Viimeiset säädöt ja tarkistukset ja sitten vain menoksi!

UAV-LiDAR – kartoittajan unelma vai painajainen?

Teksti ja kuvat: Kjell Tuominen, Mikko Sippo ja Hannu Korpela

Kevyet, automaattisesti ohjautuvat helikopterit ja lennokit, joihin on asennettu kamera, ovat olleet viime vuosien hittituote kaikkialla maailmassa. Nyt markkinoille on tullut laitteita, jotka on varustettu hinnaltaan edullisilla laserkeilaimilla. Nämä niin sanotut teollisuuskeilaimet valmistetaan suurina sarjoina ja niiden pääasiallinen käyttötarkoitus on jokin muu kuin maanmittaus. Olisiko tällainen järjestelmä oiva ratkaisu jokamiehen kartoitukseen? Mitä operointi edellyttää ja voiko tuloksiin luottaa? Sitä yritettiin selvittää testilennoilla, jotka tehtiin kesäkuun lopulla Maanmittauslaitoksen koemittauskentällä Kirkkonummen Sjökullassa.

TIETOJEMME MUKAAN ensimmäisen UAV-keilaimen teki Suomen Geodeettinen laitos noin 7-8 vuotta sitten. Kuitenkin kaupallisia UAV-keilaimia alkoi ilmestyä markkinoille vasta noin pari vuotta sitten. Tunnetuimpia valmistajia ovat ranskalainen YellowScan, amerikkalainen Phoenix Aerial Systems ja englantilainen Routescene.

Sovelluksesta on toistaiseksi vähän tietoa. Niinpä testasimme sitä Maanmittauslaitoksen testialueella. Alue on suunniteltu erityisesti ilmakuva-kameroiden testaukseen ja kalibrointiin. Meidän

tavoitteena oli saada kokemusta UAV-keilauksesta ylipäätään, verrata kahta pistetiheydeltään ja hinnaltaan erilaista keilainta ja arvioida tuloksia.

Näyttää siltä, että amerikkalainen Velodyne on noussut ylitse muiden teollisten keilanvalmistajien myös UAV:ssä. Laite on suunniteltu erityisesti autojen automaattiohjaukseen ja turvallisuuden parantamiseen.

Testilaitteistossa käytettiin sekä Velodynen 16 Puck Lite- että HDL-32-keilaimia. Ne ovat rakenteellisesti samanlaisia kuitu-optista laserkeilaimia, jossa keilain pyörii akselinsa ympäri. Keilauskulma on lentosuunnassa (VFOV) +10-30,67° ja kohtisuorassa lentolinjaa (HFOV) 360°. Mallien erona on vain paino ja keilainkuitujen ja siten mittauspisteiden määrä: Puck Lite mittaa 300 000 ja HDL-32 puolestaan 700 000 pistettä sekunnissa.

Phoenix oli integroinut keilaimen ja Sonyn Alpha A6000 -digitaalikameran KWH:n 1725 GNNS-INS -paikannusjärjes-telmään. Testialustana käytettiin Metropolia Ammattikorkeakoulun norjalaista Camflight FX8HL UAV -kopteria. Esitteen mukaan laitteiston kokonaispaino on maksimissan 25 kiloa, lentoaika suotuisissa olosuhteissa lähes tunnin ja nopeus 55 km/h. Moniin UAV-laitteisiin verrattuna FX8HL on järeä ja se kykenee kuljettamaan myös raskaimpia sensoreita kuten Riegl VUX-1:tä.

LENTOSUUNNITELMA JA TIEDON ESIKÄSITTELY

Molemmat keilaimet testattiin erikseen automaattiohjauksella 40 ja 50 m korkeudesta. Inertian aktivoimiseksi lennon alussa ja lopussa tehtiin 8-muotoiset silmukat. Pistepilvien kalibroimiseksi lennettiin lisäksi yksi poikittainen lentolinja. Pistepeitto viereisiltä lentolinjoilta oli 85–90 % johtuen suuresta FOV:sta. Mittausalueen koko oli 15 hehtaaria ja mittausaika 32 minuuttia neljänä mittauskertana. Reaaliaikainen mittaus tehtiin Trimble R8 model 3 -vastaanottimella, joka oli asennettu testialueen korkeuskiintopisteeseen.

