



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
EHITUSTEADUSKOND

Teedeinstituut

Geodeesia õppetool

Aidi Sula

UAV MÕÕDISTUSE KÕRGUSLIKU JA PLAANILISE
TÄPSUSE EVALVEERIMINE

Evaluating the vertical and horizontal accuracy of UAV photogrammetry

Magistritöö

Juhendajad:

MSc. Kalev Julge

Prof. Artu Ellmann

Tallinn 2015

KOKKUVÕTE

Käesoleva uurimustöö eesmärgiks oli valideerida UAV fotogramm-meetrilise mõõdistuse standardtulemite, s.t. ortofoto, punktipilve ning vastava pinnamudeli plaanilisi- ja kõrguslikke täpsuseid. UAV aeromõõdistamisega kaetud testalasid kaasati käesolevasse uurimistöösse kolm: Vaivara vallas asuv Mustanina mets, Vinni vallas asuv Barto puhkemaja kompleks ja Tallinna lähedal asuv Karla küla. Esimese ja viimasena mainitud testalad aeromõõdistati Eli Airborne Solutions OÜ platvormilt Must Q, Barto testala Trimble UX5 drooniga.

Fotogramm-meetria andmetöötlusprogramme kasutades genereeriti iga testala kohta punktipilv, ortofoto ja pinnamudelid. Seejärel võrreldi neid Maa-ameti ALS mõõdistusandmetega ja antud uurimistöö raames määratud GNSS kontrollpunktidega.

Kõige problemaatilisemaks osutus Mustanina testalas olev metsamassiivi andmetöötlus. Mustanina testala puhul tervet mõõdistusala katvat tulemust ei saavutatud, sest fotogramm-meetria andmetöötlusprogrammid ei suutnud genereerida ühtset ortofotot terve ala ulatuses. Saatuslikuks sai liiga madal (150 m) lennukõrgus ja metsaalale iseloomulik ühetaoline situatsioon. Ilmnes, et kui kahel või enamal järjestikusel või külgneval aerofotol ei ole piisavalt iseäralikke punkte, mille põhjal saaks fotosid omavahel siduda, siis ortofotode genereerimine ebaõnnestub. Selle vältimiseks tuleb valida kõrgem lennukõrgus ja suurema vaateväljaga kaamera. Mida kõrgemalt toimub lend seda suurem ala jäädvustatakse ühele aerofotole. Mida suurem ala on kujutatud fotol, seda tõenäolisem on, et peale metsamassiivi on ka muid objekte aerofotol, mis aitavad andmetöötlusprogrammil leida erinevatelt fotodelt neid ühendavaid sidepunkte. Mida suurem aga on kaamera vaateväli, seda suurem on jäädvustatud ala, mis võimaldab kindlamalt tuvastada külgnevatel fotodel paiknevaid iseloomulikke punkte.

Barto ja Karla testalade aeromõõdistusandmeid kasutati punktipilve kõrgusliku täpsuse hindamiseks. Barto ala aeromõõdistati kahel erineval lennukõrgusel: 100 m ja 500 m, kusjuures Karla aeromõõdistati keskmise lennukõrgusega 640 m. Testalade katsealade asfaltkatendite UAV aerofotode põhjal koostatud pinnamudeleid võrreldi Maa-ameti ALS andmetega. UAV andmete kõrguslike erinevuste (ALS kontrollandmetega võrreldes) KRV väärtused saavutati järgmiselt: Barto 100 m – 0.167 m; Barto 500 m – 0.269 m ja Karla – 0.294 m. Töö andis kinnitust, et täpsus oleneb olulisel määral lennu

kõrgusest ning madalamalt lennates on aerofotol parem eraldusvõime ning saavutatakse täpsemad tulemused. Karla küla ortofotode põhjal saadud pinnamudeleid võrreldi lisaks ALS andmetest saadud pinnamudeliga samuti ka GNSS mõõdistusandmete põhjal saadud pinnamudeliga. Kõrguslike erinevuste keskmiseks KRV väärtuseks Karla küla kuue katseala korral on 0.301 m. GNSS ja ALS pinnamudelite võrdlusel UAV omaga on keskmine erinevus 7 mm, mis näitab, et Karla küla UAV andmetulemites süstemaatilisi vigu ei täheldatud. Barto testala pinnamudelite võrdlemisel ei ole samuti täheldada süstemaatilisi vigu.

