

Maa-57.270

**Fotogrammetrian, kuvatulkinnan ja
kaukokartoituksen seminaari**

Liikennejärjestelmien kuvaaminen laserkeilauksen avulla

Paula Ylönen
60375P
paula.ylonen(a)tkk.fi

Sisällys

1 Johdanto	s. 2
2 Laserkeilain	s. 2
2.1 Maalaserkeilain	s. 3
2.1.1 3D-mallin luominen	s. 3
2.2 Ilmalaserkeilain	s. 3
2.3 Laserkeilauksen tarkkuus	s. 3
3 Liikenne rakenteiden analysointi maanpäällisen laserkeilauksen avulla	s. 4
3.1 Silta esimerkki	s. 4
3.2 Maalaserkeilaimen soveltuvuus liikenne rakenteiden mallinnukseen	s. 6
4 Liikenteen hallinta ilmasta kuvaavien sensoreiden avulla	s. 6
4.1 Laserkeilaus ja optinen kuvaaminen	s. 7
4.2 Liikennevirta	s. 7
4.3 Esimerkki ajoneuvojen erottamisesta, ryhmittelystä ja seurannasta	s. 8
4.3.1 Ajoneuvojen erotus laserkeilausaineistosta	s. 8
4.3.2 Ajoneuvojen erotus ilmakuvista	s. 9
4.3.3 Ryhmittely	s. 10
4.3.4 Liikennevirtojen nopeudet	s. 10
4.4 Laserkeilaus ja ilmakehän kuvien sopivuus yhdessä liikenteen hallintaan	s. 12
5 Johtopäätökset	s. 12
6 Lähteet	s. 12

1 Johdanto

Liikennejärjestelmällä tarkoitetaan liikkumisen kokonaisuutta, johon sisältyvät liikkumisen tarve, liikenneverkko ja verkkoon liittyvät palvelut kuten joukkoliikenne. Liikennejärjestelmä muodostuu liikenneinfrastruktuurista ja sitä käyttävästä henkilö- ja tavaraliikenteestä. (YTV)

Laserkeilauksella on mahdollista tuottaa maastomalleja nopeasti ja tarkasti, tarkkuuteen vaikuttavat mm. mittausetäisyys ja pinnan tasaisuus. Laserkeilauksen tarkkuus vastaa perinteisten fotogrammetristen mittausten tarkkuutta. Aineistoista pystytään tuottamaan tarvittaessa erilaisia visualisointeja sekä 3D-esityksiä staattisista kuvista virtuaalimalleihin.

Laserkeilaus soveltuu liikennejärjestelmien kannalta moniin eri käyttötarkoituksiin. Sitä voidaan hyödyntää niin rakentamisessa ja ylläpidossa, maankäytönsuunnittelussa ja ympäristöhankkeiden kuvaamisessa sekä turvallisuusselvityksissä.

Tässä tekstissä kerrotaan laserkeilauksesta yleisesti ja esitellään liikennejärjestelmien kannalta kaksi erilaisesta tapauksesta: Liikenteen hallinnan ja liikennevirtojen selvittäminen ilmasta kuvaavien sensoreiden avulla sekä liikennerakenteiden, kuten siltojen, kunnon analysoiminen maanpäällisellä laserkeilauksella.

2 Laserkeilain

Laserkeilain on optinen tutka, joka voi toimia näkyvän valon, lähi-infran sekä ultravioletin alueella. Se tuottaa kohteesta kolmiulotteista informaatiota etäisyyshavaintoja hyväksi käyttäen. Laserkeilaimen pulssimaista sädettä liikutetaan kohteen yli, kun säde kohtaa kohteen se heijastuu takaisin laitteeseen. Kohteen ja laserin välinen etäisyys voidaan mitata laserpulssin kulkuajan perusteella. Tuloksena saadaan valtava joukko kolmiulotteisia pisteitä.

