. Assosiatiiviseen linkkiin liittyvää näkymää ja toimintoa säilytetään mielessä siihen asti, kun saavutaan seuraavaan päätöksentekokohtaan (kohta 2.1). Nyt voidaan luoda linkki uuteen näkymään, johon saavuttiin kuvassa 3 esitetyn edellisen näkymän ja toiminnon pohjalta. Tämä toinen linkki tukee seuraavaksi vastaan tulevien kohteiden odottamista. Ihmisellä voi jo etukäteen olla oletuksia siitä, millaisen hän vielä aistiensa ulottumattomissa reitillä olevan ympäristön odottaa olevan (kohta 2.2.1). Reitin lähtöpisteestä päätepisteeseen johtava joukko assosiatiivisia linkkejä muodostaa täydellisen kuvauksen reitistä. Tällaisen reitin ihminen voi mielessään kulkea alusta loppuun. Reitti on asymmetrinen, sillä siihen liittyvät linkit voidaan käydä läpi alusta loppuun, ei välttämättä lopusta alkuun (kohta 2.2.2).

Kuipersin [1982] mukaan *reittikuvaus (route description)* käsittää sarjan operaatioita joukkona edellä kuvattuja aistimuksia ja toimintoja sekä näiden välisiä assosiatiivisia linkkejä. Reittikuvaus syntyy kartuttamalla kognitiiviseen karttaan näkymiä ja toimintoja koskevaa informaatiota kuljettaessa kohti etsittyä kohdetta. Reitillä varrella olevaa paikkaa koskeva kuvaus voi koostua yhdistetyistä näkymistä, jotka on linkitetty toimintojen avulla. Toiminnot tässä tapauksessa olisivat kiertoja paikan ympärillä. Reitillä varrella olevat päätöksentekokohdat liittyvät kohteiden verkoksi niitä yhdistävien *polkujen (path)* avulla. Polku määritellään valitsemalla kaksi näkymää joita yhdistää liikumista käsittävä toiminto. Kuipersin [1982] mukaan ihminen, joka keskittyy täydellisen reittikuvauksen rakentamiseen mielessään, on enemmän poikkeus kuin sääntö ja muistuttaa [1977], että kognitiivisen kartan muodostuminen vaatii aikaa. Usein paikkaan tai reitin kulkemiseen täytyy liittyä useita kokemuksia ennen kuin se tallentuu osaksi kognitiivista karttaa. Reittikuvauksen epätäydelliseen muodostumiseen voivat johtaa esimerkiksi monet muut yhtäaikaaisesti käynnissä olevat prosessit [Kuipers, 1977, 1982]. Ihmisen aistit tuottavat jatkuvasti prosessoitavaa tietoa, jonka käsittely

saattaa viedä huomion toisaalle aiheuttaen vikoja, puutteita ja vääristymiä reittikuvaukseen. Puutteellisen kuvauksen syntymiseen voi olla syynä myös vaikeasti hahmotettavat kohdat reitillä. Useat perättäiset ja monivaiheiset käännökset, joiden lopputuloksena on suuria muutoksia reitin suunnassa vaikeuttavat suuresti reitillä pysymistä [Lynch, 1960]. Sisätilareittiopastuksen kannalta olennainen opastusinformaatio tukee mahdollisimman hyvin kognitiivisen kartan muodostumista ja täten lisää tuntemattomassa tilassa navigoivan ihmisen mahdollisuuksia hahmottaa ympäristönsä, havaita tästä ympäristöstä opastuksessa käytettyjä elementtejä ja löytää näiden avulla etsimänsä kohde.

Kuipers [1982] toteaa, että heikentyneissä olosuhteissa reittikuvaus muodostuu vain sellaisista assosiatiivisista linkeistä, joissa näkymä johtaa toimintoon. Tällaiset linkit eivät tuota assosiatiivisia linkejä uusista näkymistä mahdollistaen reitin alusta loppuun käsittävän ketjun muodostumista edellä kuvaamalla tavalla. Puutteellisen reittikuvauksen avulla ihminen voi löytää reitin, mutta sisäinen näkymä reitistä kokonaisuutena jää syntymättä eikä maamerkkien ennakoiminen edellä kuvaamalla tavalla ole mahdollista. Näin käy siksi, että assosiatiivisia linkejä ei voi luoda edeltä, vaan niiden syntyminen edellyttää aistimuksen tuottamaa näkymää. Tätä Kuipers [1982] kutsuu *resurssirajoituksista johtuvaksi alentuneeksi suoritukseksi (graceful degradation of performance under resource limitations)*. Osittain rakennettu reittikuvaus voi silti olla mielekäs ja hyödyllinen, sillä puutteellisenakin se tehostaa reitin oppimista. Tilanteessa jossa resursseja on käytössä rajoitetusti, havaintoja voidaan sulauttaa reittikuvaukseen pienissä osissa. Näin jokainen osa tekee tietämyksestä tarkoituksenmukaisempaa.

Yksittäisten osien kartuttaessa tietämystä, siitä tulee jatkuvasti käyttökelpoisempaa. Edellä kuvatun mallin avulla voidaan päätellä mitä osia reitistä tietämys kattaa ja mitä resursseja tarvitaan, jotta puutteellisia osia reitistä voitaisiin täydentää. Kuipersin [1982] kuvaama tiedonprosessointimalli osoittaa, että on mahdollista kulkea ympäristössä, vaikka osa reitistä olisi kulkijalle epäselvä. Tämä ilmenee esimerkiksi tilanteissa, joissa ihminen pystyy saattamaan reittiä kysyvän perille, mutta ei osaa neuvoa reittiä etsittyyn kohteeseen.

Liikenteessä liikkumiselle on määritelty tarkat säännöt. Tästä syystä tieverkostossa liikkuvaa ihmistä pyritään tukemaan opasteilla, joiden merkityksen tuntemisen oletetaan olevan yleissivistystä. Myös monimutkaisissa julkisissa rakennuksissa, kuten lentokentillä ja sairaaloissa liikkuville ihmisille pyritään usein tarjoamaan opastusta, sillä navigoinnin kannalta keskeisen reittikuvauksen muodostumista tukemaan tarvitaan ympäristöön ärsykeitä. Sisätiloissa navigoimisen yhtenä ongelmana on yhtenevien, opastukseen liittyvien käytäntöjen puuttuminen. Opastukseen ei ole yleisessä tiedossa olevia merkistöjä kuten tieverkostossa, joten sisätilassa navigoivan ihmisen täytyy omaksua reittiopastusmekanismit reittiä etsiessään ja luottaa ymmärtävänsä niiden merkityksen oikein. Hunt ja Waller [1999] toteavat, että ihmiset jotka seuraavat kylttejä ja vastaavia merkkejä monimutkaisissa rakennuksissa löytääkseen perille, suoriutuvat tehtävästä nopeammin kuin karttoja lukevat reitin etsijät. Kartan käyttäminen ei ole helppo tehtävä, sillä sen lukeminen edellyttää ihmiseltä kognitiivisia prosesseja [Höök, 1991], kuten kaksiulotteisen kartan projisoimista kolmiulotteiseen reaali-ilmaan ja oikean suunnan hahmottaminen kartan avulla. Nämä ovat välttämättömiä lähtötietoja (kohta 2.2.1) reitin etsinnän mahdollistamiseksi [Darken & Peterson, 2001].

Usein reitti tai paikka tulee ihmiselle tutuksi ja voidaan integroida osaksi kognitiivista karttaa vasta useiden näihin liittyvien kokemusten jälkeen. Tähän ei ole sisätilareitin etsinnässä aikaa, sillä opastettava on todennäköisesti rakennuksessa vieraileva henkilö, jolla ei ole aikomusta oppia tuntemaan ympäristöä tarkemmin. Hän tarvitsee sen ainoastaan informaation, joka on välttämätöntä perille löytämisen kannalta.

2.2.4 Ihminen reittiopasteen vastaanottajana

Ihmisen tapaa hahmottaa ympärillään olevaa tilaa on tutkittu esimerkiksi sen perusteella miten reittiopastusta annetaan puheen, eleiden ja piirrosten avulla. Yhtenä tarkoituksena reittiopastustapojen tutkimuksessa on selvittää, kuinka eri ihmisten antamista reittiopasteista voidaan tunnistaa yhteneviä rakenteita ja kuinka näitä rakenteita voidaan yleistää ihmisen reittiopastusmenetelmää kuvaavaksi malliksi. Toimivan mallin avulla ihmisen tarpeisiin vastaavia reittiopasteita voidaan tuottaa automaattisesti.

Streeter ja muut [1985] vertailivat kolmea erilaista tapaa tarjota reittiopastusta: luonnolliseen kieleen perustuvan puheen avulla, kartan avulla ja kahden edellisen tavan

yhdistelmällä. He havaitsivat, että pelkän kielen avulla esitetyt ohjeet antoivat parempia tuloksia kuin muut tavat. Koehenkilöt, jotka saivat ohjeet luonnollisen kielen avulla, tekivät 70 % vähemmän virheitä, ajoivat lyhyemmän matkan ja löysivät kohteensa nopeammin oudossa ympäristössä kuin ne, jotka käyttivät karttaa ja puheopasteita tai pelkkää karttaa. Erityisesti tilaa huonosti hahmottavat ja siinä heikosti navigoivat ihmiset tukeutuivat täysin kielen välityksellä annettuihin ohjeisiin.

Puhe on luonnollisen kielen esittämiseen yleisesti käytetty vaihtoehto reittiopasteen välittämiseen [Höök, 1991; Streeter *et al.*, 1985; Denis *et al.*, 1999; Tversky & Lee, 1997, 1999]. En perehdy tiedonsiirtokanavan tarkasteluun, vaan tutkin luonnollista kieltä reittiopasteen esittämisessä, johon se on havaittu tehokkaaksi [Tversky & Lee, 1999; Denis *et al.*, 1999]. Höökin [1991] mukaan luonnollista kieltä sisältävällä opasteella kuvattu tilallinen informaatio, jossa kohteille annetaan nimiä, on ihmisille helpompaa omaksua kuin kartan avulla esitettävä informaatio. May ja muut [2003] huomauttavat, että jalankulkijoille reittiopastusta tarjoaviin sovelluksiin keskittyvässä tutkimuksessa opastusta tarjotaan käännös kerrallaan luonnollisen kielen avulla eikä karttapohjaisesti. Puhepohjaisen reittiopastuksen koetaan tukevan tehokkaammin ihmisen luonnollisia navigoimisstrategioita.

Karttaa navigoinnin apuna käyttävän ihmisen täytyy hallita kaksiulotteisen esityksen skaalaaminen kolmiulotteiseen reaali maailmaan, jotta hän pystyy päättämään oma sijaintinsa ja suuntansa [Darken & Peterson, 2001]. Lisäksi kartat antavat erityisesti kokemattomalle käyttäjälle helposti liikaa informaatiota, jonka seurauksena hän ei pysty erottamaan perille löytämisen kannalta olennaista informaatiota. Karttojen ymmärtäminen edellyttää niissä käytettävän symbolikielen ymmärtämistä sekä kohdassa 2.2.3 mainittujen prosessien läpikäymistä. Kartassa esitetyt kohteet eivät välttämättä näytä samalta reaali maailmassa ja näin ollen kartanlukija saattaa hämmentyä ja eksyä reitiltään. Luonnolliseen kieleen perustuvilla reittiopasteilla ongelma voi olla päinvastainen: ne eivät tarjoa mitään yleiskuvaa ihmistä ympäröivästä maailmasta. Puheen avulla esitetty luonnollisen kielen muotoinen reittiopaste kuormittaa aikaan sijoittuvan luonteensa johdosta ihmisen kognitiivisia resursseja, jotka navigoidessa muutenkin joutuvat koetukselle (kohdat 2.2.1 - 2.2.3). Puheen välityksellä käytävään vuorovaikutukseen liittyy myös muita ongelmia: Kray ja muut [2003] huomauttavat, että ongelmana puhutuissa reittiopasteissa on niiden toteava luonne: opastettava haluaa tutkia

saamaansa opastetta ja esittää siihen liittyviä kysymyksiä dialogissa, eikä passiivisesti vastaanottaa kuulemaansa vailla mahdollisuuksia tarkennuksiin ja kysymyksiin.

2.3 Luonnollinen kielen tuottaminen

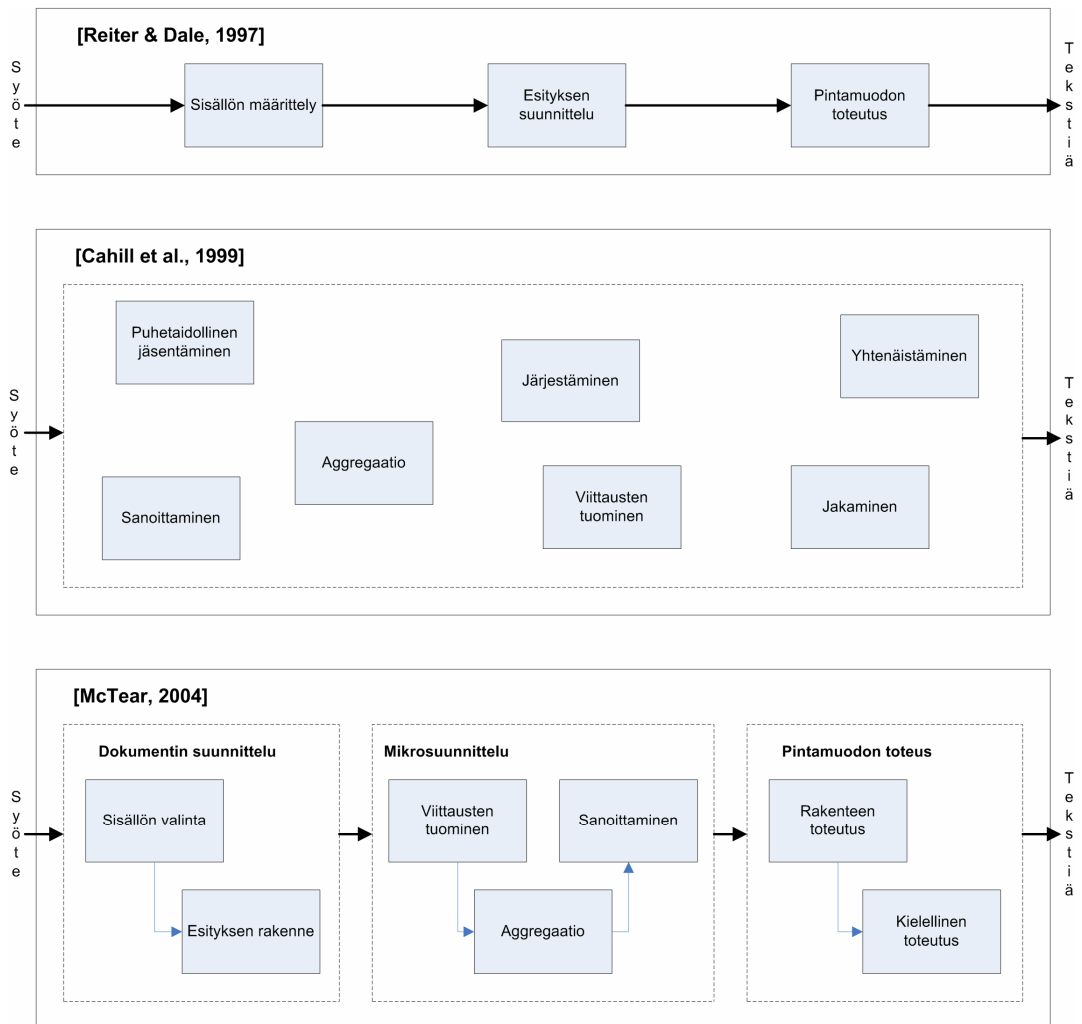
Edellisessä kohdassa käsittelin ihmisen tilanhahmottamiseen ja navigointiin liittyviä kykyjä ja sitä kuinka näitä kykyjä voidaan hyödyntää luonnollisen kielen välityksellä tapahtuvassa reittiopastuksessa. Tässä kohdassa paneudun luonnollisen kielen tuottamiseen useista vaiheista koostuvana prosessina. Tutustun menetelmiin, joita käyttämällä informaatio on puettavissa sanoiksi sekä jaoteltavissa että järjestettävissä ymmärrettävään rakenteeseen siten, että lopputuloksena on kielellisesti sujuva esitys, jonka sisältö vastaa luonnollisen kielen avulla tapahtuvan vuorovaikutuksen tarpeisiin.

Vuorovaikutteisen tietokonesovelluksen tulee ymmärtää käyttäjältä saatua syötettä ja kyetä muuntamaan informaatiota ihmisen ymmärtämään muotoon. Informaatio voi koostua tietokantahakujen tuloksista, numeerisesta tai sarjallisesta tiedosta. Informaation tarkoituksena on antaa ohjeita jonkun tehtävän suorittamiseen McTear [2004]. Koska ihmisen ja tietokonesovellusten tapa säilyttää ja käsitellä informaatiota eroavat toisistaan, tulee sovelluksen kyetä muuntamaan ihmiselle esitettävä informaatio sellaiseen muotoon, että sen sisältö on ihmiselle ymmärrettävissä. Tähän tehtävään tarvitaan luonnollista kieltä tuottava systeemi (*natural language generation*), josta tässä tutkielmassa tästä eteenpäin käytetään lyhennettä NLG. Tämä systeemi muuttaa sovelluksen keräämää informaatiota luonnollisen kielen muotoon siten, että esitettäessä informaation sisältö ei muutu [Channarukul, 1999]. NLG käsittää useita peräkkäisiä tai rinnakkaisia prosesseja toteutustavasta riippuen. Seuraavissa kohdissa esittelen näitä prosesseja yksityiskohtaisemmin.