Mittaustiedon jälkikäsittelyssä eli "post-prosessoinnissa" lentoradat korjattiin RTK-tiedon avulla. Ohjelma myös havaitsee ja hylkää "mahdottomat" satelliitti-havainnot. Lopuksi se laskee jokaisen laserpisteen georeferoidun sijainnin ja antaa pisteelle attribuutteina intensiteetin, kaiun numeron. Pisteen kulmatiedot lentolinjan suhteen eli "hpr" (heading, pitch ja roll) saadaan lentoradasta.

Pistetarkkuuden kannalta on ensiarvoisen tärkeää, että laitteen GNSS-Inertiaali-mittaus (INS) on tarkka. Laitteiston sisäisten systemaattisten virheiden korjaus, pistepilvien yhteensovittaminen ja päällekkäisten pisteiden poisto ei onnistu ilman riittävän tarkkoja lentoratoja. Kunnollinen GNSS-INS ja siihen liittyvä jälkikäsittelyohjelma on yleensä aina ollut keskeisin ja myös kallein komponentti kaikissa liikkuvissa keilainjärjestelmissä.

PISTEPILVIEN ANALYSOINTI JA LUOKITTELU

Lentojen lopputuloksena saatiin yhteensä lähes 500 miljoonaa pistettä ja 2 460 kuvaa. Ne muunnettiin ETRS-TM35FIN-koordinaatistoon. Tiedon analysointi ja luokittelu tehtiin Terrasolid-ohjelmilla. Suurten pistemäärien käsittely kerrallaan ei ole aina mahdollista eikä edes järkevää, vaan koko aineisto kannattaa jakaa osa-alueisiin eli blokkeihin.

Varsinainen tiedon analysointi, korjaus ja luokittelu tapahtuvat automaattisesti käyttäjän tekemillä komentojonoilla eli makroilla.

TAULUKKO 1.

Lentolinja	Pistemäärä	Kohina (cm)	Dz (cm)
1	24 192 522	6,93	1,24
2	23 994 438	7,43	2,68
3	23 933 686	6,66	0,05
4	24 056 814	1,11	1,11

TAULUKKO 2.

Vaihe	Kohina (m)	Merkitys
0. Lähtötilanne	0,04889	
1. Etäisyysmittaus	0,04343	Vähäinen
2. Roll (keilaimittain)	0,03688	Kohtalainen
3. Roll ja dz vaihtelu	0,01257	Merkittävä
4. Tasoitettu aineisto	0,00059	Kosmeettinen

TAULUKKO 3.

Piste Nr.	Kontrolli Z	Laser Z	Dz_{alku} (cm)	Dz_{loppu} (cm)
43	67,006	66,998	0,8	2,7
44	67,092	67,095	0,3	2,1
45	66,014	65,973	–4,1	1,8
47	67,626	67,592	–3,4	–1,8

Ne käsittelevät kaikki tai osan blokeista toisiaan seuraavina vaiheina. Käsittelijän on osattava tarkastella tuloksia paitsi ohjelman tuottamista raporteista myös visuaalisesti taso- ja leikkausnäkymissä.

Kaikkien keilaimien tuottamissa pistepilvissä on kulma- (hpr) ja korkeusvirheitä (dz). Ne näkyvät visuaalisessa tarkastelussa kohinana. Esimerkiksi tasaisten alueiden, kuten kattolappeiden, pisteet eri lentolinjoilta eivät yhdy toisiinsa vaan ne ovat eri tasossa. Jos kohina on suuri eikä sitä korjata, tulee pintamallista epätarkka eivätkä ohjelmat pysty automaattisesti vektoroimaan rakennuksia, pylväitä eikä muitakaan kohteita luotettavasti.