Laserkeilainta voidaan hyödyntää 3D-rekunnstroinnissa, koska laserkeilaimella aineisto saadaan hankittua suoraan 3D-muodossa, eikä kolmatta dimensiota tarvitse laskea 2D-kuvan tiedoista. Laserkeilaimen etuja on esimerkiksi myös se, että kahden pisteen välinen etäisyys voidaan laskea automaattisesti. Jotkut laserkeilaimet antavat myös 3D-informaation lisäksi 3D-heijastusinformaatiota. (Kretschmer U. et al)

2.1 Maalaserkeilain

Maasta tehtävissä laserkeilauksissa käytetään yleensä paikallaan pysyvää mittalaitetta, jolloin laitteen sijainti on mitattavissa. (Fotogrammetrian laboratorio)

Maalaserkeilain koostuu yksiulotteisesta mittaussysteemistä, joka kerää mekaanisesti palautuvia säteitä. Keilaimen näkökenttä on laaja, esimerkiksi: 360astetta vaakasuunnassa ja 310astetta pystysuunnassa, joten mallinnettava kohde on mitattava vain muutamasta kuvauspaikasta. (Kretschmer U. et al)

2.1.1 3D-mallin luominen

Laserkeilaimen ohjelmisto tukee käyttäjää mittauksen aikana virtuaalimittaustoimintojen avulla. Mittauksen jälkeen tulokset ovat heti nähtävissä tietokoneelta. Näin käyttäjä näkee onko tarvetta uusinta keilauksiin, esimerkiksi siinä tapauksessa, että jokin kohde on toisen kohteen takana. Tällöin sen esiintuomiseksi tarvitaan keilaus toisesta kuvakulmasta. (Kretschmer U. et al)

Keilatun alueen kokonaiskuvan saamiseksi 3D-mallit ovat välttämättömiä. Kun kaikki mitatut pisteet muutetaan samaan koordinaatistoon, siten että koko pistepilvi näkyy samassa 3D-mallissa. (Kretschmer U. et al)

3D-mallin luomiseksi on ensin rekisteröitävä kaikki keilaukset, jotta ne voidaan sovittaa yhteen ja kasata ehjäksi kuvaksi keilatusta alueesta. Keilatuissa kuvissa esiintyvä kohina tulee poistaa. Tämän jälkeen luodaan malliavaruus. (Jaselskis, Edwart J. et al)

2.2 Ilmalaserkeilain

Ilmasta tehtävissä laserkeilauksissa käytetään yleensä liikkuvaa mittalaitetta, joka on kiinnitetty joko lentokoneeseen tai helikopteriin. GPS (Global Positioning System) – havaintojen avulla voidaan mitata koneen sijainti ja IMU (Inertial Measurement Unit) – järjestelmällä voidaan mitata koneen asento mittaushetkellä. (Fotogrammetrian laboratorio)

2.3 Laserkeilauksen tarkkuus

Laserkeilauksella suoritettujen mittausten tarkkuus on jopa perinteisten maastomittausten suuruusluokkaa. Tarkkuuteen vaikuttavat monet tekijät kuten, mittausetäisyys, laserkeilan leviäminen, keilaimen taajuus, laitteiston etäisyysmittauksen tarkkuus, kohteen ominaisuudet jne. Tarkkuutta tarkasteltaessa verrataan pistepilven muodostamaa mallia vertailupisteisiin tai – malliin.

