

KIG-C1010 Introduction to geoinformatics

Luento 6b: Laserkeilaus

Petri Rönholm

Aalto-yliopisto



1

Oppimistavoitteet

- Ymmärtää laserkeilauksen perusteet
- Tuntea erilaisia laserkeilausinstrumentteja
- Ymmärtää laserkeilausaineistojen prosessointia

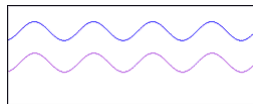
2

Laserkeilauksen perusteet

3

LASER

- LASER = "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation"
- Laservalo on hyvin järjestäytynyttä, kun taas esim. tavallinen hehkulamppu tuottaa järjestäytymättömän valoallokon
- Laservalo on koherenttia eli kaikki valoallot ovat samassa vaiheessa toisiinsa nähden



- Tyypillisesti laservalo sisältää vain yhtä aallonpituutta. Normaali valo sisältää paljon aallonpituuksia. (Poikkeuksena multispektraali laservalo, jota todennäköisesti tullaan käyttämään lähitulevaisuudessa keilaimissa)
- Lisäksi laservalo on hyvin suunnattavissa eli sädekimppu pysyy kapeana pitkänkin matkan.

4

Laserkeilaus

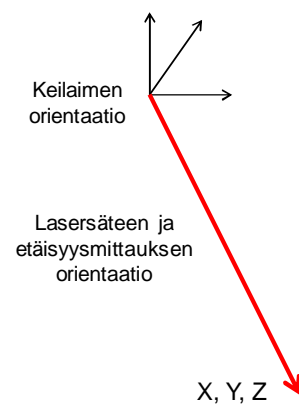
- Laserkeilaimet tuottavat 3D pistepilven
- Laserkeilaus on tehtävissä sekä ilmasta että maasta
- Ilmalaserkeilaimet soveltuvat erityisesti laajojen alueiden kartoittamiseen
- Maalaserkeilaimet sopivat erinomaisesti yksittäisten kohteiden 3D dokumentointiin
- Maalaserkeilaus voi olla staattista tai liikkuvaa (mobiilia)
- Ajoneuvopohjainen (auto, vene, juna jne.) liikkuva kartoitus on viime aikoina tullut suosituksi tavaksi kerätä aineistoa maanpäällisestä perspektiivistä



5

Laserkeilaimen mittausperiaate

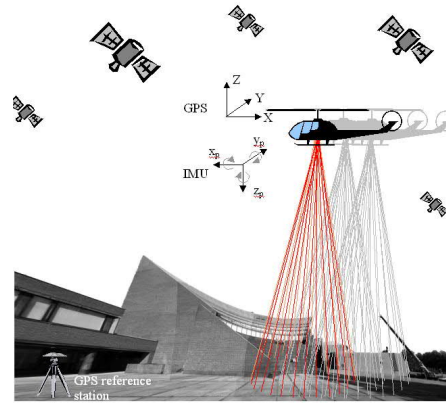
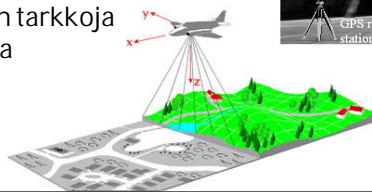
- Laserkeilaimet mittaavat etäisyyksiä (etäisyysmittari)
- Lisäksi on tiedettävä
 - Laitteen sijainti
 - Laitteen kallistus
 - Etäisyysmittauksen ulostulokulma
- Näiden tietojen perusteella voidaan laskea 3D pisteitä



6

Sijainti ja kallistus

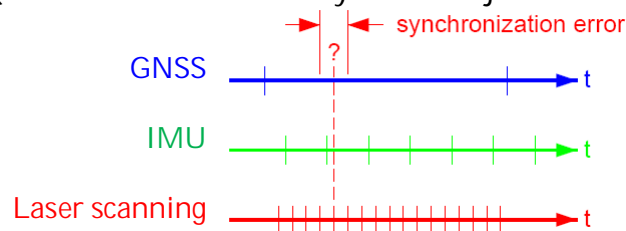
- Mobiilin kartoitusjärjestelmän sijainti ja asento joudutaan mittaamaan suoran georeferoinnin sensoreilla
 - Global Navigation Satellite System (GNSS) (sijainti)
 - Inertial Measurement Unit (IMU) (sijainti ja kallistus)
- GNSS vaatii joko fyysisen tai virtuaalisen tukiaseman tuottaakseen tarkkoja sijaintiarvoja