UAV andmetulemite plaanilist täpsust hinnati Karla testalal mõõdistatud GNSS kontrollpunktidega (välitööl mõõdistati kokku 140 punkti plaanilise täpsuse evalveerimiseks). GNSS mõõdistusandmeid võrreldi ortofotoga, mis genereeriti fotogramm-meetria andmetöötlusprogrammis kasutades maapinna markeerimispunkte ja nende koordinaate. Täpsuse hindamiseks jagati alal olevad objektid nelja rühma: teekatend, aiapostid, tänavavalgustuspostid ja hooned. Võrreldes UAV andmeid GNSS andmetega saadi järgmised plaaniliste erinevuste KRV väärtused: teekatte 1. grupp – 0.200 m; teekatte 2. grupp – 0.077 m; aiapostidel 0.060 m ja tänavavalgustuspostidel 0.118 m. Täiendava võrdlusena genereeriti UAV andmetöötlusprogrammis ortofoto, mille georeferentseerimiseks kasutati Maa-ameti hallatavast geoportaalist määratud punkte ja nende koordinaate. Eelmainitud viisil saadud ortofoto ja GNSS mõõdistatud punktide KRV väärtused olid järgmised: teekatte 1. grupp – 0.26 m; teekatte 2. grupp – 0.13 m; aiapostidel 0.20 m ja tänavavalgustuspostidel 0.16 m. Kahe erineval viisil genereeritud ortofotost on täpsem foto, mille töötlemisel on kasutatud maapinna markeeringuid ning nende koordinaate. Siiski ortofoto, mille genereerimisel on kasutatud geoportaalist võetud koordinaate, on hea täpsusega ja võimaldab ilma GNSS välimõõtmisteta luua aerofotodest georeferentseeritud ortofoto.

Kui Karla küla UAV ortofoto eraldusvõime oli 11.9 cm, siis eelnevate uurimuste põhjal toodud hinnang plaanilisele täpsusele, mis on kahekordne foto lahtusvõime, oli käesolevas töös paikapidav. Ortofotol, mis oli genereeritud kasutades maapinna markeerimispunkte, omab katsealadest kesist täpsust vaid teekatendi 1. grupp, teiste katsealade veahinnangud on väga head. Kui ortofoto genereerimisel kasutati geoportaalist saadud kindelpunktide koordinaate, siis samuti jäi teekatte 1. grupi tulemused teistest vähem täpsemaks.

Käesolev uurimustöö ei anna lõplikku ja kindlat teavet UAV mõõdistuse maksimaalselt saavutatava plaanilise ja kõrgusliku täpsuse kohta. Võib öelda, et töös kasutatud droonide mõõdistused tagavad varem välja öeldud kolmekordse kõrgusliku ja kahekordse plaanilise täpsuse ortofoto lahutusvõimest. Võttes kasutusele tarvilikud abinõud võib UAV mõõdistusega saavutada väga hea mõõdistustäpsuse lubades uudset tehnoloogiat rakendada mahuarvutamisel markšeidertöödel ning ideaalsete olude ja tingimuste korral 1:500 mõõtkavas topograafiliste plaanide koostamisel. Topograafiliste plaanide koostamisel UAV kasutamisel tuleb aga arvestada, et drooni mõõdistusi tuleks kombineerida mõne teise mõõdistustehnoloogiaga. UAV mõõdistamine on raskendatud või võimatu teatud objektide puhul nagu tehnokommunikatsioonid, kõrghaljastusega alad, kõrghoonestatud asumid. UAV võimaldaks luua esialgse mudeli ja plaani, mida hiljem täiendada GNSS või tahhümeetri mõõdistustega. Drooni kasutamine seab samas mõõdistajale täiendava oskuste vajaduse – ta peaks oskama lennuplaani koostada, drooni käsitleda ja aeromõõdistusandmeid töödelda.

UAV mõõdistus on sobilik väikeste ja keskmise suurusega alade (~ kuni 10 km²) mõõdistamiseks. Suuremate alade puhul läheks töödeldavate andmete maht niivõrd suureks, et andmetöötlusele kuluks märgatavalt suurem ajahulk ning samuti on selleks vaja võimsamaid ja kallamaid arvuteid. UAV tehnoloogia võimaldab koguda keskmise suurusega alalt informatsiooni ja töödelda seda minimaalselt ühe või kahe päevaga ning tagab kiire info saamise ja liikumise. Klassikaline lennukite kasutamine fotogrammeetrias või maapealne GNSS/tahhümeetriline mõõdistus ei suudaks tagada vastavalt nii detailset või nii kiiret infokogumist ja töötlemist soovitud ala kohta, kui seda on võimalik teha UAV mõõdistusega.