3 Liikenn rakenteiden analysointi maanpäällisen laserkeilauksen avulla

Maanpäällistä laserkeilausta voidaan käyttää hyväksi, kun halutaan selvittää eri liikenn rakenteiden kuntoa. Liikenn rakenteita ovat mm. sillat ja tunnelit. Liikenn rakenteet altistuvat normaalin kulutuksen lisäksi sää- sekä muille luonnonilmiölle, jotka rasittavat ja vaurioittavat rakenteita. (Kretschmer U. et al)

Kun rakenteiden muotoja rekonstruoidaan, niin realistinen ja tarkka muoto on tärkeää. Laserkeilaimella kohteen muoto saadaan kuvattua yksinkertaisella tavalla, koska kun koko kohde on keilattu, niin 3D-mittaustulos saadaan heti graafisena 3D-pistekuvana. Tämä pistepilvi on ulottuvuudellisesti tarkka kuvaus kohteesta. (Jaselskis, Edwart J. et al)

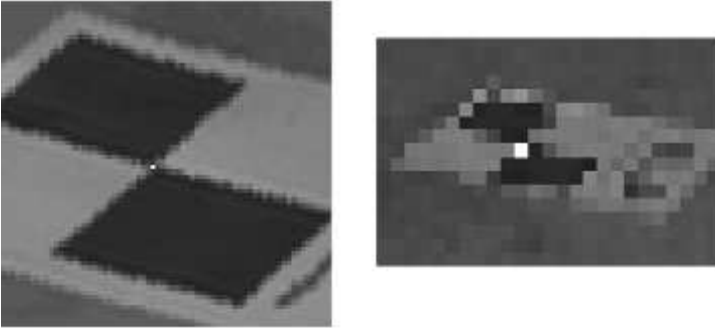
3.1 Silta esimerkki

Valitaan lähempää tarkastelua varten kohteeksi maantien silta. Mittauksen näkökulmasta ainoastaan siltojen alapuolet kiinnostavat. Valitaan tarvittava määrä keilauspisteitä, jotta tarvittava tiedon määrä ja mittauksen vaatimukset pystytään täyttämään. Riippuen mitattavan sillan muodosta tarvitaan yhdestä kolmeen kuvakulmaa. Kuvassa 1 on esimerkki sillan yhdestä kuvauskulmasta. (Kretschmer U. et al)



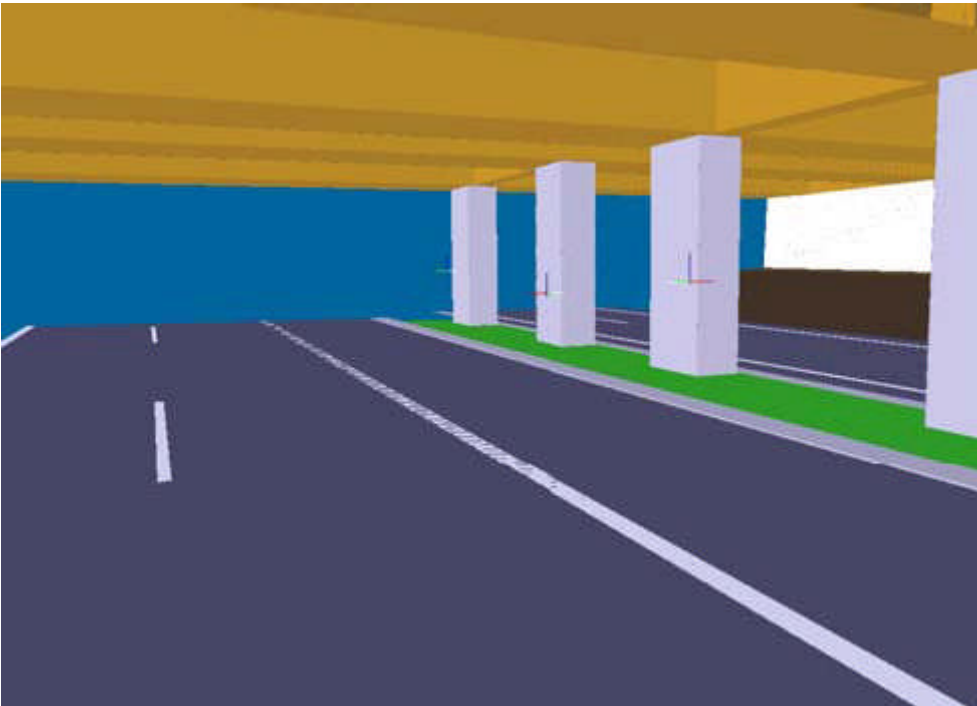
Kuva 1: Esimerkki sillan yhdestä kuvakulmasta (Kuva: Kretschmer U. et al)

Freiburgissa, Etelä-Saksassa kolme siltaa keilattiin eri suunnista, jotta saataisiin tietoa maalaserkeilaimen soveltuvuudesta liikenn rakenteiden mallinnukseen. Käytetty laserkeilain oli Imager 5003.