2.3.1 Luonnollista kieltä tuottavien järjestelmien arkkitehtuureista

Karkeasti luonnollisen kielen generointi koostuu sisällön määrittelystä, sen syntaktisesti oikeaoppisesta suunnittelusta ja ihmiselle helposti ymmärrettävän esityksen muotoilusta [McTear, 2004]. Luonnollisen kielen tuottamisprosesseja voidaan toteuttaa useilla eri tavoilla. Vaihtelua eri toteutustapojen välillä ilmenee sekä luonnollisen kielen tuottamisen jaottelussa aliprosesseihin että prosessien välisen tiedonsiirron toteutustavoissa.

Luonnollisen kielen tuottaminen vaatii huolellista paneutumista silloin, kun käyttäjälle annetaan puhedialogin välityksellä monimutkaista ja runsaasti kognitiivisia resursseja vaativaa informaatiota. Luon tässä kohdassa katsauksen kolmeen eri tavalla toteutettuun luonnollista kieltä tuottavaan systeemiin. Olen valinnut esimerkkitaupukset niiden toisistaan poikkeavien toteutustapojen perusteella. Toteutustavat vaihtelevat niin prosessijaon kuin tiedonsiirron suhteen.



Kuva 4. NLG-arkkitehtuureja.

Reiter ja Dale [1997] esittelevät mallin, jossa tiedonsiirto on toteutettu *putken (pipeline)* avulla siten, että luonnollisen kielen tuottamiseen tarvittavat prosessit toimivat ennalta sovitussa järjestyksessä ja välittävät tuloksensa seuraavalle prosessille, kuten kuvasta 4 ilmenee. Cahill ja muut [1999] esittelevät putkimallille vaihtoehtoisen *funktionaalisen mallin (functional model)*, jossa tiedonsiirto eri prosessien välillä tapahtuu yhdenmukaisella tavalla, eikä sovitua järjestystä prosessien suoritusjärjestykselle ole

määritelty, vaan prosessit voivat toimia vapaammassa järjestyksessä yhdenmukaista sisäistä tiedonsiirtoa hyödyntäen, kuten kuvasta 4 käy ilmi. NLG:n tulee sisäisen tiedonsiirron lisäksi ottaa kantaa siihen, kuinka se vastaanottaa syötteitä ja millaisia tulosteita se tuottaa. Ensimmäisen vaiheen syöte on luonnollisesti sovelluskohtainen ja viimeisen vaiheen tuloste on luonnollisen kielen muotoista tekstiä, joka voi myös sisältää merkkiauskiehellistä syntaksia [Reiter & Dale, 1997].

Luonnollista kieltä tuottavien systeemien rakenne vaihtelee tiedonsiirtoon liittyvien erojen lisäksi myös prosessijaottelun suhteen, kuten kuvasta 4 ilmenee. Reiter ja Dale [1997] jakavat NLG:n prosessit kolmeen ryhmään: *sisällön määrittelyyn (content determination)*, *virkkeiden suunnitteluun (sentence planning)* ja *pintamuodon toteutukseen (linguistic realisation)*. Cahill ja muut [1999] tarkastelivat 19 NLG-arkkitehtuuria Reiterin ja Dalen [1997] esittämää prosessijakoa vasten. He olivat tyytymättömiä tämän prosessijakomallin kykyyn kuvata luonnollisen kielen tuottamisprosesseja. He jakavat NLG:n kuvan 4 mukaisesti seitsemään aliprosessiin: *sanoittamiseen (lexicalisation)*, *aggregaatioon (aggregation)*, *puhetaidolliseen jäsentämiseen (rhetorical structuring)*, *viittausten tuomiseen (referring expressions)*, *järjestämiseen (ordering)*, *jakamiseen (segmentation)* ja *yhtenäistämiseen (coherence)*. Tätä NLG-arkkitehtuuria he nimittävät funktionaaliseksi malliksi.

McTearin [2004] esittelemä arkkitehtuuri yhdistelee kahden edellisen ominaisuuksia ja muokkaa niitä edelleen. Tässä mallissa NLG-arkkitehtuuri on jaettu kolmelle päätasolle: *dokumentin suunnitteluun (document planning)*, *mikrosuunnitteluun (microplanning)* ja *pintamuodon toteutukseen (surface realisation)* [McTear, 2004]. Dokumentin suunnittelu tarkentuu *sisällön valinnaksi (content selection)* ja *esityksen rakenteeksi (discourse structure)* ja mikrosuunnittelu taas viittausten tuomiseksi, aggregaatioksi ja sanoittamiseksi (*lexical selection*) sekä pintamuodon toteutus kuvassa 4 esitetyllä tavalla *rakenteen toteutukseksi (structure realisation)* ja *kielelliseksi toteutukseksi (linguistic realisation)*. Seuraavissa kohdissa perehdyn tarkemmin NLG:n prosesseihin kuvaillen sekä vertaillen edellä kuvattua kolmea arkkitehtuurimallia.

Kantrowitz ja Bates [1992] jakavat NLG:t putki- ja *välilehdellisiin (interleaved)* malleihin niiden sisäisen tietoliikenteen perusteella. Kuten edellä olen kuvannut, putkimalli-arkkitehtuurissa kaikki päätökset saatetaan loppuun ennen kuin tekstiä voidaan

realisoida. Tällainen arkkitehtuuri on käsitteellisesti yksinkertainen, sillä sen tehtävät on loogisesti jaettu omiksi kokonaisuuksikseen. Kantrowitzin ja Batesin [1992] mukaan tällaisissa arkkitehtuureissa informaatiovirta moduulien välillä on liian rajoitettua. Tämä näkyy esimerkiksi siinä, että suunnittelukomponentit eivät ole tietoisia kielen syntaksissa olevista mahdollisuuksista ja puutteista, joka voi johtaa siihen, että rajoitteet tekstin realisointivaiheessa tekevät mahdottomaksi sopivan ilmauksen käyttämisen käsitteestä. Tällaisessa tapauksessa tekstisuunnitelmaa ei voi realisoida eikä myöskään suunnitella uudelleen, sillä realisointikomponentti ei voi keskustella suunnittelukomponentin kanssa. Tämä voi johtaa tekstiin, joka on yksitoikkoista ja kömpelöä.

Kantrowitz ja Bates [1992] huomasivat välilehdellisen arkkitehtuurin prosesseja tutkiessaan, että suunnittelukomponentit käyttävät sisältöä valitessaan samankaltaisia menetelmiä kuin realisointikomponentit valitessaan rakennetta sisällön esittämiseksi. He esittelevät integroidun arkkitehtuurin mahdollistaakseen joustavampaa informaatiovirtaa tekstintuottamisen eri vaiheiden välille. Integroidussa arkkitehtuurissa prosessit käyttävät samaa kaavaa suorittaessaan tehtävänsä. Koska informaation esitystapa integroidussa arkkitehtuurissa on sama kaikilla tasoilla, kaikki prosessit voivat olla vuorovaikutuksessa käyttäen samaa menetelmää tiedonsiirtoon. Ainoat erot suunnittelu- ja realisointiprosessien toiminnassa ilmenevät prosessien sisäisessä tiedonmuokkauksessa. Yhdenmukainen esitystapa informaatiolle mahdollistaa komponentin toiminnan ja tavoitteiden muuttamisen tuottamisprosessin aikana, sillä uusien tavoitteiden mukainen informaatio voidaan palauttaa suunnittelu- ja realisointiprosesseissa takaisin alemmille tasoille.

2.3.2 Dokumentin suunnittelu

Dokumentin suunnittelu on ensimmäinen tehtävä luonnollisen kielen tuottamisessa. Se koostuu kahdesta osasta: sisällön ja keskustelun rakenteen määrittämisestä. Sisällön määrittämisessä rajataan tilanteen kannalta epäolennainen informaatio pois luonnollisen kielen tulosteesta, jotta vain olennainen ja välttämätön informaatio jää esitettäväksi. Reiterin ja Dalen [1997] mukaan tämä erottelu käytössä olevasta datasta tehdään lähinnä suodattamisella ja yhteenvedoilla. Esimerkiksi pitkien listojen esittäminen luonnollisen kielen avulla tulisi välttää [McTear, 2004]. Sanoittamisessa valitaan sanat tai lauseet, joita tarvitaan sisällön kuvaamiseksi luonnollisen tekstin avulla [El-

hadad, 1993]. Sanojen valinta perustuu pragmatiikkaan eli kontekstiin liittyvän käytön sääntöihin, tyyliin ja käyttäjän mallinnukseen [Elhadad, 1993]. Sanoittaminen tehdään usein määrittelemällä käytettävissä olevat sanat edeltä käsin siten, että kieleen sallitaan vaihtelua synonyymien muodossa variaation lisäämiseksi [Reiter & Dale, 1997].

Sisällön ja rakenteen määrittäminen ovat voimakkaasti sidoksissa NLG:tä käyttävän sovelluksen toimintaan: rakenne voi olla helposti havaittavissa esimerkiksi opastussovelluksissa, mutta asiantuntijajärjestelmissä yksinkertainen kaavamainen rakenne saattaa olla liian joustamaton luonnollisen kielen tuottamiseen. Sisällön ja sen rakenteen määrittämisen tuotteena on tekstisuunnitelma, jonka tulee sisältää esitettävä tieto oikein järjestettynä [Channarukul, 1999].

Sisällön määrittämisestä on tuloksena viestejä, jotka ilmaistaan jonkun muodollisen kielen avulla [Reiter & Dale, 1997]. Tämän kielen tehtävänä on lajitella viestin sisältö kokonaisuuksiin, käsitteisiin ja näiden välisiin suhteisiin. Keskustelun rakenteen määrittäminen tulkitsee edellä mainitulla kielellä tuotettua sisältöä ja käsittelee sitä niin, että valittu sisältö esitetään kieliopillisesti johdonmukaisessa muodossa. Viestin rakenteen määrittämisen tarkoituksena on tukea viestin ymmärrettävyyttä ja se on keskeisessä osassa useista fraaseista koostuvissa viesteissä. Joillakin viestityypeillä on säännöllinen rakenne: esimerkiksi ohjeissa toistuvat usein sanat kuten ”ensimmäinen”, ”seuraava” ja ”lopuksi”. Toistuvia sanoja ja rakenteita sisältäviä tekstejä tarkastelemalla voidaan tekstin tuottamiseen määritellä kaava. Kaavassa määritellään tekstin peruskomponentit käyttäen elementtejä kuten ”identifiointi”, ”vastaavuus” ja ”vertailu”, jotka kuvaavat sitä kuinka teksti järjestetään sarjallisesti [McTear, 2004]. Cahill ja muut [1999] käsittelevät viestin rakenteen määrittelyä vielä monimutkaisemmin kuin edellä. Heidän esittämänsä puhetaidollisesta jäsentämisestä tekevän komponentin tehtävänä on käsitellä tekstin eri elementtien välisiä suhteita.

Tilassa olevia kohteita tulee kuvailla sanallisesti perustasolla [Tversky & Lee, 1997]. Esimerkiksi luokitteluihin perustuvat kuvaukset edellyttävät kohteiden tarkkaa tuntemusta. Tverskyn ja Leen [1997] mukaan perustasolla ihmisillä on kohteista eniten tietoa ja sillä tasolla he luokittelevat havaitsemansa kohteet mieluiten. Tällä tasolla kohteita määritellään seuraavasti: tuoli, ruuvimeisseli, omena ja sukka mieluummin kuin huonekalu, työkalu, hedelmä ja vaate tai nojatuoli, ristipääruuvimeisseli, herkullinen

omena tai nilkkasukka. Perustasolla kohteet ovat yleensä muodoltaan yhteneviä, vaikka eivät olisikaan samankokoisia, samanvärisiä tai valmistettu samasta materiaalista. Nämä yhtenevät muodot erottavat niitä muista kohteista. Tuntemattomia kohteita ihmiset kuvailevat muodon, värin ja symmetrian avulla. Tverskyn ja Leen [1997] mukaan ihminen muistaa yleensä epämääräisenkin havainnon muodoltaan säännölliseksi ja symmetriseksi.

2.3.3 Esityksen suunnittelu

Tekstisuunnitelma on vielä tyyllisesti hiomaton ja sitä täytyy tarkentaa. Tämä on esityksen suunnittelijan [Reiter & Dale, 1997] tai mikrosuunnittelijan [McTear, 2004] tehtävä. Cahill ja muut [1999] jakavat tämän tehtävän viittausten tuomiseen, aggregaatioon ja järjestämiseen.

Luonnollisessa kielessä aikaisemmin esiteltyihin käsitteisiin ja kokonaisuuksiin viitataan pronomineilla turhan toiston välttämiseksi. Kokonaisuuksien korvaaminen viittauksilla on prosessi, joka huolehtii pronomien käytämisestä tai fraasien korvaamisesta semanttisesti ja funktionaalisesti samanarvoisilla, mutta tilanteeseen sopivammilla fraaseilla. Prosessina viittausten tuottaminen muistuttaa sanoittamista, mutta eroaa tästä siinä, että fraasien valinnassa käytetään hyväksi myös edeltävän keskustelun kontekstia eli diskurssihistoriaa ja erityisesti aikaisemmin esiteltyjä käsitteitä ja kokonaisuuksia [Reiter & Dale, 1997]. Myös Cahill ja muut [1999] esittävät, että viittausten tuominen vastaa sanoittamista. Heidän mielestään se voi vaihtoehtoisesti tarkoittaa korkeammalla tasolla tapahtuvaa päätöksentekoa kokonaisuuksien ja käsitteiden korvaamisesta pronomineilla. Tässä yhteydessä ei välttämättä määritellä tilanteeseen parhaiten sopivaa pronominia, vaan se voidaan valita vasta myöhemmin.

Reiter & Dale [1992] esittävät joitakin sääntöjä, joita ihmiset noudattavat tuodessaan viittauksia luonnollisen kieleen. Heidän mukaansa ihmisten välisessä vuorovaikutuksessa käytetään adjektiiveja määriteltäessä kuvailtavan kohteen kokoa, muotoa tai väriä. Luokitteluun perustuvia viittauksia tulisi välttää, sillä ne edellyttävät liian pitkälle meneviä oletuksia kohdehenkilön tietämyksestä liittyen käsiteltävään aihepiiriin. Luokittelun sijaan he pitävät luotettavampana tapana kuvailla kohteita adjektiivien avulla. Esimerkiksi kuvauksia kuten: ”pieni koira” tai ”musta koira” pidetään parempina kuin ”naaraskoira”. Ihmisillä on tapana puhuessaan käyttää suhteellisia adjektiiv-

veja, koska niiden ymmärtäminen on kuulijalle helpompaa. Kohteita tulee kuvata vain riittävällä määrällä adjektiiveja, sillä turhat määrittelyt vaikeuttavat kohteiden tunnistettavuutta [Reiter & Dale, 1992].

Aggregaatiota suorittava prosessi päättelee kuinka viestin sisältö kootaan sopivan kokoisiksi fraaseiksi, lauseiksi ja virkkeiksi, jotta tekstin päällekkäisyyttä voidaan vähentää [Channarukul, 1999], jolloin tuloksena on sujuvampaa ja johdonmukaisempaa kieltä [Dale *et al.*, 2004]. Aggregaatiossa on kyse viestin sisällön puhetaidollisesta jäsentämisestä: informaatio-osien välille etsitään retorisia suhteita ja päätetään miten nämä informaatio-osat voidaan yhdistää tekstin rakenteeseen [Cahill *et al.*, 1999]. Reiter ja Dale [1997] huomauttavat, että aggregaatio ei aina ole välttämätöntä: yksittäiset viestit oikeassa järjestyksessä esitettynä välittävät halutun informaation, mutta aggregaatio parantaa kielen sujuvuutta ja luettavuutta. Viestin sisällön virkkeisiin jakamisen lisäksi Cahill ja muut [1999] esittävät, että aggregaatiota täydentäisi järjestäminen, jonka tehtävänä on huolehtia virkkeen sisäisen rakenteen järjestämisen lisäksi kokonaisten virkkeiden esittämisjärjestyksestä päättäminen.

Viittausten tuomisen, aggregaation ja järjestämisen jälkeen esityssuunnitelma on muutettu virkesuunnitelmaksi, joka sisältää esitettävän tiedon jäsennettynä sopivan kokoiisiin virkkeisiin käyttäen pronomineja aikaisemmin esiteltyjen kokonaisuuksien kuvaamiseen. Suunnitelma pitää sisällään käytettävissä olevat sanat ja lauseopilliset rajoitteet niiden käyttämiselle [Channarukul, 1999].

2.3.4 Pintamuodon toteutus

Pintamuodon toteutus muuttaa esityksen suunnittelijan tuottaman virkesuunnitelman luonnollisesta kielestä koostuvaksi tekstiksi [Channarukul, 1999]. Tässä prosessissa teksti muokataan kielioppisääntöjen mukaiseksi. Tuloksena on kieliopillisesti ja muodollisesti oikeaoppista tekstiä [Reiter & Dale, 1997].

McTear [2004] jakaa pintamuodon toteutuksen kahteen aliprosessiin: rakenteen toteutukseen ja kielelliseen toteutukseen. Rakenteen toteutus edellyttää dokumentin rakenteen merkitsemistä. Kielellisessä toteutuksessa sisällön ilmaisemiseen tarvittavat sanat ja syntaktiset rakenteet valitaan luonnollisen kielen kielioppia käyttäen [Reiter & Dale, 1997]. Tämä pitää sisällään muun muassa sanojen taivutukseen ja sanajärjestyk-

seen liittyvät toiminnot [McTear, 2004]. Pintamuodon toteutuksen tuotteena on haluttu tiedon välittävä luonnollista kieltä käyttävä tekstiä. Pintamuodon toteutukseen käytetään vaihtoehtoisesti neljää menetelmää riippuen NLG:tä käyttävän sovelluksen tarpeista. Näitä ovat *esikirjoitettu (canned)*, *lomake- (template-based)*, *fraasi- (phrase-based)* ja *piirrepohjainen (feature-based)* teksti. Seuraavaksi kuvailen näitä kielen tuottamistapoja hieman tarkemmin.