SUMMARY

The aim of this thesis was to evaluate the vertical and horizontal accuracy of Unmanned Aerial Vehicle (UAV) photogrammetry. The accuracy of UAV photogrammetry outcomes: orthophoto, point-cloud and surface model were evaluated by using three test areas. The three test fields are called Karla, Mustanina and Barto. Karla Village and Mustanina forest fire areas were surveyed by Eli Airborne Solutions using UAV Must Q. Barto holiday cottage test area was surveyed by using Trimble UAV UX5.

Point-clouds, ortophotos and surface models of the test areas were generated with photogrammetric data processing programs (Pix4Dmapper, Agisoft PhotoScan or Trimble Business Center). The results were compared with GNSS measurement data and airborne laser scanning (ALS) data provided by the Estonian Land Board.

The most problematic test area was Mustanina. It was impossible to generate a complete orthophoto of the area due to incorrectly selected flight altitude which was too low (150 m) to properly model the uniform landscape in the middle of the survey area. This experience showed that two or more overlapping orthophotos need to have clearly distinguishable objects on the images. Without recognizable objects on aerophotos, it is not possible to find enough tie points to match images and create an orthophotomosaic. Therefore, the flight altitude for the survey area must be selected correctly. Selecting a higher flight altitude enables capturing a larger area on a single aerophoto. Having larger aeras depicted on aerophotos makes it more probable that the photos contain specific objects which enable finding enough tie points to match different images. It is beneficial if the camera has a large field of view to capture larger areas.

Barto and Karla test areas were used to evaluate the vertical accuracy of UAV photogrammetry point clouds. Barto test area was captured from two different flying altitudes - 100 m and 500 m. The average flight height of Karla test field was 640 m. For evaluating the vertical accuracy paved areas were selected. The heights derived from UAV data were compared with ALS data and GNSS measurements. When comparing UAV data with ALS data the RMSE (root-mean-square-error) values were: Barto 100 m – 0.167 m; Barto 500 m – 0.269 m and Karla – 0.294 m. The thesis confirms that the vertical accuracy of UAV data depends considerably on the flight height. This means that UAV provides more accurate results at lower flight heights

because the aerial photos have smaller ground sampling distance (GSD). The heights of UAV data in the Karla test area were also compared with GNSS survey data. The RMSE was 0.301 m. If we look UAV data comparison with ALS data and also UAV data comparison with GNSS data The difference between comparisons with ALS and GNSS data was found to be 7 mm. Systematic errors were not identified.

Horizontal accuracy was evaluated by using Karla test field. UAV orthophoto was generated using ground control points (GCP) and then compared with GNSS survey data (140 GNSS points). Different objects were divided into four groups: road pavement markings, fence-posts, light posts and buildings. The comparison of UAV data with GNSS data yields the following RMSE values: 1st group of road pavement markings – 0.200 m; 2nd group of road pavement markings – 0.077 m; fence-posts – 0.060 m and light posts – 0.118 m. Buildings were discarded from accuracy evaluations due to difficulties in determining the exact corner coordinates of the construction. In addition, an orthophoto was generated by using points which coordinates were found from pre-existing high-resolution orthophotos displayed in the Estonian Land Board website Geoportal. The equivalent comparisons with this orthophoto yielded following RMSE values: 1st group of road pavement markings – 0.26 m; 2nd group of road pavement markings – 0.13 m; fence-posts – 0.20 m and light posts – 0.16 m. The orthophoto which was generated by using GCP was more accurate than the one where coordinates from pre-existing orthophotos were used. However, comparable accuracy was achieved which would allow georeferencing orthophotos without GNSS field work.

Considering that the resolution of the UAV orthophoto of Karla test area was 11.9 cm then the accuracy suggested by previous research work was fulfilled – accuracy in x and y directions are twice of the GSD and accuracy in the heights is three times of GSD.

Current thesis does not present the definitive information about the maximum vertical and horizontal accuracy of UAV photogrammetry. However, it can be said that UAV survey generally ensures a vertical accuracy of three times the GSD and horizontal accuracy of twice the GSD when using GCP. Using more accurate UAV technology would allow surveying topographical plans up to scale 1:500 and also the use of UAV for volume calculations. When using UAV photogrammetry for topographical survey it should be considered that in some cases other methods would have to be included as

UAV can not survey park areas, underground communications and areas with high-rise buildings, etc.

UAV photogrammetry is suitable for monitoring smaller and medium size areas (~ up to 10 km²). Drone technology allows collecting and processing survey data within one or two days. The fast data collection and processing ensures faster information flow than regular aerial photogrammetry or GNSS/tachymetric survey could provide.