Kuva 2: Esimerkki tähyksestä (Kuva: Kretschmer U. et al)

Keilauksen yhteensovitus tehtiin puoliautomaattisella kohteenetsinnällä. Klikkaamalla jonkin tähyksen 10cm x 20cm shakkikuviossa (Kuva 2) käyttäjä sai kohteen keskipisteen alle pikselin tarkkuudella sekä sitä vastaavan 3D-arvon. Mittauksen kannalta oli tärkeää, että tähyksiä oli riittävästi ja niiden sijainti saatiin laskettua mahdollisimman tarkasti, koska tämä 3D-informaatio loi pohjan koko keilauksen orientoinnille. Mittaustehtävä ratkaistiin käyttämällä erilaisia mittaustoimintoja sovelluksen 3D-pistepilvelle. 3D-pistepilven avulla voidaan sillasta muokata 3D-malli. Kuvassa 3 nähdään mallinnuksen tulos. (Kretschmer U. et al)



Kuva 3: Sillan mallinnuksen tulos (Kuva: Kretschmer U. et al)

Siltojen rakenteiden seuraamiseksi oli tärkeää löytää mahdolliset muutokset siltojen korkeuksissa. Nämä korkeuserot auttoivat asiantuntijoita löytämään mahdollisia vaurioita sillan rakenteessa. Korkeustietoihin päästiin käsiksi laskemalla etäisyys tietyn tien pisteen p ja sillan kriittisen osan

välille. Pisteiden p:n ympärille arvioidaan taso ja tason normaali projisoidaan siltaan. (Kretschmer U. et al)

3.2 Maalaserkeilaimen soveltuvuus liikenne rakenteiden mallinnukseen

Kun vertaillaan laserkeilausta ja perinteisiä mittaustapoja toisiinsa, huomataan tulosten erojen olevan pieniä, eli mittaustapojen tarkkuuksissa ei ole suuria eroja. Taulukossa 1 on vertailtu menetelmien eroja. Näissä kuudessa pisteessä pistekorkeudet mitattiin käyttämällä 3D pistepilveä, ja referenssiarvoiksi mittauksen suoritettiin myös perinteisesti takymetrin ja mittakepin avulla. Taulukosta nähdään menetelmien väliset korkeuserot. (Kretschmer U. et al)

Piste:	Perinteisellä menetelmällä mitattu korkeus[m]:	3D-mallista laskettu korkeus[m]:	Ero menetelmien välillä[m]:
1	4.78	4.76	0.02
2	4.65	4.65	0.00
5	4.85	4.86	-0.01
6	4.70	4.71	-0.01
9	5.18	5.21	-0.03
10	5.02	5.01	0.01

Taulukko 1: Menetelmien korkeuksien vertailua (Kretschmer U. et al)

Laserkeilaus-aineisto saadaan pienemmillä resursseilla kuin perinteisillä keinoilla kerätty aineisto, jolloin säästetään aikaa ja henkilöstökuluja. Myös henkilöstön työturvallisuus paranee laserkeilauksen avulla, varsinkin jos kohde on vilkkaasti liikennöidyn tien varrella. (Jaselskis, Edwart J. et al)