7

Ongelmana on synkronointi

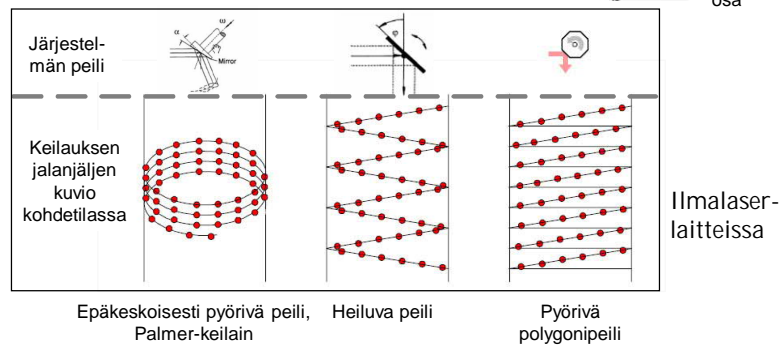
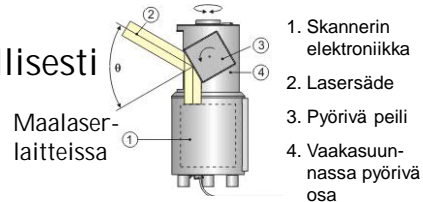
- Suoran georeferoinnin sensorit antavat havaintoja eri taajuuksilla
- Lisäksi laserkeilaimen mittausten taajuus on huomattavasti suurempi kuin suoran georeferoinnin havaintojen
- Ongelma voidaan ratkaista Kalman-suotimella (estimoidaan havainnot yhteisille ajanhetkille)



8

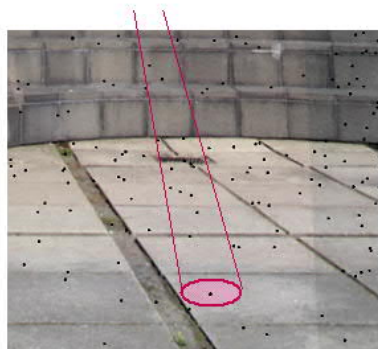
Lasersäteen ulostulokulma

- Kulmaa vaihdellaan tyypillisesti
 - Pyörivällä peilillä
 - Pyörivällä laitteella



9

Lasersäde

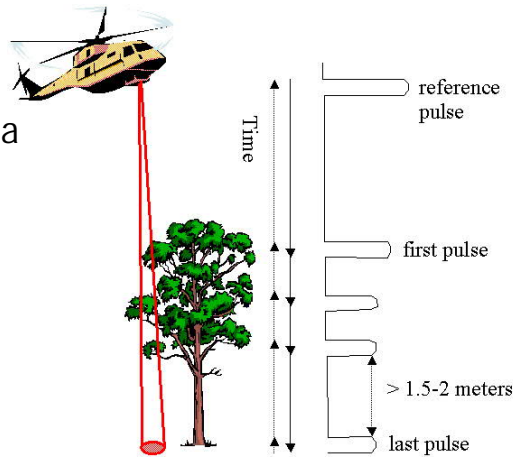


- Yksittäisen lasersäteen jalanjälki ei ole äärettömän pieni piste vaan laser valaisee alueen (alueen halkaisija on n. 0.1-3.8 m ilmalaserkeilausjärjestelmissä)

