



LAHDEN AMMATTIKORKEAKOULU
Lahti University of Applied Sciences

VISUAALISET RAJAPINNAT AJONEUVON KULJETTAJALLE

LAHDEN
AMMATTIKORKEAKOULU
Tekniikan ala
Mediatekniikan koulutusohjelma
Teknisen visualisoinnin suuntautumis-
vaihtoehto
Opinnäytetyö
Kevät 2012
Mika Korhonen

Lahden ammattikorkeakoulu
Mediatekniikan koulutusohjelma

KORHONEN, MIKA: Visuaaliset rajapinnat ajoneuvon kuljettajalle

Teknisen visualisoinnin opinnäytetyö, 62 sivua

Kevät 2012

TIIVISTELMÄ

Opinnäytetyö käsittelee ajoneuvon kuljettajalle teknisin keinoin tuotettavaa visuaalista informaatiota. Työ keskittyy ajoneuvoon valmiiksi rakennettujen ja siihen jälkikäteen liitettävien järjestelmien tuottamaan visuaaliseen informaatioon ajoneuvon kuljettamisen näkökulmasta. Tavoitteena on ollut luoda kattava läpileikkaus markkinoilla olevista, usein turvallisuuteen liittyvistä teknisistä ratkaisuista ja tutustua niiden toimintaan liittyviin yksityiskohtiin, saavutettavaan hyötyyn ja mahdollisiin puutteisiin.

Työ rakentuu karkeasti kolmesta osa-alueesta: Alussa tutustutaan näkemisen fysiologiaan ja kognitiivisen psykologian kuvaamaa ihmistä työssä toimijana, käydään läpi sääilmiöihin ja sääennusteisiin liittyviä asioita sekä tutustutaan satelliittipaikannuksen toimintaperiaatteeseen. Toisen kokonaisuuden muodostavat ajoneuvoihin liittyvät järjestelmät, joiden toiminnan pääasiallinen tai osittainen funktio liittyy kuljettajan informointiin visuaalisen ärsykkeen avulla. Lisäksi osuudessa käydään läpi visuaalisen informaation esityskeinoja, anturi- ja kameratekniikkaa, sekä esitellään täysin autonomisen ajoneuvon kehitystä. Case-osuudessa esitellään idea navigaattorin käyttöliittymän kehittämiseksi ihmisläheisempään suuntaan kameran tuottaman kuvan avulla.

Visuaalista informaatiota esittävien laitenäyttöjen, mittaristojen ja varoitusvalojen kartoitus selvensi syytä, miksi visuaalisten signaalien tuottamisessa ei ole siirrytty pelkkien näyttöjen käyttämiseen. Ajoneuvon toiminnan ja toimintojen visualisointi on vielä lapsenkengissä moneen muuhun alaan verrattuna. Yhtenäisen visuaalisen käyttöjärjestelmäpohjan puuttuminen tekee visuaalisten ajoneuvokäyttöliittymien kehittämisestä hidasta ja tuotteet vaikuttavat jo julkaisuhetkellä vanhahtavilta.

Asiasanat: ajoneuvo, visuaalisuus, navigaattori, kamera, GPS

Lahti University of Applied Sciences
Degree Programme in Media Technology

KORHONEN, MIKA: Visual interfaces for a vehicle driver

Bachelor's Thesis in Visualisation Engineering, 62 pages

Spring 2012

ABSTRACT

The thesis deals with how technology can be used to provide the driver of a vehicle with visual information. The work focuses on the built-in and retrofitted systems to provide visual information. The aim has been to develop a comprehensive overview of the technical solutions on the market, often safety-related, and to study their functions, benefits and possible deficiencies.

The work is roughly divided into three sections. The first is about the physiology of vision and people at work from the point of view of cognitive psychology. Weather events and weather-related issues are discussed, as well as the principle of satellite navigation. The second section consists of vehicle-related systems, whose main function or partial function involves informing the driver through a visual stimulus. In addition, it presents methods of presenting visual information, sensor and camera technology, and discusses the development of fully autonomous vehicles. The case section presents an idea of developing a more intuitive navigator interface by using camera image.

The visual stimulus produced by today's display technology is more difficult for the driver to interpret than the information provided by conventional indicators and warning lights and that is why the producing of visual signals has not shifted to the usage of only displays. The visualisation of the information produced by the vehicle is still in its infancy compared to many other fields. The lack of a uniform visual operating system slows down the development of visual user interfaces for vehicles, which makes products seem outdated already at the time of publication.

Key words: vehicle, visualinterface, navigator, camera, GPS

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	AJONEUVON KULJETTAMISEN KOGNITIIVISIA JA FYSIOLOGISIA HAASTEITA	3
2.1	Näköhavainto	3
2.2	Kognitiivinen kapasiteetti	4
2.3	Teknisten ratkaisujen kehittäminen	5
3	SÄÄ	6
3.1	Sään ennustaminen	6
3.2	Säävaroitus	8
3.3	Liikennesää	9
3.4	Sääilmiöt	9
4	SATELLIITTIPAIKANNUS	11
4.1	Satelliittipaikannusjärjestelmät	11
4.2	GPS	12
4.2.1	Satelliitit	14
4.2.2	Signaali	15
4.2.3	Tarkkuus	16
5	AJONEUVOON INTEGROITAVAT TEKNISET LAITTEET	20
5.1	Navigointijärjestelmä	20
5.1.1	Ominaisuudet	21
5.1.2	Kartat	23
5.2	Mittarit ja merkkivalot	24
5.3	Ajotietokone	25
5.4	Ajoneuvotietokone	26
5.5	Näytöt	28
5.6	Kameraan perustuvat avustavat järjestelmät	32
5.6.1	Kameratekniikka	35
5.6.2	Plenoptic –kamera	37
5.7	Tutkaan perustuvat avustavat järjestelmät	38
5.8	LIDAR	41
5.9	Anturit	42
5.10	DARPA Urban Challenge	43

6	CASE: KAMERAN JA NAVIGAATTORIN YHDISTELMÄ	46
6.1	Idean esittely	46
6.2	Kamera	47
6.3	Vektorin muodostaminen	49
6.4	Koordinaatiston laajentaminen	50
6.5	Informaation esittäminen navigaattorin näytöllä	51
7	YHTEENVETO	52
	LÄHTEET	54

1 JOHDANTO

Ajoneuvotekniikan kehitys on muokannut kuljettajan toimintaympäristöä ratkaisevasti. Monipuolistuneet hallintalaitteet ja samalla tietokoneen puuttuminen kuljettajalle kuuluviin tehtäviin, vaativat kuljettajan perehtymistä järjestelmien toimintaperiaatteisiin, toimintaan ja rajoitteisiin. Turvallisuuden vuoksi kuljettajan tulisi voida keskittyä ajamiseen ja tietokoneen ohjaamien toimintojen hoituessa taustalla kuljettajaa mahdollisimman vähän häiriten.

Näköaistimus ympäristöstä ja sen tapahtumista takaa ihmisen aisteista lyhimmän reagointiajan sopeutua jatkuviin liikennetilanteiden muutoksiin. Ihmisen aistihaavaintojen puutteellisuutta ja teknisiin laitteisiin verrattuna pitkiä reaktioaikoja tukemaan on kehitetty keinotekoisiiin aistimiin, eli sensoreihin perustuvia järjestelmiä. Kaikille näille järjestelmille on yhteistä pyrkimys aistimaan ajoneuvon suhdetta ympäristöönsä. Järjestelmien valmistajat ovat pyrkineet valitsemaan sensoritekniikan havaittavan asian mukaan, ja joitakin toimintoja on toteutettu useilla erilaisilla sensoriratkaisuilla.

Visuaaliset ärsykkeet ovat nopea ja tietoa tehokkaasti erotteleva keino välittää kuljettajalle ajomukavuutta, työtehokkuutta sekä tarvittaessa turvallisuuden kannalta tilannekriittistä tietoa. Tieto ajoneuvon toiminnasta ja lisälaitteiden tuottama informaatio esim. ajoneuvon sijainnista välitetään pääasiassa visuaalisesti.

Työn tarkoituksena on selvittää, mitä ajoneuvon kuljettajaa avustavaa visuaalista tietoa voidaan tuottaa ajoneuvoympäristöön, painottuen tietoliikenneyhteyksistä riippumattomaan informaatioon. Tarkoituksena on myös syventää käsitystä visuaalisten apuvälineiden hyödyllisyydestä ja rajoituksista ajoneuvoympäristössä. Työ kartoittaa nykyisten teknisten ratkaisujen toimintaa, tarkoitusta ja teknisiä rajoitteita sekä hakee tuntumaa tulevaisuudessa nähtäviin suuntauksiin.

Kuljettajan suoriutuminen tehtävästään on ennen kaikkea kiinni kuljettajan ja ajoneuvon vuorovaikutuksen toimivuudesta. Ajoneuvon mekaaniset ominaisuudet määräävät sen fyysisen käyttäytymisen tien päällä, ja kuljettaja pyrkii hallitsemaan tilannetta yhdessä teknisten apukeinojen kanssa. Keliolosuhteet ovat merkittävä muuttuja tuon vuorovaikutussuhteen onnistumisessa.

Aiheeseen liittyen esittelen idean kameran ja satelliittinavigaattorin karttanäkymän yhdistämisestä. Konseptissa kuljettajan näkymä eteenpäin kuvataan kameralta ja prosessoidaan kolmiulotteiseksi hyödyntäen tietoa ajoneuvon liikesuunnasta, sijainnista ja nopeudesta. Kun navigaattorin vektorimuotoisen karttanäkymän päälle istutetaan visuaalista tarttumapintaa ajoneuvon ympäristöstä, on lopputuloksena mahdollisimman intuitiivinen esitys navigointia helpottamaan.

2 AJONEUVON KULJETTAMISEN KOGNITIIVISIA JA FYSIOLOGISIA HAASTEITA

2.1 Näköhavainto

Silmät toimivat läheisessä yhteistyössä. Ne jakavat ja vertaavat informaatiota keskenään mahdollistaen näköhavainnon sijoittamisen syvyysuunnassa. Näköjärjestelmän hämmästyttävien ominaisuuksien joukosta kahden toisistaan poikkeavan kuvan yhdistäminen yhdeksi havainnoksi kohteesta kolmiulotteisessa avaruudessa. Silmien etäisyys toisistaan aiheuttaa eron tarkastelukulmaan ja toimii yksinkertaisena etäisyysmittarina. Kulma-erotukseen perustuva järjestelmä voi kuitenkin tuottaa etäisyysarvion vain yhdestä kohteesta kerrallaan. Stereonäkö perustuu lähietäisyydeltä tarkasteltujen kohteiden tunnistettavalle erolle silmien välillä. Stereonäkö toimii noin sataan metriin asti, sitä kaukaisemmille kohteille silmien noin 6,5cm etäisyys toisistaan ei riitä tuottamaan havaittavaa eroa. (Gregory 1998, 60–61.)

Lähietäisyydellä stereonäkö on tehokas vihje kohteen etäisyyttä arvioitaessa. Tehokkuus kuitenkin laskee nopeasti etäisyyden kasvaessa. Ympäristön kokonaisrakenteen hahmottamisessa, liikeparallaksi, viivaperspektiivi ja pintagradientit ovat stereonäköä tärkeämpiä vihjeitä. (Kaasinen 2007, 129.)

Evoluutiivisista syistä näköaisti on erityisen herkkä tuottamaan havaintoja liikkuvista kohteista. Verkkokalvon reuna-alue on herkkä pelkälle liikkeelle. Näköalueen reunalla liikkuvasta kohteesta aistitaan vain liike. Liikkuvaa kohdetta ei voi tunnistaa, sillä ei ole väriä ja lisäksi sen havaitseminen loppuu liikkeen lakatessa. Verkkokalvon äärireunalla liikkuvasta kohteesta ei saada edes havaintoa, mutta refleksi pyrkii kääntämään silmiä, jotta kohde saadaan terävän näön alueelle ja tunnistettua. Liikkuva kohde voidaan tunnistaa kahdella selvästi erilaisella tekniikalla. Silmien pysyessä paikallaan havainto liikkeestä saadaan järjestelmällisellä silmän reseptoreiden ärsytyksellä. Silmien seurattessa liikkuvaa kohdetta kuva kohteesta pysyy pääasiallisesti paikallaan, jolloin aivojen täytyy johtaa kohteen liike silmien seurantalikkeestä. (Gregory 1998, 98, 101.)

Silmä sopeutuu erilaisiin valaistusolosuhteisiin. Vähässä valossa silmät herkistyvät ja valo koetaan kirkkaampana. Hämärään sopeutuminen on nopeaa muutaman

sekunnin ajan, mutta hidastuu sen jälkeen. Silmän tappi- ja sauvasolut sopeutuvat eri nopeuksilla. Tappisoluilta menee seitsemän minuuttia, kun sauvasoluilta voi kestää jopa toista tuntia sopeutua hämärään. (Gregory 1998, 85.)

2.2 Kognitiivinen kapasiteetti

Kognitiivisessa psykologiassa ihmistä pidetään tietoa käsittelevänä oliona. Keräämme havaintoja ympäristöstä, tallennamme, muokkaamme niitä ja toimimme sen pohjalta. Suoritettavia tiedonkäsittelyprosesseja ovat tyypillisesti havainto, tarkkaavaisuus ja muisti. Ihmisen ja tekniikan vuorovaikutusta tarkastellaan usein kognitiivisten perusprosessien pohjalta. Tärkeimmät huomioitavat seikat liittyvät ihmisen kognitiivisen kapasiteetin rajoihin. (Saariluoma 2004, 69.)

Havaintoprosessit antavat tietoa ympäristöstä. Havainto edellyttää aistinreseptoreiden riittävää ärsyttämistä. Käytettävyyden varmistamiseksi täytyy varmistaa, että ärsyketasot ovat riittävällä tasolla. Huonosti valaistut mittarit ja näytöt ovat esimerkki ergonomisesta ongelmasta. Kohteen erottumattomuus taustasta tai huono valonheijastuskyky kertoo heikosta ärsykkeen intensiteetistä. (Saariluoma 2004, 71.)

Tarkkaavaisuus on valikoivaa havaitsemista. Tarkkaavaisuuden prosessit kontrolloivat valitun havainnon, jolloin tulkinta säilyy tietoisuuden keskiössä ja on erottavissa muista mahdollisista tulkinnoista. Ihminen voi tarkkailla vain yhtä asiaa kerrallaan, ellei kyse ole automatisoituneesta toiminnasta. Ihmisen ja koneen vuorovaikutuksen suunnittelussa asian tärkeys korostuu, kun tarkkaavaisuus olisi ohjattava aina tärkeisiin kohteisiin. Monet työtehtävät vaativat pitkiä valppaanaoloaikoja, mutta tarkkaavaisuuden heikkenemisen vuoksi kyky reagoida poikkeaviin tapahtumiin heikkenee, suoritusnopeus pienenee ja virheiden määrä kasvaa. (Saariluoma 2004, 77–78, 81–82.)

Muisti on kolmas kognitiivinen perusprosessi. Muisti jakaantuu osiin, joista tärkeimpiä ovat työmuisti, pitkäkestoinen työmuisti ja pitkäkestoinen muisti. Työmuisti jakaantuu ainakin kolmeen alajärjestelmään, eli keskusyksikköön ja visuaaliseen ja auditiiviseen työmuistiin. Ihminen suorituu yhdestä visuaalisesta ja yhdestä auditiivisesta tehtävästä kerralla. Työmuistin modulaariisuuden ajatellaan

suojelevan yhtä osa-aluetta toisen modaliteetin aiheuttamalta häiriöltä. Työmuistin koko, 4-7 yksikköä, aiheuttaa ongelmia työmuistia kuormittavissa tehtävissä. Pitkäkestoinen työmuisti on työmuistia vakaampi, ja se voi pitää sisällään suuria assosiativisia rakenteita. Se suojelee aktiivisen toiminnan vaatimaa tietoa satunnaisilta häiriöiltä. (Saariluoma 2004, 82–86.)

2.3 Teknisten ratkaisujen kehittäminen

Kuljettajan tarkkaavaisuuden lasku laitteiden käytön tai väsymyksen vuoksi kasvattaa reaktioaikaa. Volvon vetämässä AIDE (Adaptive Integrated Driver-vehicle InterfacE) hankkeessa kehitetään mm. järjestelmää, joka seuraa kuljettajan silmien liikettä, ohjauspyörän asentoa ja näkymää eteenpäin. Kaksi kameraa seuraa herkeämättä katseen suuntaa, ja liian pitkä keskittymisen herpaantuminen ohjataan visuaalisella ärsykkeellä takaisin tiehen. Järjestelmä huolehtisi lisäksi siitä, ettei kuljettajaa rasiteta ylimääräisillä ärsykkeillä hankalissa liikennetilanteissa. (Vanas 2009, 18.)

VTT:n (Valtion teknillinen tutkimuskeskus) kehittämä ajo-opastin auttaa bussikuskia pysymään aikataulussa. Järjestelmä vertaa bussin liikettä ja sijaintia reittisuunnitelmaan ja aikatauluun. Se neuvoa kuljettajaa tilanteen mukaan kaasun käytössä. Tiheään liikennöidyillä linjoilla järjestelmä auttaisi pitämään vuorot ajallaan auttamalla optimoimaan nopeat kiihdykset ja alhaiset matkanopeudet. Kokeilussa ylinopeuksien määrä laski selkeästi ja polttoaineen kulutus väheni keskimäärin 4,5 %. (Leino 2012a.)

Älykäs ajoneuvo – nyt ja huomenna, on VTT:n projekti. Yksi tutkimuksen osa-alueista on yhteistoiminnalliset järjestelmät. Yhteistoiminnallisen järjestelmän toiminta perustuu auton anturitietojen käsittelyyn ja välittämiseen muille tielläliikkuville. Vastavuoroisesti muiden ajoneuvojen lähettämää dataa hyödynnetään oman ajoneuvon tilannekuvan muodostamisessa. Toteutuessaan järjestelmä kykenisi välittämään nopean hälytyksen yllättävissä ja vaaraa aiheuttavissa tilanteissa. Teknisestä näkökulmasta suurimpia haasteita olisivat ajoneuvojen pitkien elinkaarien ja tietotekniikan kehittymistahdin epäsuhta sekä luotettavan ja virheettömän tiedonvälityksen takaaminen ajoneuvojen välillä. (Tarkiainen 2012, 13–14.)

3 SÄÄ

3.1 Sään ennustaminen

Sääennuste syntyy kerättyjen säähavaintojen pohjalta. Tietoa säästä kerätään mm. satelliittien, tutkien ja sääasemien avulla. Pelkistä säähavainnoista säätä voidaan ennustaa vain pariksi seuraavaksi tunniksi. Pidempää ennustetta varten tarvitaan sääennustusmallia, eli tehokasta tietokonetta laskemaan ennusteen matemaattisen mallin avulla ja meteorologin tulkitsemaan tulosta. (Hartonen 2008, 178.)