4 Liikenteen hallinta ilmasta kuvaavien sensoreiden avulla

Viimeisten vuosien tekniikan kehityksen myötä, ilmasta käsin suoritettavat mittaustavat ovat muuttuneet. Laserkeilaus on noussut yhdeksi tärkeäksi maastotietojen lähteeksi. Tällaisen aktiivisen sensorin käyttö johtaa tiedon määrän kasvuun sekä korkealaatuisempaan informaatioon. Tämä puolestaan vaatii korkeampaa automatisointia tietojen prosessoinnissa. Se puolestaan luo mahdollisuuden uusille sovelluksille, joiden pohjana on perinteinen kartoitus. Laserkeilausta voidaan käyttää esimerkiksi liikennevirtojen tarkkailussa ja ajoneuvojen ryhmittelyssä sekä seurannassa.

Ehkä yleisimmät kartoitustehtävät, joissa ollaan ensisijaisesti kiinnostuneita kohteen muuttumattomista osista, ovat; rakennettujen kohteiden kartoitus, kaupunkien kartoitus sekä liikenneväylien ja liikennelinjojen kartoitus. Liikenneväylien kartoituksessa liikkuvat ajoneuvot antavat haastetta kartoitusprosesseihin, sillä liikkuvat kohteet pitää pystyä tunnistamaan ja poistamaan. Sen sijaan että poistetut kohteet ja niistä saatu tieto heitettäisiin pois, tätä tietoa käyttämällä saadaan hyödyllistä tietoa liikenteen valvomiseen ja hallitsemiseen.

4.1 Laserkeilaus ja optinen kuvaaminen

Laserkeilaus-systeemejä tullaan kehittämään liikenneväylien läheisyyteen, lähinnä tukemaan koko infrastruktuurin kartoitusta, luomaan tarkkaa tietoa tien pinnasta valtateistä ja niiden ympäristöstä. Yleisesti ajoneuvot voidaan tulkita esteiksi laser-pulssin heijastumiselle tienpinnasta. Koska nämä ajoneuvoihin kohdistuneet säteet joudutaan poistamaan tienpintaa tutkittaessa, tästä saatu aineisto voidaan myös tulkita tiedoksi liikennevirroista. Näin saadaan hankittua kallisarvoista tietoa sivutuotteena vain pienellä ylimääräisellä vaivalla. (Toth, C. K. et al)

Digitaaliset kamerat ilmakuvauksessa ovat vielä suhteellisen harvinaisia, mutta kuvaussensoreiden kehityksen tuloksena suuret CCD(Charge-Coupled Device)-sirut pystyvät saavuttamaan 16 megapikselin tarkkuuden, joille ne muodostavat mahdollisuuden tarvitulle tarkkuudelle. Eräs tällainen kamera on 4K x 4K kuvakoon CCD-kamera. (Toth, C. K. et al)

Tarvittavan tiedon purkamiseksi käytetään kahta erillistä toimintatapaa. Jotta liikennevirrat saadaan eri tasegmenteistä, laserkeilaus aineisto hankitaan useammalla lennolla ja yhdessä näistä lennoista otetaan myös 4K x 4K kuva, laserkeilaus-aineiston kiinnittämistä varten. Risteysalueiden liikennevirtojen seuraamiseksi 4K x 4K digitaalikamera- ja videosysteemit asennetaan helikopteriin useampien lentojen ajaksi. (Toth, C. K. et al)

4.2 Liikennevirta

Liikennemäärät jatkavat kasvuaan, samalla kun teiden kapasiteetit ovat kuitenkin rajalliset, tällöin ainoa ratkaisu liikennemäärien hallitsemiseksi on panostaa liikenteen valvontaan. Tämä puolestaan vaatii luonnollisesti tarkempia tietoja liikennemääristä. Turvallisin tapa tämän tiedon keräämiseksi on satelliitin tai lentovälineiden käyttö kuvausalustoina. Tällainen kuvaussysteemi kerää kuvia liikenteestä laajalta alueelta hetkessä tai vaikkapa kuvasarjoina pienemmiltä alueilta, kun taas perinteinen tiedonkerääjä kerää tietoa liikennevirroista tien viereltä paljon pidemmällä aikavälillä. (Toth, C. K. et al)