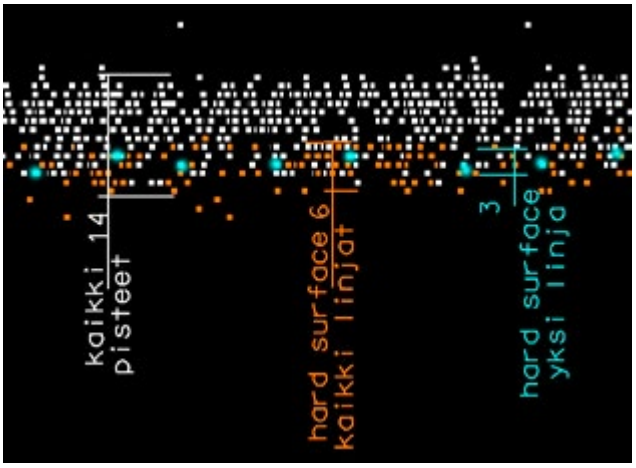
Lentolinjojen kulmavirheiden ohella Velodynen eri keilainkuitujen keskinäiset kulmavirheet aiheuttavat huomattavan osan kohinasta. Ne tulisi voida korjata myös.

"Tasoitus on lähinnä kosmeettinen toimenpide pisteiden parempaa visualisointia varten."

TULOSTEN KÄSITTELY JA ARVIOINTIA

Phoenix jälkikäsitteli ja Terrasolid jatkokäsitteli testiaineiston. Eri keilainmallien pistepilvissä ja niiden laadussa ei havaittu muuta eroa kuin erilainen pistetiheys. Verrattaessa Velodyne 16:n kalibroituja pisteitä kontrollipisteisiin, huomattiin merkittävä poikkeama. Se johtui väärästä antennikorkeudesta ja ilmeisesti myös laskentavirheestä. Koska korjattuja lentolinjoja ei ehditty saada, esitämme seuraavassa HDL-32:n tulokset 40 metrin lentokorkeudesta keilattuna.

Ennen kalibrointia pistepilville tehtiin pikatesti keilauksen tarkkuuden arvioimiseksi. Taulukossa 1 on esitetty neljän linjan kaikkien pisteiden yhteensopivuus linjoittain. Taulukossa Dz on yksittäisen lentolinjan keski-arvopinnan etäisyys kaikkien pisteiden keskiarvo-pinnasta. Testi osoittaa aineiston olevan hyvin homogeeninen. Kohinaa on huomattavan paljon, mutta merkittävästi keskiarvoista poikkeavia lentolinjojen ei esiinny. Syyt satunnaisesti muista poikkeavien linjojen virheisiin on tutkittava ja tarvittaessa niiden vaikutus on syytä jättää pois kalibroinnista.



Leikkausnäkymä tasaiselta asfaltilta ilman käsittelyä. "Hard surface" on kaikkien tai yhden lentolinjan maanpinnan pisteiden keskiarvopistejoukosta (cm) tehty "keskiarvopinta".

Kalibroinnin ensiaskeleena kokeiltiin ohjelman uutta toimintoa, joka korjaa sekä etäisyyden mittausta että intensiteettiä matkan suhteen. Se ei tuonut sanottavaa parannusta. Seuraavaksi tehtiin normaali pistepilvien yhteensovittaminen ja lopuksi fluctuation-korjaus. Toiminto korjaa lentoajan mukaan vaihtuvia korkeusvirheitä. Lopuksi tehtiin pistetasoitus. Se siirtää pisteitä toistensa suhteen hiukan ylös ja alas. Tasoitus on lähinnä kosmeettinen toimenpide pisteiden parempaa visualisointia varten. Taulukosta 2 ilmenee eri vaiheiden vaikutus kaikkien linjojen keskiarvopinnan (hard surface) kohinan suuruuteen.