10

Laserpulssit ja kaiut

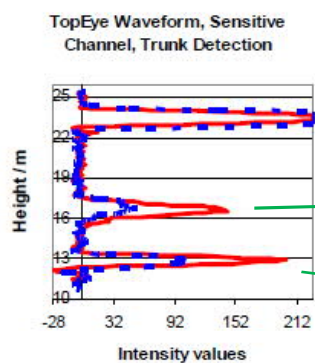
- Tässä tapauksessa "kaiku" tarkoittaa laitteeseen palannutta valonpulssia
 - ensimmäinen pulssi (kaiku)
 - viimeinen pulssi (kaiku)
 - Täysi kaikumuoto (full waveform)



11

Täysi kaikumuoto (Full waveform)

- Kahden laserpulssin täydet kaikumuodot



lehvästö

runko

maa



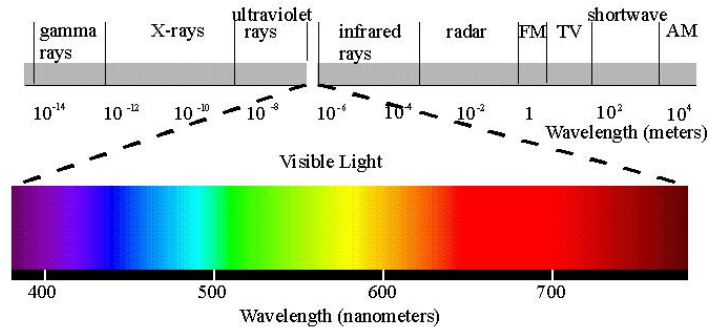
12

Laserin aallonpituus

1 μm = 0.001 mm

1 nm = 0.001 μm

- Tyypillisesti vaihtelee välillä 500 – 1550 nm riippuen laitteesta ja siitä, millaiselle sovellukselle laite on suunniteltu



13

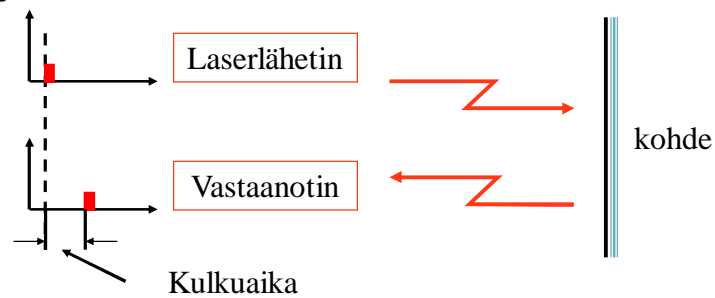
Laserkeilaintyytit

- Ajanmittaukseen perustuvat keilaimet (Time-of-flight, TOF, scanners) (keskipitkille ja pitkille etäisyyksille)
 - Pulssipohjaiset laserkeilaimet, ilma-, mobiili- ja maalaserkeilaimia (direct time-of-flight scanners)
 - Vaihe-eroon perustuvat laserkeilaimet (eri nimityksiä: Phase-shift scanners, Phase-based laser scanners, continuous-wave laser scanners), mobiili- ja maalaserkeilaimia
- Kolmiointiin perustuvat laserkeilaimet (lyhyille välimatkoille), maalaserkeilaimissa
- 3D etäisyyskamerat (TOF), maa-, mobiili- ja ilmakuvajärjestelmät

14

Pulsipohjaiset laserkeilaimet

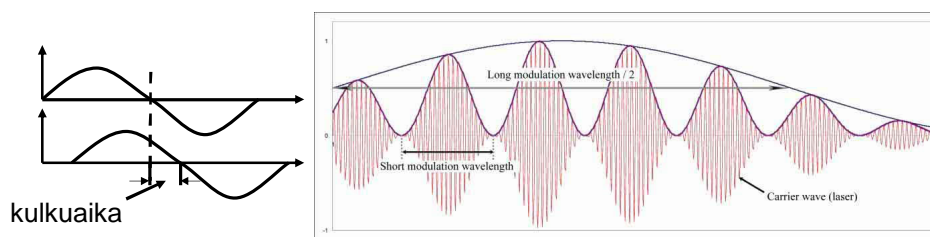
- Laite lähettää lyhyen laservalopulssin ja mittaa ajan, kauanko pulssilla kestää tulla takaisin heijastumalla kohteesta