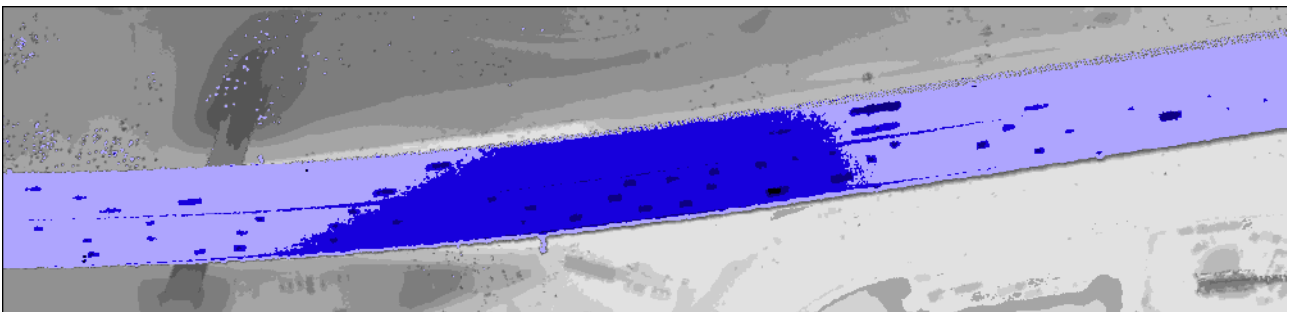
4.3 Esimerkki ajoneuvojen erottamisesta, ryhmittelystä ja seurannasta

Tutkimusta liikkuvien kohteiden havaitsemiseksi teiltä, käyttämällä ilmalaserkeilausta on tehnyt National Consortia for Remote Sensing in Transportation-Flows. Tutkimuksen ensisijainen tavoite on tehostaa liikennesysteemejä. (Toth, C. K. et al)

4.3.1 Ajoneuvojen erotus laserkeilausaineistosta

Tiedonprosessoinnin ensimmäisessä vaiheessa laserkeilausaineisto suodatetaan, jotta tiealueen pistepilvi pienentyisi. Tien geometriasta on usein saatavissa tietoa liikenneyhtiöiden hallinnoimista CAD(Computer-Aided Design)- ja GIS(Geographic Information System)- tietokannoista, mutta koska sijaintitietojen tarkkuus on rajallista, niin on suoritettava tien ja kerätyn aineiston yhteensovitus. (Toth, C. K. et al)

Tien rajaviivat saadaan haettua laserkeilausaineistosta ja kun alueen tienpinta on tunnistettu, kulkuneuvot voidaan helposti erotella jollakin kynnystysmenetelmällä. Kulkuneuvojen pistepilvet sisältävät vaihtelevan määrän pisteitä, pääosin johtuen laserpistetiheydestä sekä nopeudesta kulkuneuvojen ja laserkeilaimen välillä. (Toth, C. K. et al)



Kuva 4: Laserkeilauksen korkeustieto, Toronton keskustan moottoritie (Kuva: Toth, C. K. et al)

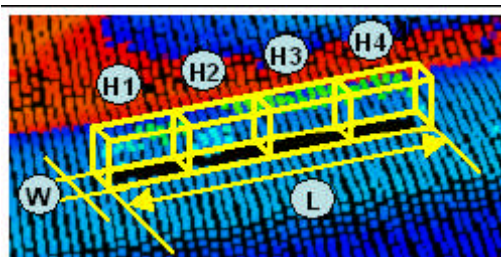


Kuva 5: Laserkeilauksen intensiteettitieto, Toronton keskustan moottoritie (Kuva: Toth, C. K. et al)



Kuva 6: 4K x 4K digitaalikameran ortokuva, Toronton keskustan moottoritie (Kuva: Toth, C. K. et al)