Yksinkertaisimmillaan dokumentti koostuu esikirjoitetusta tekstistä, jolloin kielen tuottamisprosessi rajautuu lähinnä oikean esikirjoitetun tekstinkappaleen valintaan. Tässä tapauksessa NLG:llä on käytössä valmiita fraaseja, joita käytetään sopivissa tilanteissa. Esikirjoitettu teksti on helposti toteutettava vaihtoehto, mutta lopputulos on vaikeasti uudelleenkäytettävä ja suunnittelijan täytyy varautua kaikkiin mahdollisiin käyttötilanteisiin tuottamalla etukäteen kaikki tilanteiden käsittelyyn tarvittavat fraasit. [Channarukul, 1999]

Lomakepohjaisessa tekstintuottamisessa käytetään tekstikehystä, jonka pohjalta fraaseja voidaan dynaamisesti muodostaa. Lomaketta käytettäessä NLG:n suunnittelijan ei tarvitse varautua edeltä käsin kaikkiin tilanteisiin. Vain tekstin keskeisimmät kokonaisuudet ja rakenteet on täytettävä lomakkeisiin etukäteen. Näin voidaan säästää aikaa ja vaivaa suunnitteluvaiheessa [Channarukul, 1999]. Sanoittamisen sijaan sisällönmäärittelyn yhteydessä sovelluksen NLG valitsee lomakkeet, jotka soveltuvat kuvaamaan tilanteeseen sopivia käsitteitä ja kokonaisuuksia. Sanojen ja fraasien toistamista voidaan välttää käyttämällä useita malleja saman informaation esittämiseen. Lomakepohjainen tekstisuunnittelu sopii hyvin tilanteisiin, joissa lauseopillista vaihtelua on vähän.

Fraasi on sanajoukko, jonka ympärille lause tai virke rakennetaan luonnollisessa kielessä. Fraasipohjaiset tekstintuottamisjärjestelmät määrittelevät joukon yleisiä pohjia, jotka esittävät monenlaisia fraaseja luonnollisen kielen muodossa. Nämä yleiset pohjat liittyvät toisiinsa sääntöjoukon avulla. Säännöt asettavat rajat sille, kuinka osia fraasista korvataan toisilla fraaseilla tai sanoilla. Tällainen kielioppi kuvaa hierarkkisen tavan, jonka avulla sanoja yhdistellään fraaseiksi ja fraaseja virkkeiksi. Rakenteen jokaista osaa laajennetaan tarkemmaksi fraasirakenteeksi sääntöjen avulla. Fraasirakenteekielioppiin perustuva tekstin tuottaminen ei ole vaikeata, jos kielioppi on ra-

jattu. Kun kielioppi laajenee, tulee fraasirakenteiden suhteiden ylläpitämisestä työlästä. [Channarukul, 1999]

Piirre edustaa luonnollisessa kielessä tunnusmerkkiä, jolle voidaan määritellä tietty määrä mahdollisia arvoja. Esimerkiksi numero-piirre voi olla joko yksikkö- tai monikkomuodossa. Piirteen arvo ennustaa sanan muotoa ja lause- tai virkerakennetta. Esimerkiksi: jos virkkeen subjekti on yksikkömuodossa, tämä vaikuttaa myös virkkeen predikaatin taivutukseen. Piirrepohjaisissa tekstintuottamisjärjestelmissä jokainen kieliopin piirre kuvataan yksittäisellä arvolla. Piirteitä ovat esimerkiksi aikamuoto, lukumäärä ja persoona. Piirrepohjainen tekstintuottaminen toteutetaan käymällä läpi syöte ja keräämällä siitä piirrejoukko, joka soveltuu käsittelemään syötteen kaikki osat. Piirteiden kerääminen tapahtuu joko kulkemalla läpi *piirteervalintaverkkoa* (*feature selection network*) tai *yhtenäistämällä* (*unification*), kunnes syöterakenne on täysin päätetty jatkokäsittelyä varten. Piirrepohjaisen tekstintuottamisen suurin etu on, että se on helppo ymmärtää, sillä jokainen kieliopin piirre on kuvattavissa piirrerakenteena. Tätä rakennetta käytetään kontrolloimaan koko tuottamisprosessia. Lähestymistapa ei sovellu monimutkaisten kielioppien käsittelyyn, sillä niissä piirteiden välisten suhteiden ylläpitäminen käy työlääksi. Piirteiden lukumäärän lisääntyessä, syöterakenne muuttuu monimutkaisemmaksi kontrolloidakseen kieliopin jokaista näkökoh-
taa. [Channarukul, 1999]

2.4 Lopuksi

Tässä luvussa olen kuvaillut ympäristössä olevia kohteita, niiden ominaisuuksia sekä kohteiden välisiä suhteita ihmisen orientaatioon ja navigoimiseen liittyviä prosesseja havainnollistavasta näkökulmasta. Erityistä huomiota kiinnitin maamerkkeihin ja niitä määrittäviin ominaisuuksiin, johtuen maamerkkien keskeisestä merkityksestä ihmisen orientoituessa ja navigoidessa tilassa. Perehdyin kognitiivisen kartan luomiseen ja käyttämiseen liittyviin prosesseihin, sillä se on keskeisessä roolissa automaattisen reittiopastuksen toteutuksessa.

Luvun tarkoituksena on perehtyminen niihin seikkoihin, joiden huomioiminen on tarpeen ihmislähtöisen reittiopastuksen toteuttamiseksi. Ihmislähtöisyydellä tarkoitan intuitiivista lähestymistä reittiopastukseen eli ihmisen omien reitin etsintä ja opastustapojen tarkastelua niiden mallintamiseksi. Vaikka tässä tutkielmassa en ota kantaa

itse reittiopastuskäyttöliittymään, olen valinnut tarkastelunäkökulmaksi reittiopastuksen tuottamiselle luonnollisen kielen. Tästä syystä perehdyin myös luonnollisen kielen tuottamiseen liittyviin menetelmiin, jotta myöhemmin voin soveltaa tätä tietoa reittiopastukseen liittyvässä kontekstissa.

3 Reittiopastussovellusten ominaisuudet

Tässä luvussa perehdyn eri olosuhteisiin ja käyttötilanteisiin toteutettujen reittiopastussovelluksien ja -järjestelmien toimintaan sekä ihmisten väliseen reittiopastukseen tämän tutkielman kannalta keskeisten tekijöiden eli automaattiseen tilamallinnuksen, reitin etsinnän ja reittiopastuksen kannalta. Tutustun kirjallisuudessa dokumentoituihin tapoihin hahmottaa ympäristöä automaattisin menetelmin. Käsittelen myös reitin etsintää siltä osin kuin sillä on merkitystä tilamallinnuksen ja reittiopastuksen muodostamisen kannalta. Tämän jälkeen perehdyn reittiopasteiden sisältöön ihmisen reittiopastustarpeiden näkökulmasta. Lopuksi tarkastelen reittiopasteen muotoilemista luonnollisen kielen muotoiseksi esitykseksi.

3.1 Automaattinen esitys tilasta ja reitin etsintä

Kohdassa 2.2.2 esittelin kognitiivista karttaa, joka on automaattista tilamallinnusta koskevan tutkimuksen perusta. Kognitiivista karttaa käytetään määrittelemään ympäröivää tilaa koskevan esityksen tarpeita sisällön ja rakenteen osalta [Raubal & Egenhofer, 1998; Raubal, 2001a, b; Darken & Peterson, 2001; Burnett, 2000; Werner *et al.*, 1997; Raubal & Worboys, 1999; Dale *et al.*, 2004; May *et al.*, 2003]. Käsittelen ympäristössä olevien kohteiden ominaisuuksien ja kohteiden välisten suhteiden mallintamisen lisäksi myös reitin etsintää tällaisen esityksen pohjalta. Tilaa koskevan esityksen kuvaaminen on tässä tutkielmassa keskeistä, sillä sen sisältöön ja rakenteeseen vaikuttavat sekä reitin etsintään että reitin kuvailuun liittyvät tarpeet. Tilasta mallinnettavia kohteita tulee valita harkiten, sillä ympäristö on dynaaminen, jatkuva ja ennalta arvaamaton [Raubal, 2001b]. Tarkan esityksen laatiminen siitä on raskas ja aikaa kuluttava prosessi. Tilasta mallinnetaan vain reitin etsinnän ja sen kuvailun kannalta välttämättömiä ominaisuuksia, joita määrittelen seuraavaksi.

3.1.1 Reitin etsinnän kannalta keskeiset kohteet

Reittiopastuksen perustan, tilaa koskevan esityksen tulee sisältää kuvauksia tilassa olevista kohteista ja näiden välisiä suhteista [Kuipers, 1977]. Reitin etsinnän kannalta on välttämätöntä, että kohteet on sijoitettavissa ominaisuuksiensa perusteella tilan rakennetta mallintavaan tietorakenteeseen. Reittiopastusjärjestelmissä tietorakenteena käytetään yleensä painotettua verkkoa, jossa päätöksentekokohtat ja muut kohteet (kohta 2.1) merkitään solmuina ja kaarien painot puolestaan määräytyvät kohteiden

välisien välimatkojen kulkemiseen liittyvinä kustannuksina [Darken & Peterson, 2001; Duckham & Kulik, 2003; Raubal, 2001a; Raubal & Worboys, 1999].

Yksittäisten kohteiden lisäksi tilaa kuvaavaan esitykseen voidaan mallintaa myös suurempia kokonaisuuksia (kohta 2.1.4). Tällaisia voivat olla esimerkiksi käytävät, aulat ja muut avoimet tilat, joihin muut kohteet liittyvät. Kokonaisuuksilla voi olla edellä mainittujen ominaisuuksien lisäksi myös muita, kuten kauttakulkumahdollisuuksiin ja muihin kohteisiin yhdistettävyyteen ja tilan rakenteeseen liittyviä ominaisuuksia. Näiden ominaisuuksien avulla voidaan reitin etsinnästä rajata välittömästi ulos sellaiset alueet, joiden kautta kulkeminen ei ole mahdollista. Liu [1995] esittää tieverkostoon suoritettavan reitin etsinnän olevan tehokkaampaa, jos reittiä etsitään lähtöpisteen läheisyydestä suosien nopeimpia reittivaihtoehtoja eli moottoriteitä. Kohdepaikan lähettyviltä reitin etsintään hyväksytään myös pienempiä ja hitaampia teitä. Tilaa kuvaavaan esitykseen on siis mallinnettu etäisyyksien lisäksi muitakin ominaisuuksia, joiden avulla siihen voidaan suorittaa hakuja erilaisilla tarkkuuksilla. Näin reitin etsintää voidaan yksinkertaistaa ja tehdä siitä tarpeisiin vastaavampaa.

3.1.2 Sopivan reitin etsiminen tilaa kuvaavasta esityksestä

Tilaa koskevan esityksen tehtävä on toimia reitin etsinnän työkaluna ja reittiopasteen luonnollisen kielen sanaston lähteenä. Tilaa koskevan esityksen ja reittiopasteen suhdetta käsittelemme myöhemmin, mutta nyt perehdymme tilakuvauksen sisältövaatimuksia havainnollistavaan reitin etsintään.

Reitin etsintään verkkotietorakenteesta yleisesti käytettyjä menetelmiä ovat syvyys- ja leveyshaku, Dijkstra algoritmi ja *A-tähti-algoritmi* (A^* , *A star*), jotka kaikki soveltuvat kustannuksiltaan edullisimman reitin etsintään verkoksi mallinnetusta tilaa koskevasta esityksestä. Usein verkon kaarien läpi kulkemiseen liittyvillä kustannuksilla käsitellään matkaa solmujen välillä, mutta ihmisen reitin etsintään liittyvissä tarpeissa matkan pituus ei välttämättä ole keskeisin tekijä sopivaa reittiä valittaessa (kohta 2.2.3). Liu [1995] huomauttaa, että ihmisten toimiessa oppaina toisilleen, pyrkimyksenä ei yleensä ole tarjota ensisijaisesti lyhyintä, vaan helpoimmin omaksuttavaa ja kuvailtavaa reittiä kohteeseen. Hyvä opastaja pyrkii neuvomaan etsijän kohteeseen mahdollisimman pienellä määrällä käännöksiä, vaikka se toisi lisää matkaa reitille. Näin reittiä kuvaava opaste on lyhyempi, selkeämpi ja siten helpompi muistaa. Duck-

ham ja Kulik [2003] toteavat, että reitinetsintäalgoritmit pyrkivät minimoimaan reitin pituuden, eivät vähentämään sen esittämiseen liittyvää monimutkaisuutta. Heidän kuvaamansa algoritmi käyttää kuvaamisen helppoutta pituusmittojen sijaan kriteerinä reitin valintaan. Myös Raubalin ja Egenhoferin [1998] mukaan päätöksentekokohtien (kohta 2.1) määrä vaikuttaa reitin etsinnän vaikeuteen. Streeter ja muut [1985] puolestaan testasivat puheella annettujen ohjeiden vaikutusta ihmisten navigointiin ja havaitsivat, että ihmiset valitsivat pituudeltaan epäoptimaalisia reittejä, jos niihin saadut reittiopasteet olivat helpompia kuvata tai seurata.

Edellä mainitut lähteet osoittavat, että reitin pituus ei ole keskeisin tekijä ihmisen etsiessä reittiä tilassa, vaan reitin valintaan liittyy useiden tekijöiden yhteisvaikutus. Tästä syystä reitin etsinnässä tulee panostaa myös muiden kustannuksia aiheuttavien tekijöiden analysointiin. A-tähti-algoritmi mainitaan automaattista reittiopastusta käsittelevässä kirjallisuudessa usein, kun tutkitaan ihmisille ja erityisesti autoilijoille suunnattuja automaattisia reittiopasteita tuottavia systeemejä [Duckham & Kulik, 2003; Liu, 1995; Höök, 1991]. Syynä A-tähti-algoritmin yleiseen käyttöön on sen kustannuksia etukäteen arvioiva *heuristinen komponentti* (*heuristic component*). Sopivan reitin löytämiseksi tilakuvauksen kohteita täytyy analysoida ja vertailla niiden ominaisuuksien perusteella. Kuten sopivan reitin etsinnässä aina, olennaista on kustannustehokkaimman reitin valitseminen useiden vaihtoehtojen joukosta.

Luonnollisen kielen käyttämiseen perustuvassa reittiopastuksessa opasteen tuottamisella on vaikutusta myös reitin etsintään ja A-tähti-algoritmin heuristinen komponentti tarjoaa mahdollisuuden ottaa huomioon reittiopasteen kannalta keskeiset ominaisuudet jo sopivaa reittiä etsittäessä. Komponentin toiminta edellyttää tietorakenteen solmuilta ominaisuuksia, joiden perusteella solmuja voidaan vertailla reittiopastus- ja kulkemiskelpoisuuden näkökulmista. A-tähti-algoritmi tuottaa heuristisen arvioinnin perusteella vain yhden reitin alkupisteestä loppuun. Se siis yhdistää reitin etsintään ja sopivan reitin valintaan tarvittavien prosessien toiminnan. A-tähti-algoritmi kykenee reitillä etenemistä heuristisen komponentin avulla arvioidessaan vertailemaan valittavina olevien solmujen aiheuttamia kustannuksia suhteessa reitille jo valittujen solmujen ja kaarien aiheuttamiin kustannuksiin. Tästä ominaisuudesta on hyötyä, jos reittiä halutaan tarkastella sen osien lisäksi kokonaisuutena.

Valittujen kaarien aiheuttamien kustannusten vertailussa Höök [1991] kiinnittää huomiota reitin niihin liittyvien kustannuksien lisäksi myös niihin liittyviin solmuihin. Jos esimerkiksi jokin käytävä reitillä on tarkoitus kulkea päähän asti ennen seuraavaa käännöstä, tällaisia osuuksia tulisi hänen mielestään suosia reittiä valittaessa, sillä niistä voidaan laatia yksinkertaisempia opasteita.

Kohdassa 2.1 perehdyin ihmisen tapaan hyödyntää tilaa orientaation ja navigoimisen tukena erityisesti maamerkkeinä toimivia päätöksentekokohtia käyttämällä. Vaikka päätöksentekokohtien valinta reitin etsinnässä perustuu pääasiassa niiden välisten ominaisuuksien vertailuun, myös heuristinen vertailu reitin edeltäviin päätöksentekokohtiin on hyödyllistä. Reitin varrella saattaa olla kohteita, jotka ominaisuuksiensa perusteella muodostavat sanoin kuvailtavia joukkoja, joita voidaan käyttää reittiopastuksessa kuvailemaan tilan rakennetta. Tällaisten ominaisuuksien vertaileminen reitille jo valittujen päätöksentekokohtien ja valittavana olevien kandidaattien kesken voi osoittautua mielekkääksi.

3.1.3 Maamerkkien mallintamisesta

Kohdassa 2.1.1 osoitin aiempien tutkimusten perusteella, että maamerkit ovat keskeisessä roolissa ihmisten muodostaessa kognitiivista karttaa ympäristöstään. Maamerkkien määrittämiseen on syytä kiinnittää huomiota myös automaattisessa reittiopastuksessa, kuten monet tutkimukset osoittavat [Dale *et al.*, 2003; Darken & Peterson, 2001; Höök, 1991; Kray *et al.*, 2003; May *et al.*, 2003; Raubal & Winter, 2002]. Maamerkit toimivat luonnollisen kielen avulla toteutettavassa reittiopasteessa ihmiselle luontaisemman ja helpoimmin omaksuttavan reittiopasteen perustana. Toisaalta maamerkkiominaisuudet voivat toimia reitin etsintää suuntaavina tekijöinä, kuten edellisessä kohdassa esitin. Maamerkkiominaisuuksia tulee mallintaa siten, että niiden automaattinen vertailu on mahdollista. Tässä kohdassa perehdyn tarkemmin tapoihin, joilla maamerkkejä on mallinnettu reittiopastusta toteuttavissa järjestelmissä.