Maan päältä sääennusteita varten mitataan mm. lämpötilaa, ilmanpainetta, kaste-piste ja sademäärää. Sääennustetta varten tarvitaan säätietoja ympäri maapalloa. Ilmakehän käyttäytymistä ei voi ennustaa ilman tietoa sen olosuhteista koko ilma-kehän paksuudelta. Tätä varten ilmakehään lähetetään heliumilla tai vedyllä täytettyyn ilmapalloon kiinnitetty radiosondi. Radiosondi kerää ja lähettää noustessaan tietoa mm. lämpötilasta, kosteudesta ja tuulesta. Radiosondien käytön merkitys pieneeni sääsatelliittien myötä. Suomessa on pari sataa ilmatieteenlaitoksen säähavaintoasemaa. (Hartonen 2008, 179–180.)

Sähavaintoja tekeviä satelliitteja on kahden tyyppisiä, riippuen niiden kiertoradasta maapallon ympäri. Satelliitit mittaavat maan pinnasta, merestä, pilvistä ja ilmakehästä avaruuteen suuntautuvaa säteilyä. Television säätiedotuksissa näkyvissä satelliittikuvissa on hyödynnetty infrapunasäteilyn taajuusalueetta. Näistä kuvista erottuvat hyvin yläpilvet ja matalalla sijaitsevat sumupilvet eivät erotu hyvin maan- tai merenpintaa vasten. Yläpilvistä ei voi päätellä matalammalla sijaitsevia sadepilviä, eikä sumupilvien näkymättömyys merkitse välttämättä pilvetöntä taivasta. Meteorologit käyttävät useammalta taajuusalueelta muodostettuja yhdistelmäkuvia. (Hartonen 2008, 180–182.)

Säätutkia käytetään vallitsevan sään tutkimiseen ja lähituntien ennusteiden teossa. Säätutka käyttää mikroaltoa-säteilyä. Säteily lähetetään pulssina, ja pieni osa siitä heijastuu takaisin vesipisaroista ja lumihiutaleista. Heijastuneen säteilyn määrästä ja matka-ajasta voidaan päätellä sateen voimakkuus ja etäisyys tutkasta. Tutkakuvas- sassa sateen voimakkuus voidaan esittää eri väreillä: heikko sinertävänä, kohtalainen kellertävänä, voimakas punaisena ja kaikkein voimakkain violetina. Tut-

kakuvaa on suhteellisen helppo tulkita, mutta erilaiset häiriötekijät aiheuttavat tutkakaikuja joita voi erehdyksessä luulla sateeksi. Tutkakuva ei välttämättä vastaa tilannetta sadealueen kohdalla, jos sade ehtii haihtua ennen maanpintaa. Tutkakuvaan mukaan otettavien heijastusten herkkyyden pienentäminen vähentää esim. hyönteisistä ja ennen maata haihtuvista sateista tulevia kaikuja, mutta silloin pienimmät vesi- ja lumisateet voivat jäädä havaitsematta. Suomessa on käytössä kahdeksan säätutkaa. (Hartonen 2008, 182–184.)

Sääennustusmalli perustuu Englantilaisen Lewis Fry Richardsonin 1920-luvulla kokoamaan yhtälöryhmään. Se sisältää monimutkaisia fysikaalis-matemaattisia yhtälöitä, ja vasta tietokoneet mahdollistivat niiden hyödyntämisen sään ennustamisessa. Sääennustusmallin alkutila on yhdistelmä vallitsevaa säätä ja edellistä malliajota. Pienikin virhe alkutilanteessa voi johtaa suuriin virheisiin ennusteessa. Laskentaa varten ilmakehä jaetaan kolmiulotteiseksi hilaruudukoksi. Hilaruudukon koosta riippuu, kuinka pieniä ilmiöitä sillä voidaan ennustaa. Euroopan kattavassa ennusteessa hilaväli on horisontaalisuunnassa 10 km ja vertikaalisuunnassa noin 60 tasossa. Laskenta tapahtuu askeleittain hilanpisteisiin, ja joka askeleella hilapisteen suuret päivitetään vanhan arvon ja muutoksen avulla. Kun laskenta on valmis, se tallennetaan tietokantaan. Erillinen näyttöohjelma visualisoi tietokannan sisällön meteorologin tulkittavaksi. (Hartonen 2008, 188–190.) Raskaasta laskennasta ja asiantuntijan tulkintatarpeesta johtuen varsinaista sään ennustamista ei voi tapahtua ajoneuvossa itsenäisesti. Yksittäiset ajoneuvot voivat kyllä välittää toisilleen ajantasaista tietoa vallitsevista tieolosuhteista yhteisen tietokannan kautta, mutta tietoa sään tulevasta kehittymisestä järjestelmä itsessään ei kykenisi tuottamaan.

Sääennustusmallin laskennallista tarkkuutta voidaan parantaa hilaverkkoa tihentämällä tai ajamalla samaa mallia useita kertoja hiukan eri alkutilanteilla. Laskentatarkkuuden nostamisen esteenä on vain supertietokoneiden nopeus. (Hartonen 2008, 192.)

Sääennusteita tehdään parista tunnista useiden kuukausien päähän. Ilmakehän kaoottisen käyttäytymisen vuoksi virheet kasvavat ennusteen pituuden mukana. Kahta viikkoa voidaan pitää järkevänä rajana ennustaa lämpötiloja ja sademääriä.

Ennusteeseen tulee virhettä alkutilanteen analyysivirheistä ja sääennustusmallin epätäydellisyydestä. Säätyypin ennustaminen on mahdollista ennustaa noin viikon päähän. Lämpötilan ennustus päiväkohtaisesti onnistuu 4-7 päiväksi, sadealueiden reitit 3-5 vuorokaudeksi ja joissain tilanteissa vain kahta päivää aiemmin. Tuulten ennustaminen onnistuu noin kolme vuorokautta ennen. Ilmiöiden pienentyessä ja tarkempiin ennusteisiin pyrittäessä niiden kestoa kannattaa lyhentää. Sademäärä, sateen olomuodot ja sadealueiden reittien ennustaminen jäävät alle kahteen vuorokauteen. Sateen olomuotoennuste voi jäädä alle kahteen tuntiin, eikä yksittäisiä sade- tai ukkoskuuroja voi ennustaa lainkaan. (Hartonen 2008, 194–196.)

Visuaalisia sääennusteita käytetään esimerkiksi televisiossa, lehdissä ja verkkosivuilla. Kuvien avulla voidaan esittää esimerkiksi säärintamat ja sadealueet. Yksittäisinä kuvina säätä kuvataan viiteen vuorokauteen asti, ja sen jälkeen käytetään useamman päivän keskiarvoja. Kaikki ihmiset eivät osaa lukea sääennustetta suomenkartalle sijoitettuna, joten sen rinnalla on yleistynyt tapa ilmaista säätä symbolilla paikkakuntaakohtaisena listana. Yksinkertaistettu säämerkki voi kuitenkin johtaa harhaan. Useimmiten säämerkki kuvaa säätä kello 12–18 välillä. Parhaan käsityksen säästä saa, kun käyttää tekstiä, kuvia ja sääsymboleja. (Hartonen 2008, 201–202.)

3.2 Säävaroitus

Suomessa Ilmatieteen laitoksen varoitus annetaan seuraavaksi vuorokaudeksi, ellei toisin mainita. Varoituslukema on voimakkain arvo seuraavan 24 tunnin aikana. Varoituksen päivitys tapahtuu seitsemän kertaa vuorokaudessa. Varoitusten lisäksi suunnitellaan välittömästi vaaraa aiheuttavista sääilmiöistä tiedottamista. Äkkitulvia aiheuttavat voimakkaat sateet, rajuilmojen rakeet, runsas salamointi ja syöksyvirtaukset pystytään silloin ajoittamaan ja paikantamaan nykyisentyypistä vuorokausivaroitusta tarkemmin. Ilmatieteen laitos voi antaa hätätiedotteita ja viranomaistiedotteita. Hätätiedotteita annetaan, kun ihmishenkiä on välittömässä vaarassa. Euroopan maiden varoituksia löytää Meteoalarmin sivuilta. Meteoalarmin varoituksissa käytetään vaaratasoja, joita ilmaistaan eri värein. Vihreä tarkoit-

taa ei-välitöntä vaaraa, keltainen kehottaa seuraamaan tilannetta, oranssi tarkoittaa vaarallista säätä ja punainen vastaa hätätiedotetta. Punainen kertoo henkilö- ja aineellisten vahinkojen mahdollisuudesta. (Hartonen 2008, 205–207.)

3.3 Liikennesää

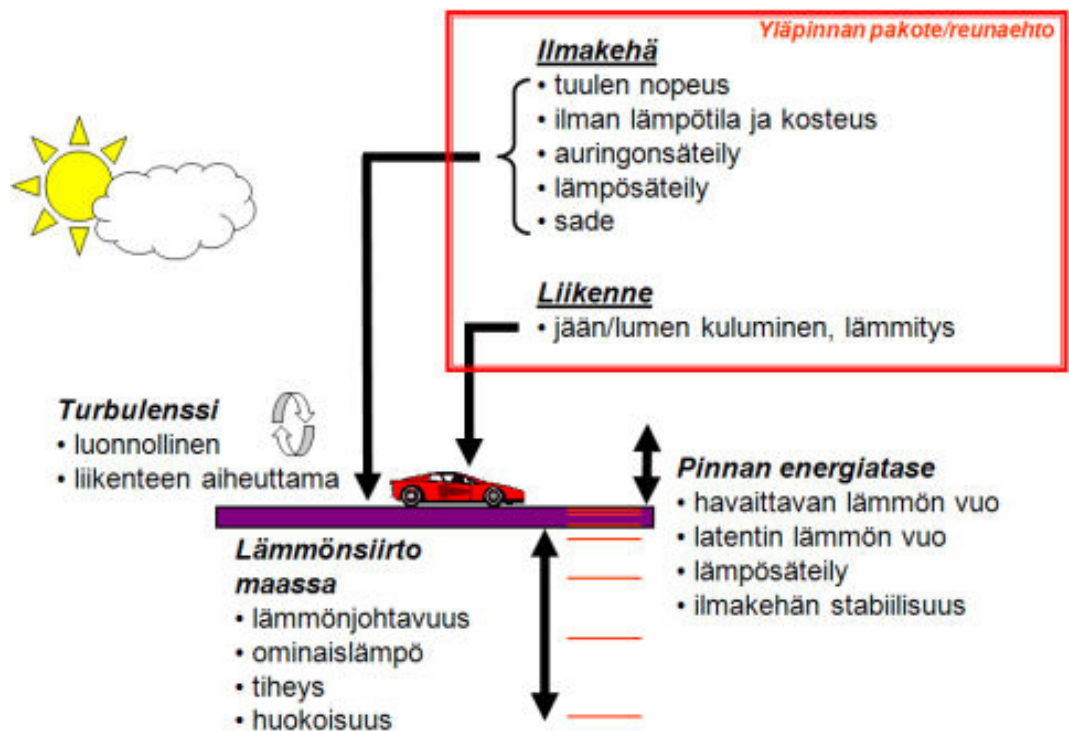
Liikennesää kertoo, onko keli normaali, huono vai erittäin huono. Liikennesää kertoo pääteiden tilanteen, mutta muilla teillä keli voi olla tätä huonompi. Lumisade tai tienpintojen jäätyminen ovat syynä huonoon keliin. Erittäin huonolla kelillä voi sataa jäätävää sadetta tai runsaasti lunta. Erittäin huonolla kelillä autoilua kannattaisi välttää. Runsas lumisade ja kova tuuli kasvattavat onnettomuusriskiä. Tällaiset tilanteet voidaan ennustaa luotettavasti vuorokautta aiemmin. Pakkasen vuoksi suolaamaton tie ja pölyävä tuore lumi ovat varma onnettomuuksien aiheuttaja, jos ajotyylillä ei ole sovitettu olosuhteiden mukaan. (Hartonen 2008, 39–40.)

Tiesäämallissa (kuva 1.) lasketaan energiataseen perusteella jäähtykö vai lämpeekö tienpinta. Malli ottaa huomioon maanpinnan, tien päällysteen ominaisuudet ja sääolot. Myös liikenteen lämmittävä ja kuluttava vaikutus huomioidaan. (Ilmatieteen laitos 2011.)

3.4 Sääilmiöt

Lämpimässä ilmakerroksessa sulavat lumihuutaleet jäätyvät pakkasen puolella olevaan maahan hetkessä, jolloin puhutaan jäätävästä sateesta. Jäätävä sade on mahdollista vielä yli viidessä pakkasasteessa. Jäätävää sadetta esiintyy todennäköisimmin ilman lauhtuessa. Maanpinnalla on vielä pakkasjakson jäljiltä pakkasta, mutta muutaman sadan metrin korkeudessa on jo lämpimämpiä tuulia. Jäätävän sateen ennustaminen on hankalaa ja se vaatii ilmakehän lämpötilarakenteen tuntemisen kahteen kilometriin asti. Jäätävä sade myös aiheuttaa vaaraa liikenteelle. (Hartonen 2008, 28–29.)

Ukkosta esiintyy lyhyen aikaa ja paikallisesti, joten sitä on hankala ennustaa. Ukkosen synty voidaan ennustaa noin vuorokautta aiemmin, mutta tarkempi iskukoh- ta tiedetään vasta ukkosen synnyttyä tai syntymän aikana. Ukkosennusteissa käytetään todennäköisyyksiä kuvaamaan ukkosen esiintymistä. Ukkospuuskista on varoitettu lähinnä veneilijöitä, mutta ne voivat aiheuttaa vaaraa myös maalla. Maa-alueiden varoituksissa ukkospuuskista on varoitettu matalapaineisiin liittyvi- en voimakkaiden tuulien yhteydessä. (Hartonen 2008, 109–110.)



Kuva 1. Tiesäämallissa huomioon otettavia lähtötietoja (Ilmatieteen laitos 2011.)

4 SATELLIITTIPAIKANNUS

4.1 Satelliittipaikannusjärjestelmät

Yhdysvaltain ilmavoimien ylläpitämän GPS-järjestelmän lisäksi maailmalla on käytössä tai rakenteilla muita globaaleja tai kansallisia satelliittipaikannusjärjestelmiä. GPS-järjestelmään tukeutuvia laitteita löytyy kaikilla elämänalueilla. Tarkka paikanmääritys missä tahansa osassa maapalloa, kaikissa sääolosuhteissa ja kellon ympäri vuoden jokaisena päivänä, on tekniikkaan nojaavan yhteiskunnan elinehto. GPS:n signaaliin luottavat niin lentokoneet, laivat kuin maanviljelijät. GPS:n tuottamaa ja välittämää erittäin tarkkaa aikasignaalia käytetään esim. tietoverkkojen ja elokuvatuotantojen kameroiden synkronointiin. Moderni yhteiskunta käytännössä pysähtyisi, jos Yhdysvallat päättäisi katkaista tai muuten häiritsisi vakavasti siviileille tarkoitettua GPS-signaalia. Tästä syystä Euroopan unionin, Venäjän, Kiinan ja muiden pitkälle teknistyneiden valtioiden kansallisiin sotilallisiin ja taloudellisiin intresseihin kuuluu Yhdysvalloista riippumaton satelliittipaikannus. Monet rakenteilla olevat satelliittipaikannusjärjestelmät täydentävät GPS-järjestelmää takaamalla yhteensopivuuden signaalitasolla. Eri järjestelmiä samanaikaisesti hyödyntävät vastaanottimet yleistyvät tulevaisuudessa. Käyttäjälle tämä näkyy parantuneena tarkkuutena ja toiminnan luotettavuutena vaikeissa vastaanotto-olosuhteissa.

GLONASS on Venäläinen satelliittipaikannusjärjestelmä, joka koostuu 24 satelliitista kolmella ratatasolla 20000 km:n korkeudessa. Ensimmäiset satelliitit laukaisiin 1982, ja vuonna 1995 järjestelmä oli ensimmäistä kertaa käytössä koko laajuudessaan. Neuvostoliiton romahdus pienensi projektin rahoitusta, ja käytössä olevien lyhytikäisten satelliittien määrä väheni väliaikaisesti. Lokakuusta 2011 alkaen GLONASS on jälleen suunnitellussa laajuudessaan. GLONASS-signaali ja rakenne eroavat GPS-signaalista periaatteellisella tasolla. GLONASS-satelliitti lähettää GPS:n tavoin kahdella taajuudella, mutta jokaisella satelliitilla on omat taajuutensa, joiden perusteella ne erotetaan toisistaan. Satelliittien liikkeen kuvaamiseen käytetty matemaattinen malli poikkeaa GPS:n vastaavasta. (Information-Analytical Centre 2012.)

Galileo on Euroopan oma rakenteilla oleva ja valmiina siviilien hallinnoima satelliittipaikannusjärjestelmä. Galileo tulee valmiina käsittämään 27 operatiivista ja kolme aktiivista varasatelliittia. Galileo-järjestelmän satelliitit kiertävät maata 23222 km:n korkeudessa kolmella ratatasolla. Ensimmäiset kaksi satelliittia laskettiin lokakuussa 2011, ja ensimmäisen vaiheen toiminta alkaa vuosikymmenen puolivälissä. Galileo, GLONASS ja GPS tulevat olemaan käytettävissä rinnakkain yhdellä vastaanottimella. Galileon suunniteltu paikannustarkkuus on nykyistä GPS-järjestelmää parempi. (ESA 2012.)

Beidou (COMPASS) on Kiinan kolmessa vaiheessa toteutettava globaali satelliittipaikannusjärjestelmä. Ensimmäisen vaiheen satelliitit ovat testausta varten. Toisen vaiheen laajuudessaan, vuodesta 2012, paikannus kattaa Kiinan ja sen lähialueet. Vuonna 2020 järjestelmän on tarkoitus käsittää 35 satelliittia, joista viisi geostationäärillä kiertoradalla ja kolme satelliittia kolmella eri ratatasolla 55° kulmassa geostationääriseen kiertorataan nähden. Yksi näistä kolmesta satelliitista sijaitsee aina Kiinan kohdalla ja parantaa signaalin saatavuutta korkeiden rakennusten tai maastonmuotojen lomassa. Loput 27 satelliittia tulevat sijaitsemaan 21500 km:n korkeudessa. Ilmaisen siviilisignaalin lisäksi Beidou lähettää salattua sotilas- ja viranomaiskäyttöön tarkoitettua paikannussignaalia. Beidou lähettää kolmella taajuusalueella ja tulee olemaan yhteensopiva muiden globaalien paikannusjärjestelmien kanssa. (Encyclopedia Astronautica 2012.)