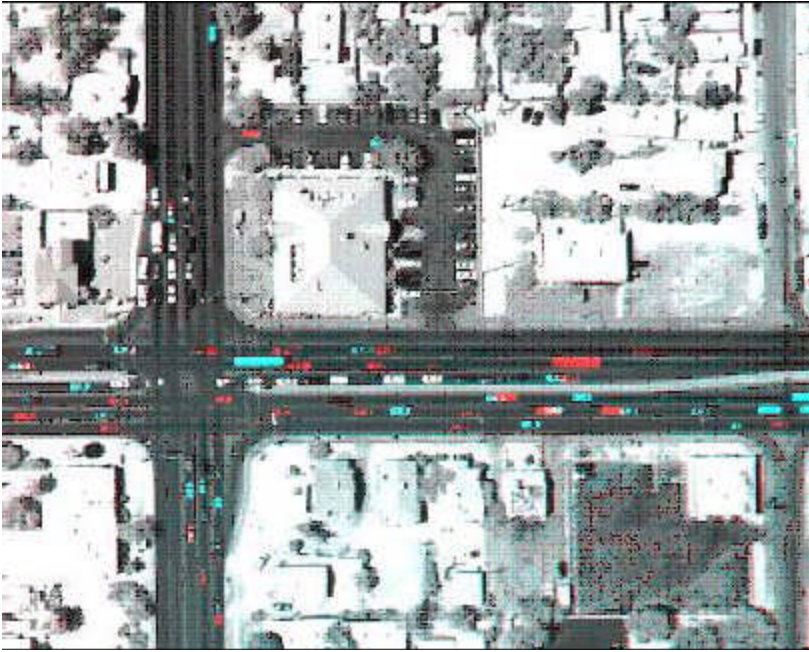
Näistä jälkimmäisen muuttujan merkitys on tärkeämpi ja se vaatii pisteiden parametrisointia, joka voi vähentää kulkuneuvojen lyhentymistä tai venymistä (vertaile kulkuneuvojen pituuksia kuvissa 4 ja 5, kuvaan 6). Parametrien valinnalla on suuri vaikutus luokitteluprosessissa, kuinka luotettavasti eri kulkuneuvoryhmät voidaan erottaa toisistaan. Perusmalli muodostetaan kuudesta parametrilla: kulkuneuvojen pituus ja leveys, sekä neljä korkeusparametria (Kuva 7). (Toth, C. K. et al)



Kuva 7: Lähikuva ajoneuvosta, johon on liitetty parametrit (Kuva: Toth, C. K. et al)

4.3.2 Ajoneuvojen erotus ilmakuvista

Jotta ilmakuvat tukisivat kulkuneuvojen tunnistamista, on ilmakuvista ensin poistettava kaikki vääristymät, jotka johtuvat maanpinnasta ja kameran kuvakulmista. Prosessointi hyötyy ortoalueesta, tällöin ajoneuvojen erottelu voidaan tehdä kohteen mittakaavassa ja liikkuvan kohteen havainnointi voidaan tehdä yksinkertaisilla kuvamuunnoksilla. (Toth, C. K. et al)



Kuva 8: Liikkuvien kohteiden havainnointi ortoalueella (Kuva: Toth, C. K. et al)

Kulkuneuvojen erotusprosessi sisältää rajojen erotuksen, intensiteettiin perustuvaa kynnystysmenetelmän, profiilin analysoinnin ja morfologisen suodatuksen. Kuvien ottovälin on oltava tarpeeksi tiheä, jotta saadaan luotettavaa tietoa ajoneuvon sijainnista. (Toth, C. K. et al)

4.3.3 Ryhmittely

Laserkeilausaineistosta kerätyt ajoneuvot voidaan luotettavasti luokitella yleisiksi kategorioiksi, kuten autoiksi, hyötyautoiksi ja rekoiksi. Luokittelutavat voidaan tehdä käyttämällä kolmea tekniikkaa. (Toth, C. K. et al)