Raubal ja Winter [2002] määrittelevät maamerkkiominaisuuksia ja erityisesti menetelmiä niiden vertailuun ja kehottivat käyttämään useiden ominaisuuksien joukkoa määrittelemään kohdetta maamerkiksi yksittäisten ominaisuuksien sijaan. Olen listannut näitä ominaisuuksia ja niiden määrittelyyn käytettäviä menetelmiä taulukkoon 1 (kohta 2.1). Maamerkkien visuaalisten ja rakenteellisten ominaisuuksien mallintami-

nen on hankalaa niitä tarkastelevan osapuolen henkilökohtaisten ominaisuuksien ja havainnoinnin tarkastelukulman vuoksi. Silti taulukko osoittaa, että maamerkkiominaisuuksien mallintaminen vertailukelpoisten ominaisuuksien avulla on mahdollista.

Maamerkkien ominaisuudet riippuvat myös niiden luonteesta reittiin liittyvässä informaatiossa. Höök [1991] määrittelee reitin päätöskehän kuvaavan maamerkin, jota nimitän tästä eteenpäin *päätepistemaamerkiksi*. Sitä käytetään opastuksessa kohteena, jonka luokse käyttäjän tulisi pyrkiä. Tällainen maamerkki on hyödyllinen muun muassa reitin varrella olevien solmukohtien määrittelyyn. Hän esittää lisäksi reitillä kulkevista tukevan maamerkin, jota tästä eteenpäin nimitän *läpikulkumaamerkiksi*. Sitä käytetään opastuksessa tukemaan käyttäjän pysymistä reitillä käänneasteiden välisillä matkoilla. Läpikulkua tukevaa maamerkkiä tullaan reitillä edetessä tarkastelemaan useasta eri kuvakulmasta, joten sen tulee säilyttää tunnistettavuutensa kierroista (kohdasta 2.2.3) huolimatta. Päätepistemaamerkin tulee olla tunnistettava ainakin yhdestä kuvakulmasta katsottuna.

Maamerkkien ominaisuuksien määrittely vaihtelee käyttötarkoituksen mukaan. Autoilijoille suunnatuissa reittiopastusjärjestelmissä maamerkkeinä käytetään erilaisia tie- ja risteystyyppejä, joiden parametrusointi on suoraviivaista, sillä käyttäjien voidaan olettaa erottavan kokemuksen perusteella tyypit toisistaan. Lisäksi tieverkostossa käytetään hyväksi opasteita, joiden merkitysten oletetaan olevan autoilijoille tuttuja. Sisätiloissa vastaavia tunnettuja käytäntöjä ja tyyppejä ei ole, joten tilaa koskevaa esitystä laadittaessa maamerkit on määriteltävä tapauskohtaisesti. Tämä seikka rajoittaa mallinnettavien ominaisuuksien määrää ja pakottaa kompromisseihin määritettäessä arvoja ominaisuuksille. Maamerkkien määrittelyyn yleisellä tasolla liittyvät vaikeudet voivat olla syynä siihen, että tällaisia määrittelyjä on reittiopastusta koskevassa kirjallisuudessa vähän, vaikka maamerkkien käsittely kuuluu lähes poikkeuksetta jokaiseen aiheesta käsittelevään julkaisuun. Yleensä käsittely on joko pintapuolista tai käsiteltävään kontekstiin niin vahvasti sidottua, että se ei ole yleistettävissä, vaikka ihminen käyttää samanlaisia strategioita reitin etsimiseen kontekstista riippumatta.

3.2 Reittiopasteen sisältövaatimukset

Reittiopasteen tarkoituksena on esittää reitin etsinnän tuottama sopivinta reittiä kuvaava informaatio sellaisessa muodossa, että ihminen kykenee ymmärtämään sen si-

sällön. Reitin etsinnän tulokset sisältävät opastettavaa tilaa kuvaavan esityksen pohjalta valittuja kohteita ja kokonaisuuksia. Näiden käyttötarkoitusta, ulkoista olemusta tai nimeä kuvaavat ominaisuudet ovat reittiopasteen sanaston perusta. Kohdassa 2.3 kuvasin luonnollisen kielen tuottamiseen liittyviä prosesseja ja tässä kohdassa tarkennan näiden prosessien merkitystä ja toimintaa reittiopastamisen näkökulmasta.

3.2.1 Reittiopasteiden osittaminen

Reitin etsiminen kahden kohteen välillä tilaa kuvaavasta esityksessä (kohta 3.1) on triviaali tehtävä, jos kohteille on määritelty kaksi- tai kolmiulotteiset koordinaatit ja esitys on mallinnettu verkkotietorakenteella (kohta 3.1.1). Reittiopastuksen tuottamisen kannalta ongelmallisempaa on ihmisen tarpeita vastaavan reitin löytäminen (kohta 3.1.2) ja tämän reitin kuvaileminen. Ihmisen kognitiiviset resurssit ovat rajalliset, joten turhan ja itsestään selvän informaation esittämistä tulee välttää, vaikka toistaminen saattaa joissakin tilanteissa olla perusteltua omaksumisen helpottamiseksi.

Autoilijoille toteutetuissa opastusjärjestelmissä käyttäjän kognitiivisten resurssien kuormittaminen pyritään minimoimaan, sillä kuljettajan huomiota ei saa liiaksi viedä pois itse ajamiseen liittyvistä toiminnoista. Joissakin autoilijoille suunnatuissa opastusjärjestelmissä tämä ongelma on ratkaistu jakamalla reittiopastus useisiin osiin, jolloin informaatiota voidaan antaa käyttäjälle vähän kerrallaan ja vain niin paljon kuin hän sitä kullakin hetkellä tarvitsee. Dale ja muut [2003] toteavat, että reitin jakaminen osiin eli *segmentteihin* (*segment*) tuo reittiopastukseen etuja, joita voidaan tarkastella kahdesta näkökulmasta. Reitti voidaan järjestellä sopivan kokoisiksi kokonaisuuksiksi, jotta sen käsitteleminen olisi reittiopastajalle yksinkertaisempaa. Toisaalta jakaminen kognitiivisen kartan mukaisiin kokonaisuuksiin tukee inhimillistä tapaa jäsentää navigoimiseen tarvittavaa tietämystä (kohta 2.2.1). Pyrittäessä vastaavaan jaotteluun automaattisessa reittiopastuksessa päästään lähemmäs inhimillistä tapaa välittää reittiopastusta.

Lähde	Segmentin alun kuvailu	Etenemiseen ohjaus	Segmentin lopun kuvailu
[Streeter <i>et al.</i> , 1985]	Kriittinen suunta	Kääntymiskohtaa kuvaava ohje	Varmistus, kooste
[Pattabhiraman & Cercone, 1990]	Alkukohde	Polku	Loppukohde
[Tversky & Lee, 1997]	Alkukohde	Polku, suunta	Loppukohde
[Denis <i>et al.</i> , 1999]	Orientaatio maamerkkien avulla	Maamerkki, toiminto	Loppukohde
[Tversky & Lee, 1999]	Orientaatio ja suunta	Maamerkki, toiminto	Orientaatio
[Dale <i>et al.</i> , 2002]	Alkukohde	Suunta, polun kuvailu	-
[Krahmer <i>et al.</i> , 2003]	Alkukohde	Etäisyys, polun kuvailu	Loppukohde

Taulukko 2. Reittiopasteen rakennejako.

Olen koonnut yhteen reittiopastusta käsittelevissä lähteissä esitettyjä reittiopasteen rakenteeseen liittyviä jakohdotuksia taulukkoon 2. Olen jakanut reittiopasteen rakenteen perusteella kolmeen osaan: segmentin alkua, loppua ja näiden välistä etenemistä kuvaaviin osiin. Jaon olen suorittanut edeltävässä tutkimuksessa esitettyihin reittisegmenttiä koskevan informaation jaotteluihin ja tutkimuksissa esiintyneisiin yhtenäisiin rakenteisiin [Streeter *et al.*, 1985; Pattabhiraman & Cercone, 1990; Tversky & Lee, 1997, 1999; Denis *et al.*, 1999; Dale *et al.*, 2002; Krahmer *et al.*, 2003]. Vaikka toteutuksien välillä oli eroja, havaitsin tämän jaottelun kuvaavan parhaiten tutkimuksissa ilmennyt tapaa esittää reittisegmenttiä koskevaa informaatiota.

Reittiopasteiden rakennejakoa kuvaavasta taulukosta 2 voi havaita, että useimmissa tapauksissa reittiopasteesegmentin rakenne koostuu reitin alkua ja loppua kuvaavien päätöksentekokohtien ja näiden väliin jäävää polkua kuvaavista osista. Päätöksentekokohdilla tarkoitetaan useimmissa tapauksissa maamerkkejä, joita taulukossa mainituissa tutkimuksissa lisättiin myös segmentin etenemistä koskeviin kuvauksiin. Opasteen rakenteen kannalta merkittävimmin joukosta erosivat Streeter ja muut [1985], jotka liittivät reittisegmenttiä kuvaavan ohjeen loppuun varmistuksen, jonka avulla käyttäjä voi tunnistaa tilanteen, jossa hän on ajautunut reittisegmentin päätöskohdan ohi huomaamattaan. He esittävät reittisegmenttiä määrittävän opasteen loppuun koostetta, joka sisältäisi opasteen olennaisimmat kohdat kertauksena.

Taulukossa 2 esitettyyn rakennejakoon tulee suhtautua kriittisesti sen kattavuuden lisäksi myös sisällön jaottelun suhteen. Dalen ja muiden [2002] mukaan automaattista reittiopastetta voidaan muokata vastaamaan paremmin inhimillistä opastetta yhdistämällä polkua ja päätöksentekokohtaa sekä päätöksentekokohtaa ja suuntaa välittäviä viestejä. Rakennejako on suuntaa-antava keino reittiopastusta käsittelevien tutkimustulosten jaottelemiseksi. Tarkastelen seuraavissa kohdissa reittiopasteen rakennejakoa kuvaavassa taulukossa 2 esiteltyjä tuloksia yksityiskohtaisemmin.

3.2.2 Päätöksentekokohdan kuvailu

Streeter ja muut [1985] ilmaisevat päätöksentekokohtaa koskevaa opastusta suunnanmuutoskohtaan liittyvän maamerkin avulla. Varmistusviestin avulla käyttäjä voi tunnistaa tilanteen, jossa hän on ohittanut suunnan muuttamiseen liittyvän päätöksentekokohdan tarvittavaa suunnanmuutosta tekemättä. Dale ja muut [2002] tutkivat inhimillistä tapaa tuottaa reittiopasteita ja havaitsivat, että kaupalliset reittiopastusjärjestelmät tuottavat harvoin reitin varrella olevien päätöksentekokohtiin (kohta 2.1) liittyvää opastusta. He huomauttavat, että päätöksentekokohtiin liittyvä informaatio on tarpeen, jos opastaja ei voi olla varma opastettavan sijainnista. He ehdottavat, että erillisten päätöksentekokohtia kuvaavien ilmaisujen sijaan, näitä koskevia kuvauksia lisätäisiin esimerkiksi suuntaa ilmaisevien, polkua koskevien opasteiden sisälle.

Tversky ja Lee [1999] huomasivat koehenkilöiden laatimia reittiopasteita tutkiessaan, että reittisegmentin alkua kuvaavaa päätöksentekokohtaa ei kuvattu, koska sen oletettiin edellisen segmentin loppua kuvaavan päätöksentekokohdan perusteella olevan itsestään selvä. Koehenkilöiden reittiopasteet sisälsivät päätepistettä kuvailevaa informaatiota kuten sen suunnan opastettavan näkökulmasta katsottuna tai lähellä olevan maamerkin, jos kyseessä oli reitin viimeisen segmentin päätepiste eli etsitty kohde.

3.2.3 Orientaatio päätöksentekokohdassa

Reitin alun lisäksi (kohta 2.2.1) orientaatiota voidaan tarvita reittisegmenttien kuvailuun, jotta voidaan varmistua siitä, että opastajalla ja opastettavalla on yhtenevä käsitys opastettavan sijainnista ja suunnasta tilassa. Reittiopastajan täytyy päätellä tilanteen mukaan, pitääkö segmentin alkua kuvailla opastettavalle vai ei.

Ihmisten väliseen reittiopastukseen kuuluu usein opastettavan perehdyttämistä opastettavaan tilaan. Tämä voi ilmetä ihmisten välisessä kasvokkain tapahtuvassa vuorovaikutuksessa osoittamalla puheen, eleiden tai piirrosten avulla tunnistettavia maamerkkejä, jotta opastettavan olisi helpompi hahmottaa oma sijaintinsa ja rintamasuuntansa tilassa. Esimerkiksi puhelimitse tapahtuvassa reittiopastuksessa opastaja usein kuvailee reittisegmentin alkuun liittyvää ympäristöä, jotta yhtenevästä näkemyksestä opastettavan ja opastajan välille voidaan varmistua sijainnin ja suunnan suhteen. Tällaisessa tilanteessa opastettava pystyy opastetta vastaanottaessaan havainnoimaan ympäristöönsä ja seuraamaan siihen liittyviä ohjeita, joka on Krayn ja muiden [2003] mukaan ehto omaksuttavan reittiopastuksen aloittamiselle.

Orientoidessaan opastettavaa opastajan täytyy kuvailla tälle vähintään kuvassa 1 (kohta 2.1) esitettyä näkymää, jota kohden opastettavan tulee lähteä reitin alkuun päästäkseen. Pelkän näkymän kuvailu ei riitä, jos käyttäjää ympäröivä tila on luonteeltaan monimutkainen eikä käyttäjän rintamasuunnasta ole varmaa tietoa. Tällaisessa tapauksessa myös kuvassa yksi (kohta 2.1) esitetyn käyttäjän ympäristön kuvailu voi olla tarpeen. Näkymää koskevan informaation välittämisestä Raubal ja Winter [2002] esittävät, että segmentin alkua voidaan kuvailla käyttäen oikeassa suunnassa olevan näkymän maamerkkejä ankkureina, joilla paikka ja suunta määritellään opastettavalle. Myös Denis ja muut [1999] ehdottivat, että reittisegmentin alussa tapahtuvan orientaation ja suunnan valinnan tulisi ensisijaisesti tapahtua maamerkkejä käyttämällä. Jos taas tarkempi ympäristön kuvailu on tarpeen, kuvauksen tulee käsittää informaatiota nykyisestä sijainnista, suunnan määrittystä näköpiirissä olevien maamerkkien perusteella, tietoja etsitystä kohteesta, etäisyys ja suunta ympäröiviin maamerkkeihin, ympäristön yleiskuvaus ja käyttäjää erityisesti kiinnostavat seikat ympäristössä [Ross & Blasch, 2002].

Tversky ja Lee [1999] erottavat ensimmäisen reittisegmentin orientaation muiden reittisegmenttien orientaatiosta, sillä heidän mukaansa alussa suuntaa ja sijaintia koskeva orientoiva informaatio on välttämätöntä, mutta muissa segmenteissä sitä annetaan tarpeen mukaan. He havaitsivat, että ihmisiltä kerätyistä reittiopasteista puuttui usein reittisegmenttien alkua ja loppua sekä reitillä etenemistä ilmaisevaa informaatiota. He selittävät tämän johtuvan kahdesta tekijästä: jatkuvuudesta ja etenemisestä. Orientoiva informaatio on sulautettavissa osaksi segmentin alkua ja loppua määrittäviä päätök-

sentekokohtia. Jos reittisegmenttien välillä vallitsee vahva jatkuvuus eli segmentteihin liittyvissä toiminnoissa ei ole eroja, orientoiva informaatio voidaan korvata edellistä toimintoa vahvistavalla opasteella. Toiminnoilla Tversky ja Lee [1999] tarkoittavat reitillä etenemisen suuntaa määrittäviä kääntymiseen tai etenemiseen kehottavia opasteita. Etenemisellä viitataan samaan suuntaan jatkuvaan liikkeeseen [Tversky & Lee, 1997]. Jos suunnanmuutosta ei tapahdu kahden reittisegmentin välillä, liikkeen suuntaa ilmaisevaa informaatiota ei välttämättä tarvitse esittää jälkimmäisen segmentin opasteessa.

3.2.4 Polkua määrittävät elementit

Reittisegmentin polkua koskevaa opastusta määriteltäessä on syytä muistaa, että opasteessa esitettävää sisältöä tullaan reitillä edettäessä tarkastelemaan eri puolilta. Tämä on yksi polkua määrittävän reittiopasteen eroista verrattuna päätöksentekokohtia koskevaan informaatioon. Reittisegmentin polkua määrittävät maamerkit täytyy määritellä siten, että ne säilyttävät merkityksensä myös kiertojen suhteen (kohta 2.2.3). Sisätilassa olevaa polkua voidaan määrittää myös suurempien kokonaisuuksien, kuten käytävien ja alueiden mukaan (kohta 2.1.4). Niitä voidaan maamerkkien ohella käyttää polkua määrittävinä opasteina. Hyödyntämällä rakenteellisesti kiinnostavia kohteita opastuksessa, kiertoihin liittyviä hahmottamisongelmia voidaan välttää helpommin.