4.2 GPS

NAVSTAR GPS (NAVigation Satellite Time And Ranging Global Positioning System) tai lyhyemmin GPS (Global Positioning System) on Yhdysvaltain puolustusministeriön kehittämä satelliittipaikannusjärjestelmä. Järjestelmän alkupeleissä vaatimuksina pidettiin muutaman metrin paikannustarkkuutta, häiriösietsuutta ja yksisuuntaisuutta, eli käyttäjä ei lähetä mitään signaalia satelliittiin. Käyttäjän GPS-vastaanotin valitsee näkyvistä satelliiteista parhaimmassa asemassa olevat satelliitit ja laskee niiden lähettämän signaalin pohjalta vastaanottimen

sijainnin. Neljän satelliitin signaalit vaaditaan jatkuvaan kolmiulotteiseen paikannukseen. (Poutanen 1999, 11)

Järjestelmä jaetaan kolmeen osaan (kuva 2.), joita ovat satelliitit, kontrolliverkko ja käyttäjät. Ylläpito ja johto on keskitetty Colorado Springsiin Yhdysvaltoihin ja neljä kontrolliverkkoon kuuluvaa maa-asemaa sijaitsevat Diego Garciasissa, Ascensionissa, Kwajaleinissa ja Hawaiiilla. Kontrolliverkko tarkkailee satelliittien tilaa määrittäen rataelementit ja kellovirheet. Satelliittien lähettämät tiedot pidetään näin jatkuvasti ajan tasalla. (Poutanen 1999, 21.)

Käyttäjät jaetaan siviili- ja sotilaskäyttäjiin. Erottelu tapahtuu käytännössä niin, että P-koodi on salattu siviilikäyttäjiltä. Siviilikäyttöön tarkoitettuun C/A-koodiin lisättiin ennen satunnainen virhe. Tarkoituksellinen paikannustarkkuuden huonontaminen poistettiin lopullisesti käytöstä 2.5.2000. (Poutanen 1999, 21; National Coordination Office for Space-Based Positioning 2012, 152.)



Kuva 2. GPS-järjestelmän rakenne (FieldLogix 2012.)

Käyttäjän GPS-vastaanotin seuraa näkyvillä olevien GPS-satelliittien signaaleja. Lähetykseen on koodattu signaalin lähetysaika, ja sitä verrataan vastaanottimen omaan kelloon. Aikaerosta voidaan laskea signaalin matkaan käyttämä aika, ja kun radiosignaalin (valon) nopeus tiedetään, voidaan satelliitin ja vastaanottimen etäisyys laskea. Vastaanottimen muistissa on eräänlainen kalenteri satelliittien ratatiedoista suhteessa maahan, ja laskemalla kolmen satelliitin etäisyydet suhteessa vastaanottimeen voidaan se paikantaa maapallon pinnalle. Ottamalla mukaan neljäs satelliitti saadaan vastaanottimen tuntematon kellovirhe määritettyä ja näin tarkennettua paikannusta. (Poutanen 1999, 22–23.)

4.2.1 Satelliitit

GPS-satelliitit sijaitsevat kuudella ratatasolla ja niillä jokaisella on paikka neljälle satelliitille. Tällä hetkellä avaruudessa on 31 toimintakunnossa olevaa GPS-satelliittia ja kolme tai neljä käytöstä poistettua satelliittia, jotka voidaan ottaa tarvittaessa uudelleen käyttöön. Vuoden 2011 kesäkuussa luovuttiin 24 satelliitin perusasetelmasta, kolmelle ratatasolle lisättiin ylimääräinen satelliitti ja kuuden satelliitin paikkaa muutettiin. Laajennettu installaatio on nykyinen GPS-järjestelmän laajuus ja parantaa paikannuksen saatavuutta suurimmassa osassa maapalloa. (National Coordination Office for Space-Based Positioning 2012.)

GPS-järjestelmän satelliitit kiertävät maata 20200 km korkeudessa kuudella ympyrän muotoisella ratatasolla joiden välinen inkliinaatiokulma on n. 55°. Yksi kierros kestää ½ tähtivuorokautta. (United States Coast Guard 2012.)

Käytössä olevat GPS-satelliitit ovat sekoitus eri-ikäisiä satelliitteja. Ensimmäinen toimintaan jäänyt sukupolvi GPS Block IIA satelliitteja laukaistiin avaruuteen vuosien 1990 ja 1997 välillä. Näitä ensimmäisen sukupolven satelliitteja oli tammikuussa 2012 käytössä vielä kymmenen. GPS Block IIR mallit laukaistiin 1997–2004 korvaamaan käytöstä poistuvia Block II ja Block IIA malleja. GPS Block IIR(M) mallit laukaistiin 2005–2009, ja ne lisäävät järjestelmään toisen siviilikäyttöön tarkoitetun signaalin (L2C) ja kaksi uutta sotilaskäyttöön tarkoitettua signaalia. GPS Block IIF versioiden laukaisut aloitettiin 2010, ja ne tuovat muka-

naan kolmannen siviilikäyttöön tarkoitetun ja lentoturvallisuutta parantavan signaalin (L5). Lisäksi siinä on tarkemmat atomikellot kuin aiemmissa sukupolvissa. Parhaillaan kehityksen alla on Block III, joka tulee parantamaan signaalivoimakkuutta ja paikannuksen tarkkuutta, lisää neljännen siviilisignaalin (L1C) muiden satelliittipaikannusjärjestelmien yhteensopivuuden vuoksi ja tarjoaa tulevaisuudessa hätäkutsun välityksen. (National Coordination Office for Space-Based Positioning 2012.)

4.2.2 Signaali

Satelliitit lähettävät kahdella kantaallon taajuudella, L1 (1575,42 MHz) ja L2 (1227,6 MHz). Molemmat signaalit tuotetaan samalla oskillaattorilla, eli ne ovat 10,23 MHz:n perustaajuuden monikertoja. Molempiin kantaaltoihin on moduloitu kaksi pseudosatunnaista sekvenssiä. Sotilaskäyttöön tarkoitetun P-koodin taajuus on perustaajuus 10,23 MHz, ja se on mukana L1- ja L2-taajuuksilla. Siviilikäyttöön tarkoitettu C/A-koodi on mukana vain L1-taajuudella, ja sen värähdystaajuus on 1,023 MHz. Kantaalto sisältää myös 50 Hz:n navigointiviestin ja on oikeakätisesti ympyräpolarisoitu. P- ja C/A- koodit eivät sisällä varsinaista informaatiota. Ne ovat sekvenssejä, jotka näyttävät satunnaisilta, mutta ovat luotavissa uudelleen GPS-vastaanottimessa. Vain C/A-koodin tuottava algoritmi on julkinen. Vastaanotin tunnistaa satelliitit toisistaan sekvenssin perusteella. P-koodissa kukin satelliitti lähettää omaa viikon mittaista osaansa 37-viikkoisesta kalenterista. Näistä viisi on varattu maa-asemille ja 32 satelliiteille. C/A-koodin sekvenssi toistuu millisekunnin välein ja P-koodin sekvenssi kerran 266,4 vuorokaudessa. Navigointiviesti sisältää tiedon sekvenssin kohdasta suhteessa GPS-viikon alkuun, jotta vastaanottimen on mahdollista luoda ja löytää vastaava sekvenssin pätkä lähetyksestä. (Poutanen 1999, 118–120.)

Vuonna 2012 siviilit saavat uuden signaalin L2C:n, ja sen tarkoitus on mahdollistaa ionosfääristä aiheutunut virheenkorjaus siviilivastaanottimille. Kolmas tuleva siviilisignaali on L5 (1176,45 Mhz), ja sen vastaanottamiseen tarvitaan uusi GPS-vastaanotin. Neljännen siviilisignaalin L1C-lähetykset alkavat kolmannen suku-

polven GPS-satelliittien myötä, ja se lähetetään alkuperäisen L1 kantaallon taajuudella. (Hinch 2011, 10; National Coordination Office for Space-Based Positioning 2012.)

Navigointiviesti on 1500-bittinen jakso, ja sen lähettäminen 50 Hz:n taajuudella kestää 30 sekuntia. Nuo 1500 bittiä on jaettu viiteen lohkoon, joissa jokaisessa on kymmenen 30 bitin sanaa ja lähettämiseen kuluu kuusi sekuntia. Ensimmäinen lohko sisältää GPS-viikon numeron, satelliitin atomikellon aikakorjauksen, satelliitin ”terveydentilan” ja datan iän. Toinen ja kolmas lohko sisältävät satelliitin ratatiedot. Kaksi viimeistä lohkoa ovat 25-sivuisia, ja niissä on kaikkien satelliittien kalenteritiedot, ionosfääriparametrit, UTC:n (Coordinated Universal Time) ja GPST:n (GPS time) välisen eron ja tiedon P-koodin salauksesta. Kaikki satelliitit lähettävät neljännen ja viiden lohkon samanlaisina, joten on sama, mistä satelliitista ne vastaanotetaan. Koko navigointiviestin vastaanottaminen kestää 12,5 minuuttia. (Poutanen 1999, 121.)

A-GPS (Assisted GPS) on erityisesti mobiililaitteille suunnattu tekniikka, joka hyödyntää langatonta internet-yhteyttä laitteen paikantamisessa. Paikannukseen liittyvät laskutoimitukset voidaan tehdä palveluntarjoajan serverillä, ja käytössä on tarkempaa tietoa GPS-signaalin paikallisista vastaanotto-olosuhteista. Myös navigointiviestin sisältämää tärkeää tietoa, kuten satelliittien kalenteritiedot, saadaan käyttöön huomattavasti nopeammin internetistä. Langattoman tiedonsiirtoverkon ulkopuolella mobiililaitteessa täytyy olla itsenäisesti toimiva GPS-paikannus. (Järvinen, DeSalas & LaMance 2002.)

4.2.3 Tarkkuus

Kansainvälinen atomiaika (International Atomic Time, TAI) on erittäin tarkka atomikellojen avulla koordinoitu aikastandardi kuvitteelliselle Maan geoidille. Se on painotettu keskiarvo yli 200 eri puolilla maailmaa olevasta atomikellosta, joiden käyntiä verrataan toisiinsa säännöllisesti, ja näin muodostettu aika on tarkin ja vakain mahdollinen aikajärjestelmä. Atomiajan käynti on määritetty merenpinnan tasolle, ja mantereilla tuota tasoa kuvaa Maan geoidi, joka on tarkkuuden kannalta

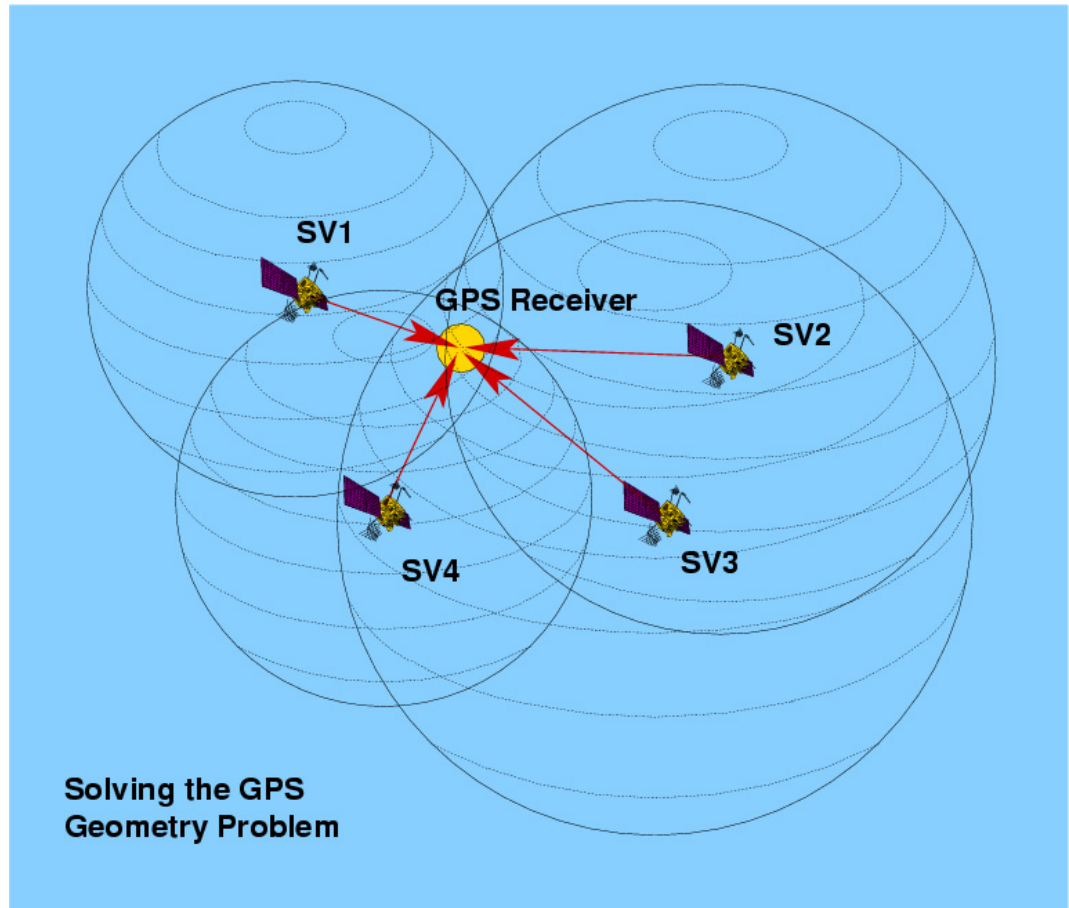
välttämätöntä, koska Yleisen suhteellisuusteorian mukainen ajan hidastuminen vaikuttaa erilaisissa painovoimakentissä oleviin kelloihin. (Wikipedia 2012a.)

GPST (GPS Time) on GPS-järjestelmän käyttämä aika, ja se määritellään $GPST = TAI - 19,0$ sekuntia. Sitä ylläpitää Yhdysvaltain laivaston observatorio (US Naval Observatory, USNO). USNO:n pääkello sijaitsee Washington D.C:ssä. Pääkello (Master Clock) koostuu kymmenistä cesium-atomikelloista ja kymmenestä vety-maserista, ja sen mittausvirhe ei ylitä 100 pikosekuntia vuorokaudessa. (Poutanen 1999, 48; Naval Meteorology and Oceanography Command 2012.)

Jokaisessa GPS-satelliitissa on useita atomikelloja. Block II/IIA satelliiteissa on kaksi cesium-atomikelloa ja kaksi rubidium-atomikelloa ja Block IIR/IIR-M/IIF malleissa kolme rubidium-atomikelloa. Näiden kellojen käyntiä ei koskaan korjata. Kellovirheet ja GPS-aikaan karkaussekunnin muodossa tehtävät muutokset kerrotaan lähetettävässä navigointiviestissä ja vastaanottimet laskevat tarvittavat korjaukset. (Naval Meteorology and Oceanography Command 2012.)

Siviilikäyttöön tarkoitetuissa GPS-vastaanottimissa käytetään ajan mittaamiseen yleensä kvartsikidettä, ja sen käyntivirhe on huomattavasti atomikelloja suurempi. Vastaanotin synkronoi itsensä satelliittien aikaan ja korjaa kelloaan, kun erotus kasvaa liian suureksi, esim. yhteen millisekuntiin. Vertailun vuoksi: Vetymaserin suhteellinen tarkkuus on yhden nanosekunnin virhe yhdessätoista vuorokaudessa, cesium-atomikellolla nanosekunnin virhe kahdessa ja puolessa vuorokaudessa, rubidium-atomikellolla sama virhe syntyy vartissa ja kvartsikiteeseen perustuvasa ajanmittauksessa sekunnissa. (Poutanen 1999, 50.)

Vastaanotin laskee pseudo- eli vale-etäisyyksiä satelliitteihin. Vastaanotin määrittää näennäisesti tarkat koordinaatit, mutta todellinen sijainti on kolmiulotteisen virhe-ellipsoidin sisällä (kuva 3.). Ellipsoidin koko ja muoto riippuvat voimakkaasti senhetkisestä satelliittigeometriasta. Vastaanottimet pystyvät onneksi seuraamaan kaikkia näkyvissä olevia satelliitteja ja valitsemaan niistä parhaassa asemassa olevat. Horisontin lähellä olevien satelliittien käyttämistä vältetään ilmakehän voimakkaan taittovaikutuksen vuoksi. (Poutanen 1999, 22–23.)



Kuva 3. Kolmiulotteisen virhe-ellipsoidin muodostuminen (Air Power Australia 2012.)

Yhtä kantoaaltoa hyödyntävän siviilivastaanottimen odotettu paikannusvirhe on 95 %:n tarkkuudella yhdeksän metriä horisontaalisesti ja 15 metriä vertikaaliakselilla. Kahta kantoaaltoa hyödyntävä sotilaskäyttöön tarkoitettun paikannuslaitteen odotettu paikannusvirhe on 95 % tarkkuudella 2,7 metriä horisontaaliakselilla ja 4,9 metriä vertikaaliakselilla. (Naval Meteorology and Oceanography Command 2012.)

GPS-paikannuksen tarkkuuteen vaikuttavia muita tekijöitä ovat ilmakehästä aiheutunut signaalin hidastuminen, monitieheijastuminen, satelliitin radan määritykseen liittyvät virheet ja suhteellisuusteoreettiset efektit. Ilmakehä jaetaan tässä yhteydessä karkeasti kahteen osaan. GPS-laskennassa troposfääriksi kutsutaan kaikkia ionosfäärin alapuolella olevia ilmakehän osia. Ne käyttäytyvät ei-dispersiivisesti GPS-signaalin taajuuksilla, eli L1 ja L2 liikkuvat siinä samalla ryhmänopeudella. Troposfäärirefraktioon vaikuttavat ilman kosteus ja lämpötila.

Noin 50 km ylöspäin sijaitsee ionosfääri ja eri mikroaaltoalueen aallonpituudet etenevät siinä eri nopeuksilla. Ionosfäärin vaikutus signaalin kulkunopeuteen voidaan laskea sen aiheuttamista eroista L1 ja L2 signaalien välille. Ionosfäärirefraktioon vaikuttavat vuorokaudenaika, vuodenaika ja Auringon aktiivisuus. Monitieheijastuksessa sama signaali saapuu viivästyneenä vastaanottimeen heijastumisen vuoksi. Signaali voi heijastua esim. peltikatosta tai veden pinnasta. Satelliitin radan määrittämisen virheeseen vaikuttaa lukuisia muuttujia, joista suurimpia ovat maapallon pallosymmetrisestä poikkeava massajakauma ja Kuun ja Auringon painovoimasta johtuva vaikutus. Ratavirheiden korjaustiedot lähetetään navigointiviestissä. Suhteellisuusteoreettisia korjauksia tarvitaan satelliitin radan tarkassa määrittämisessä, satelliitin kiihtyvästä liikkeestä, havaitsijan ja satelliitin gravitaatiopotentiaalierosta, radan elliptisyydestä ja avaruuden kaareutumisen seuraaviin virheisiin. (Poutanen 1999, 105, 129, 131–132, 137, 142–143.)