15

Vaihe-eroon perustuvat keilaimet (Phase-based scanners, continuous-wave scanners)

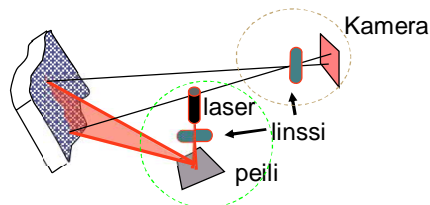
- Laite lähettää jatkuvaa valoa, joka on moduloitu (voidaan moduloida useampaankin eripituiseen aaltoon) ja kulku-aika ratkaistaan lähetetyn ja vastaanotetun signaalin vaihe-erosta
 - Lasersäde on moduloitu esim. sinimuotoiseksi signaaliksi ja sitä lähetetään jatkuvasti
 - Verrataan lähetetyn ja vastaanotetun modulaation vaihe-eroa
 - Yleisin toteutus perustuu amplitudimodulointiin (AM modulation)



16

Kolmiointiin perustuvat laserkeilaimet

- Laserilla valaistetaan kohteen pinnalle joko juova (yleisin) tai piste/pisteitä. Juova tai piste havaitaan kameralla
- Jos kohteen pinta on tasainen, juova on suora, muuten sen muoto vaihtelee
- Laserjuovaa siirretään kohteen yli ja kameralla havaitaan kaikki laserprofiilit
- Pitää tietää kameran ja laserin välinen orientaatio



17

Laserkeilaimet voidaan luokitella mittausetäisyyden mukaan

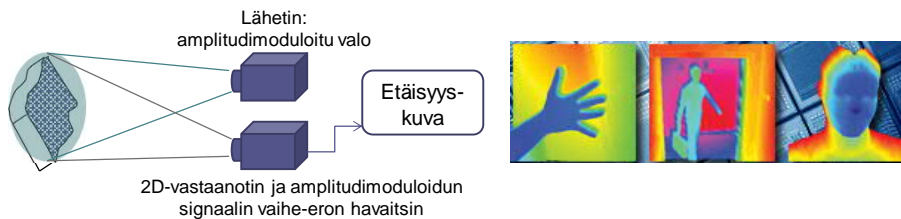
- Lyhyen etäisyyden teollisuuslaserkeilaimet (perustuvat yleensä kolmiointiperiaatteeseen)
 - Mittausetäisyys 1-5 m ja tarkkuus 0.05...1 mm
- Keskimatkan laserkeilaimet (pulssi tai vaihe-erolaserkeilaimia)
 - Mittausetäisyys 1-120 m ja tarkkuus 2...20 mm
- Pitkänmatkan laserkeilaimet (pulssi tai vaihe-erolaserkeilaimia, yleensä pulssipohjaisia)
 - Mittausetäisyys 1-150...2500 m ja tarkkuus 2...20 mm

18

3D-etäisyyskamerat (flash lidar)



- Koko näkymä valaistaan moduloidulla valolla (vastaa salamaa)
- Kennon jokainen sensori vastaanottaa heijastuneen moduloidun valon ja etäisyys saadaan lähetetyn ja vastaanotetun signaalin vaihe-erosta
- Resoluutio ja tarkkuus ovat toistaiseksi vaatimattomia
- Nopeita -> jopa 60 etäisyyskuvaa sekunnissa



19

Miten valita sopiva maalaserkeilain?