May ja muut [2003] tutkivat jalan kulkevien ihmisten reittiopastustarpeita vertailemalla koehenkilöiden sanelemia reittikuvauksia keskenään. He yllättyivät päätöksentekokohtien väliin jääviin polkuihin liittyvien reittiopasteiden suuresta määrästä olettaessaan opasteiden keskittyvän päätöksentekokohtien kuvailuun, sillä tämän he uskoivat olevan välttämätöntä navigoimisen kannalta. Polkuihin liittyvää opastusta tarvitaan, jotta opastettava säilyttäisi luottamuksensa opastajaa kohtaan myös silloin, kun vuorovaikutus tämän kanssa on mahdotonta tai reitillä etenemisessä ei tapahdu suuntaan liittyviä muutoksia.

Tversky ja Lee [1997] tutkivat koehenkilöiden tekemiä reittiopasteita ja reittikarttoja. Reittiopasteita kirjallisesti antaneista 91 % ja reittikartan piirtäneistä 90 % lisäsivät edellä mainittujen lisäksi karttoihin ja opasteisiin muuta informaatiota: pääilmansuuntia, nuolia, etäisyyksiä ja maamerkkejä. He arvioivat tämän johtuvan siitä, että opastaja halusi antaa opastettavalle jotakin mitä odottaa heidän joutuessaan kulkemaan suh-

teellisen pitkiä matkoja vailla suunnanmuutoksia, erityisiä piirteitä tai selkeästi erotuvia maamerkkejä. Näiden tulosten perusteella voidaan olettaa että polkua koskevan opastuksen tarve määräytyy sen pituuden perusteella.

3.3 Reittiopasteen muotoileminen luonnolliseksi kieleksi

Luonnollisen kielen avulla tapahtuvaa reittiopastusta käsittelevässä lähdekirjallisuudessa esitellään usein osia reittiopasteen sisällöstä sekä menetelmiä, joihin sisällön tuottaminen perustuu [Denis *et al.*, 1999; Dale *et al.*, 2002, 2004; Höök, 1991; Kraemer *et al.*, 2003; Tversky & Lee, 1997, 1999]. Kuvatut menetelmät ovat käsiteltävään reittiopastusjärjestelmään tai tutkimusprototyyppiin sisäänrakennettuja ja reittiopasteiden sisältö käyttökontekstiin sidottua. Tutkimuksissa ei yleensä pyritä mallintamaan reittiopasteen sisältöä tai rakennetta yleisemmällä tasolla.

Tässä kohdassa tarkastelen reittiopastetta luonnollisen kielen tuottamisen näkökulmasta. Tämä tarkoittaa reittiopastukseen liittyvän sanaston ja opasteen rakenteiden määrittelyä, reittiopasteen muotoilua opasteiden rakenteita yhdistelemällä sekä opasteiden kokonaisuuksien korvaamista viittauksilla. En syvenny yleisiin luonnollisen kielen tuottamisen kannalta olennaisiin prosesseihin, kuten sija- ja taivutusmuotojen määrittelyyn, vaan keskityn luonnollisen kielen muotoisen reittiopasteen tuottamiseen liittyvien erityispiirteiden kuvailuun.

3.3.1 Reittiopasteen sisällön määrittely

Suurimmat erot sisä- ja ulkotilaa koskevassa reittiopastussanastossa nousevat esiin reitin polkuja, maamerkkejä ja eksplisiittisiä opasteita koskevassa terminologiassa. Ulkotiloissa tieverkoston polkuja koskevia elementtejä kuten risteyksiä, tietyypejä ja katujen nimiä sekä näihin liittyviä opasteita käytetään ymmärrettävästi reittiopastusterminologian perustana. Sisätiloissa ei ole käytössä vastaavaa terminologiaa, jonka voidaan olettaa olevan ihmisille ennestään tuttua. Yleisesti tunnettuina voidaan pitää yleisen tason käsitteitä, jotka määrittelevät esimerkiksi käytäviä ja aulatiloja. Eksplisiittisiä opasteita koskevaa yhdenmukaisuutta löytyy hyvin vähän: opastusta voidaan tarjota kylttien ja erilaisten karttojen avulla, mutta yleiset ja yhtenevät käytännöt puuttuvat. Myös suuntaa koskevat ilmaisut eroavat ulko- ja sisätiloja käsiteltäessä. Ulkotiloissa ilmansuuntien käyttäminen on perusteltua erityisesti, jos opastettavalla on käytössään kartta ja sen hyödyntämiseen tarvittavia tietoja ja taitoja. Sisätiloissa liikutta-

essa on usein turvaututtava suhteellisiin suunnanilmauksiin, sillä ilmansuuntia on vaikeampi hahmottaa kuin ulkona.

Reittiopasteiden yksittäisissä elementeissä on eroja ulko- ja sisätilojen suhteen. Esi-merkkinä tästä ovat maamerkit, joihin visuaalisesti ja rakenteellisesti kiinnostavien ominaisuuksien (kohta 2.2.1 ja 2.2.3) osalta pätevät samat määrittelyt sisä- ja ulkotiloihin, mutta semanttisesti kiinnostavien ominaisuuksien (kohta 2.2.2) kohdalla erot ovat merkittäviä. May ja muut [2003] listaavat muun muassa kaupat, pubit, marketit ja ravintolat keskeisimpien ulkotilamaamerkkien joukkoon. Tällaisia kohteita yhdistävät yleensä eksplisiittiset opastekyltit, mutta sisätiloissa vastaavia maamerkkejä ei ostoskeskuksia lukuun ottamatta välttämättä ole tarjolla.

Kohteiden ohella suuntaa koskevat ilmaisut muodostavat merkittävän osan reittiopasteen sisällöstä. Hunt ja Waller [1999] toteavat, että ihmisen etualalla oleviin kohteisiin käytetään kielissä usein tarkempia termejä kuin muihin suuntiin. Ihmiset siis havainnoivat parhaiten suoraan edessään olevia kohteita. Denisin ja muiden [1999] mukaan ihmiset käyttävät erilaisia tilaa koskevia ilmaisuja riippuen siitä pyrkivätkö he luomaan yleissilmäyksen tilasta vai pyrkivätkö he löytämään reitin, jota navigoida. Yleissilmäystä luotaessa suuntaa koskevissa ilmaisuissa käytetään ilmansuuntia kuten ”pohjoinen”, ”etelä”, ”itä” ja ”länsi”. Reitin etsijät puolestaan käyttävät minäkeskeisiä ilmauksia kuten ”oikea”, ”vasen”, ”edessä” ja ”takana”.

3.3.2 Reittiopasteen esityksen muotoilu

Luonnollisen kielen välityksellä tapahtuvassa reittiopastuksessa vastaanottajan kognitiiviset resurssit kuormittuvat helposti monimutkaisen informaation sisäistämisessä ja hahmottamisessa. Reittiopasteen vastaanottaminen vaatii informaation muuntamista kognitiivisen kartan muotoon, jotta opaste olisi navigoimisstrategian laatimista varten hyödynnettävissä. Reittiopasteen muotoiluun on syytä kiinnittää huomiota, jotta tuloksena olisi lyhyt ja helposti omaksuttava opaste, joka muodoltaan ja rakenteeltaan muistuttaisi mahdollisimman paljon inhimillistä reittiopastetta. Luonnollisen kielen toteuttamisen kannalta reittiopastuksen tarkasteleminen pelkän sanaston ja sen ympärille rakennettavan viestin kannalta ei riitä. Useista viesteistä koostuvan opasteen saumakohtia tulee hioa suunnittelemalla tarkasti, miten opasteen eri osat sidotaan yhteen sujuvaksi esitykseksi (kohta 2.3.4).

<i>Elementti</i>	<i>Käyttökuvaus</i>
Reittikuvaus ∅	Alku Opaste Loppu
Opaste ∅	Toiminto Vahvistus Sijoitus
Alku ∅	Sijoitus
Loppu ∅	Sijoitus Opaste
Toiminto ∅	aja Tie (Tietyyppi)
	(Kunnes Risteys (Risteystyyppi))
	(jossa Teko)
	(Suunta)
	(Tie (Tietyyppi))
Vahvistus ∅	aja Tie (Tietyyppi)
	{ohi Maamerkki läpi Alue Opaste
	kohti {pohjoinen, etelä, länsi, itä} kunnes nimi vaihtuu Nimi Etäisyys }
Sijoitus ∅	Näet { Maamerkki Tie ...}
Tietunnus ∅	joka on Tyyppi
Kunnes ∅	kunnes saakka loppuun asti ...
Risteys ∅	Nimi Tyyppi Koko risteys
Risteystunnus ∅	joka on Tyyppi joka on Maamerkki läheisyydessä
Teko ∅	käännä vasemmalle käännä oikealle seuraa liikennevaloja mene suoraan läpi
Suunta ∅	kohti Alue kohti pohjoinen etelä länsi itä "alas" "ylös" Opaste
Etäisyys ∅	N {metri risteys punaiset valot kortteli ...} jonkin aikaa hetken aikaa välittömästi
Opaste ∅	seuraten merkkejä kohti { Alue Tie ...}
N ∅	1 2 ...

Taulukko 3. Turistiautoilijalle tarkoitettujen reittiopasteiden kielioppi [Höök, 1991].

Vertaillen koehenkilöiltä nauhoitettuja reittiopasteita sekä reitinetsintäjärjestelmien tuottamia reittiopasteita Dale ja muut [2002] huomasivat, että reittiopastusjärjestelmät tuottavat itsestäänselvyksiä sisältäviä ja luonteeltaan jäykkiä ohjeita verrattuna ihmisten tuottamiin reittiopasteisiin. Järjestelmien tuottamisessa ohjeissa käytettiin absoluuttisia pituusmittoja ja aikaa määrittelemään etäisyyttä seuraavaan päätöksentekokohtaan reitillä, kun ihmiset taas käyttävät maamerkkejä ja suhteellisia etäisyyden ilmauksia vastaavaan tarkoitukseen. Lisäksi järjestelmät tuottavat ohjeen yksinkertaisista kielistä käyttäen. Ihmiset taas muodostavat reittiopasteita käyttäen monimutkaisia lauserakenteita ilmaistakseen asiansa mahdollisimman lyhyesti ja ytimekkäästi. Höökkin [1991] taulukossa 3 esittämä kielioppi ei toteuta aggregaatiota kummassakaan Dalen ja muiden [2002] suosittelmassa tapauksessa, vaan reittisegmentin alkua ja loppua.

pua kuvaavia päätöksentekokohtia sekä polkua koskevat opasteet muodostetaan omiksi viesteikseen.

Viittausten tuominen (kohta 2.3.3) reittiopasteeseen edellyttää aikaisemman opastuksen sisällön tarkastelua. Kohteisiin voidaan viitata pronomiinilla tai ne voidaan jättää mainitsematta, jos voidaan olettaa, että ne ovat opastettavalle ennestään tunnettuja. Koehenkilöiltä keräämänsä aineiston perusteella Dale ja muut [2002] totesivat, että päätöksentekokohtaan voidaan viitata maamerkillä tai kohdan rakennetta, edeltävää päätöksentekokohtaa tai risteävää tilaa kuvailemalla.

3.3.3 Reittiopasteen pintamuodon toteutus

Tekstikehyksiin (kohta 2.3.4) perustuva reittiopastus on yleisesti käytetty reittiopastusjärjestelmissä [Höök, 1991; Tversky & Lee, 1999; Duckham & Kulik, 2003; Kraemer *et al.*, 2003]. Höök [1991] toteaa, että reittiopasteissa toistuvat usein samankaltaiset rakenteet, joten tekstikehysten käyttäminen näiden rakenteiden kuvaamiseen on luonnollinen valinta. Esikirjoitettu teksti on liian joustamatonta reittiopastustarkoituksiin, sillä kaikkia tapauksia on lähes mahdotonta tuottaa etukäteen, jos opastettava tila on suuri. Tekstikehystä monimutkaisemmat toteutukset ovat puolestaan turhan työläitä rakenteellisesti vähäistä vaihtelevuutta sisältävien reittiopasteiden tuottamiseen.

Luonnollisen kielen välityksellä tapahtuvassa reittiopastuksessa lomakepohjainen tekstikehys kannattaa toteuttaa siten, että aggregaatio ja viittausten tuominen sekä muu tekstin sujuvuuteen liittyvä määrittely ja muokkaus ovat mahdollisia. Mielestäni Höök [1991] esittää taulukossa 3 selkeän tavan reittiopasteen pintamuodon esittämiselle kieliopin avulla, vaikka se on suunniteltu turistiautoilijalle. Kielioppi kuvaa esityksen pintamuotoa, mutta sen avulla voi havainnollistaa myös muita luonnollisen kielen tuottamiseen liittyviä prosesseja. Se on ulkotiloihin ja autoilijalle suunnattu ja siitä puuttuu määrittelyjä joidenkin elementtien osalta.

Höök [1991] noudattaa taulukossa 3 esitetystä reittiopastuskieliopissa kohdassa 3.2.1 kuvaamani rakenteen kaltaista jaottelua esittäen reittikuvauksen sen alku- ja loppukohtaa sekä näiden väliin jäävää polkua käsittelevinä osina. Hänen kuvaamansa kielioppi ei kuitenkaan ota kantaa alku- ja loppukohdissa mahdollisesti tarvittavaan

orientoivaan informaatioon (kohta 3.2.3). Luonnollisen kielen käyttämiseen perustuvassa vuorovaikutuksessa etäisyyden määrittelyyn on syytä käyttää suhteellisia käsitteitä, sillä ihmisillä on vaikeuksia hahmottaa erityisesti pituusmittoina esitettyjä etäisyyksiä tilassa (kohta 2.2.2). Etäisyyden määrittely inhimillisessä reittiopastuksessa tapahtuu yleensä maamerkkejä käyttäen. Höök [1991] tosin käyttää maamerkkejä sijoitusten tekemiseen ja risteysten määrittämiseen, mutta ei esitä määrittelyä maamerkille, vaikka se on yksi keskeisimmistä tekijöistä inhimillisessä navigoinnissa ja luonnollisen kielen avulla tapahtuvassa reittiopastuksessa (kohta 2.1).

3.4 Lopuksi

Tässä luvussa olen tarkastellut tilaa, erityisesti sisätilaa, navigoivan ihmisen ja automaattisen reitin etsinnän sekä luonnolliseen kieleen perustuvan reittiopastuksen tarpeita vastaavana kokonaisuutena. Kaikki kolme ovat keskeisessä asemassa määrittäessä sisältöä ja tarkkuutta tälle esitykselle. Olen perehtynyt sekä ihmisen että koneen tuottamia reittiopastuksia tarkastelemaan lähdekirjallisuuteen ja vertaillut erilaisia lähestymis- ja toteutustapoja. Tältä pohjalta olen selvittänyt reittiopasteen rakennetta ja sen tuottamiseen tarvittavien prosessien toimintaa. Tarkastelemalla tilasta mallinnettavia kohteita sekä reittiopasteen rakenteen määrittelyä, esittelin reittiopasteen sisältöä, muotoilua ja pintamuodon toteutusta.

4 Luonnollista kieltä käyttävä sisätilareittiopastus

Luvussa kaksi käsittelin ihmisen ominaisuuksia ja taitoja ympäröivän tilan hahmottajana, navigoijana ja reittioppaana sekä paneuduin luonnollisen kielen tuottamiseen. Luvussa kolme kartoitin automaattisen reittiopastuksen alueella tehtyä tutkimusta, joka pohjautuu luvussa kaksi esitettyihin tuloksiin. Tässä luvussa esitän oman näemykseni automaattisen reittiopastuksen keskeisimpien tekijöiden: tilaa koskevan esityksen ja luonnollisen kielen muotoisen automaattisen reittiopastuksen toteuttamisesta. Luvun loppupuolella esittelen käyttötilanteita, käyttäjäryhmiä, sisätilareittiopastuksessa hyödynnettäviä tekniikoita ja muita reittiopastussovelluksen- tai järjestelmän suunnittelemisen ja toteuttamisen kannalta keskeisiä tekijöitä, joihin tilan mallintaminen ja reittiopastus liittyvät.

4.1 Tilakuvaus

Nimitän tarvepohjaista, rajattua esitystä opastettavasta sisätilasta *tilakuvaukseksi*. Tarvepohjaisuudella tahdon korostaa, että tilakuvaukseen mallinnetaan ympäristöstä vain ne kohteet, niiden ominaisuudet sekä kohteiden väliset suhteet, joilla on merkitystä reitin etsimisen ja reittiopasteen tuottamisen kannalta. Tarvepohjaisuudesta johtuen tilakuvaus on tapauskohtainen, sillä jokaisella sisätilalla on omat erityispiirteensä sen käyttötarkoituksesta tai rakenteellisista ratkaisuista johtuen.

Tunniste	Alatunniste	Tyyppi	Kuvaus
Aluetyyppi		Merkkijono	Kohteen muotoa määrittävä merkkijono
Sijainti		Koordinaatit	Kaksi- tai kolmiulotteiset koordinaatit
Sektor		Koordinaatit	Koordinaatit kohteen vaikutusalueen määrittelylle
Muotoerottuvuus		Luku	Numeerinen arvo muodon erottuvuudelle ympäröivien kohteiden muotoihin nähden
Keskipiste		Koordinaatit	Sijainnista laskettava keskipiste
Tunnistenimi		Merkkijono	Kohteen yksilöllinen, merkkijonosta koostuva tunniste
Nimi		Merkkijono	Kohteen käyttötarkoitusta tai olemusta kuvaileva nimi
	Käyttötyyppi	Kokonaisluku, merkkijono	Kohteen nimen käyttötapaa kuvaava tunniste
Kohdetyyppi		Merkkijono, luku	Kohteita ryhmiin jaotteleva tunniste
Toiminto		Merkkijono, luku	Kohteen käyttötarkoitus
Yhteys		Kokonaisluku, merkkijonoyoukko	Kohteet, joihin kohde on yhteydessä ts. kohteen kautta saavutettavat muut kohteet
Läpikulku		Binääri	Kohteen käytettävyys reitin kulkemiseen tai reittiopastukseen
	Rajoitteet	Ajanilmaisuyoukko	Rajoitteita ilmaisevat ajankohdat
Väri		Merkkijono, luku	Kohteen väri
	Värierottuvuus	Luku	Kohteen erottuvuus värin perusteella
Läpinäkyvyys		Luku	Arvo kohteen läpinäkyvyydelle
Järjestettävyys		Binääri	Kohteen määrittelyjärjestys ja järjestyksnumeroiden perusteella on mahdollista
Opaste		Merkkijonoyoukko	Tunnistenimiyoukko, joihin kyseisestä kohteesta on opastus

Taulukko 4. Tilakuvauksen kohteen tunniste, tyyppi ja kuvaus.