GPS-järjestelmää voidaan tukea erilaisilla paikallisilla järjestelyillä, jotka vaativat aina vähintään kahden paikantimen käyttöä. Tunnetussa pisteessä oleva paikannin laskee pseudoetäisyyden ja todellisen sijainnin eron ja välittää tiedon tuntemattomassa paikassa sijaitsevalle paikantimelle. Yksi tällaisen järjestelyn variaatioista on suhteellinen paikannus (Relative positioning), ja se on yleisin maanmittauksessa käytetty GPS:n mittausmoodi. Havaintoajat vaihtelevat 15 minuutista useisiin vuorokausiin, tarkkuuden ollessa 1–0,1 ppm. Satojen kilometrien vektoreilla tarkkuus on jopa 0,01 ppm, eli millimetriluokkaa. Differentiaalinen paikannus (Differential Global Positioning System, DGPS) on navigointiin tarkoitettu GPS:n tukijärjestelmä, jolla päästään reaaliajassa alle metrin paikannustarkkuuteen ja parhaimmillaan desimetriluokkaan. DGPS:ssä tukiasema laskee edellä mainitulla keinolla pseudoetäisyyden ja tunnetun pisteen välisen korjauksen, jolloin liikkuvasta vastaanottimesta saadaan lähes kaikki virheet poistettua. Ratavirheet ja ionosfääri vaikuttavat lähes samalla tavalla muutaman sadan kilometrin etäisyyksillä, tukiasemalla ja liikkuvan vastaanottimen sijainnissa. (Poutanen 1999, 198, 202.)

5 AJONEUVOON INTEGROITAVAT TEKNISET LAITTEET

5.1 Navigointijärjestelmä

Ajoneuvon navigointijärjestelmä perustuu satelliittipaikannukseen. Järjestelmään kuuluva satelliittivastaanotin määrittää sijainnin ja esittää sen graafisesti laitteen muistissa olevalla tiekartalla. Perusominaisuuksiin kuuluu reitin määrittäminen ja opastus reittipisteiden välillä. Navigointijärjestelmään kuuluu jossain muodossa ainakin satelliittivastaanotin, tarkoitukseen suunniteltu tietokone, digitaalisessa muodossa oleva tiekartasto ja näyttö. Parkkitaloissa, tunneleissa ja korkeiden rakennusten vieressä on mahdollista, ettei satelliittisignaalia ole käytettävissä. Tällaisissa tilanteissa sijainnista voidaan luoda arvio ajoneuvon väylästä luetun sensoridatan, gyroskoopin ja kiihtyvyyssantureiden tiedon pohjalta. (Wikipedia 2012b.)

Hyvin varustettu nykyaikainen navigaattori tarjoaa monia hyödyllisiä ominaisuuksia. Navigaattorivalmistajat tarjoavat laitteisiin monipuolisia lisäpalveluja ja ominaisuuksia, joiden funktio ei enää ole pelkässä navigoinnissa. Yleisen käyttökokemuksen parantuminen ja laitealustan kehittyminen vievät navigaattoreita selkeästi älypuhelinien suuntaan. Kuten matkapuhelimen historia osoittaa, pelkän laitetyypin alkuperäisen funktion täyttämällä ei voi enää kilpailla markkinoilla. Laitevalmistajien parhaat katteet kerätään malliston kalleimmista malleista, joten niiden ominaisuuslistalta löytyvät alan viimeisimmät tuotteistetut innovaatiot.

Navigointijärjestelmä voi olla autovalmistajan räätälöimä ja tehdasasennettu kokonaisuus (kuva 4.), jonka etuna on integrointi osaksi auton muita teknisiä järjestelmiä. Integroitu järjestelmä saa ajoneuvon CAN-väylästä navigointia avustavaa sensoridataa ja ääniopastus kuuluu auton omista kaiuttimista. Keskikonsolissa sijaitseva käyttöliittymä on erillislaitteita helppokäyttöisempi ja esteettisempi ratkaisu. Satelliittinavigaattorin voi hankkia erillisenä ohjaamoon asennettavana laitteena. Erillislaitteissa kaikki tarvittava tekniikka voidaan pakata samaan koteloon näytön kanssa. GPS-vastaanottimella varustettuja älypuhelimia ja muuhun kuin ajoneuvokäyttöön tarkoitettuja navigointilaitteita voi käyttää ajoneuvonavigointiin soveltuvuuden mukaan. (Wikipedia 2012b; Tapio Koisaari 2012, 20.)



Kuva 4. Tehdasasennettu GPS-navigointijärjestelmä (Car Navigation 2012.)

5.1.1 Ominaisuudet

Ulkonäöllisesti suurimpien valmistajien autonavigaattorit eivät juuri poikkea toisistaan. Kalleimpien mallien yhdistävä tekijä on suuret kosketusnäytöt ja ohut kotelointi.

Navigaattori laskee liikkeelle lähdettäessä ajettavan reitin ja voi ottaa huomioon käyttäjiltä kerätyn tiedon todellisista liikennöintinopeuksista reitin varrella eri vuorokaudenaikoina. Reitin muodostamiseen voi vaikuttaa valitsemalla lyhyemmän reitin, suosia valtateitä tai välttää niitä. Alkuperäiseltä reitiltä poikettaessa lasketaan automaattisesti uusi reittivaihtoehto. Käytössä on reaaliaikainen tieto kiertoteistä, liikenneuhkista ja tietöistä. Tallentamalla yleisimmät määränpäättösuosikkeihin, navigaattori oppii vähitellen mihin käyttäjä kulloinkin on matkalla. Navigaattorin kartta on päivitettävissä ajan tasalle. (TomTom 2010a; Magellan 2012; Garmin 2012.)

Kartta- ja osoitetietojen lisäksi navigaattorin muistiin voidaan tallentaa miljoonien kohteiden sijainnit. Lähimmät huoltoasemat, turistikohteet, hotellit, ravintolat ja kahvilat näkyvät erilaisina ikoneina karttanäkymässä, ja yksi kosketus muuttaa sen reittikohteeksi. (Magellan 2012.)

Karttanäkymää voidaan elävöittää erilaisin graafisin tehokeinoin. Tyypillisesti tarkastelunäkökulmaa voidaan vaihtaa perinteisen kartan ja kuljettajanäkymän välillä. Käyttämällä maaston korkeustietoja voidaan 3D-näkymässä esittää karkea havainnollistamista helpottava malli maastonmuodoista (kuva 5.). Kaupunkiolosuhteissa navigointia helpotetaan kolmiulotteisilla rakennuksilla, jotka hienoimmillaan ovat yksityiskohtaisia tekstuuripäällystettyjä malleja aidoista rakennuksista. Edistynyt kaistaohjaus neuvoo visuaalisesti oikean kaistan valinnassa monikaistaisissa liittymissä. (Navigon 2012.)



Kuva 5. Havainnollistava 3D-maaston muoto (Carkitstunter.nl 2012.)

Turvallisuussyistä joidenkin automerkkien integroiduissa navigointijärjestelmissä estetään osa toiminnoista ajoneuvon ollessa liikkeessä. Karttanäkymä voidaan pimentää tietyn nopeuden jälkeen ja pimeällä ajettaessa näytön kontrastia pienentää automaattisesti. Puhutut kadunnimet ja ajo-ohjeet auttavat pitämään katseen

tiessä. Pitkillä taipaleilla taukosuosituustoiminto auttaa pysymään virkeänä. Paikallissääennuste ja viiden päivän ennusteet auttavat tekemään turvallisempia reittivalintoja. Paikallisten hätäpalveluiden yhteystiedot löytyvät hätävalikosta. (TomTom 2010; Wikipedia 2012c; Magellan 2012.)

5.1.2 Kartat

Navigaattoreiden mukana tulee vaihtelevan laajuisia kartta-aineistoja. Karttapäivitykset hoidetaan navigaattorivalmistajan tai integroituissa järjestelmissä autonvalmistajan internetsivujen kautta. Uusia karttoja myydään laitevalmistajien omilta sivuilta maanosan, maaryhmän tai yksittäisen valtion kokoisina palasina.

Karttavalmistaja kerää ja analysoi paikkatietoja monista eri lähteistä. Lopullinen, joskin jatkuvasti päivittyvä kartta on yhdistelmä satelliittikuvia, ilmavalokuvia, erityisten kartoitusautojen tuottamaa mittaustietoa, paperikarttoja, anonyymisti analysoitavaa käyttäjädataa ja kenen tahansa yhteisön jäsenen lähettämää korjaustietoa. (TomTom 2011b.)

Digitaalinen tiekartta koostuu suuresta määrästä kaksiulotteisilla koordinaateilla ilmaistuja solmuja (node), joita yhteen linkittämällä (link) tiet määritellään. Linkille määritellään ominaisuuksia, kuten kadunnimi, rakennusnumero, luokka ja nopeusrajoitus. Suljetuilla muodoilla (shape) määritellään rakennusten, puistojen ja muiden karttaelementtien sijainnit. (Wikipedia 2012c.)

Karttavalmistajien keräämä kartta-aineisto on puhtaassa tekstitiedostoformaattissa (ASCII) ja käsiteltävissä ihan normaalilla tekstinkäsittelyohjelmalla. Tekstimuodossa olevaa tietoa ei kuitenkaan sovellu hyvin navigaattorissa käytettäväksi, joten laitevalmistajat uudelleen organisoivat karttadan omille laitteilleen sopivaan muotoon. Sujuvaa käyttöä varten tieto muutetaan valmiiksi binäärimuotoon. Laitevalmistajakohtaisten ratkaisujen vuoksi alalle pyritään luomaan yhteinen standardi käytönaikaiselle formaatille. (Wikipedia 2012c.)

5.2 Mittarit ja merkkivalot

Useimmat ajoneuvon hallintaan liittyvät mittarit ja merkkivalot on sijoitettu kuljettajan edessä sijaitsevaan kojelautaan. Alun perin hevoscärryn ajajan eteen sijoitettu puinen lauta esti mutaroiskeiden lentämisen, kun se nykyään peittyy vaihtelevasta määrästä visuaalista informaatiota tuottavaa tekniikkaa. (Wikipedia 2012d.)

Nopeus- ja kierroslukumittari esitetään pääsääntöisesti analogisella viisarilla, sen digitaalista numeronäyttöä helpomman luettavuuden vuoksi. Moottorin lämpötilamittari ja polttoainemittari ovat myös yleisesti analogisia. Analogisella tarkoitetaan tässä tapauksessa pelkkää visuaalista vaikutelmaa, sillä mittarin ohjaus on tyypillisesti elektroninen. Nopeusmittarin signaali voidaan lukea joko ajoneuvon voimansiirron yhteyteen asennetusta sensorista, tai ABS-järjestelmän rengassensorista. Euroopan unionin alueella hyväksyttävien ajoneuvojen nopeusmittarit eivät saa koskaan näyttää todellista pienempää nopeutta ja suurin näytettävä arvo ei saa olla enemmän kuin 110 % + 4km/h todellisesta nopeudesta. Mittaustoleranssi johtuu pääasiassa rengaskoon vaihteluista. (Wikipedia 2012d; Wikipedia 2012e.)

Kierroslukumittari ilmaisee moottorin kierrosnopeuden. Mittari helpottaa vaihteiden vaihdon ajoitusta, ja joissain tapauksissa taloudellisin kierrosalue on merkitty mittaritaulun grafiikkaan omalla värillään. (Autowiki 2008.)

Moottorin lämpötilamittari kertoo moottorissa kiertävän jäähdytysnesteen lämpötilan. Tietoa tarvitaan moottorin toiminnan oikeaan ohjaukseen. Sensorin toiminta perustuu lämpötilan mukaan muuttuvaan sähkövastukseen. Viallinen signaali sotkee polttoaineen syötön ja sytyttää viasta kertovan varoitusvalon. (Toyota Motor Sales 2012, 1, 4.)

ABS-jarrujen varoitusvalo syttyy jos ABS-järjestelmään liittyviin pyöräkohtaisiin sensoreihin tai muihin osiin tulee vikaa. Auton käynnistyessä valo palaa ns. itse diagnostiikkajakson ajan ja sammuu, jos yhteydet sensoreihin ja magneettiventtiileihin ovat kunnossa. (Kangastupa 2005, 232.)

Turvavöiden varoitusvalo syttyy ajoneuvon ollessa liikkeessä, ja kun turvavyötä ei ole kiinnitetty kaikissa niissä istuimissa, joissa painesensori havaitsee henkilön istuvan. Uusissa autoissa voi olla erilliset varoitusvalot kuljettajalle ja matkustajille. (Wikipedia 2012f.)

SRS-valo (Supplemental Restraint System) ilmaisee häiriöstä turvavyöjä ohjaavassa järjestelmässä. Käynnistysvaiheessa valon tulee syttyä itsediagnostiikan ajaksi. Jos valo ei sammuu, järjestelmässä on vika ja turvavyöt eivät toimi törmäystilanteessa. (Kangastupa 2005, 76.)

Poltonesteen, jarrunesteen, voiteluöljyn, jäähdytysnesteen ja pesunesteen varoitusvalojen sensorit seuraavat nestesäiliöiden pinnan tasoa. Valo varoittaa, kun nestepinta laskee määritellyn tason alapuolelle. (Rintee 2006, 34–35.)

Lähi-, kauko- ja sumuvalojen päälläolo ilmaistaan staattisella merkkivalolla. Suuntavilkkujen toiminnasta kerrotaan vilkkuvalla valolla, joka kytkeytyy automaattisesti pois päältä kääntymisen jälkeen.

Yleinen varoitusvalo, käsijarrun päällä olosta tai muusta jarrujärjestelmän häiriöstä kertova merkkivalo ja päästöjenvalvontajärjestelmän vikavalot ovat yleisesti käytettyjä (Rintee 2006, 34). Erikoisajoneuvojen ja raskaanliikenteen ajoneuvoissa on ohjaamossa lisäksi merkkivaloja, joiden funktio liittyy erityisesti juuri kyseisen ajoneuvotyypin toimintaan.

5.3 Ajotietokone

Ajotietokone (trip computer) on kojelautaan integroitu näytöllinen tietokone. Sen tärkein tehtävä on polttoaineenkulutuksen mittaaminen (kuva 6.). Tarvittavat tiedot saadaan ajoneuvon CAN-väylästä. Ajotietokone laskee tietojen perusteella ainakin hetkellisen kulutuksen ja keskikulutuksen. Kehittyneemmät versiot sisältävät ajohistorian, ja niistä voi tarkastella kulutuslukemia tietyllä ajanjaksolla. Osamalleista näyttää absoluuttisen polttoaineen kulutuksen, ajatun matkan, keskinä-

peuden, ulkolämpötilan ja laskee toimintamatkan nykyisellä polttoaineen määrällä. (Koisaari 2012, 15.)

Ajotietokone voi esittää graafisesti tietoa CAN-väylässä liikkuvasta mittaustiedosta. Renkaiden ilmanpainetta voidaan seurata reaaliajassa, kuten myös moottoriöljyn kuntoa. Esiohjelmoitun kilometrirajan täytyminen saa aikaan kehoituksen viedä ajoneuvo huoltoon. (Wikipedia 2012g.)



Kuva 6. Ajotietokoneen näyttö (richardaucock.com 2011.)

5.4 Ajoneuvotietokone

Ajoneuvotietokone (In-Vehicle Computer) on ajoneuvokäyttöön räätälöity PC-tietokone, jossa voidaan ajaa Windows tai Linux-pohjaisia sovelluksia. Itse tietokone asennetaan yleisesti ajoneuvon keskikonsolista löytyvään DIN-paikkaan. Ajoneuvotietokone voi olla standardiosista koottu PC tai erityisesti suunniteltu ja valmistettu ajoneuvoympäristöön. Ilmankosteuden- ja lämpötilanvaihtelut, tärinä ja sähkönpurkaukset on otettava huomioon jo suunnitteluvaiheessa. Näyttönä voidaan käyttää kolhuilta suojattuja kosketusnäyttöjä. (Sunit 2012a.)

Ajoneuvotietokoneet palvelevat ammattikuljettajien tarpeita. Ammattiryhmien ja ajoneuvotyyppien mukaan räätälöidyt ohjelmistot auttavat keskittymään liikenteeseen, kun kommunikointiin, logistiikkaan ja paikannukseen liittyvät toiminnot löytyvät yhdestä laitteesta (kuva 7.).

Viranomaiskäyttöön räätälöity ajoneuvotietokone tukee monipuolisesti kenttäolosuhteissa tarvittavaa telekommunikaatiota muiden viranomaisyksiköiden välillä valtakunnallisen TETRA-radioverkon, GSM- ja 3G-puhelinverkon ja WLAN-lähiverkon välityksellä. GPS-navigointi auttaa löytämään perille ja voi välittää ajoneuvon tarkan sijainnin muille yksiköille. Liikenteen valvontaa varten järjestelmään voidaan liittää kamera. Sen nauhoittamaan videokuvaan saadaan kaikki tarvittava tieto mukaan, eli seurattavan ajoneuvon lisäksi kuvassa näkyy kohteen ja seuraavan ajoneuvon nopeudet, sijaintikoordinaatit ja tapahtuman ajankohta. Tietokone voi lisäksi seuloa liikennevirrasta automaattisesti ajoneuvotietoja rekisterikilpien automaattitunnistuksen avulla. (Sunit 2012b.)

Rahtiliikenteessä ajoneuvotietokoneella voidaan hoitaa logistiikkaan liittyvä tietoliikenne ajoneuvon ja konttorin välillä. Navigointiin käytetään satelliittipaikannusta ja yksittäisten ajoneuvojen sijaintitieto on reaaliaikaisesti työnjohdon/tilaajan käytettävissä. Ajoneuvotietokone voi hoitaa lakisääteisen ajopiirturin tehtävät. Suurissa ajoneuvoissa käytettävän peruutuskameran kuvaa voidaan tarkkailla näyttöltä. (Sunit 2012c.)



Kuva 7. Sunit Oy:n ammattikäyttöön tarkoitettu ajoneuvotietokone näyttöineen (Sunit Oy 2012.)

5.5 Näytöt

Moderni ohjaamo täyttyy vaihkeita erilaisista näytöistä. Osaltaan tilannetta hankaloittavat historialliset syyt ohjaamon hallintalaitteiden sijoittelussa ja toisaalta sellaisen elektroniikan määrän kasvu, jolla ei ole mitään tekemistä varsinaisen ajamisen kannalta. Kuten aiemmin mittareiden yhteydessä mainittiin, nykyiset näyttötekniikat eivät yllä luettavuudeltaan ja selkeydeltään analogisten viisareiden tasolle. Näyttöpaneelien kannattakin käyttää tarjoamaan kuljettajan kannalta vähemmän kriittistä informaatiota, jolloin näyttöjen epäedullinen sijainti on paremmin hyväksyttävissä.