- Riippuu sovelluksesta
 - Pistetiheys
 - Mittausnopeus
 - Mittausetäisyys
 - Aallonpituus
 - Mittaustarkkuus
 - Tarvitaanko täyttä kaikua?
 - Kustannukset
- Ei ole yhtä maalaserkeilainta, joka soveltuisi optimaalisesti kaikkiin mittaustehtäviin

20

Liikkuva kartoitus

- Ajoneuvopohjaiset monisensorimittausjärjestelmät käyttävät integroituna navigointi- ja aineistonkeruuinstrumentteja kiinnitettynä yhteiseen muuttumattomaan alustaan ja mahdollistavat ympäristön kartoituksen



Images © Finnish Geodetic Institute

21

Liikkuvan kartoituksen komponentit

- Navigaatiojärjestelmä
- Laserkeilaimet
 - Useimmat laserkeilaimet (2D/3D) soveltuvat mobiiliin aineistonkeruuseen
 - Kameran
- Mahdollisia muita sensoreita
 - Spektrometri
 - Lämpökamera
 - Etäisyyskamera / flash lidar
 - Tutka
 - jne.



22

Laserkeilain miehittämättömässä lennokissa (Unmanned Aerial Vehicles, UAV)

- Yleensä UAV jaksaa nostaa vain suhteellisen kevyitä laserkeilaimia
- UAV:n lentoaika on rajallinen
- Halpaa lentämistä
- Aina käytettävissä
- Joillain alueilla säädökset estävät lennot



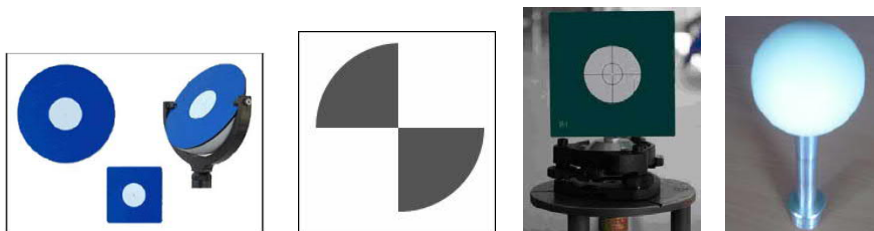
Images © Finnish Geodetic Institute



23

Laserpistepilvien rekisteröinti ja georeferointi

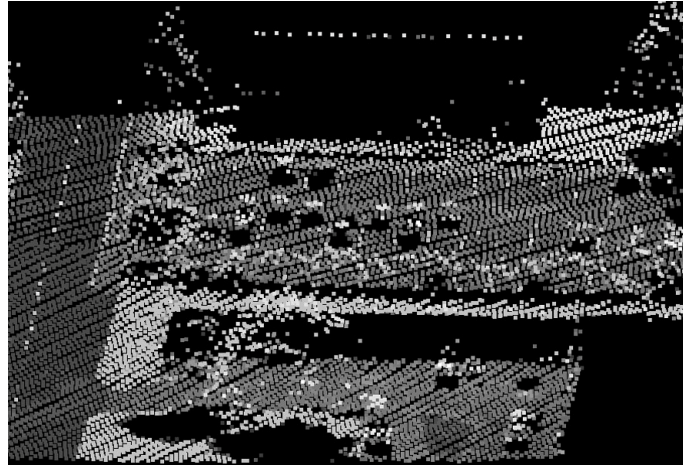
- 2D tai 3D referenssitähykset (näiden sijainti halutaan yleensä mitata geodeettisilla menetelmillä)
- Selvästi erottuvat luonnolliset piirteet
 - Näillä voidaan liittää (rekisteröidä) eri keilaukset toisiinsa
- Osa laitteista voidaan tasata tunnetulle pisteelle (maalaserkeilaimet)