Keskityn käsittelemään sisätilaa määrittelevän tilakuvauksen sisältöä ja rakennetta siten, että se soveltuu automaattisen reitin etsinnän ja reittiopastuksen resurssiksi. Tilakuvauksen tulee myös antaa reittiopastussovelluksen suunnittelijalle käsitys siitä, mitä kohteita, rakenteita ja ominaisuuksia tilakuvaukseen on mallinnettava. Jatkossa viitataan kursiivilla merkityillä ominaisuuksilla mallinnettavia ominaisuuksia kuvaavaan taulukkoon 4, johon olen kerännyt kaikki tässä kohdassa esitettävät ominaisuudet, tunnisteineen ja kuvauksineen.

4.1.1 Kaikista kohteista mallinnettavia ominaisuuksia

Tilakuvauksen rakenteen ja käytettävyyden kannalta on olennaista, että kaikilla siihen tallennettavilla kohteilla on joitakin yhteisiä tunnistamiseen ja määrittelyyn liittyviä ominaisuuksia. Kohteen yksilölliseen tunnistamiseen reitin etsinnän yhteydessä riittävät *sijaintia* ja muotoa määrittävät ominaisuudet, sillä jokaiselle kohteelle on tilaan määriteltävissä yksilöllinen paikka. Käytännössä sijaintia kuvataan kohteen rajoja määrittävän alueen koordinaateilla. Kohteiden *keskipisteiden* koordinaatteja vertailemalla niiden sijainnin vertaileminen toisiinsa nähden on mahdollista. Tämä on tarpeen erityisesti muodoltaan monimutkaisten kohteiden kohdalla. *Aluetyyppi* on kohteen muotoa merkkijonona määrittävä tunniste, jota voidaan käyttää reittiopastuksessa esimerkiksi maamerkin kuvailuun.

Kohteelle määritellään yksilöllinen *tunnistenimi*, jonka avulla sitä voidaan etsiä erilaisten tilakuvaukseen tehtävien hakujen yhteydessä. Jokaisella kohteella tulee lisäksi olla *nimi*, jolla kohdetta kuvataan reittiopasteessa. Nimi on kieliriippuvainen ominaisuus ja sen arvo voi vaihdella myös käyttäjäryhmästä riippuen: esimerkiksi näkövammaisille kohteiden nimiä voidaan määritellä toisin kuin normaalin näkökyvyn omaaville käyttäjille. Tästä syystä kohteelle voidaan määritellä useita nimiä. Käyttökontekstia määrittävän *käyttötyyppi*-ominaisuuden perusteella oikean nimen valinta on mahdollista. Käyttötyyppi on reittiopastussovelluksen tai -järjestelmän määrittämä numeerinen arvo tai merkkijono, joka kuvaa käyttötyyppejä.

Tilassa olevia kohteita voidaan luokitella muotonsa, käyttötarkoituksensa ja muiden ominaisuuksien perusteella eri *kohdetyyppeihin* kuuluviksi. Kohdetyypit mahdollistavat monipuolisempien hakujen suorittamisen tilakuvaukseen ja havainnollistavat sen rakennetta. Kohdetyyppien määrittelyyn vaikuttavat esimerkiksi rakennuksen käyttötarkoitus ja sen rakenteen perusteella määritettävät kokonaisuudet kuten huoneet, käytävät ja ovet. Kohdetta voidaan kuvata myös *toiminnon* avulla. Toiminnolla kuvataan erityisesti sellaisia kohteita, joilla on aistein havaittava ja yleisesti tunnistettava tarkoitus. Tällaisia kohteita ovat esimerkiksi vessa, keittiö ja sohva.

4.1.2 Päätöksentekokohdat ja vuorovaikutusmahdollisuudet

Reittiopastuksen kannalta päätöksentekokohdat (kohta 2.2) ovat keskeisimpiä mallinnettavia kohteita, sillä näissä solmukohdissa reitin etenemissuuntaa arvioidaan uudel-

leen. Sisätiloissa esimerkiksi käytävien päät ja risteyskohdat, ovet, porrastasanteet sekä aulatilat ovat tällaisia kohteita. Päätöksentekokohtana toimiva kohde sisältää muista kohteista poikkeavia ominaisuuksia ja tällainen kohde on erityisen tärkeä juuri reitin etsimisen kannalta, sillä ensisijaisesti reitti muodostetaan juuri ketjuksi päätöksentekokohtia, joita polut yhdistävät.

Päätöksentekokohtana toimivan kohteen tulee sisältää opastettavan liikkumista hyödyttäviä *yhteyksiä* muihin tilakuvauksen kohteisiin. Kohteiden yhteys-ominaisuuksia tarkastelemalla reitin etsintä pystyy valitsemaan reitin kauttakuljettavien kohteiden läpi. Yhteyksiin liittyy myös niiden käyttämiseen eli *läpikulkuun* liittyviä ominaisuuksia. Tällaisia ominaisuuksia on esimerkiksi lukittavilla ovilla, joilla tilan kauttakulkua voidaan säädellä. Läpikulkua voidaan tarkemmin määrittellä käyttämällä ajankohtia kuvaavia *rajoitteita* osoittamaan ovien ja sitä kautta myös suurempien kohteiden, kuten käytävien, huoneiden ja aulatilojen läpikulkumahdollisuuksia. Rajoitteet voivat koostua yksinkertaisesta joukosta viikonpäiviä ja päivämääriä sekä kellonaikoja tai ne voivat olla monimutkaisempia reittiopastussovelluksen tai -järjestelmän dynaamisesti asettamia läpikulkua määrittäviä arvoja.

Opastajan ja opastettavan väliset vuorovaikutusmahdollisuudet vaikuttavat reitin etsintään ja segmentointiin sekä reittiopasteen muotoiluun ja esittämistapaan. Päätöksentekokohdat muodostavat tilakuvaukseen ryhmän kohteita, joiden yhteyteen opastajan ja opastettavan välinen vuorovaikutus on luontevinta sijoittaa. Reittiopastussovelluksen tapauskohtainen toteutus vaikuttaa siihen, miten vuorovaikutus opastajan ja opastettavan välillä tulee toteuttaa. Luonnollisen kielen avulla tapahtuva reittiopastus voidaan käytännössä toteuttaa joko opastettavaan tilaan sijoitetun laitteiston tai käyttäjän henkilökohtaisen päätelaitteen avulla. Jos vuorovaikutus käyttäjän kanssa tapahtuu ympäristöön upotetun laitteiston välityksellä, voi olla tarpeen mallintaa kantamaa tai suuntaa ilmaisevia ominaisuuksia esimerkiksi *sektorin* avulla, jotta opastuksen oikea-aikainen ajoittaminen olisi mahdollista. Sektorin avulla voidaan siis määrittää, miltä etäisyydeltä vuorovaikutus opastettavan kanssa voidaan aloittaa. Esimerkiksi graafisiin käyttöliittymiin perustuvissa ratkaisuisa sektori on käyttöliittymän näkyyteen liittyvä ominaisuus, mutta äänikäyttöliittymien kohdalla sektori voidaan määrittellä äänen kantaman perusteella.

4.1.3 Muut mallinnettavat ominaisuudet

Tilakuvaukseen tulee tapauksesta riippuen tallentaa päätöksentekokohtien lisäksi myös muita kohteita. Pääsääntöisesti tällaisia kohteita ovat maamerkeiksi kelpaavat kohteet ja kokonaisuudet, jotka mallinnettavien ominaisuuksien perusteella erottuvat ympäristöstään (kohdat 2.1.1 ja 3.1.3). Maamerkki voi edustaa reittiopastuksessa päätöksentekokohtaa, jos se on riittävän luotettavasti yhdistettävissä tähän ja ominaisuuksiltaan päätöksentekokohtaa paremmin hyödynnettävissä opastuksessa. Kohteen maamerkkikelpoisuus määräytyy sen taustastaan erottuvien ominaisuuksien ja näiden yhdistelmien perusteella.

Sisätilan rakenteeseen liittyvät kohteet, kuten ikkunat ja ovet sekä tukirakenteet kuten pylvää ja palkit voivat toimia maamerkkeinä reittiopastetta laadittaessa. Niitä voidaan kuvata *muotoerottuvuuden*, *värin*, ja *värierottuvuuden* (kohta 2.1.2) perusteella. Eriyisesti muoto- ja värierottuvuus soveltuvat numeerisesti mallinnettavina ominaisuuksina maamerkkikelpoisuuden automaattiseen määrittämiseen reitin etsinnän yhteydessä. Väri puolestaan on reittiopasteessa käytettävä ominaisuus, jonka avulla kohteen erottuvuutta taustastaan voidaan kuvailla. Kohteen *läpinäkyvyyttä* kuvaavalla ominaisuudella voi olla käyttöä erityisesti sisätilassa, jonka rakenteissa on käytetty runsaasti lasia. Läpinäkyvyyttä vertailemalla voidaan määrittellä mitä kohteita reittiopastukseen valitaan. Sisätilan rakenteeseen liittyvillä yhteneviä ominaisuuksia sisältävillä kohteilla voi olla havainnoimisen kannalta toistuva luonne (kohta 2.1.4). Tällaisille kohteille voi määrittää *järjestettävyyttä* kuvaavan ominaisuuden, jonka avulla kohteiden kuvaaminen opasteessa järjestysnumeroiden avulla on mahdollista.

Maamerkiksi voi käydä myös *opasteet* eli esimerkiksi opastekyltit ja -taulut. Näiden erottuvuutta taustasta tulee arvioida ennen tilakuvaukseen mallintamista, sillä opaste-taulut ja -kyltit eivät välttämättä aina erotu tilassa navigoivalle ihmiselle. Opasteilla on merkitystä lähinnä reittiopasteen kannalta. Kohteen opaste-ominaisuuteen liittyvä tunnistenimijoukko kertoo, mihin kaikkiin kohteisiin opastettava voidaan opasteiden avulla johdattaa.

4.2 Reittiopasteen toteuttaminen

Tässä kohdassa esittelen oman näkemykseni sisätilaan soveltuvan, luonnollista kieltä käyttävän reittiopasteen sisällöstä ja sen rakenteesta. Kuvailen prosesseja, joita automaattisessa sisätilareittiopasteen tuottamisessa on käytävä läpi, jotta tuloksena olisi luonnollisen kielen muotoinen esitys. Näistä prosesseista keskeisimpinä kuvaan reittiopasteen sisällön ja rakenteen määrittelyn, sisällön osittamisen ja tiivistämisen sopiviksi kokonaisuuksiksi sekä lopullisen pintamuodon toteutuksen kieliopin avulla.

4.2.1 Sisätilareittiopasteen sanasto ja rakenne

Kohdissa 3.2 ja 3.3 määrittelin reittiopasteen sanastoa ja rakennetta edeltävän tutkimuksen pohjalta. Tässä kohdassa esittelen reittiopasteen sanastoa ja rakennetta luonnollisen kielen sisällön kannalta.

<i>Elementti</i>	<i>Kuvaus</i>
Segmenttikuvaus	[Alku] Ohje [Loppu]
Ohje	Toiminto Vahvistus
Alku	Orientaatio
Loppu	Orientaatio
Toiminto	[käännä Suunta] [ja] [Vahvistus] [Etäisyys] [Järjestysnumero] Kohde asti luo
Vahvistus	{jatka [läpi Alue]} {jatka [Kohde] ohi} {suuntaa kohti Kohde} {seuraa Alue Opaste}
Suuntatarkennus	etu taka
Suunta	[Suuntatarkennus] oikea vasen edessä takana ylös alas
Etäisyys	pian seuraava {{jonkin aikaa} pitkään, kunnes saavut}
Opaste	seuraa opasteita Alue Kohde kohden
Järjestysnumero	Ensimmäinen toinen kolmas ...
Kohde	Kuvaus Maamerkki Alue
Maamerkki	[muoto] [koko] [väri] ...
Orientaatio	{Aloita [Suunta olevan] Kohde luota} {näet Kohde [Suunta]} {etsimäsi Kohde on} Suunta [Kohde] luona
Alue	Käytävä Aula Sali Muu alue
Kuvaus	[nimi kohdetyyppi] [käyttökuvaus]

Taulukko 5. Reittiopasteen kielioppi rakenteina ja elementteinä.

Reittiopasteen sisältö koostuu elementeistä, jotka määrittävät opasteen ytimen. Elementit edustavat reittiopasteessa sisällöltään muuttuvia tekstikehyksen osia. Kuvaan tässä kohdassa sisätilareittiopasteen kannalta keskeisimmät elementit kursiiivilla. Kaikki kuvattavat elementit löytyvät myös reittiopasteen pintamuotona taulukossa 5 esitetystä kieliopista. Siinä elementtejä kuvataan vahvennetuilla sanoilla, joiden sisältö rakennetaan tilakuvaukseen mallinnettujen kohteiden perusteella. Vahventamattomat sanat ja fraasit kuvastavat tekstikehyksen muuttumattomina pysyviä osia. Hakusulkeiden sisäpuolella olevia elementtejä lisätään opasteeseen, jos niiden käyttö on perusteltua. Aaltosulkeilla rajataan elementtien lisäksi vaihtoehtoiseen ilmaisuun liittyviä kokonaisia fraaseja.

Reittiopasteen keskeisimmät elementit kuvaavat reitin varrella olevia *kohteita*, *toimintoja* ja *orientaatiota*. Näiden elementtien ympärille muut elementit ja opasteen tekstikehyksen muuttumattomat osat ryhmitellään luonnollisen kielen muotoisen esityksen muodostamiseksi. Seuraavaksi esittelen kohteita, toimintoja ja orientaatiota kuvaavia viestejä tarkemmin.

- Maamerkki
 - *Muoto – pyöreä, soikea, kulmikas*
 - *Koko – suuri, tilava, korkea*
 - *Väri – punainen, laikukas, raidallinen*

- Muu kohde
 - *Nimi – Matin huone, Coca-Cola-automaatti, Juvenes-kioski*
 - *Kohdetyyppi – käytävä, huone, esine*
 - *Käyttökuvaus – vessa, laboratorio, vaatenaulakko*

Esimerkki 1. Kohteiden ominaisuuksia.

Kohteet ovat elementtejä, joita havainnoimalla opastettava ihminen hahmottaa sijaintinsa ja suuntansa tilassa. Niitä kuvataan nimien, kohdetyyppien ja käyttökuvausten (kohta 4.1) avulla, kuten esimerkissä 1 on havaittavissa. Etenkin, jos kohteella ei ole reittiopasteeseen sopivaa erisnimeä, sen kuvailuun on käytettävä kohdetyyppiä tai

käyttökuvausta. Maamerkkeinä toimivista kohteista voidaan reittiopasteeseen tehdä kuvauksia niiden ympäristöstä eroavilla ominaisuuksilla, kuten muotoa, kokoa ja väriä tai muita sanallisesti kuvattavia piirteitä käyttämällä. Kohteiden ohella *alueet* (kohta 3.2.4) ovat erityisesti reittisegmenttien polkuja koskeviin opasteisiin soveltuvia elementtejä. Alue on kohdetyypiltään tilan rakenteen kannalta merkittävä ja kokonsa puolesta suuri kohde. Se soveltuu kuvaamaan polkua, sillä alueen käyttämiseen opasteessa ei liity kiertoihin liittyviä ongelmia tunnistettavuuden suhteen. Opasteessa aluetta voidaan käyttää polkua myötäilevänä elementtinä, jota seuraamalla opastettavan on helppo pysyä reitillä.

- Toiminto

- *Suunta ja vahvistus – ”Käänny oikealle ja suuntaa kohti Coca-Cola-automaattia.”*
- *Vahvistus etäisyyttä käyttäen – ”Seuraa käytävää jonkin aikaa, kunnes saavut Matin huoneen luo.”*
- *Vahvistus järjestystä käyttäen – ”Seuraa käytävää kolmanteen oveen asti.”*
- *Vahvistus opasteita käyttäen – ”Seuraa opasteita laboratorioon asti.”*

Esimerkki 2. Erilaisia toimintoja.

Toiminto sisältää reittiopasteen elementeistä eniten vaihtelumahdollisuuksia. Toiminnon kuvaus aloitetaan joko määrittelemällä liikkeelle uusi *suunta* ja sitä seuraavaa *vahvistus* tai kehottamalla opastettavaa jatkamaan samaan suuntaan, kuten esimerkin 2 opasteista käy ilmi. Suunnan muutosta voidaan kuvata myös ilman sitä seuraavaa vahvistusta. Käännöstä ja vahvistusta seuraa etenemismatkaa kuvaavia elementtejä, joiden avulla etenemisen päätyminen kiinnitetään kohteeseen, jota kuvataan päätepistemamerkin (kohta 3.1.3), päätöksentekokohdan tai muun kohteen avulla.