Keskeisten mittareiden korvaaminen LCD-näytöillä ei välttämättä johda selkeämpään ulkoasuun, kuten Fordin hybridi-auton mittaristo kuvassa 8. osoittaa.



Kuva 8. LCD-näytöt molemmin puolin perinteistä nopeusmittaria (U.S.News & World Report 2012.)

Erikokoisten näyttöjen asettelua ympäri ohjaamo voidaan perustella ergonomialla. Pienet näytöt voidaan sijoittaa näkökentän kannalta edulliseen paikkaan ja usein ne tarjoavatkin olennaista tietoa minimalistisella ulkoasulla. Kellon aika, lämpötila, matkamittari, sekä virheilmoitukset sopivat näiden näyttöjen informaatioksi. Harvemmin tarvittava ja sisällöltään monipuolisempi tieto vaatii kehittyneemmät näytöt ja suuremmat näyttöpinta-alat.

Ohjaamoon sijoitetulta näytöltä vaaditaan laajaa katselukulmaa ja automaattista kirkkauden säätöä. Eri valaistusolosuhteisiin sopeutuminen pitää kuvan luettavana päivänvalossa ja himmentää näytön hämärällä ajettaessa. Kosketuskäyttöliittymä poistaa erillisen näppäimistön tai hankalien selausnappien tarpeen. Herkkä elektroniikka suojataan ilmankosteuden vaihtelulta, pölyltä ja mekaaniselta rasitukselta kestäväällä koteloinnilla. (Sunit 2012d.)

Näyttöpaneelit

Yleisin näyttöpaneeli tekniikka on tyypiltään nestekidenäyttö (Liquid Crystal Display, LCD). LCD-näyttöjä käytetään mm. puhelimissa, kelloissa, televisioissa ja tietokonenäyttöissä. LCD-paneelit jaetaan aktiivi- ja passiivimatriisinäyttöihin. Passiivimatriisia käytetään yksinkertaisissa pienissä näyttöissä ja kuvasolujen määrän kasvaessa näyttö toteutetaan aktiivimatriisina käytännön syistä. (Wikipedia 2012h.)

Nestekidenäytön toiminta perustuu kahden polarisoivan ja sähköä johtavan kalvon välissä olevan nestekidekerroksen ohjaukseen sähkökentän avulla. Paneelin kuvapikseli koostuu kolmesta osaväristä, joista jokaista ohjataan itsenäisesti, muodostaen halutun värisen pikselin. Nestekidepaneeli ei itse tuota valoa vaan toimii eräänlaisena valon läpikulkua säätelevänä porttina. Yksinkertaisimmat LCD-paneelit heijastavat vain ympäristön valoa paneelin läpi, kun taustavalaistuissa näyttöissä valon lähteenä toimivat tyypillisesti LED-diodit tai loisteputket. (Wikipedia 2012h.)

Teknisiltä yksityiskohdiltaan markkinoilla on useita erilaisia LCD-paneelija. Paras ta kuvanlaatua ja laajoja katselukulmia tarjoavat paneelit ovat kalliita valmistaa. Edullisten ja ominaisuuksiltaan kehojen paneelien lisäksi on kehitetty kohtuuhintaisia ratkaisuja, joilla halvempiin tekniikoihin lisätään kalliimpien tekniikoiden ominaispiirteitä. Ajoneuvossa kuvanlaadulla ei ole niin suurta merkitystä kuin esim. työpöytämonitorissa. Äärimmäisen tarkkaan toistuvia värisävyjä ja nopeita vasteaikoja tärkeämpää on hyvä kontrasti, laaja katselukulma ja kuvan resoluutio.

Kosketusnäyttö

Kosketusnäyttö (Touchscreen) tunnistaa näytönpinnan kosketuksen ja mahdollistaa tietokoneen ohjauksen ilman perinteisiä lisälaitteita. Tieto kosketuksen sijainnista välitetään näytöltä tietokoneelle. Kosketuksen tunnistamiseen on kehitetty monia teknisiä ratkaisuja. (Wikipedia 2012i.)

Kapasitiivinen kosketusnäyttö rakentuu eristekerroksesta, kuten lasista ja päälle levitetystä läpinäkyvästä sähköä johtavasta kerroksesta. Ihmiskeho johtaa sähköä, ja kosketus sormella näytön pintaan aiheuttaa mitattavan sähkövarauksen muutok-

sen. Kapasitiivinen näyttö ei reagoi sähköä johtamattomaan esineeseen, kuten osoitinkynään. (Wikipedia 2012i.)

Resistiivinen kosketusnäyttö koostuu useista kerroksista, joista kaksi läpinäkyvää ja sähköä johtavaa kerrosta koskettaa toisiaan pintaa painettaessa. Toinen kerroksista paikallistaa kosketuksen vaaka-akselilla ja toinen pystyakselilla. Akselit lue-taan nopeasti peräkkäin. Akselille sijoittuminen tunnistetaan virtapiirin läpi johdettavan jännitteen tasosta, joka muuttuu portaittain kyseisen akselin suunnassa. (Wikipedia 2012i.)

Heijastusnäyttö

Heijastusnäytöksi (Head-up display, HUD) kutsutaan tekniikkaa, jossa grafiikka heijastetaan läpinäkyvälle pinnalle, niin ettei ohjaajan tarvitse kääntää katsettaan pois ympäristön tarkkailusta (kuva 9.). Tekniikan tärkeimmät osat ovat projektori, kuvan tuottava tietokone ja heijastuspinta joka näyttää projisoidun kuvan, mutta päästää lävitseen kaiken muun valon. Projisoidun grafiikan heijastuneet valonsä-teet ovat yhdensuuntaisia, joten aivot tulkitsevat valonlähteen sijaitsevan lähellä optista äärettömyyttä. Kuvan katsominen ei siten vaadi katseen uudelleen tarken-nusta. (Wikipedia 2012j.) Heijastusnäytön uusimmat ajoneuvoversiot toistavat täysvärigrafiikkaa (Ketonen 2012, 23).

Kosketusnäyttöratti

Kosketusnäytön lisäämistä ohjauspyörään on testattu saksalaisessa prototyypissä. Näytön sijainti helpottaisi laitteiden kontrollointia ja vähentäisi katseen kääntämi-sen tarvetta ajosuunnasta. Ohjaus tapahtuisi näyttöön piirrettävillä eleillä ja esim. komentojen valintaan riittäisi ensimmäisen kirjaimen piirtäminen näyttöön. Testi-en mukaan ohjauspyörän näyttö pienensi huomattavasti kuljettajan katseen viipy-mistä pois tiestä. (Leino 2011b.)

Interaktiivinen ikkuna

Interaktiivinen ikkuna on konseptiasteella oleva tekniikka takaikkunoiden muut-tamiseksi kosketusnäytöiksi. General Motorssin tutkimus ja kehitys-osaston israe-lilaisella Bazalel-yliopistolla teettämän projektin tarkoituksena oli luoda vuoro-

vaikutteista sisältöä takapenkillä matkustaville. Mahdollisessa tuotantoversiossa ikkunaa ohjattaisiin kosketusnäyttöistä tutulla tekniikalla. (General Motors 2012.)

5.6 Kameraan perustuvat avustavat järjestelmät

Lisätty todellisuus

Lisätyn todellisuuden (Augmented Reality) avulla kuljettajan näkökenttään luodaan todellisuutta ja tietokoneella luotua grafiikkaa yhdistävä näkymä (kuva 9.). Näyttölaitteena käytetään heijastusnäyttöä, johon tietokone tuottaa selkeitä visuaalisia navigointiohjeita. Kameraa käytetään grafiikan kohdistamiseen oikealle kohdalle. Järjestelmä on kehitysasteella. (Ketonen 2012, 23.)



Kuva 9. HUD ja lisätty todellisuus (BMW Group 2011.)

Kaistavahti

Kaistavahti (Lane departure warning system) seuraa edessä olevaa tietä kameran välityksellä ja tunnistaa kuvasta kaistaa reunustavien maaliviivojen sijainnin. Kaistavahti varoittaa kuljettajaa, jos ajoneuvo on kulkeutumassa jommankumman viivan yli ilman aktivoitua suuntavilkkuja. Kehittyneimmät versiot voivat jarrujen

tai ohjaustehostimen avulla korjata kulkusuuntaa. Kameraan perustuvat kaistavahdit eivät ole luotettavia talviolosuhteissa ajoradalla olevan lumen ja jään vuoksi. (Koisaari 2012, 20.)

Kaistavahteja on toteutettu eteenpäin kuvaavalla videokameralla, alaspäin suunnatuilla infrapunasensoreilla ja laser sensoreilla. Kamera voi olla sijoitettuna tuulilasina taakse taustapeilin kohdalla, niin että tuulilasin pyyhkijät pitävät kohdan puhtaana. Kuljettajan varoittaminen voidaan toteuttaa tärisevällä ratilla tai istuimella, äänimerkillä tai visuaalisella merkillä. (Wikipedia 2012k.)

Nopeusrajoitintunnistin

Nopeusrajoitintunnistin (Speed limit sign detection) on kameran ja sen kuvaa analysoivan ohjelmiston yhdistelmä. Konenäkösovellus pyrkii tunnistamaan vallitsevan nopeusrajoitusalueen liikennemerkeistä. Tekniikka ei nykyisellään ole luotettava, ja se ilmoittaa välillä virheellisiä nopeusrajoituksia kuljettajalle. Tieosuuden suurin sallittu nopeus ilmaistaan visuaalisesti esimerkiksi ajotietokoneen näytöllä. Epäselvissä tilanteissa nopeusrajoitusta ei ilmoiteta. Virhetulkintoja voidaan ratkaisevasti vähentää GPS-paikannuksella, jonka avulla tunnistetaan tiettyypin katonopeus ja maan nopeusrajoituskäytännöt. (Koisaari 2012, 21.)

Pimeänäkö

Pimeänäkö (Automotive night vision) on tekniikka, jolla pyritään parantamaan kuljettajan ympäristön havainnointia pimeällä (kuva 10.). Ajoneuvoissa on käytössä kahteen eri toimintaperiaatteeseen perustuvaa tekniikkaa. Lämpökamera havainnoi lämpösäteilyä, jolloin lämpimät kohteet erottuvat näytöllä kylmemmästä taustasta. Lämpökameran kuva on hankalammin tulkittavissa kuin infrapunatekniikkaan perustuvassa tekniikassa. Lähi-infrapunakuvauksessa tietä valaistaan näkyvän valon spektrin ulkopuolisella infrapunasäteilyllä, jota peruutuspeilin kohdalle asennettu infrapunakamera rekisteröi. Infrapunakameran kuva esitetään näytöllä mustavalkoisena. (Koisaari 2012, 21.)

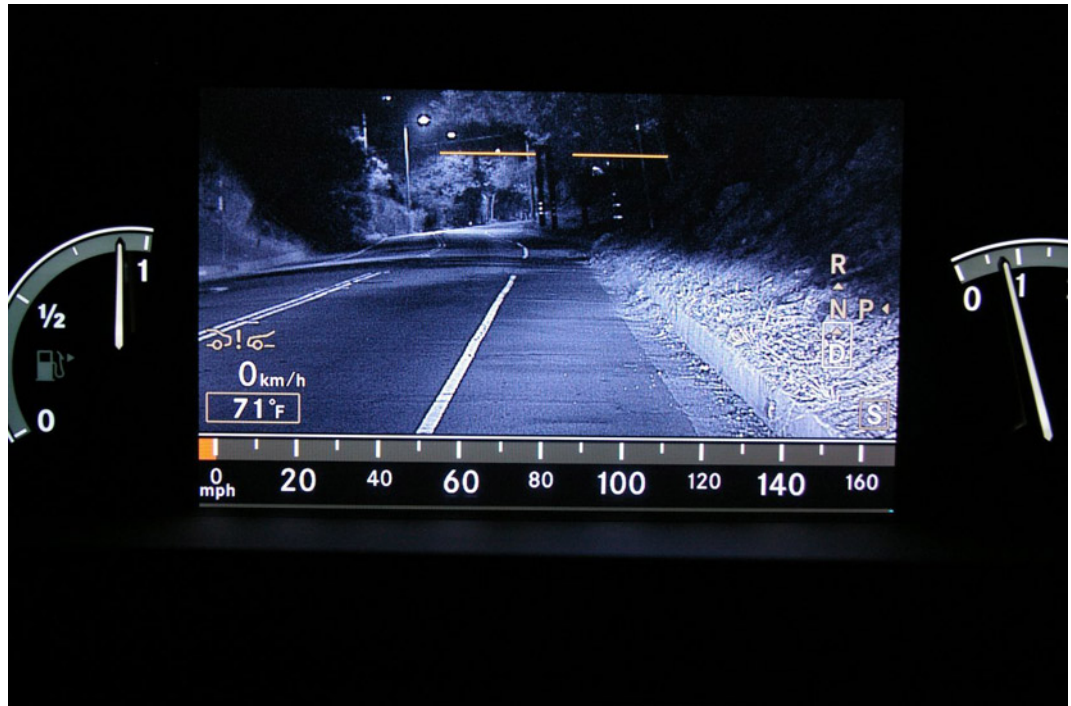
Lämpökamera-tekniikkaa kutsutaan passiiviseksi. Sen havainnointietäisyys ylittää n. 300 metriin. Kehittyneimmät versiot tunnistavat liikkuvien kohteiden liikkeen ja varoittavat kuljettajaa äänimerkillä ja visuaalisesti mahdollisesta törmäysvaa-

rasta. Infrapunavaloilla valaistessa on kyseessä aktiivinen järjestelmä. Havainnointietäisyys jää 150–200 metriin, mutta kuva on tarkempi kuin lämpökameralla. Sääolot vaikuttavat järjestelmien toimintaan. Lämpökamera näkee paremmin sumussa, muttei erottele lämpimällä kelillä kohteita kunnolla taustasta. Infrapunasäteily ei läpäise kunnolla sumua tai sadetta. Pimeänäkö-järjestelmän näyttö voi olla kojelaudassa suoraan kuljettajan edessä tai kuva voidaan esittää tuulilasiin heijastaen. (Wikipedia 2012l.)

Markkinoille on tulossa järjestelmä, jossa tietokone tulkitsee infrapunakameran kuvaa ja tunnistaa siitä jalankulkijat ja eläimet. Tunnistetut kohteet valaistaan, ja niitä seurataan reaaliaikaisesti puskurin alle sijoitetuilla kirkkailla valonheittimillä. Alhaalle sijoitettujen valojen valokiilat näkyvät selkeästi tiessä ja näin kuljettajan on helppo tunnistaa kohteiden sijainti. (Ketonen 2012, 22.)

Peruutuskamera

Peruutuskamera (Backup camera) on taaksepäin suunnattu kamera, jonka tarkoitus on helpottaa ajoneuvon peruuttamista. Peruutuskameroita käytetään henkilöautoissa, mutta suurin hyöty niistä saadaan suurissa ajoneuvoissa. Kuorma-autot, ajoneuvoyhdistelmät ja matkailuvaunut ovat esimerkkejä ajoneuvoista, joiden taakse ei perinteisillä peruutuspeileillä voi nähdä. Kamera voidaan sijoittaa takapuskurin tasoon tai ylemmäksi, jolloin se suunnataan alaviistoon. Järjestelmässä voi olla pimeänäkötoiminto. Kuva välitetään ohjaamossa olevalle näytölle kaapelilla tai langattomasti. Näyttönä voi toimia navigointijärjestelmän, ajoneuvotietokoneen tai varta vasten peruutuskameraa varten asennettu näyttöpääte. Kameran välittämän näkymän hahmottamista voi helpottaa kuvan kääntämisellä peilikuvaksi. (Wikipedia 2012m.)



Kuva 10. Pimeänäkö (About.com 2007.)

5.6.1 Kameratekniikka

Digitaalinen kameratekniikka mahdollistaa kameran käytön tarkoituksiin, jotka tulivat mahdolliseksi vasta kamerayksikön pienentymisen ja edullisuuden myötä. Ajoneuvoon integroidussa kamerassa on erikoispiirteitä käyttöympäristön vuoksi. Kuljettaja ei missään tilanteessa käsittele kameraa fyysisesti, toiminnanohjauksen tapahtuessa tietokoneen välityksellä. Kamera voi myös toimia sensorina, joilloin kuvan tulkitseminen jää tietokoneen huoleksi ja kuljettajaa informoidaan tarvittaessa pelkistetyllä, kuvaa nopeammin tulkittavissa olevalla ärsykkeellä.

Servo-ohjattua peruutuskameraa lukuun ottamatta ajoneuvoihin asennettavat kamerat ovat tyypillisesti kiinteitä ja suunnattu käyttötarkoituksensa mukaisesti. Elektronisena laitteena digitaalinen kamera on suojattava lämpötilan ja kosteuden vaihteluilta ja asennettava mahdollisuuksien mukaan suojaisaan kohtaan tien pinnasta nousevien epäpuhtauksien välttämiseksi. Ajoviima voi auttaa sateella ulkopuolelle asennetun kameran linssin puhtaana pitämisessä. Kun keräävän linssin pinta-ala on pieni, ei yksittäisten sadepisaroiden valoa taittava vaikutus ole korjat-

tavissa. Digitaalikameratekniikan käyttöä rajoittavat voimakkaat sääilmiöt, vesi- ja lumisade, sumu ja suora auringonpaiste.

Objektiivi

Kameran objektiivi on linssi tai linssiryhmä. Objektiivin tarkoitus on kerätä kohteesta saapuvat valonsäteet ja muodostaa selkeä kuva kamerasensorille. Objektiivi voi olla muuttuva polttovälinen tai kiinteä polttovälinen. Kiinteä polttovälinen on yksinkertaisempi valmistaa, ja polttoväliksi voidaan valmistusvaiheessa määrittää parhaiten käyttötarkoitusta vastaava arvo. Polttoväli ilmoitetaan millimetreissä ja kasvattamalla polttoväliä systeemin optinen taittokyky pienenee supistaen näkymän rajausta. (Wikipedia 2012n.)

Muodostettavan kuvan syväterävyysaluetta säädetään himmentimen kokoaan muuttavalla aukolla, jonka läpi kaiken kuvasensorille tulevan valon on kuljettava. Aukon arvo ilmoitetaan suhteessa käytettyyn polttoväliin. Pienempi aukon arvo päästää enemmän valoa läpi, ja syväterävyysalue on suurin pienellä aukon arvolla. (Wikipedia 2012o.)