Maalaserkeilauksen suunniteltuja tähyksiä

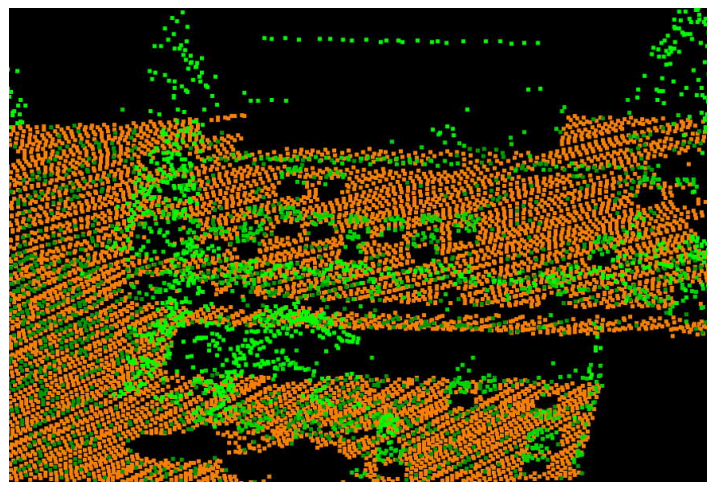
24

Laserpisteiden visualisointi: intensiteetti



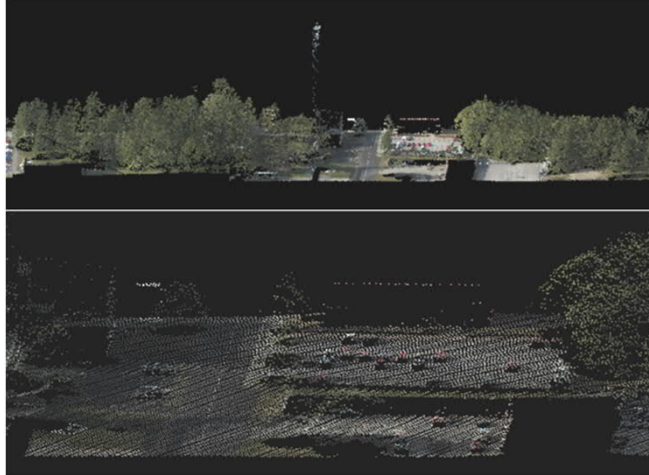
25

Laserpisteiden visualisointi: luokittelu



26

Laserpisteiden visualisointi: RGB (red, green, blue) värit valokuvilta

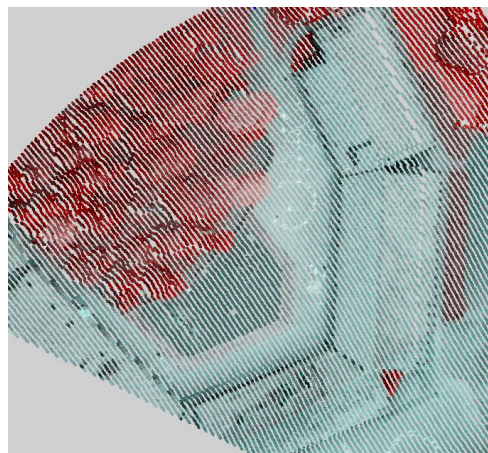


27

Laserpisteiden visualisointi: muita väriyhdistelmä saatuna multispektraaleista kuvista

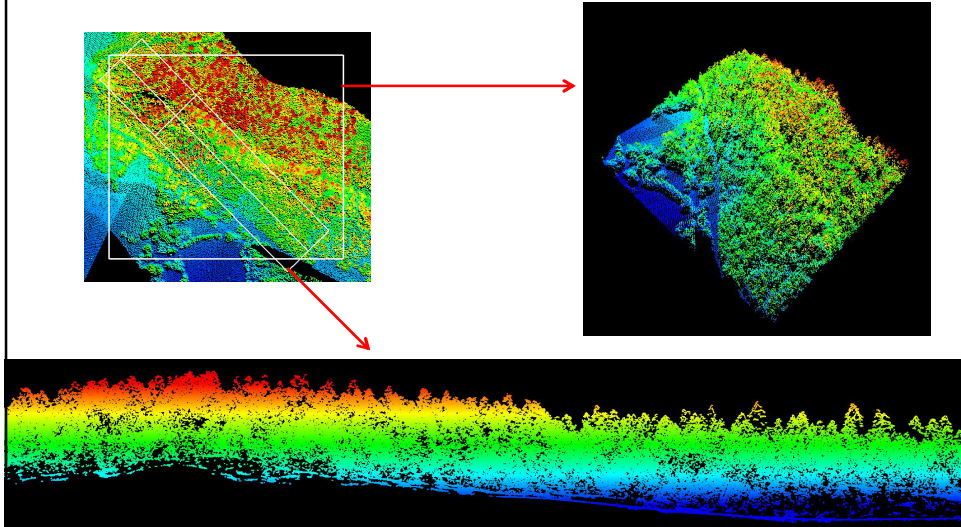
Vääräväriyhdistelmä:

R=Lähi-infrapuna
G=punainen
B=vihreä



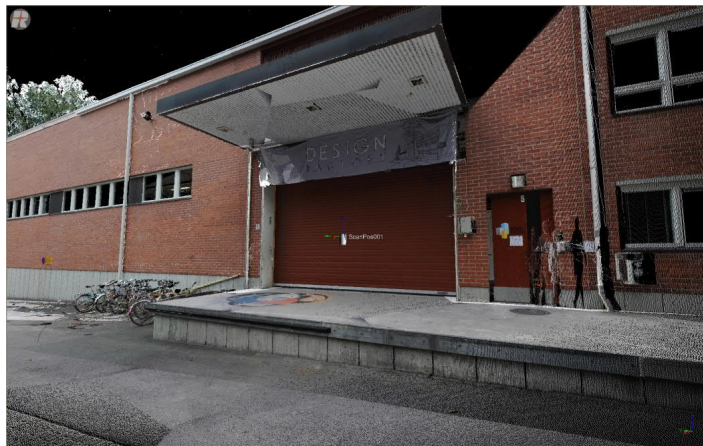
28

Laserpisteiden visualisointi: intensiteetti:
korkeuden (tai etäisyyden) mukaan



29

Digitalisoitu Design Factory ulkopuolelta



© Nina Heiska

30

Digitalisoitu Design Factory ulkopuolelta



31

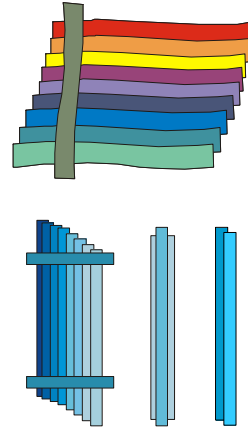
Laserkeilauksia kandidaattikeskuksesta



32

Aineiston keruu ilmasta

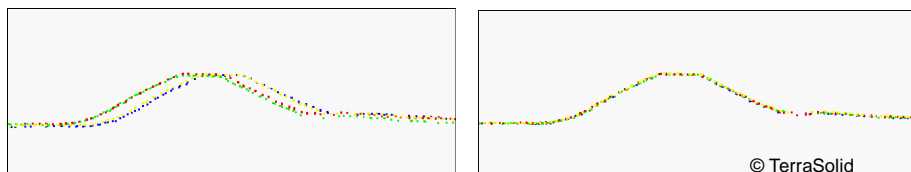
- Mittausprojektin suunnittelu on oleellista
 - Mikä pistetiheys?
 - Lentokorkeus?
 - Laserkeilausjonon leveys?
 - Paljonko tarvitaan päällekkäisyyttä vierekkäisille lentolinjoille?
 - Poikittaisten lentojonojen määrä?
 - Sopiva sää
 - Puissa lehdet vai ei?
 - Kuinka tarkkuus varmistetaan?



33

Ilmalaserkeilauksen laadunhallinta

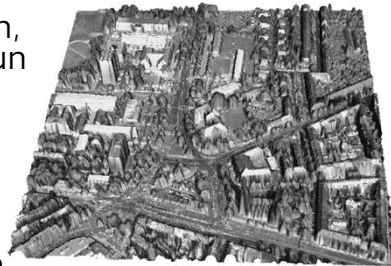
- Aineiston laadun verifiointi
 - Verrataan tunnettuihin maaston piirteisiin
 - Verrataan päällekkäisiä keilausjonoja (erityisesti poikittaisten lentojonojen kanssa) ja korjataan virheitä laserjonojen tasoituksessa
 - Tarkistetaan, että aineistossa ei ole aukkoja