Reittiopasteessa suunnan muutosta ajoittavat ilmaukset (kohta 4.1.2) ovat tärkeässä asemassa, sillä kääntyminen väärällä hetkellä voi johtaa eksymiseen tai ainakin opastajan ja opastettavan välisen yhteisen sijainnin ja suunnan käsityksen menettämiseen. Kääntymiskohtaa tarkennetaan *suuntatarkennuksilla* ja käyttämällä suhteellisia *etäisyyden* määrytyksiä (kohta 3.3.3) tai etenemisen päätapistettä kuvaavia kohteita. Sidot-

taessa opaste tietyllä matkalla vahvistetaan käyttäjän luottamusta opastajaan. Tällä tavoin opastettava voi reitillä edetessään varmistaa pysyvänsä ohjeen mukaisella polulla. Etäisyyden ilmaiseminen tulee tapahtua suhteellisia käsitteitä käyttäen (kohdat 2.4 ja 3.3.3) tai sitä voidaan vaihtoehtoisesti määritellä käyttämällä myös tilan rakenteissa toistuvasti esiintyviä kohteita, kuten huoneita, alueita tai käytäviä. Kuvailemalla *järjestysnumeron* avulla näitä toistuvia rakenteita, voidaan määritellä etäisyys seuraavaan tekoon reitillä.

- Orientaatio
 - *Reitin alku – ”Aloita vasemmalla olevan pyöreän pöydän luota.”*
 - *Segmentin alku tai loppu – ”Näet pyöreän pöydän oikealla.”*
 - *Etsitty kohde – ”Etsimäsi laboratorio on etuoikealla vaatenaulakon luona.”*

Esimerkki 3. Orientoivia viestejä.

Orientaatio reittiopasteessa sitoo opastajan ja opastettavan suunta- ja sijaintikäsitteiksi toisiinsa sijoittamalla kohteita tilaan sanallisesti, kuten esimerkistä 3 käy ilmi. Orientaatiota voidaan tarjota opastettavalle reittisegmenttien alkua ja loppua koskevissa opastuselementeissä. Orientaatio koostuu reitin etenemissuunnan ja aloituskohdan määrittelystä, joka suoritetaan suuntaa suhteellisesti kuvaavia ilmaisuja sekä etenemissuunnassa olevia kohteita kuvaamalla.

4.2.2 Reittisegmentointi ja tiivistäminen

Sisällön oikeanlaisella järjestämisellä, sopivia viittauksia sekä aggregaatiota käyttämällä reittiopasteesta saadaan kompakti ja helposti sisäistettävä kokonaisuus. Tässä kohdassa paneudun reittiopasteen rakenteen muokkaamiseen näiden tekijöiden kannalta.

Reittiopaste jakaantuu *segmenttikuvauksiin*, jotka tarkentuvat kolmeen osaan: *alkua*, *ohjetta* ja *loppua* koskeviin opasteisiin. Tämä jako perustuu kohdassa 3.2.1 käsiteltyihin tutkimuksiin, sillä rakenteellisista eroavaisuuksista huolimatta kaikissa niissä esiintyi juuri nämä kolme elementtiä. Reittisegmentin alkua ja loppua koskevat opasteet koostuvat orientaatiosta, jonka tehtävänä on esitellä opastettavalle luotettavia

kiintopisteitä reitin varrella suunnan ja sijainnin määrittämistä varten. Kiintopisteet määritellään yhdistämällä kohteita ja niiden sijaintia kuvaavia ilmaisuja samaan virkkeeseen, kuten taulukosta 5 ja esimerkistä 3 on nähtävissä. Kohdassa 3.2.3 esitin, että reittiopasteesegmentin alkua ja loppua koskevat elementit voidaan tarvittaessa yhdistää kahden segmentin välillä jatkuvuuteen ja etenemiseen perustuen. Näin opastetta voidaan tiivistää entisestään jättämällä pois tarpeetonta toistoa. Juuri tästä syystä alkua ja loppua koskevat elementit eivät ole pakollisia taulukon 5 segmenttikuvauksessa. Erilistä orientoivaa opastetta voidaan välttää myös tilanteessa, jossa reittisegmentin polkua koskeva toiminto sisältää kuvauksia segmentin alku- tai loppukohtiin liittyvistä kohteista.

Taulukossa 5 esitelty kielioppi ei sisällä viittauksia, sillä opasteen sisällön kuvailussa on lähtökohtana koon rajaaminen minimiin opastettavan kognitiivisiin resursseihin kohdistuvan kuorman vähentämiseksi. Kieliopin yksinkertaisuudesta johtuen viittauksia ei tarvita, sillä esiteltyihin elementteihin ei viitata myöhemmin samassa opasteessa.

Viittausten tuominen reittiopasteeseen on paikallaan, jos segmenttikuvauksen elementtejä yhdistetään opasteen tiivistämiseksi. Käytännössä tämä tarkoittaa orientaatioissa ja toiminnossa käytettävien kohteiden tai kahdessa perättäisessä toiminnossa olevien kohteiden korvaamista sopivilla viittauksilla:

Orientaation ja toiminnon yhdistäminen – ”Aloita vasemmalla olevan pyöreän pöydän luota. Jatka sen ohi laboratorioon asti.”

Kohteen korvaaminen viittauksella perättäisissä toiminnoissa – ”Käänny oikealle ja jatka läpi aulan vaatenaulakon luo. Jatka sen ohi Coca-Cola automaatin luo.”

Tässä tutkielmassa esittämäni kielioppi vastaa ennen kaikkea opastuksen segmentoinnin asettamiin vaatimuksiin. En siis perehdy tässä yhteydessä viittausten tarkempaan käsittelyyn.

4.2.3 Reittiopasteen pintamuoto kielioppina

Edellisissä kohdissa olen kuvannut reittiopasteen sisältöä, sen rakennetta sekä menetelmiä, joiden avulla opasteita on tiivistetty, jaoteltu ja yhdistelty kokonaisuuksiksi. Tässä kohdassa käyn läpi yksityiskohtaisemmin opaste-esimerkkien sisältöä havainnollistaen näin taulukossa 5 esitetyn kieliopin lopullista pintamuotoa.

Reittisegmentin alussa opastettavalle kuvaillaan orientaation avulla kohde, josta reitillä eteneminen jatkuu:

Segmentin alku tai loppu – ”Näet pyöreän pöydän oikealla.”

Reitin ensimmäinen ja viimeinen segmentti muodostavat poikkeukset segmenttikuvauksen käsittelyssä. Ensimmäisen segmentin alussa orientoiva informaatio on välttämätöntä, jotta opastettavalle ja opastajalle voidaan määritellä yhtenevä käsitys opastettavan suunnasta ja sijainnista:

Reitin alku – ”Aloita vasemmalla olevan pyöreän pöydän luota.”

Reitin viimeisen segmentin loppua käsittelevä informaatio osoittaa sopivalla ilmaisulla opastettavalle hänen olevan perillä:

Etsitty kohde – ”Etsimäsi laboratorio on etuoikealla vaatenaulakon luona.”

Segmenttikuvauksen ohje koostuu toimintoa, vahvistusta tai näiden yhdistelmää koskevasta informaatiosta. Toiminto kuvaa tiiviisti etenemisen suuntaa ja etäisyyttä sisältäen varmistuksen, jonka avulla opastettavalle ilmaistaan etenemisen päätöskohta:

Suunta ilman vahvistusta – ”Käänny oikealle ja jatka läpi aulan vaatenaulakon luo.”

Vahvistus on sisällöltään toimintoa suppeampi ja väljempi. Sen tarkoituksena on rohkaista opastettava kulkemaan alueen läpi, sitä mukailleen tai suuntaamaan kohti koh-

detta tai jatkamaan läpikulkumaamerkin (kohta 3.1.3) tai muun kohteen ohi. Opastettava voi joutua tekemään pieniä suunnanmuutoksia matkallaan, vaikka vahvistus ei sisällä käännöksiä koskevaa informaatiota. Tällaisessa tilanteessa reittisegmentin päätöskohtaa kuvaavan kohteen tulee olla opastettavalle helposti havaittavissa, jotta hän ei joudu hämmennyksen tilaan tai eksy opastetulta reitiltä. Etäisyyttä väljästi määrittelevä opaste on riittävä, jos polku kulkee rakenteen kannalta yksinkertaisen ympäristön läpi ja päätöskohdan voidaan olettaa olevan helposti havaittavissa:

Vahvistus etäisyyttä käyttäen – ”Seuraa käytävää jonkin aikaa, kunnes saavut Matin huoneen luo.”

Vahvistus voidaan kuvata käyttäjälle hyödyntäen tilassa ilmenevää rakenteellista järjestystä. Tämä edellyttää tilakuvauksessa olevilta kohteilta kohdassa 4.1.3 esiteltyä järjestyvyyttä:

Vahvistus järjestystä käyttäen – ”Seuraa käytävää kolmanteen oveen asti.”

Toiminto voi sisältää myös sekä suuntaa että vahvistusta kuvaavaa informaatiota. Tällaisessa tapauksessa toiminnossa määritellään ensin suunnan muutos liikkeelle ja tämän jälkeen vahvistuksen avulla opastettava rohkaistaan jatkamaan uuteen suuntaan:

Suunta ja vahvistus – ”Käänny oikealle ja suuntaa kohti Coca-Cola-automaattia.”

Vahvistuksessa voidaan käyttää apuna myös opastekylttejä tai muita eksplisiittisiä opasteita, jos niiden katsotaan ohjaavan opastettavaa luotettavasti perille:

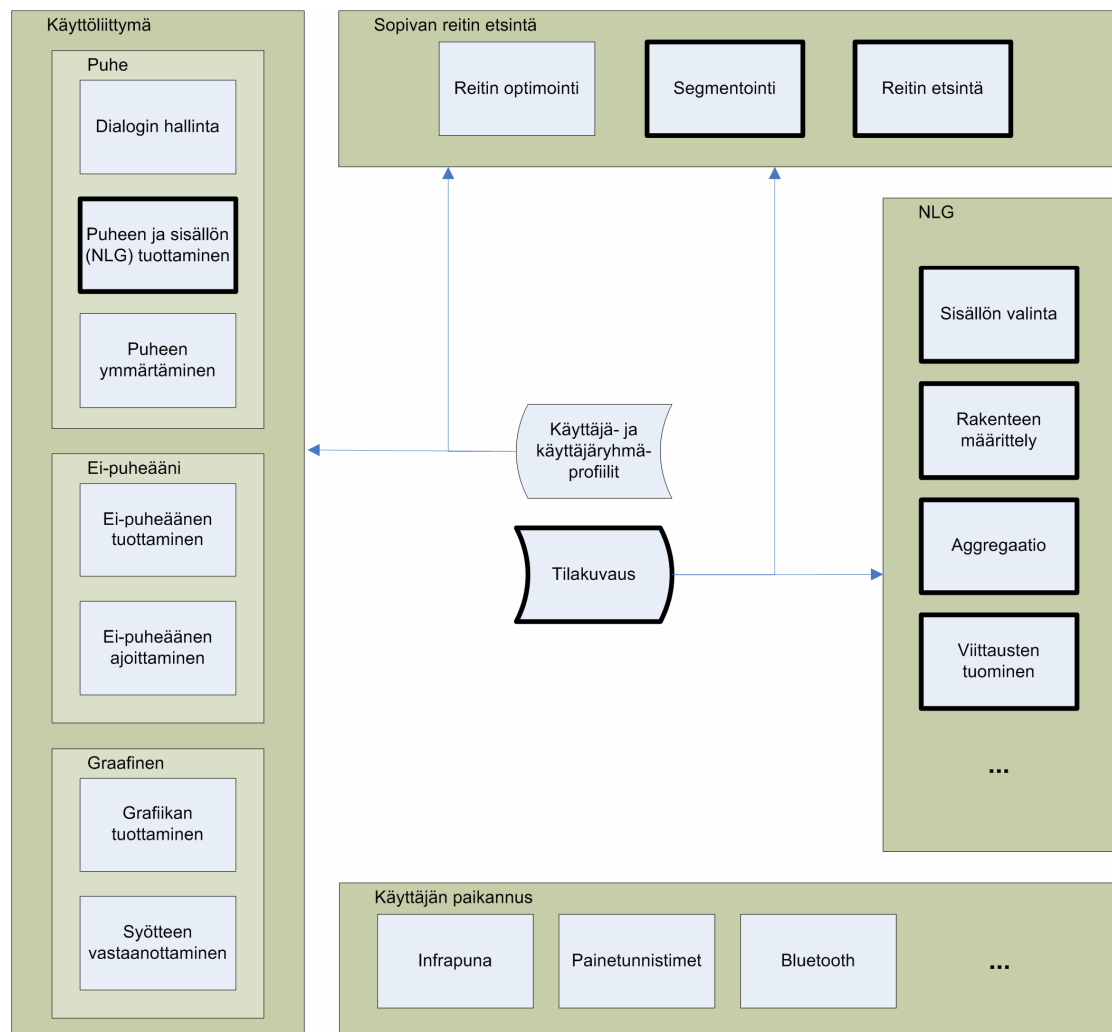
Vahvistus opasteita käyttäen – ”Seuraa opasteita laboratorioon asti.”

Jokaisella tilalla ja rakennuksella saattaa olla omat erityispiirteensä, joita voidaan mallintaa tilakuvaukseen ja reittiopasteeseen elementeiksi tai tekstikehyksen muuttomattomiksi osiksi. Opastekyltit muodostavat juuri tällaisen ryhmän. Kaikissa suurissa sisätiloissa niitä ei ole, mutta läsnä ollessaan ne saattavat sisältämänsä informaation

lisäksi olla maamerkkeinä erottuvia kohteita. Hyvät opastekyltit lyhentävät ja tiivistävät segmenttikuvauksen ohjetta ja vähentävät näin informaation omaksumisesta opastettavan kognitiivisille resursseille aiheutuvaa kuormaa.

4.3 Jatkokehitys

Tässä tutkielmassa olen esitellyt automaattista tilamallinnusta ja luonnollisen kielen käyttämiseen perustuvaa sisätilareittiopastusta. Näiden prosessien kuvaaminen on osa kokonaisen reittiopastussovelluksen tai järjestelmän toteutusta. Kuvan 5 avulla esitän hahmotelmaa reittiopastusjärjestelmän rakenteesta havainnollistaakseni keskeisimpiä prosesseja ja komponentteja, joita tällaisen järjestelmän tulee sisältää. Olen merkinnyt vahvennetuilla reunoilla kuvasta ne prosessit ja komponentit, joita olen käsitellyt tässä tutkielmassa.



Kuva 5. Hahmotelma reittiopastusjärjestelmän rakenteesta.

Jatkotutkimuksen tehtäväksi jää selvittää muita sisätilareittiopastusjärjestelmän toteuttamiseen liittyviä seikkoja, joihin olen tutustunut myös tämän tutkielman kirjoittamisen yhteydessä, mutta jotka rajauksellisista syistä on täytynyt jättää maininnan tasolle tai kokonaan mainitsematta. Esittelen tässä kohdassa joitakin tutkielman kirjoituksen yhteydessä havaitsemiani tutkimuskohteita, jotka yhdistyvät läheisesti tässä tutkielmassa hahmoteltuun reittiopastussovellukseen

4.3.1 Suomenkielisen reittiopastuskorpuksen kerääminen

Tässä tutkielmassa olen käyttänyt englanninkielisessä lähdekirjallisuudessa esitettyjä tuloksia koehenkilöiltä kerätyistä reittiopasteista sopivien opasteiden ja rakenteiden suunnittelemiseksi. Englanninkielisessä lähdekirjallisuudessa reittiopastuksen sanastoa ja opasteen rakennetta on käsitelty paljon, mutta reittiopasteiden sanastoissa ja rakenteissa saattaa ilmetä eroavaisuuksia eri kielten välillä.

Luonnollista kieltä tuottavan systeemin suunnittelussa kannattaa perehtyä ihmisten väliseen vuorovaikutukseen NLG:tä hyödyntävän sovelluksen tai järjestelmän käyttökontekstissa (kohta 2.3.2). Reittiopastusta toteuttavan sovelluksen suunnittelussa tällaisen aineiston kerääminen koehenkilöiden avulla on välttämätöntä [May *et al.*, 2003; Krahmer *et al.*, 2003]. Kohdassa 4.2 esitetyn reittiopasteen käytettävyyden arvioimiseksi ja kehittämiseksi on suoritettava koe, jossa ihmisiltä kerätään reittiopasteita samaan tapaan kuin Tversky ja Lee [1997, 1999] ja Denis ja muut [1999] tutkivat ulkona jalan liikkuvien ihmisten reittiopasteita automaattisen reittiopasteiden tuottamisen ja ihmisen opastustarpeiden kartoittamiseksi. Denisin ja muiden [1999] kuvaama koejärjestely, jossa opastajina, oppaina ja opasteiden laadun arvioijina käytetään sekä tilan tuntevia että sen suhteen kokemattomia ihmisiä, tuottaisi varmasti luonnollisen kielen muotoisen reittiopasteen kieliopin sisältöön ja rakenteeseen parannuksia.