Kuvasensori

Kuvasensorin tehtävänä on muuntaa objektiivin keräämät valonsäteet sähköiseksi signaaliksi. Suurin osa markkinoilla olevista digitaalikameroista perustuu kahteen toimintaperiaatteeltaan poikkeavaan tekniikkaan: CCD-kuvasensorissa valonsäteen energia tallentuu pieneksi sähkövaraukseksi. Varaus muunnetaan jännitteeksi ja luetaan kennolta pikseli kerrallaan. CMOS-kuvasensorissa sähkövaraus luetaan kerralla koko kennon alueelta. CMOS-tekniikka tarvitsee vähemmän energiaa ja on edullisempi valmistaa. Kuvasensorilta saatavaan kuvanlaatuun vaikuttavia tekijöitä ovat mm. kennon dynamiikka-alueen laajuus, kohinan määrä ja herkkyys. Dynamiikka-alue kasvaa ja signaalikohinan voimakkuus laskee kennon koon kasvaessa. (Wikipedia 2012p.)

5.6.2 Plenoptic –kamera

Plenoptic-kamera pyrkii tallentamaan kuvattavasta kohteesta tai näkymästä sellaista informaatiota, joka menetetään perinteisellä kameratekniikalla. Tekniikasta käytetään myös nimitystä light field -kamera. (Ng, Levoy, Brédif, Duval, Horowitz & Hanrahan 2005, 1.)

Plenoptic-kamera kykenee mittaamaan yksittäisen valonsäteen mukanaan kuljetaman valon määrän, kun perinteinen kamera tallentaa vain valon kokonaismäärän jokaisessa optisen sensorin pikselissä. Plenoptic-kameran rakenne poikkeaa tavallisesta kamerasta. Erityisen mikrolinssistön lisääminen linssijärjestelmän ja kennon väliin auttaa määrittämään laskennallisesti valonsäteen tulosuunnan. Mikropeili taittaa saapuvan valonsäteen juuri ennen kennoa ja matemaattisia säteen seurannan tekniikoita hyödyntäen voidaan valonsäteen matka linssijärjestelmän läpi mallintaa käänteisesti. (Ng, Levoy, Brédif, Duval, Horowitz & Hanrahan 2005, 1.)

Yksittäisten mikrolinssien lukumäärä on sama kuin plenoptic-kameran optinen resoluutio. Jokaista mikrolinssiä kohden kennolla on useita pikseleitä, joiden avulla mikrolinssin taittama valonsäde tunnistetaan. Yhtä mikrolinssiä kohden varattuja ja kennon pikseleitä voi helposti olla toista sataa kappaletta, mikä laskee huomattavasti tallennettujen kuvien resoluutiota perinteiseen kameratekniikkaan verrattuna. Mikrolinssiä kohden varattujen pikseleiden määrän kasvu parantaa kuvan terävyyttä lineaarisessa suhteessa. (Ng, Levoy, Brédif, Duval, Horowitz & Hanrahan 2005, 1, 6.)

Plenoptic-kameran vahvuus on sen kyvyssä tallentaa pikselikohtainen tieto valonsäteen hajastaneen pinnan etäisyydestä kameraan. Kuvaushetkellä kamera tallentaa eräänlaisen syvyyskartan koko kuvalle. Itse kuva syntyy suhteellisen raskaan ja monimutkaisen tietokonelaskennan tuloksena. Syvyyskartta mahdollistaa esim. syväterävyysalueen sulavan säätämisen kuvan ottamisen jälkeen. (Ng, Levoy, Brédif, Duval, Horowitz & Hanrahan 2005, 2, 10–11.)

Syvyysinformaation resoluutio riippuu linssijärjestelmän suhteesta kohteen etäisyyteen, eli paras syvyysuuntainen erottelu saavutetaan läheltä pieniä kohteita kuvattaessa. Plenoptic-kamera soveltuu paremmin lähikuvaukseen kuin pitkien

etäisyyksien arviointiin esim. ajoneuvon navigointiin liittyvissä sovelluksissa. (Adelson & Wang 1992, 4-5.)

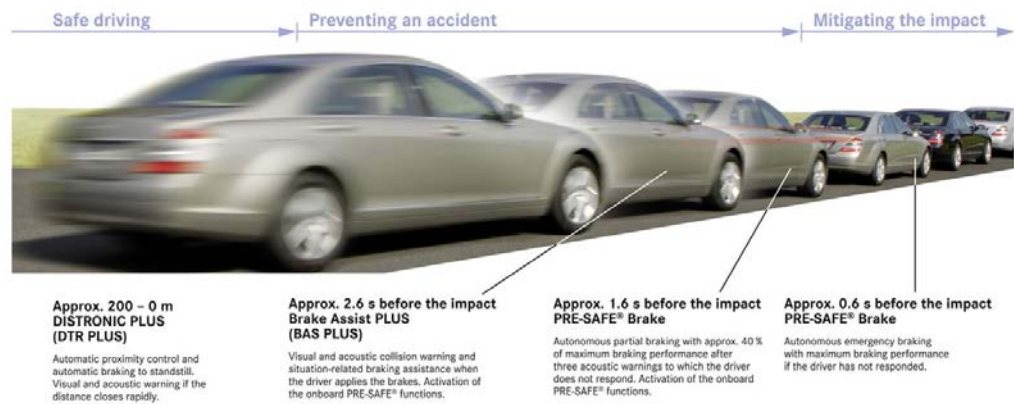
5.7 Tutkaan perustuvat avustavat järjestelmät

Automaattinen jarrutus

Automaattinen jarrutus (Brake Assist) on tekniikka joka kuljettajasta riippumattomasti varoittaa, aloittaa jarruttamisen tai jopa tekee itsenäisesti koko jarrutusprosessin. Järjestelmän kehittyneisyydestä riippuu minkä kokoisiin esteisiin se kykenee reagoimaan ja millaisista nopeuksista törmäys kyetään välttämään. Törmäystä ei välttämättä voida välttää suuresta ajonopeudesta johtuen. Ajoneuvon nopeus ehtii kuitenkin laskea ratkaisevasti vähentäen törmäysenergiaa ja sitä kautta vahinkojen vakavuutta. (Koisaari 2012, 16.) Automaattisia jarrutus-järjestelmiä on toteutettu tutkan ja kameran yhdistelminä ja pelkkään tutkaan tai laser sensoriin (LIDAR) pohjautuen. Perustoimintaperiaate on kaikissa sama. (Wikipedia 2012q.)

Esimerkkijärjestelmä perustuu kahteen lyhyenkantaman tutkaan, jotka on sijoitettu ajoneuvon etupuskuriin ja lisävarusteena toimitettavaan etusäleikön taakse asennettuun pitkän kantaman tutkaan. Ennakoiva toiminta alkaa noin 200 metriä ennen mahdollista törmäyskohdetta, jolloin vakionopeudensäädin ja automaattinen jarrutusjärjestelmä ovat valmiudessa. Jos välimatka lyhenee liian nopeasti, kuljettajalle annetaan visuaalisia- ja ääniärsyksiä noin 2,6 sekuntia ennen arvioitua törmäystä. Mikäli kuljettaja ei ole aloittanut jarrutusta noin 1,6 sekuntia ennen törmäystä, järjestelmä aloittaa jarrutuksen 40 prosentin teholla. Turvavyöt esikiistetään, katto- ja sivuikkunat suljetaan ja etupenkit siirretään turvallisempaan asentoon. Automaattinen hätäjarrutus noin 0,6 sekuntia ennen törmäystä, jos kuljettaja ei jostain syystä aloittanut jarrutusta (Kuva 11.). (Danielson 2008.)

The fractions of a second before a crash: Mercedes assistance systems automatically warn, support and apply the brakes if the danger of an accident is acute



Kuva 11. Automaattisen jarrutuksen ajoitus (Daimler AG 2008.)

Älykäs vakionopeudensäädin

Älykäs vakionopeudensäädin (Automatic Proximity Control) säätää nopeuden edessäkulkevan mukaan ja pitää turvavälin ajallisesti samana. Toiminta perustuu tutkaan, jolla etäisyys edessä olevaan ajoneuvon mitataan. Kuljettaja määrittää ylläpidettävän turvavälin, joka vaihtelee ajoympäristön mukaan. (Koisaari 2012, 25.)

Etäisyyden mittaukseen käytetty tutka lähettää ja vastaanottaa kaiun millimetrialueen sähkömagneettisista pulseista. Sähkömagneettisen säteilyn aallonpituuksia välillä 30GHz - 300GHz kutsutaan millimetriaalloiksi, aallonpituuden ollessa 1-10 mm. Lähettimen, vastaanottimen ja prosessorin sisältävä yksikkö sijoitetaan etupuskurin sisään. Tutkasädekiila on suunnattu tarkasti menosuuntaan. Toimintasäde on 150 metriä, joka rajoittaa älykkään vakionopeuden säädön korkeimmaksi toiminta nopeudeksi 180km/h. Tutkasensorin yhteydessä oleva prosessori laskee mm. kaistaennusteen, valitsee tarkkailtavan kohteen, nopeus- ja etäisyyskontrollin, moottorin kontrollointi yksikön ohjauksen, jarruservon ohjauksen ja järjestelmän tilasta kertovan informaation ajotietokoneen ruudulla esitettäväksi.

(Volkswagen 2002, 20–21; Wikipedia 2012r.)

Kuolleen kulman valvonta

Kuolleen kulman valvonta (Blind Spot Information System) varoittaa kaistaa vaihtaessa kuljettajan näkökentän katvealueelle sijoittuvasta toisesta ajoneuvosta. Katvealuetta voidaan valvoa kameralla tai tutkalla ja kuljettajaa varoitetaan visuaalisella- ja/tai äänimerkillä mahdollisesta törmäysvaarasta. Nykyisten järjestelmien ongelmana ovat lukuisat väärät hälytykset. (Koisaari 2012, 20.)

Pysäköintitutka

Pysäköintitutka (Parking Sensor) on pysäköintiä helpottava laite, joka käyttää ultraäänitajuudella toimivaa sensoria kaikuluotaamaan ajoneuvon takana olevia mahdollisia esteitä. Sensori tuottaa ja vastaanottaa ultraäänipulssin. Äänen takaisin heijastumiseen kuluneesta ajasta lasketaan objektin etäisyys. Sensorit sijaitsevat takapuskurissa, ja kapean säteilykeilan vuoksi voidaan tarvita useita kattamaan koko ajoneuvon leveys. Ultraääneen perustuva pysäköintitutka ei välttämättä tunnista pieniä kohteita ja maasta heijastunut pulssi voidaan tulkita vahingossa esteeksi. (Demand Media 2012.)

Elektromagneettinen pysäköintitutka luo ajoneuvon taka- tai etuosaan sähkömagneettisen kentän. Laite tunnistaa liikkuvien kohteiden kenttään aiheuttamat muutokset ja kenttään syntyneen häiriön sijainti voidaan laskea. Tekniikkaa käytettäessä ajoneuvon nopeuden tulee olla tasainen ja hidas. Laite lakkaa hälyttämästä sähkömagneettisen kentän pysyessä muuttumattomana, eli tilanteessa, jossa este pysyy paikallaan ja peruutustutkaa käyttävä ajoneuvo pysähtyy. Elektromagneettinen pysäköintitutka on herkempi sääolosuhteille kuin ultraääneen perustuva, mutta on tarkempi ja huomaamattomampi asentaa. Molemmat tekniikat mahdollistavat esteen etäisyyden päättelyn visuaalisen merkin tai äänen toistotaajuuden muutoksesta. (Trading Direct 2012.)

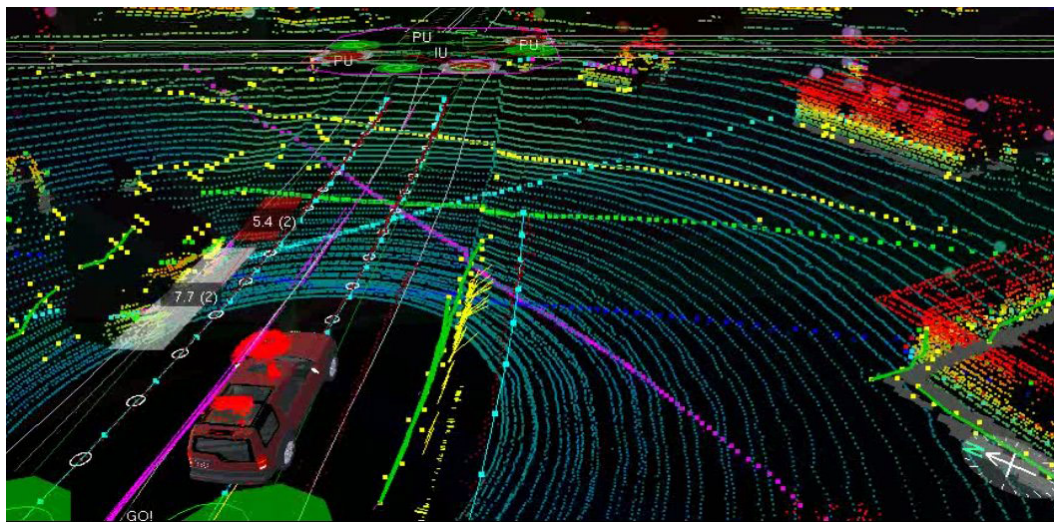
5.8 LIDAR

LIDAR (Light Detection And Ranging) on optinen kaukokartoituslaite, joka perustuu kohteen valaisuun ja takaisin sironneen valon rekisteröintiin. Valonlähteenä toimii useimmiten laserpulssi, teknisten toteutusten riippuessa sovellusalueesta. Laserpulssin kesto, aallonpituutta ja ohjausta muuttamalla LIDAR:ia voidaan käyttää eri etäisyyksille ja käyttötarkoituksiin, kuten lentokoneesta tai ajoneuvoon kiinnitettynä. LIDAR sovelluksia hyödynnetään monilla elämänalueilla, kuten geomatiikan, geologian, maantieteen ja metsätalouden aloilla. (Wikipedia 2012s.)

Käytetyt laservalon aallopituudet vaihtelevat noin 10 mikrometrinä 250 nanometriin, ja tyypillisessä sovelluksessa ilmaisin rekisteröi fyysisen kappaleen pinnasta takaisin sironneen valon. Erikoissovelluksissa voidaan havainnoida myös muita ilmiöitä, joita laservalon energia saa aikaan fyysiseen objektiin, kaasumolekyylisiin, tai nesteeseen osuessaan. (Wikipedia 2012s.)

Ajoneuvoon kiinnitetty LIDAR keilaa ympäristöä ja rekisteröi jokaisen pulssin matkaan käyttämän ajan, josta lasketaan heijastuksen aiheuttaneen pinnan etäisyys laitteeseen. Kerätystä heijastusdatasta voidaan muodostaa kolmiulotteinen pistepilvi (point cloud). Pistepilvi on suoraan hyödynnettävissä ja tietokoneen analysoitavissa reaaliajassa. (Wikipedia 2012t; Velodyne 2010, 1.)

Velodyne HDL-64E S2 on ajoneuvokäyttöön suunniteltu LIDAR. Sen 64 laseria ja sensoria on sijoitettu kahteen tasoon sääsuojattuun koteloon. Kotelo pyörii akselinsa ympäri ja muodostaa 360-asteisen pistepilven ajoneuvon ympäristöstä (kuva 12.). Näkymä päivittyy 5-15 kertaa sekunnissa. Tuossa ajassa laite mittaa yli 1,3 miljoonaa pistettä alle 2cm tarkkuudella. Mittausetäisyys riippuu laservaloa takaisin sirottavasta pinnasta ja on maksimissaan noin 120 m. Laservalon aallonpituus on 905nm ja pienitehoisena turvallinen. (Velodyne 2010, 2.)



Kuva 12. 360-asteinen point cloud ajoneuvon ympäriltä (Hizook 2009.)

5.9 Anturit

Gyroskooppi

Gyroskooppi (Gyroscope) mittaa suunnan muutosta. Mekaanisessa gyroskoopissa pyörimään saatettu levymäinen kiekko vastustaa liikesuunnan muutosta. Kiekko on akseloitu niin, että kehikon kääntyessä kiekko säilyttää alkuperäisen asentonsa. Kulkusuunnan muutos voidaan laskea kehikon asennon muutoksesta suhteessa kiekkoon. (Pearson 2012.)

Gyroskooppeja valmistetaan eri toimintaperiaatteilla. Mekaanisen kiekon lisäksi markkinoilla on mikrosysteemi gyroskooppeja (Micro Electro Mechanical Systems), sekä laserkehään ja valokuituun perustuvia erittäin tarkkoja gyroskooppeja, joissa ei ole lainkaan liikkuvia osia. (Wikipedia 2012u.)

Kallistuskulma-anturi

Kallistuskulma-anturi (Inclinometer) mittaa kallistuskulmaa. Elektroninen kallistuskulma-anturi on erittäin tarkka. Sisäänrakennettu gyroskooppi määrittää painovoimakentän suunnan. Rakenteeseen kiinnitetty kallistuskulma-anturi vertaa rakenteen kulmaa gyroskooppiin ja muuttaa läpikulkevan sähköisen vasteen kulmaa vastaavaksi mittaustiedoksi. (Arie 2012.)

Kiihtyvyyssanturi

Kiihtyvyyssanturi (Accelerometer) mittaa nopeuden muutoksen. Muutoksella on suunta ja voimakkuus. Voimakkuuden vertailuyksikkönä käytetään maan painovoiman kiihtyvyyttä g, eli $9,81\text{m/s}^2$. Kiihtyvyyssantureita voidaan käyttää mittaamaan tärinää, tärähdyksiä, iskuja, kallistusta ja objektin liikettä. Mitattavat liikesuunnat riippuvat anturin rakenteesta. Yksiakselinen sensori voi mitata vain tietynsuuntaisen kiihtyvyyden, kun useimmat sovellukset vaativat kiihtyvyydet kaikilta kolmelta akselilta. Toimintaperiaatteita on useita. (SENSR 2012.)

Inertiasuunnistus

Inertiasuunnistus-järjestelmä (Inertial guidance system) on tekninen laitteisto, jolla järjestelmän omaavan laitteen tai ajoneuvon sijainti pyritään määrittämään ilman ulkoista paikannustietoa. Inertiasuunnistuksessa tunnetun lähtöpisteen jälkeen liikettä seurataan gyroskooppien ja kiihtyvyyssanturien tietokoneelle välittämän mittaustiedon perusteella. Tyypillinen inertiamittaus-yksikkö rakentuu kolmesta toisiinsa nähden suorassa kulmassa olevasta gyroskoopista ja kolmesta ortogonaalisesti sijoitetusta kiihtyvyyssanturista. (Woodman 2007, 5.)

Inertiasuunnistusta käytetään laajasti lentokoneiden, laivojen, sukellusveneiden, avaruusalusten ja ohjusten navigoinnissa. Mikrosysteemeihin perustuvien anturien kehitys on mahdollistanut pienten ja edullisten inertiasuunnistus-järjestelmien rakentamisen ja uudet sovellusalueet. (Woodman 2007, 5.)