34

Ilmalaserkeilausaineiston jälkikäsittely

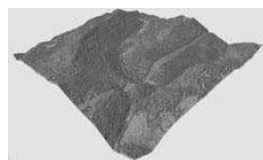
- Aineiston suodatus ja luokittelu
 - Virhepisteiden poisto
 - Poistetaan pisteet, jotka kuuluvat sellaiseen luokkaan, jolla ei ole merkitystä halutun sovelluksen suhteen
- Luodaan korkeusmalleja
 - TIN (kolmioverkkomalli)
 - Ruutumalli
 - korkeuskäyrät
- Luodaan objekteista malleja (e.g. rakennukset, puut)



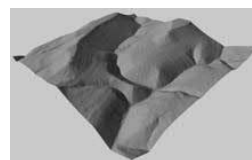
35

nDSM (normalized Digital Surface Model), normalisoitu digitaalinen pintamalli

- nDSM=DSM-DTM (DSM=Digital surface model, DTM=Digital Terrain Model, digitaalinen maanpintamalli) eliminoidaan siis maanpinnan vaikutus



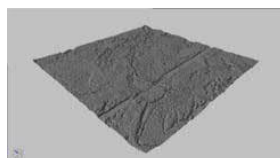
DSM



DTM

-

=



nDSM

36

Tyypillinen maalaserkeilausaineiston käsittelyprosessi

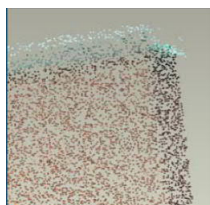
- Suodatus
 - Kohina
 - Virhepisteet
- Rekisteröinti
- Tulkinta / luokittelu
- Pinnasta kolmioverkko
- Piirteiden irrotus
- Mallin yksinkertaistus
- Pintojen tekstuurit valokuvilta

37

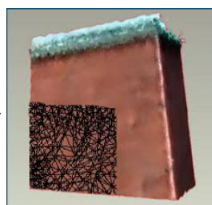
CAD-mallin tuottaminen pistepilvestä



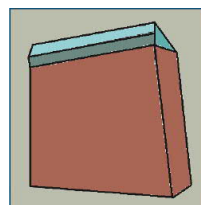
Prosesoitu pistepilvi



Pistepilvi



Pintamalli

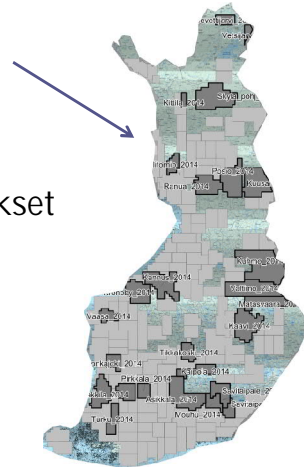


CAD-malli

38

Mistä laseraineistoa saa?

- Maanmittauslaitos
 - Avoin laserkeilausaineisto (0.5 pistettä / m²)
 - Lisenssillä: 5 pistettä / m²
- Kartoitusyrietykset
 - Koti- ja ulkomaiset kartoitusyrietykset (sekä ilma- että maalaserkeilaus)
- Konsulttiyritykset (sekä ilma- että maalaserkeilaus)
- Kaupungit (sekä ilma- että maalaserkeilaus)



Kuinka tulla laserkeilauksen ammattilaiseksi - 4 askelta?

1. Tule "Master's Programme in Geoinformatics" -koulutusohjelmaan
2. Valitse fotogrammetrian ja laserkeilauksen valinnaisia kursseja kuten
 - Digital Image Processing and Feature Extraction
 - Advanced Laser Scanning
 - Advanced Photogrammetry
3. Valitse laserkeilauksen aihe kurssilla GIS-E6010 Project Course (10 op)
4. Valitse laserkeilauksen aihe diplomityöllesi

Kandiopinnoissa

- Valitse GIS-suuntaus
- Erityisesti kurssilla KIG-C1040 Paikkatiedon keruu (suomeksi) tulee lisää tietoa laserkeilauksesta, fotogrammetriasta, kaukokartoituksesta ja geodesiasta
- Kandityön voi tehdä laserkeilaukseen liittyvistä aiheista