Jako voidaan tehdä sääntöpohjaisella menetelmällä, siinä käytetään näytteiden ryhmittelyyn yksilöllisiä piirteitä, näin voidaan tehdä ero luokkien välillä käyttäen suoria viivoja (Kuva 8). Toinen menetelmä on tyypillinen tilastollinen menetelmä, tässä luokittelu perustuu jokaisen luokan laskettuun piirrekomponentin keskitasoon, jonka avulla ajoneuvot luokitellaan. Kolmas menetelmä kulkuneuvojen tunnistamiseksi perustuu keinotekoiseen neuroverkkoluokittelijaan. (Toth, C. K. et al)

4.3.4 Liikennevirtojen nopeudet

Liikennevirran nopeudet on tunnettava, jos halutaan virtausaineisto vastaamaan todellisuutta. Ilmakuvat ovat parempia lähteitä nopeuksien arvioinnille kuin laserkeilausaineisto, koska laserkeilausaineistosta pystytään tunnistamaan vain ajoneuvon luokka eikä sen todellista kokoa,

näin ollen kohteen oikea koko jää tuntemattomaksi. Luokittelussa käytetyt parametrit eivät ole oikeita arvoja vaan luokittelua helpottavia arvioita. Tarkasteltaessa kuvassa 9 ajoneuvojen paikkoja voidaan havaita ajoneuvojen liike, sinisellä ja punaisella näkyvät ajoneuvot ovat kuvattu eri ajan hetkellä.(Toth, C. K. et al)

4.4 Laserkeilaus ja ilmakehän aineistojen sopivuus yhdessä liikenteen hallintaan

Laserkeilaus ja optinen ilmakehän kuvaaminen yhdessä tuottavat arvokasta liikennevirta-aineistoa. Ne tarjoavat korkealaatuista spatiaalista tietoa, jota voidaan helposti käyttää liikennevirtojen mallinnuksen ja hallinnan tukena. Koska sekä laserkeilausaineistoa että ilmakehän kuvia otetaan paljon muita tarkoituksia varten, äsken esitetyt menetelmät antavat mahdollisuuden saada liikennevirta-aineistoa käytännössä lähes ilman ylimääräistä työtä. Näin ollen menetelmän kustannukset voidaan katsoa hyvin pieniksi.

5 Johtopäätökset

Laserkeilaus on vartenotettava menetelmä liikennejärjestelmien kuvaamiseksi. Sitä voidaan käyttää moniin eri käyttötarkoituksiin, ja tulosten tarkkuus on verrattavissa perinteisten menetelmien tarkkuuteen. Laserkeilausta on käytetty liikennejärjestelmien kuvaamiseen vasta suhteellisen lyhyen ajan, joten on todennäköistä, että nykyisiä sovellutuksia tullaan parantamaan ja uusia kehittämään. Nykyiselläänkin se on hyvin kilpailukykyinen perinteisempiin menetelmiin nähden.

Laserkeilauksen haittapuolina mainittakoon mm. laserkeilaimien korkeat hinnat, sekä myös se, että laserkeilaimen käyttö vaatii ammattitaitoa ja tarkkuutta.

6 Lähteet

Jaselskis, Edward J., Gau, Zhili, Walters, Russel C.;

Improving Transportation Projects Using Laser Scanning, Journal of construction engineering and management / March 2005, p.377 - 384

Kretschmer U., Abmayr, T., Fröhlich, C.:

Traffic construction analysis by use of terrestrial laser scanning

http://www.isprs.org/commission8/workshop_laser_forest/KRETSCHMER.pdf

Toth, C. K., Grejner-Brzezinska, D.:

Traffic management with state-of-the-art airborne imaging sensors

<http://www.isprs.org/istanbul2004/comm2/papers/243.pdf>

Fotogrammetrian laboratorion internet-sivut

<http://foto.hut.fi>

YTV:n internet-sivut

<http://www.ytv.fi>