5.10 DARPA Urban Challenge

DARPA (Defence Advanced Research Projects Agency) Urban Challenge on tutkimus- ja kehitysprojekti täysin itsenäisesti liikkuville ajoneuvoille. 2007 Järjestettyä Urban Challenge kilpailua edelsivät vuosina 2004 ja 2005 järjestetyt Grand Challenge kilpailut. Urban Challenge toi robottiajoneuvot aavikolta kaupunkiympäristöön. Projektin päämääränä on kehittää tekniikkaa miehittämättömiä ajoneuvoja varten. Korvaten ihmiskuljettajat kolmasosasta sotatoimialueella operoivista ajoneuvoista vuoteen 2015 mennessä. (DARPA 2007, 4-5.)

Kilpailuun osallistuvilta ajoneuvoilta edellytettiin täysin itsenäistä toimintaa suljetussa kaupunkimaisessa ympäristössä, jossa on myös muita tiellä liikkujia. Reitin kokonaispituus oli 60 mailia, vaihtelevan kuntoisella tiestöllä. Ajoneuvon tuli selvitä rakennetulle ympäristölle tyypillisistä rakenteista, noudattaa liikennesääntöjä ja toimia oikein mm. risteystilanteissa. Liikenne alueella koostui muista kilpailuun osallistuvista itsenäisesti liikkuvista ajoneuvoista ja normaaleista ihmiskuljettajien ajamista ajoneuvoista. Reitti muodostui läpikäytävistä reittipisteistä, joiden järjestystä ei ole ennalta määritetty. Järjestäjä toimitti osallistujille reittipisteiden koordinaatit ja tiedot tieverkosta. (DARPA 2007, 4-5, 8.)

Vuonna 2005 järjestettyyn DARPA Grand Challenge–kilpailuun verrattuna rakennettu ympäristö tuo paljon uusia haasteita. Aavikolla kaikki väisteltävät kohteet olivat staattisia, ja ajoneuvon täytyi lähinnä osata määrittää turvallisimmin ajolinjat ympäristöstä kerätyn sensoridatan avulla. Muun liikenteen seassa liikkuminen vaatii ympäristön tulkintaa, vaikeaa kohteiden liikkeen ennakoimista ja päätösten tekoa. (Stanford Racing Team 2007, 1.)

Urban Challenge:n voittanut, Bossiksi nimetty auto on tutkilla, kameroilla ja yli kymmenellä lasersensorilla varustettu Chevy Tahoe (kuva 13.). Bossin toiminnasta vastaava ohjelmisto on jaettu havainnoinnin, toiminnan suunnittelun ja käyttäytymisen osa-alueisiin. Reittisuunnittelu määrittää parhaan reitin reittipisteiden välillä. Liikesuunnittelu ottaa huomioon staattiset ja liikkuvat kohteet havaintojen pohjalta. Liikesuunnittelu vastaa kaistavalinnoista, tien reunojen tunnistamisesta, parkkiruudun tunnistuksesta, nopeusrajoituksista ja muista vastaavista valinnoista. Ohjelmisto osaa varoa törmäyksiä yllättävissä tilanteissa, kuten toisten ajoneuvojen ennakoimaton käyttäytymistä. (Carnegie Mellon Tartan Racing 2007.)



Kuva 13. Boss (Carnegie Mellon Tartan Racing 2007.)

6 CASE: KAMERAN JA NAVIGAATTORIN YHDISTELMÄ

6.1 Idean esittely

Kuvitellaan kuljettaja ajoneuvoineen etenemään suoraa tietä. Liikennemerkkit, ajoradan varren talot ja vastaantulevat muut tiellä liikkujat tuntuvat syöksyvän kohti suoraan edessä siintävästä perspektiivin pakopisteestä. On ympäristö sitten urbaania rakennettua seutua tai metsäntien reunoille kohoavaa tiheää havupuustoa, niin kaikki staattiset kohteet käyttäytyvät kuljettajan näkökulmasta yhtenevästi. Liikesuunnan ja nopeuden pysyessä hetken samana ainoa erottava tekijä kohteiden kuvitteelliseen liikerataan kuljettajan molemmin puolin on kohteiden etäisyys havaitsijaan ja hänen ajoneuvoonsa nähden.

Asetetaan kamera kuvaamaan kuljettajan kanssa samaa näkymää ja sen tuottamaa videokuvaa katsomaan ulkopuolinen tarkkailija. Kuljettajasta poiketen tarkkailijalla ei ole aistien välittämää tietoa kameran ja ajoneuvon liiketilasta, joten hänen on vain oletettava kuvassa esiintyvien kohteiden pysyvän kiinteässä koordinaatistossa ja itse kameran olevan liikkeessä. Ajatuskokeen tarkoitus oli kertoa koordinaatistojen liikkeiden suhteesta toisiinsa. Kameran tuottama kuva muodostaa oman kaksiulotteisen koordinaatistonsa, jonka osasten sitominen osaksi toista koordinaatistoa on tämän työn ydin.

Alussa kuvailun havainnon tehtyäni tulin pohtineeksi keinoa käyttää hetkittäin hyvin tarkkaan määritettävissä olevaa liiketilaa kohteiden etäisyyden mittaamisen ajoneuvoon nähden, tavallisella kameralla tuotetun kuvasarjan pohjalta. Lopputulosta voisi käyttää satelliittinavigaattorin näkymän selkeyttämiseen mahdollistaen vektoripohjaista karttanäkymää intuitiivisemmän käyttöliittymän kuljettajalle. Koko ajatus syntyi kerralla idean hyödyntämistapaa myöten joskus vuosia sitten polkupyörällä maantien reunaa ajaessa ja on siitä lähtien kypsynyt ja hakenut muotoaan.

Tavoitteena on kuvailla tapa tuottaa navigointinäkyvä, jota katsoessa tulkintaa tarvitsisi tehdä mahdollisimman vähän. Kuljettajan huomion kiinnittyminen tien sijasta toissijaisiin toimintoihin kasvattaa onnettomuusrisiä. Ympäröivän todellisuuden sovittaminen vastaamaan hankalasti sisäistettävää vektorikarttanäkymää

vaatii luonnollisesti kuljettajan henkisiä resursseja. Esittelemäni ehdotus teknisen toteutuksen suhteen ei luonnollisesti ole ainoa, eikä välttämättä toteuttamiskelpoisen vaihtoehto. Syvälle teknisiin yksityiskohtiin uppoutumisen sijaan, näen tärkeämpänä ymmärtää tällaisen järjestelmän toimintaan liittyviä haasteita, käsitteitä ja arvioida saavutettava hyötyjä nykyisiin ratkaisuihin verrattuna.

6.2 Kamera

Sijainti

Moni tässäkin työssä esitelty turvallisuutta parantava järjestelmä sijoittaa kameran peruutuspeilin kohdalle tuulilasin sisäpuolelle. Paikka on huomaamaton, eikä erillistä kameran sääsuojausta tarvitse tehdä. Tuulilasinpyyhkijät pitävät kohdan kivi- ja puhtaana. Tuulilasin keskelle yläreunaan sijoitetun kameran näkymä vastaa hyvin kuljettajan kokemusta suoraan eteenpäin avautuvan näkymän suhteen.

Ominaisuudet

Kameran objektiiviksi kannattaisi valita kiinteäpolttovälinen linssi, koska kamera asennetaan kiinteästi eikä sitä tarvitse pystyä tarkentamaan. Kameran näkymän tulisi olla laaja, ja se saavutetaan lyhyellä polttovälillä kuitenkin niin, etteivät reunavääristymät kasva liian voimakkaiksi. Polttovälin pituus riippuu valitun kennon koosta.

Liikkeen vuoksi suljinaikojen tulee olla lyhyitä, ettei kuvaan tule liikeepäterävyyttä. Lyhyt suljinaika on mahdollista suurella aukolla (katso kameratekniikka), joka päästää riittävästi valoa kuvasensorille asti. Suurin aukon koko antaa myös tarkoitukseen sopivan syväterävyysalueen, eli tarkennuksen ”äärettömään”.

Ajoneuvon rungon värinä välittyy kiinteästi asennettuun kameraan. Yksi keino värinän vaikutuksen eliminoimiseksi voisi olla natiiviresoluutioltaan suuremman kuvasensorin käyttö, kuin mitä kuvapinta-alasta lopulta sovelluksessa hyödynnettäisiin. Tietokoneelle on helppo tehtävä poistaa värinä, kun se kohdistuu koko

hyödynnettävään alueeseen samalla voimakkuudella. Suuri natiiviresoluutio antaisi tärinäkorjaukselle liikkumavaran vaaka- ja pystysuunnassa.

Kameran oma elektroniikka ei saa tehdä kuvaan mitään muutoksia. Kuvan pakkausta tietokoneelle siirtoa varten vältetään. Kameran tulisi toimia still-kameran tyyppisesti, vaikka prosessin lopputulos videomuotoa muistuttaakin.

Kuvaustaajuus

Kuvaustaajuudella tarkoitan kuvien tuottamistiheyttä aikajaksoa kohti. Markkinoilla olevat videomuotoista tallennetta tuottavat kamerat käyttävät tavallisesti 25–30 kuvan sekuntinopeutta. Nopeus riittää nykimättömään kuvanpäivitykseen. Ajoneuvon nopeuden vaihtelut johtavat siihen, että kiinteällä kuvaustaajuudella karttakoordinaatistoon suhteutettu kuvasarja muodostuu kuva tihentymistä ja harventumista. Toisin sanoen maantieteellinen etäisyys kuvien välillä vaihtelee.

Toinen vaihtoehto on käyttää adaptiivisesti tilanteeseen mukautuvaa kuvaustaajuutta. Ajoneuvon nopeus on määritettävissä tarkasti, joten tietokone voi ohjata kameras ottamaan kuvan tietyn matkan välein. Metrin välein otettu kuvasarja päivittyisi 100 km/h nopeudella n. 28 kuvan sekuntinopeudella ja 30 km/h nopeudessa n. 8 kuvan sekuntinopeudella. Muuttuvalla kuvaustaajuudella olisi kuitenkin määriteltävä minimisekuntinopeus, jotta itse sovelluksen kuva ei ala tökkimään. Alhaisin soveltuva päivitystahti menee noin 12 kuvan sekuntinopeudessa. Muutenkaan kuvan päivittymistä ei kannata sitoa täysin ajoneuvon liikkeeseen. Risteyksessä toisen ajoneuvon takana paikallaan ollessa kuva lakkaisi pian vastaamasta todellista tuulilasin näkymää muun liikenteen vuoksi.

Kiinteä kuvaustaajuus voi olla helpompi toteuttaa ohjelmallisesti. Adaptiivisen hyödyt liittyvät lähinnä kuvasarjasta muutoksia etsivän analyysin toimivuuteen. Adaptiivinen kuvataajuuden muutos ei sovellu visuaaliseksi ajonopeuden indikaattoriksi, koska aivot kykenevät tulkitsemaan lähinnä alhaisen päivitysnopeuden eroja ja niitäkin vain karkeasti.

6.3 Vektorin muodostaminen

Kamera tuottaa siis jatkuvaa sarjaa kuvia. Seuraavaksi tietokoneen tehtävänä on muodostaa pikselikohtainen liikevektori kaksiulotteisessa koordinaatistossa kuvasarjan perusteella. Vektorit muodostetaan uudelleen jokaiselle kuvalle. Vektorit koskevat vain uusinta kuvaa, ja niiden muodostamiseen käytetään kuvasarjan muutamaa edellistä kuvaa. Laskennassa huomioitavien kuvien määrä riippuu kuvaustaajuudesta, ajonopeudesta ja yksittäisen vektorin muodostamiseen käytetyn algoritmin tehokkuudesta.

Koko prosessin haastavin vaihe on vektoreiden muodostaminen bittikarttakuvasarjan perusteella. Sovellukselle tavoiteltu ulkoasu vaatii, että jokaisen pikselin matka jäljitetään mahdollisimman tarkasti. Se, kuinka tämä tavoite onnistuu, riippuu ainakin laskentaa ohjaavan algoritmin kyvystä sietää todellisuuden yksityiskohtaa kuvaavan pikselin väriarvon muutosta vertailtavien kuvien välillä. Yksittäisen pikselin lisäksi voidaan käyttää sitä ympäröivää varoaluetta. Näiden laskennan kannalta vähemmän painotettujen pikseleiden tarkoitus on varmentaa seurattavan pikselin todella kuvaavan oikeaa, haluttua yksityiskohtaa. Laskenta voidaan tarvittaessa suorittaa konvertoidulla kuvadatalla, eli esim. filteröidä pois tarpeetonta informaatiota, pienentää tietyn värialueen pikseleiden seurannan tärkeyttä tai korostaa kuvan kontrastia. Käyttäjälle esitettävässä kuvassa värit säilytetään entisellään, joskin kevyttä manipulaatiota voidaan suorittaa kuvan luonnollisuuden säilyttämiseksi. Syntyneet vektorit tallennetaan muistiin ja ovat muotoa ”pikselin siirtyminen vaaka- ja pystysuunnassa n määrän verran kuvasoluja”.

Kannattaa huomioida, että lyhyenkin kuvasekvenssin aikana suuri määrä seurattavia kohteita katoaa kameralta niiden jäädessä lähempänä olevien objektien taakse. Mikäli molemmat ovat staattisia kohteita ja kameran liikerata on suoraan eteenpäin, niin peitetyn pikselin on korvannut pidemmän liikevektorin omaava pikseli. Tässä työssä kuvattu metodi tuottaa vääristyneitä tuloksia peilaavista pinnoista tallennettujen pikseleiden tapauksessa. Hetkellisesti katkenneille vektoreille voi määrittää kuvaustaajuudesta ja ajoneuvon nopeudesta riippuvaisen muutaman kuvan ylittävän eheytyksen. Tätä pidemmälle viedylle piiloon jäävien kohteiden piirteiden seuraamiselle en näe tarvetta.

6.4 Koordinaatiston laajentaminen

Anturi- ja paikannusdata

Aiemmin tässä työssä käsiteltyjen anturitekniikoiden (katso Anturit) ja satelliittipaikannuksen avulla ajoneuvon sijainti, suunta, nopeus ja liiketila ovat esittelemäni sovelluksen kannalta riittävän tarkasti määriteltävissä. Satelliittipaikannukseen liittyvällä paikannustarkkuuden virheellä ei ole merkitystä. Tärkein mittausdata liittyy ajoneuvon liikesuunnan muutoksiin ja tarkkaan nopeuden määrittämiseen. Antureiden sijainti ajoneuvon rungossa vaikuttaa siihen, miten tarkkaan tuo tieto on johdettavissa koskemaan itse kameraa.

Kameran liikevektorin muuttaminen pikselin syvyysinformaatioksi

Ajoneuvon liike on sovelluksen kannalta sama asia kuin kameran liike kolmiulotteisessa avaruudessa. Navigaattoreissa käytetyt kartat määritellään kuitenkin vain kaksiulotteisilla koordinaateilla (katso Kartat), joten myös kameran liike määritellään liikkeeksi kaksiulotteisella tasolla. Kameran liikevektori voidaan ilmaista muutoksina kyseisen tason koordinaattiarvoissa.

Tuntemme kameran liikevektorin, ja tietokoneen muistista löytyy viimeksi otetun kuvan pikseleiden liikettä kuvaava vektoritieto. Tähän asti molemmat on määritelly omissa kaksiulotteisissa koordinaatistoissaan. Kameran liikevektori lisää pikselin vektorille kolmannen ulottuvuuden. Bittikarttakuvan jokainen pikseli voidaan nyt määrittää toisistaan riippumattomasti kolmiulotteiseen avaruuteen, samantyyllisesti kuin plenoptic-kamera, mutta pidemmille etäisyyksille.

Tarvittavat laskentaresurssit

Laskennan raskauteen vaikuttavia tekijöitä:

- sovelluksen resoluutio
- kuvaustaajuus
- yksityiskohtien jäljittämiseen käytetyn kuvasekvenssin pituus
- pikseleiden jäljitykseen käytetty laskenta-algoritmi
- katkenneiden vektoreiden eheyttämiseen käytetyt resurssit

Vektoreiden määrittäminen kuvasta voidaan suorittaa rinnakkaislaskennalla, eli laskentajärjestyksellä ei ole väliä ja vektoreita voi resurssien rajoissa laskea useita samaan aikaan. Tehokkaimpia rinnakkaislaskentaan erikoistuneita mikroprosessoriteita, ovat mm. PC-tietokoneissa käytetyt grafiikkaprosessorit. Kirjoitushetkellä tehokkain kannettavaan tietokoneeseen saatavilla oleva näytönohjain suorittaa noin 1 teraFLOPS:in teholla, mikä tarkoittaa 1,000,000,000,000 liukulukuoperaatiota sekunnissa (Wikipedia 2012v).

6.5 Informaation esittäminen navigaattorin näytöllä

Suoraan kameran näkökulmasta tarkasteltuna kuva ei poikkea mitenkään samalla kuvataajuudella esitetystä videosta. Käytössä on kuitenkin tieto pikseleiden sijoitumisesta kuvan syvyys suunnassa. Tietoa hyväksi käyttäen on mahdollista luoda graafisia elementtejä ja efektejä, joiden näkyvyyttä osa kuvan rakenteista voi rajoittaa, ts. peittää kaukana sijaitsemaan tarkoitettua grafiikan kuvan etualan kohteella.

Kolmiulotteisen pistepilven (vrt. point cloud, kuva 12.) tarkkaileminen on mahdollista näkökulmasta, joka vastaa kameran nostamista ajoneuvon yläpuolelle, suoraan yläpuolelle tai takaviistoon. Tarkastelulinja olisi kuitenkin hyvä pitää selkeyden vuoksi samassa linjassa fyysisen kameran kanssa. Kamerakulman muuttaminen saumattomasti on jo tuttua nykyisistä satelliittinavigaattoreista. Tässä työssä kuvailtu järjestelmä toisi karttapohjan päälle kuljettajan omasta näkökulmasta tuttuja, reaaliajassa päivittyviä elementtejä. Pistepilven muodostamat kohteet sijoittuisivat ajoneuvoon nähden oikeille etäisyyksille. Rakennukset ja monikaistaiset liittymät näyttäisivät näytöllä aidoilta, eikä niitä tarvitsisi mallintaa vaivalloisesti käsin, kuten satelliittinavigaattoreiden ominaisuuksien esittelyssä aiemmin kuvailtiin. Aiemmin lasketun pistepilven osia säilyttämällä karttanäkymään piirtyisi kuljettu polku, jonka reunat olisivat visuaalisesti helposti tulkittavissa esikuvikseen.

7 YHTEENVETO

Opinnäytetyön lähtökohtana oli selvittää, millaista ajamiseen liittyvää visuaalista informaatiota kuljettajalle voidaan tuottaa ajoneuvoon asennettavilla teknisillä järjestelmillä: millaisia nuo järjestelmät ovat tekniikaltaan ja millaisista fyysisen maailman ilmiöistä ne kykenevät tuottamaan visuaalisia ärsykeitä. Selvisi, ettei ole lainkaan yhdentekevää, millaisin keinoin asioita tuodaan kuljettajan tietoisuuteen nykyaikaisessa ajoneuvoympäristössä. Ammattiajoneuvojen ohjaamosuunnittelussa kuljettajan ja koneen väliseen rajapintaan on panostettu henkilöautoja enemmän. Henkilöautoissa historialliset perinteet, mukavuus ja esteettiset arvot kulkevat turvallisuutta parantavien tekijöiden edellä.