4.3.2 Sisätilojen maantieteellinen mallintaminen

Autoilijoille ja ulkotiloihin suunnattuihin reittiopastusjärjestelmiin on saatavissa maantieteellistä informaatiota, mutta julkisista sisätiloista vastaavaa informaatiota on niukalti tarjolla. Sisätilaa maantieteellisesti kuvaavalle informaatiolle on olemassa tarve tulevaisuudessa yleistyvien henkilökohtaisten reittioppaina toimivien laitteiden kannalta. Perinteinen paperikartta on saavuttanut vakiintuneen aseman reittioppaana,

vaikka sen tarjoamaa informaatiota nykyään pyritään laajentamaan sähköisin keinoin, kuten tuomalla etunäkökohtia koskevaa informaatiota osaksi karttaa. Reittiopastussovelluksen toteutuksessa täytyy ottaa huomioon myös alustana toimivan laitteistojen, ohjelmistojen ja käyttöliittymäratkaisujen tuomat vaatimukset sekä rajoitukset tilamallinnukseen. Reittiopastusnäkökulmasta oleellisen informaation erottaminen sisätilan rakenteesta ja kohteista sekä tämän informaation mukauttaminen erilaisia laiteresursseja hyödyntävien opastusjärjestelmien käyttöön on mielenkiintoinen tutkimuskohde. Tällaisesta tilakuvauksesta olisi hyötyä esimerkiksi *monimediaa* (*multimedia*) tukeville kannettaville laitteille, kuten kämmentietokoneille ja kehittyneille matkapuhelimille, joihin reittiopastuspalveluita on jo nykyisin saatavilla.

Tässä tutkielmassa esittämäni sisätilakuvaus ja reittiopaste eivät sellaisenaan ole riittäviä monikerroksisen rakennuksen reittiopastukselle asettamiin haasteisiin. Valitun näkökulman kaksiulotteisuus johtuu osittain lähdemateriaalin asettamista rajoista: autoilijoille ja muille ulkotiloissa liikkuville suunnatuissa järjestelmissä tarve kolmiulotteiseen opastukseen on vähäinen ja kierrettävissä sopivia ilmauksia käyttäen. Sisätilaraittiopastuksessa tähän seikkaan on kuitenkin välttämätöntä ottaa kantaa. Lähdemateriaalin puuttuessa pystysuuntaista liikettä käsittelevien opasteiden suunnittelu on aloitettava suomenkielisen sisätilaraittiopastuskorpuksen keräämisen yhteydessä (kohta 4.3.2).

4.3.3 Reittiopastussovelluksen käyttöliittymät ja käyttäjäryhmät

Reittiopastussovelluksen toteutusta suunniteltaessa käyttöliittymä on keskeisessä asemassa. Reittiopastusta käsittelevässä kirjallisuudessa puheikäyttöliittymä on havaittu tehokkaaksi ratkaisuksi reittiopasteiden välittämiseksi [Streeter *et al.*, 1985; Höök, 1991; Kraemer *et al.*, 2003]. Puheen käyttäminen esimerkiksi graafisen käyttöliittymän ohella tai sitä korvaavana ratkaisuna on havaittu jakavan tasapuolisemmin opastusta vastaanottavan ihmisen kognitiivisiin resursseihin kohdistuvaa kuormaa, sillä äänipohjainen opastus antaa ihmiselle mahdollisuuden liikkua ja navigoida samaan aikaan, kun esimerkiksi karttojen ymmärtäminen ja muistaminen ovat vaikeita ongelmia ja molemmat tehtävät vaativat useita kognitiivisia prosesseja [Höök, 1991]. Puheikäyttöliittymän toteuttaminen kognitiivisia resursseja kuormittavaan reittiopastussovellukseen vaatii sujuvan dialogin ja luotettavan poikkeus- ja virhetilannekäsittelyn suunnittelua.

Tässä tutkielmassa olen keskittynyt lähinnä normaalin näkökyvyn omaavien aikuisten tarpeisiin soveltuvan automaattisen sisätilareittiopastuksen taustakartoitukseen ja suunnitteluun. Erityisryhmille kuten lapsille, vanhuksille, liikuntarajoitteisille ja näkövammaisille vastaavassa tarvekartoituksessa ja suunnittelussa tulee ottaa huomioon erilaisia tekijöitä muun muassa tilasta mallinnettavien kohteiden ja niiden ominaisuuksien valinnassa ja määrittelyssä sekä luonnollista kieltä käyttävän reittiopasteen toteuttamisessa. Huomiota täytyy kiinnittää myös käyttöliittymäratkaisujen suunnitteluun ja käyttöliittymäkomponenttien valintaan.

Puhekäyttöliittymään perustuva reittiopastus voi olla riittämätön tai vaikeasti toteutettavissa esimerkiksi näkövammaisen henkilön tarpeita vastaavaksi. Withington [1999] on tutkinut ihmisen kykyä tunnistaa äänilähteen suuntaa ja sijaintia kolmiulotteisessa avaruudessa. Hänen mukaansa esimerkiksi evakuointitilanteessa ihminen voidaan opastaa ulos käyttämällä tilaan sijoitettujen äänilähteiden kautta välitettyjä äänisignaaleja, joita kohden ihmisen tulee pyrkiä. Tällainen opastus soveltuu erityisen hyvin tilanteisiin, joissa esimerkiksi savu tai pöly haittaa näköaistin käyttämistä navigoinnissa. Ei-puheääniin perustuvia käyttöliittymäratkaisuja reittiopastussovelluksissa ja -järjestelmissä on tutkittu melko vähän, mutta oikein käytettynä ne saattavat tuoda luonnollisen kieltä käyttävän puhekäyttöliittymän rinnalle tehokkaan lisän jakaen puhekäyttöliittymän aiheuttamaa kognitiivista kuormaa tasaisemmin. Evakuointi erityispiirteineen muodostaa sisätilareittiopastussovelluksille uuden käyttökontekstin ja tutkimuskohteen.

Käyttötilanteet ja käyttäjäryhmät määrittelevät tarpeet reittiopastussovelluksen toiminnalle, mutta ne ohjaavat myös sovelluksen toteutuksessa käytettävien laitteisto- ja ohjelmistoresurssien valintaa. Reittiopastussovelluksen- tai järjestelmän käyttöliittymä voi kuvan 5 mukaisesti vaihdella riippuen siitä, toimiiko se opastettavan mukana henkilökohtaisessa kämmentietokoneessa tai matkapuhelimessa vai osana opastettavaa ympäristöä tilaan upotettuna, *jokapaikan (ubicomp)* tietotekniikkaa toteuttavana järjestelmänä. Henkilökohtaisessa päätelaitteessa toimiva reittiopas tarjoaa mielenkiintoisen tutkimuskohteen, sillä se mahdollistaa reittiopastuksen suunnittelun yksittäisen käyttäjän tarpeisiin mukautuvaksi [Höök, 1991]. Ympäristöön upotetun jokapaikan reittioppaan asettamat haasteet käyttäjän tilan ja sijainnin tunnistamiseen liit-

tyen tarjoavat toisenlaisia tutkimuksellisia haasteita. Näiden lisäksi muut käyttöliittymäratkaisuihin liittyvät haasteet edellyttävät reittiopastusjärjestelmien ja -sovellusten laitteistoratkaisuihin perehtymistä ja niiden vertailua.

4.4 Lopuksi

Tässä luvussa olen kuvannut tarvepohjaisen tilakuvauksen, jonka tehtävänä on toimia automaattisen, sopivan reitin etsinnän ja automaattisen, luonnollisen kielen muotoisen reittiopasteen tuottamisen lähtökohtana. Tämän jälkeen olen esittänyt tilakuvaukseen, luonnollisen kielen tuottamisprosesseihin ja ihmisen reittiopastustarpeisiin perustuvan reittiopastuskieliopin. Tarkastelin tilakuvauksen soveltuvuutta reittiopasteen sisällön lähtökohdaksi sekä kieliopin rakenteita ytimekkään ja helposti omaksuttavan reittiopasteen tuottamiseksi. Havainnollistin kielioppia, sen sisältöä ja rakenteita käsittelevin esimerkein, jotka konkretisoivat kieliopin elementtejä ja niiden ympärille rakentuvia tekstikehyksiä.

Käsittelin tilakuvauksen ja kieliopin suhdetta automaattisen reittiopastuksen muihin prosesseihin ja komponentteihin. Tarkastelin myös reittiopastussovelluksen suunnitteluun liittyviä, tutkielman taustakartoituksen yhteydessä ilmenneitä tekijöitä, joihin jatkotutkimuksessa on keskityttävä onnistuneen reittiopastussovelluksen toteuttamiseksi.

5 Yhteenveto

Tässä tutkielmassa selvitin, kuinka sisätilaa on kuvattava, jotta automaattinen reitin etsintä ja ihmisen tarpeita vastaava luonnollisen kielen muotoinen reittiopastus on muodostettavissa sen pohjalta. Lähtökohtanani on ollut tuottaa yleinen malli tilakuva-ukselle ja reittiopasteelle, jotta molempien soveltaminen olisi mahdollista erilaisten käyttöympäristöjen, laite- ja ohjelmistoresurssien tarpeita vastaavaksi.

Ihmisen tarpeiden mukaisen, automaattisen reittiopastuksen suunnitteleminen ja toteuttaminen vaativat perehtymistä ihmisen kykyyn hahmottaa tilaa. Tilanhahmotuskykyä tarvitaan erityisesti orientoitumisessa ja navigoimisstrategian laatimisessa. Näissä molemmissa prosesseissa reittiopastuksella on ratkaiseva merkitys tuntemattomassa ympäristössä liikuttaessa. Tässä tutkielmassa olen kuvannut ihmisen tapaa hahmottaa tilaa ja etsiä reittiä siinä.

Olen tarkastellut luonnollisen kielen soveltuvuutta automaattiseen reittiopastukseen ja havainnut edeltävän tutkimuksen pohjalta sen olevan yleinen tapa informaation välittämiseen reittiopastussovelluksissa ja -järjestelmissä. Tässä tutkielmassa olen tarkastellut automaattisen reittiopasteen suunnittelua ja realisointia luonnollisen kielen tuottamisprosessina ja erityisesti reittiopasteen jakamista useiksi aliopasteiksi. Tästä uskon olevan hyötyä tutkielmassa esitettyä reittiopastusta käyttävää järjestelmää toteutettaessa, sillä osista koostuva opastus on helpommin sovitettavissa erilaisiin käyttöliittymäratkaisuihin. Ositettava reittiopastus soveltuu erilaisiin vuorovaikutustilanteisiin sekä laitteisto- ja ohjelmistoresurssien tarpeisiin.

Sisätilamaamerkkien automaattisesta mallintamisesta yleisellä tasolla on vähän edeltävää tutkimusta. Tässä tutkielmassa olen tarkastellut sisätilareittiopastuksen kannalta välttämättömiä maamerkkiominaisuuksia erilaisissa käyttötilanteissa ja esittänyt tapoja, joilla niitä voidaan mallintaa siten, että automaattinen reitin etsintä kykenee valitsemaan opastukseen soveltuvimman reitin. Olen tarkastellut maamerkkejä myös luonnollisen kielen muotoisen reittiopasteen sanaston kannalta. Tilakuvauksen määrittelyjä noudattaen myös muita sisätilassa olevia kohteita voidaan mallintaa siten, että ne soveltuvat reitin etsinnän ja opastuksen tarpeisiin. Näiden tarpeiden lisäksi tilakuva-

uksen asettamat vaatimukset toimivat ohjeena valittaessa sisätiloista kohteita, joita maamerkkien lisäksi on mallinnettava riittävän kuvauksen toteutumiseksi.

Tutkielmassa esitetyn tilakuvauksen ja luonnollisen kielen muotoisen reittiopasteen tarkentamiseksi täytyy suunnitella ja toteuttaa kenttäkoe koehenkilöiden avulla. Kokeet, joissa reittiopasteen sanastoa ja rakennetta selvitetään ihmisiltä kerättyjä reittiopasteita analysoimalla, ovat edeltävässä tutkimuksessa yleisesti käytetty tapa esitettyjen kielioppien tarkentamiseksi.

Automaattinen sisätilareittiopastus on toistaiseksi melko vähän tutkittu ja uusi ihmisen ja tietokoneen välistä vuorovaikutusta tarkasteleva osa-alue, jolle jokapaikan tietotekniikan, kämmenmikrojen ja älypuhelimien yleistyessä on yhä enemmän soveltuvia laitteisto- ja ohjelmistoratkaisuja tarjolla. Ihmisen omiin tarpeisiin vastaamisen lisäksi näen reittiopastussovellukset ja -järjestelmät myös ihmisen tilaa ja sijaintia hyödyntävien palvelujen ja henkilökohtaisen tietotekniikan sovellusten resursseina. Kohdassa 4.3 esittämäni jatkotutkimuskohteet osoittavat tutkimuksen tarpeellisuuden toimivien, käyttökontekstiin ja käyttäjryhmiin mukautuvien ja monipuolisten automaattisten reittioppien toteuttamiseksi.

Viiteluettelo

- [Cahill *et al.*, 1999] L. Cahill, R. Evans, C. Mellish, D. Paiva, M. Reape, D. Scott & N. Tipper, In search of a reference architecture for NLG systems. In: *Proc. of the 7th European Workshop on Natural Language Generation (EWNLG'99)*, 77-85.
- [Channarukul, 1999] S. Channarukul, Yag: A template-based natural language generator for real-time systems. University of Wisconsin-Milwaukee, Department of Electrical Engineering and Computer Science, Technical Report **NLKRRG-200-01**, December 1999.
- [Darken & Peterson, 2001] R. Darken & P. Peterson, Spatial orientation, wayfinding, and representation. In: K. Stanney (ed.), *Handbook of Virtual Environment Technology*. Lawrence Erlbaum Assoc, Inc., 2001, chapter 28.
- [Denis *et al.*, 1999] M. Denis, F. Pazzaglia, C. Cornoldi, L. Bertolo, Spatial discourse and navigation: an analysis of route directions in the city of Venice. *Applied Cognitive Psychology* **13** (1999), 145-174.
- [Duckham & Kulik, 2003] M. Duckham & L. Kulik, "Simplest Paths": Automated route selection for navigation. In: W. Kuhn, M. Worboys & S. Timpf (eds.), *Spatial Information Theory: Foundations of Geographic Information Science, Lecture Notes in Computer Science* **2825** (2003), Berlin: Springer, 182–199.
- [Elhadad, 1993] M. Elhadad, Using Argumentation to Control Lexical Choice: A Functional Unification Implementation. Columbia University, New York, 1993.
- [Höök, 1991] K. Höök, An Approach to a Route Guidance Interface, Stockholm University, Dept. of Computer and Systems Sciences, Licentiate Thesis **ISSN 1101 8526**, 1991.

- [Kantrowitz & Bates, 1992] M. Kantrowitz & J. Bates, Integrated natural language generation systems. In R. Dale, E. Hovy, D. Rosner & O. Stock (eds.), *Aspects of Automated Natural Language Generation, Lecture Notes in Artificial Intelligence* **587** (1992), Springer, 13-28.
- [Kuipers, 1977] B. Kuipers, Representing knowledge of large-scale space. Massachusetts Institute of Technology, Mathematics Department, M.I.T. Artificial Intelligence Laboratory, Technical Report **418**, 1977.
- [Kuipers, 1982] B. Kuipers, The 'map in the head' metaphor. *Environment and Behaviour* **14**, 2 (1982), 202-220.
- [Lynch, 1960] K. Lynch, *The Image of the City*. The M.I.T. Press & Harvard University Press, 1960.
- [McTear, 2004] M. McTear, *Spoken Dialogue Technology: Toward the Conversational User Interface*. Springer-Verlag, 2004.
- [May et al., 2003] A. May, T. Ross, S. Bayer & M. Tarkiainen, Pedestrian navigation aids: information requirements and design implications. *Personal and Ubiquitous Computing* **7**, 6 (Dec. 2003), Springer, 331 - 338.
- [Pattabhiraman & Cercone, 1990] T. Pattabhiraman & N. Cercone, Selection: salience, relevance and the coupling between domain-level tasks and text planning. In: *Proc. 5th International Workshop on Natural Language Generation*, 79-86.
- [Raubal & Egenhofer, 1998] M. Raubal & M. Egenhofer, Comparing the complexity of wayfinding tasks in built environments. *Environment & Planning B* **25**, 6 (1998), 895-913.
- [Raubal & Worboys, 1999] M. Raubal & M. Worboys, A formal model of the process of wayfinding in built environments. In: C. Freksa & D. Mark (eds.), *Spatial Information Theory. Cognitive and Computational Foundations of Geographic Information Science. International Conference (COSIT'99)*, 381-399.

- [Raubal, 2001a] M. Raubal, Agent-Based Simulation of Human Wayfinding: a Perceptual Model for Unfamiliar Buildings. Vienna University of Technology, Institute for Geoinformation, Vienna, 2001.
- [Raubal, 2001b] M. Raubal, Human wayfinding in unfamiliar buildings: a simulation with a cognizing agent. *Cognitive Processing* **2-3** (2001), 363-388.
- [Raubal & Winter, 2002] M. Raubal & S. Winter, Enriching wayfinding instructions with local landmarks. In: M. Egenhofer & D. Mark, (eds.), *Geographic Information Science, Lecture Notes in Computer Science* **2478**, Springer, 2002, 243-259.
- [Reiter & Dale, 1992] E. Reiter & R. Dale, A fast algorithm for the generation of referring expressions. In: *Proc. 14th International Conference on Computational Linguistics (COLING 1992)*, 232-238.
- [Reiter & Dale, 1997] E. Reiter & R. Dale, Building applied natural language generation systems, *Natural Language Engineering* **3**, 1 (1997), 57-87.
- [Streeter *et al.*, 1985] L. Streeter, D. Vitello & S. Wonsiewicz, How to tell people where to go: Comparing navigational aids. *International Journal of Man-Machine Studies* **22**, 5 (1985), 549-562.
- [Werner *et al.*, 1997] S. Werner, B. Krieg-Brückner, H. Mallot, K. Schweizer & C. Freksa, Spatial Cognition: The role of landmark, route, and survey knowledge in human and robot navigation. In: M. Jarke, K. Pasedach & K. Pohl (eds.), *Informatik '97* (1997), Springer, 41-50.
- [Withington, 1999] Deborah Withington, Localisable alarms. In: N. Stanton & J. Edworthy (eds.), *Human Factors in Auditory Warnings*, Ashgate Pub Co., (1999), 33-41.