"Asiasta innostuneiden on syytä opetella ensin tuntemaan menetelmä ennen laitteistohankintaa."

"Kalibrointi pienentää hajontaa ja tuo ennen kaikkea varmuuden aineiston laadusta."

Tehdyt korjaukset koskivat lähinnä vain roll-arvoja. Pitch-arvoja yritettiin korjata, mutta korjaus ei tuottanut näkyvää vaikutusta. Aineiston visuaalisessa tarkastelussa Heading-arvoissa ei havaittu ongelmaa. Esimerkiksi rakennusten harjat osuivat hyvin kohdalleen eri suunnista lennettyjä pisteitä tarkasteltaessa.

AINEISTON VERTAILU KONTROLLIPISTEISIIN

Kaivojen kannet olivat alueen kontrollipisteinä. Taulukossa 3 on esitetty maanpinnan keskiarvopinnan ja kontrollipisteiden välisiä korkeuseroja ennen (Dz_{alku}) ja jälkeen (Dz_{loppu}) kalibroinnin.

JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

Taulukon 3 mukaan tulokset ovat erinomaisia ilman kalibrointiakin. Se on osoitus sekä hyvin suoritetusta keilauksesta että toimivasta UAV-järjestelmästä. Kalibrointi pienentää hajontaa ja tuo ennen kaikkea varmuuden aineiston laadusta. Vaikka kohina on hyvin suuri mihin tahansa aikaisempaan aineistoomme verrattuna, suuri mittaustiheys ja saadut keskiarvopinnat vähentävät kohinan merkityksettömäksi. UAV-keilaus näyttäisi siten olevan käyttökelpoinen menetelmä muihin keilaussovelluksiin verrattuna.

Skannerin suuresta divergenssistä johtuen suurin keilauskorkeus on noin 50 metriä. Lennettäessä korkeammalla pistetiheys vähenee. Pisteiden kohina on suuri, mikä johtuu keilaimen sisäisestä epätarkkuudesta ja suuresta keilauskulmasta (HFOV). Leikkaamalla päällekäiset pisteet suuren keilauskulman mahdollinen haitta pienenee.

Havaitut intensiteettiarvot olivat varsin heikkoja. Jos keilainta käytetään ajoneuvokeilauksessa, kuten ehkä myös on tarkoitus, kontrollipisteiden tunnistaminen intensiteetin avulla automaattisesti ei ole mahdollista. Ohjelmallisesti voidaan varmasti parantaa niin intensiteettiä kuin keilainten sisäistä orientointiakin.

Nykyistä testikenttää ei ole suunniteltu UAV-keilaukselle. Kaivojen kannet ovat liian pieniä pintoja. Tasainen asfalttipinta kuten parkkipaikka, jossa maaliviivojen päät ovat kontrollipisteitä, olisi parempi ratkaisu. Kuitenkin on syytä korostaa, että operaattorin on osattava testata ja kalibroida laite säännöllisesti in-situ.

Jokaisessa mittaustapahtumassa tulee tehdä riittävästi kontrollimittauksia. Pelkkään tukiasematietoon ei pidä luottaa. Kontrollimittaukset VRS-verkkon avulla eivät ole kustannus- eivätkä aikaongelma osaavalle UAV-operaattorille. Pistepilvet sovitetaan lopuksi paikalleen kontrollipisteiden avulla.

Lopputuotteiden tuottaminen UAV-keilaimella on monimutkainen ja vaativa tehtävä. Asiasta innostuneiden on syytä opetella ensin tuntemaan menetelmä ennen laitteistohankintaa. Muutoin epäonnistunut hankinta voi muuttua painajaiseksi.

Tulosten varmistamiseksi ja työnkulun ohjeistamiseksi testausta olisi syytä jatkaa.