Vallitsevan säätilanteen arvioiminen on helppoa ympäristöä tarkkailemalla, mutta pidemmän siirtymän sujuvuutta ja turvallisuutta uhkaavien sääilmiöiden kehittymisen arviointiin se ei riitä. Sään ennustamisen vaikeus ja tarkkuus käytiin pintapuolisesti läpi, jotta voidaan perustellusti todeta, ettei sääilmiöiden ennakointi ole mahdollista paikallisesti millään kuviteltavissa olevalla teknisellä keinolla. Keli-tiedot ja varoitukset on tulevaisuudessakin välitettävä kuljettajan käyttöön tietoliikennenyhteyksien kautta.

Satelliittinavigaation laajan esittelyn perustelen sen monimutkaisena kokonaisuutena helposti väärin ymmärrettävän luonteen vuoksi. Kuluttajille suunnattujen navigointilaitteiden monipuolinen tarjonta ja 2000-luvulla räjähdysmäisesti kasvanut satelliittipaikannuksen hyödyntäminen monilla elämänalueilla on tuonut sen yleiseen tietoisuuteen. Kyseessä ei kuitenkaan ole autuaaksi tekevä tekniikka, ja rajoitteet ymmärtämällä paikannusavun saatavuuteen ja tarkkuuteen osaa suhtautua oikein. Lisäksi oletin työtä aloittaessa satelliittipaikannuksen tarkkuuden merkitsevän enemmän soveltavan osan työssä, mutta tekniikkaan paremmin perehdyttyäni ymmärsin satelliittipaikannuksen tarjoavan vain viitekehystenomaisen koordinaatiston tarkemman liikkeen määrittämisen hoituessa liikeantureilla.

Tiedon soveltavassa osassa esiteltiin idea kameran ja satelliittinavigaattorin yhdistelmästä. Vuosien miettimisen jälkeen idean toiminta on vihdoinkin esitelty kirjallisessa muodossa. Pääpiirteet ja idean toimivuus, niin pitkälle kuin ilman toimivaa sovellusta voi päätellä, olivat tiedossa ennen työn aloittamista, mutta suuri osa

sisällöstä ja toteutukseen liittyvistä yksityiskohdista syntyi vasta opinnäytetyötä tehdessä.

Työn tarkoitus ei ole olla kaiken kattava kuvailu kuljettajan tehtävää helpottavasta tekniikasta, sillä paljon erilaisia teknisiä ratkaisuja jäi käsittelemättä. Valmistaja-kohtaiset tekniset ratkaisut poikkeavat monesti toisistaan ja järjestelmien toiminta muuttuu lisäksi kehityksen myötä. Työ kokonaisuutena kuitenkin kuvastaa pitkälti mielikuvaa, joka syntyi aiheeseen tutustuessa ja lopulta kirkastui kirjoitusvaiheessa.

LÄHTEET

Painetut lähteet

Gregory, R. 1998. Eye and Brain – The Psychology of Seeing. 5. Painos. Oxford: Oxford University Press.

Hartonen, S. 2008. Sää ympäri vuoden. Helsinki: Kirjapaja.

Hinch, S. 2011. Outdoor Navigation with GPS. 3. Painos. Birmingham: Wilderness Press.

Kaasinen E. & Norros, L. (toim.) 2007. Älykkäiden ympäristöjen suunnittelu. Kohti ekologista systeemiajattelua. Teknologiaateollisuuden julkaisu nro6/2007. Helsinki: Teknologiainfo Teknova Oy.

Kangastupa, T. 2005. Kori- ja alustaelektroniikka. auto.car. 1. Painos. Helsinki: WSOY.

Ketonen, T. 2012. Ajatushautomon raottaa verhoa. Tuulilasi 2/2012, 22-25.

Koisaari, T. (toim.) 2012. Tehdasasenteiset lisävarusteet. Tekniikan Maailma 3/2012, 12-25.

Poutanen, M. 1999. GPS-paikanmääritys. 2. Painos. Hämeenlinna: Karisto Oy.

Rintee, T. 2006. Autokoulun oppikirja. 8. Painos. Keuruu: Otavan Kirjapaino Oy.

Saariluoma, P. 2004. Käyttäjäpsykologia – Ihmisen ja koneen vuorovaikutuksen uusi ajattelutapa. 1. Painos. Helsinki: WSOY.

Elektroniset lähteet

Adelson, E & Wang, J. 1992. Single Lens Stereo with a Planoptic Camera. [viitattu 26.3.2012]. Saatavissa: http://persci.mit.edu/pub_pdfs/plenoptic.pdf

Arie, B. 2012. How Does an Inclinometer Work? [viitattu 26.3.2012]. Saatavissa: http://www.ehow.com/how-does_5262037_inclinometer-work.html

Autowiki. 2008. Kierroslukumittari. [viitattu 18.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.autowiki.fi/index.php/Kierroslukumittari>

Carnegie Mellon Tartan Racing. 2007. Technology. [viitattu 12.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.tartanracing.org/tech.html>

Danielson, C. 2008. Mercedes-Benz TecDay Special Feature: PRE-SAFE And PRE-SAFE Brake. [viitattu 21.3.2012]. Saatavissa:

http://www.emercedesbenz.com/Nov08/12_001507_Mercedes_Benz_TecDay_Special_Feature_PRE_SAFE_And_PRE_SAFE_Brake.html

DARPA. 2007. Urban Challenge Rules. [viitattu 12.3.2012]. Saatavissa:

http://archive.darpa.mil/grandchallenge/docs/Urban_Challenge_Rules_102707.pdf

Demand Media. 2012. How Do Ultrasonic Parking Sensors Work?. [viitattu

21.3.2012]. Saatavissa: http://www.ehow.com/how-does_5025990_ultrasonic-parking-sensors-work.html

Encyclopedia Astronautica. 2012. Beidou. [viitattu 1.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.astronautix.com/craft/beidou.htm>

ESA. 2012. Galileo Navigation. [viitattu 1.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.esa.int/esaNA/galileo.html>

Garmin. 2012. nüvi® 3790T. [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa:

<https://buy.garmin.com/shop/shop.do?cID=134&pID=63940>

General Motors. 2012. GM Explores Windows of Opportunity. [viitattu

28.3.2012]. Saatavissa:

http://media.gm.com/media/us/en/gm/news.detail.html/content/Pages/news/us/en/2012/Jan/0118_research

Ilmatieteen laitos. 2011. Tiesäämalli. [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa:

<http://ilmatieteenlaitos.fi/tiesaaamalli>

Information-Analytical Centre. 2012. Guide. [viitattu 1.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.glonass-ianc.rsa.ru/en/guide/>

Jarvinen, J. DeSalas, J & LaMance, J. 2002. Assisted GPS: A Low-Infrastructure Approach. [viitattu 28.2.2012]. Saatavissa:

http://www.gpsworld.com/gps/assisted-gps-a-low-infrastructure-approach-734?page_id=2

Leino, R. 2011a. Ajo-opastin kertoo bussikuskille, kuinka kovaa pitää kaasuttaa – ja säästää menovettä. [viitattu 31.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.tekniikkatalous.fi/autot/ajoopastin+kertoo+bussikuskille+kuinka+kovaa+pitaa+kaasuttaa++ja+saastaa+menovetta/a767186?fail=f>

Leino, R. 2011b. Saksalaistutkijat tekivät autoon kosketusnäyttöratin. [viitattu 28.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.tekniikkatalous.fi/duuniauto/article639019.ece?&&&fail=f>

Magellan. 2012. Magellan RoadMate 9020T-LM. [viitattu 14.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.magellangps.com/Products/RoadMate/Magellan-RoadMate-9020T-LM>

National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. 2008. Global Positioning System Standard Positioning Service Performance Standard. [viitattu 26.2.2012]. Saatavissa: <http://www.gps.gov/technical/ps/2008-SPS-performance-standard.pdf>

National Coordination Office for Space-Based Positioning, Navigation, and Timing. 2012. Space Segment [viitattu 26.2.2012]. Saatavissa:

<http://www.gps.gov/systems/gps/space/>

Naval Meteorology and Oceanography Command. 2012. USNO Master Clock Description. [viitattu 6.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.usno.navy.mil/USNO/time/master-clock/precise-time-and-the-usno-master-clock>

Naval Meteorology and Oceanography Command. 2012. USNO GPS Time Transfer. [viitattu 6.3.2012]. Saatavissa:

<http://www.usno.navy.mil/USNO/time/gps/usno-gps-time-transfer>

Naval Meteorology and Oceanography Command. 2012. GPS Info. [viitattu 6.3.2012]. Saatavissa: <http://www.usno.navy.mil/USNO/time/gps/gps-info>

NAVIGON. 2012. NAVIGON – a Garmin company. [viitattu 15.3.2012]. Saatavissa: http://www.navigon.com/portal/int/produkte/navigationssysteme/navigon-premium/navigon_produkt_8450_funktionen.html

Ng, R. Levoy, M. Brédif, M. Duval, G. Horowitz, M & Hanrahan, P. 2005. Light Field Photography with a Hand-held Plenoptic Camera. [viitattu 26.3.2012]. Saatavissa: <http://graphics.stanford.edu/papers/lfcamera/lfcamera-150dpi.pdf>

Pearson, T. 2012. Gyroscopes – Everything you needed to know. [viitattu 26.3.2012]. Saatavissa: <http://www.gyroscopes.org/how.asp>

SENSR. 2012. Practical guide to Accelerometers. [viitattu 22.3.2012]. Saatavissa: <http://www.sensr.com/pdf/practical-guide-to-accelerometers.pdf>

Stanford Racing Team. 2007. DARPA Urban Challenge. [viitattu 6.3.2012]. Saatavissa: http://cs.stanford.edu/group/roadrunner/pdfs/final_SRTrelease_junior.pdf

Sunit. 2012a. Ajoneuvotietokoneet. [viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: <http://www.sunit.fi/fi/products.php>

Sunit. 2012b. Police Vehicle Computers. [viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: <http://www.sunit.fi/fi/product.php?product=75>

Sunit. 2012c. Fleet Management Computers. [viitattu 20.3.2012]. Saatavissa: <http://www.sunit.fi/fi/product.php?product=79>

Sunit. 2012d. Ajoneuvotietokoneet. [viitattu 28.3.2012]. Saatavissa: <http://www.sunit.fi/fi/products.php?cat=0,22,6>

Tarkiainen, M. 2012. Älykäs ajoneuvo – nyt ja huomenna. [viitattu 31.3.2012]. Saatavissa: http://www.its-finland.fi/ITSDay_8_Alykas_ajoneuvo_-_nyt_ja_huomenna_Silja.pdf

TomTom. 2011a. GO LIVE 1005 World – Car Navigation – TomTom. [viitattu 13.3.2012]. Saatavissa: https://www.tomtom.com/fi_fi/products/car-navigation/go-live-1005-world/index.jsp#highlights

TomTom. 2011b. TomTom Connect – Digital Mapping for Emerging Markets. [viitattu 13.3.2012]. Saatavissa: http://www.tomtom.com/en_gb/licensing/products/maps/connect/#tab:tab3

Toyota Motor Sales. 2012. Temperature sensors. [viitattu 18.3.2012]. Saatavissa: <http://www.autoshop101.com/forms/h32.pdf>

Trading Direct. 2012. How Do Parking Sensors Work?. [viitattu 21.3.2012]. Saatavissa: http://www.tradingdirect.co.uk/buyingguides/parking_sensors/work.aspx

United States Coast Guard. 2012. General Information on GPS. [viitattu 26.2.2012]. Saatavissa: <http://www.navcen.uscg.gov/?pageName=GPS>

Vanas, A. 2009. Hyvä vai paha navigaattori?. [viitattu 31.3.2012]. Saatavissa: <http://www.digipaper.fi/akt/23993/index.php?pgnumb=18>

Velodyne. 2010. High Definition Lidar. [viitattu 12.3.2012]. Saatavissa: http://velodynelidar.com/lidar/products/brochure/HDL-64E%20S2%20datasheet_2010_lowres.pdf

Volkswagen. 2002. The Phaeton Automatic Proximity Control (APC). [viitattu 21.3.2012]. Saatavissa: http://www.volkspage.net/technik/ssp/ssp/SSP_276.pdf

Wikipedia. 2012a. International Atomic Time [viitattu 6.3.2012]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/International_Atomic_Time

Wikipedia. 2012b. Map database management [viitattu 13.3.2012]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Map_database_management

Wikipedia. 2012c. Automotive navigation system [viitattu 13.3.2012]. Saatavissa: http://en.wikipedia.org/wiki/Automotive_navigation_system

Wikipedia. 2012d. Dashboard. [viitattu 18.3.2012]. Saatavissa: <http://en.wikipedia.org/wiki/Dashboard>

Wikipedia. 2012e. Speedometer. [viitattu 18.3.2012]. Saatavissa:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Speedometer>

Wikipedia. 2012f. Seat belt. [viitattu 20.3.2012]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Seat_belt

Wikipedia. 2012g. Trip computer. [viitattu 20.3.2012]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Trip_computer

Wikipedia. 2012h. Liquid crystal display. [viitattu 28.3.2012]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Liquid_crystal_display

Wikipedia. 2012i. Touchscreen. [viitattu 28.3.2012]. Saatavissa:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Touchscreen>

Wikipedia. 2012j. Head-up display. [viitattu 28.3.2012]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Head-up_display

Wikipedia. 2012k. Lane departure warning system. [viitattu 21.3.2012]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Lane_Departure_Warning_System

Wikipedia. 2012l. Automotive night vision. [viitattu 21.3.2012]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Automotive_night_vision

Wikipedia. 2012m. Backup camera. [viitattu 21.3.2012]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Backup_camera

Wikipedia. 2012n. Camera lens. [viitattu 27.3.2012]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Camera_lens

Wikipedia. 2012o. Kamera. [viitattu 27.3.2012]. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/Kamera>

Wikipedia. 2012p. Image sensor. [viitattu 27.3.2012]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Image_sensor

Wikipedia. 2012q. Precrash system. [viitattu 21.3.2012]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Precrash_system

Wikipedia. 2012r. Extremely high frequency. [viitattu 21.3.2012]. Saatavissa:
<http://fi.wikipedia.org/wiki/EHF>

Wikipedia. 2012s. LIDAR. [viitattu 11.3.2012]. Saatavissa:
<http://en.wikipedia.org/wiki/LIDAR>

Wikipedia. 2012t. Point Cloud. [viitattu 11.3.2012]. Saatavissa:
http://en.wikipedia.org/wiki/Point_cloud

Wikipedia. 2012u. Gyroscope. [viitattu 26.3.2012]. Saatavissa:
<http://en.wikipedia.org/wiki/Gyroscope>

Wikipedia 2012v. Comparison of Nvidia graphics processing units. [viitattu
 2.4.2012]. Saatavissa:
[http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_Nvidia_graphics_processing_units#
 GeForce_600M_.286xxM.29_series](http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_Nvidia_graphics_processing_units#GeForce_600M_.286xxM.29_series)

Woodman, O. 2007. An introduction to inertial navigation. [viitattu 26.3.2012].
 Saatavissa: <http://www.cl.cam.ac.uk/techreports/UCAM-CL-TR-696.pdf>

Kuvat

Kuva 1. Tiesäämallissa huomioon otettavia lähtötietoja. Ilmatieteen laitos. 2011.
 [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa:
[http://ilmatieteenlaitos.fi/image/image_gallery?uuid=bcdc8aba-f2c4-4df0-af14-
 a1760da467fe&groupId=30106&t=1288014308270](http://ilmatieteenlaitos.fi/image/image_gallery?uuid=bcdc8aba-f2c4-4df0-af14-a1760da467fe&groupId=30106&t=1288014308270)

Kuva 2. GPS-järjestelmän rakenne. FieldLogix. 2012. [viitattu 29.3.2012]. Saata-
 vissa: [http://www.fieldtechnologies.com/wp-content/uploads/2012/01/gps-
 satellite-tracking-system-300x240.jpg](http://www.fieldtechnologies.com/wp-content/uploads/2012/01/gps-satellite-tracking-system-300x240.jpg)

Kuva 3. Kolmiulotteisen virhe-ellipsoidin muodostuminen. Air Power Australia.
 2012. [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa: [http://www.ausairpower.net/GPS-Spheres-
 Chart-1S.png](http://www.ausairpower.net/GPS-Spheres-Chart-1S.png)

Kuva 4. Tehdasasennettu GPS-navigointijärjestelmä. Car Navigation. 2012. [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa: <http://www.eiamalta.com/wp-content/uploads/2012/01/navigation-lexus.jpg>

Kuva 5. Havainnollistava 3D-maaston muoto. Carkitstunder.nl. 2012. [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa: <http://www.carkitstunder.nl/contents/media/navigon-6350-europe-live.jpg>

Kuva 6. Ajotietokoneen näyttö. richardcock.com. 2011. [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa: <http://www.richardaucock.com/wp-content/uploads/2011/02/ford-evernote-300x200.jpg>

Kuva 7. Sunit Oy:n ammattikäyttöön tarkoitettu ajoneuvotietokone näyttöineen. 2012. [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa: <http://www.sunit.fi/kuvat/tuotekuvat/i300.jpg>

Kuva 8. LCD-näytöt molemmin puolin perinteistä nopeusmittaria. U.S.News & World Report. 2012. [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa: http://static.usnews.rankingsandreviews.com/images/Auto/izmo/332796/2012_ford_fusion_instrumentcluster.jpg

Kuva 9. HUD ja lisätty todellisuus. BMW Group. 2011. [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa: <https://www.press.bmwgroup.com/pressclub/p/us/photoDetailPopup.html?docNo=P90086337>

Kuva 10. Pimeänäkö. About.com. 2007. [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa: http://0.tqn.com/d/cars/1/0/C/-/1/ag_07s550_nightvision.jpg

Kuva 11. Automaattisen jarrituksen ajoitus. Daimler AG. 2008. [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa: http://www.emercedesbenz.com/Images/Nov08/12_Mercedes_Benz_Pre_Safe_And_Pre_Safe_Brake/681706_1228314_3446_2441_08C646_13.jpg

Kuva 12. 360-asteinen point cloud ajoneuvon ympäriltä. 2009. [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa:

http://www.hizook.com/files/users/3/Velodyne_LaserRangeFinder_Lidar_Visualization.jpg

Kuva 13. Boss. Carnegie Mellon Tartan Racing. 2007. [viitattu 29.3.2012]. Saatavissa: <http://www.tartanracing.org/hires/01.jpg>