

BEPILOČIŲ FOTOGRAMETRIJOS ORLAIVIŲ 3D PAVIRŠIAUS TIKSLUMO ANALIZĖ

Lukas ULOZAS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas lukas.ulozas@gmail.lt

Donatas JONIKAVIČIUS, Vytauto Didžiojo universitetas, Žemės ūkio akademija, Inžinerijos fakultetas, el. paštas donatas.jonikavicius@vdu.lt

Santrauka

Pastaruoju metu pastebimas didelis susidomėjimas bepiločių orlaivių naudojimu atliekant geodezinius matavimus. Jie gali būti naudojami duomenims rinkti, iš kurių sudaromi 3D modeliai, žemėlapiai. Ši technologija suteikia naujų galimybių ir leidžia sparčiau atlikti geodezinius matavimus. Fiksuoto sparno ar rotaciniams bepiločiams orlaiviams galima atlikti rankinius, pusiau automatinius arba autonominius skrydžius. Viena esminių problemų, su kuriomis susiduria geodezininkai, naudojantys bepiločius orlaivius, yra gautų duomenų tikslumas. Šiame tyrime naudojamas vienas iš Lietuvos geodezininkų labiausiai pamėgtų ir dažniausiai naudojamų bepiločių orlaivių. Bepiločio orlaivio duomenų tikslumui įvertinti buvo naudojami vietovėje su GNSS imtuvu gauti duomenys. Naudojama „AutoCAD“ programinė įranga, kuria sukuriami skirtingais metodais gautų duomenų 3D modeliai, aukščio profiliai, GNSS imtuvo duomenys šiame darbe laikomi tiksliais. Atlikus tyrimą nustatyta, kad bepiločio orlaivio duomenys nėra tikslūs, paklaida siekė 50 cm, todėl bepiločius orlaivius galima naudoti tik sudarant C ir D klasės planus.

Reikšminiai žodžiai: fotogrametrija, UAV, GNSS, 3D modelis

ĮVADAS

Atlikta daug tyrimų bepiločiais orlaiviams gautų duomenų tikslumui įvertinti ir naujoms jų panaudojimo galimybėms rasti. Tai paskatino nuolatinį šios technologijos tobulėjimą. Lyginant su aerofotogrametrija naudojant lėktuvus, šis būdas, pasitelkus bepiločius orlaivius, yra kur kas paprastesnis ir prieinamesnis daugeliui vartotojų. Bepiločių orlaivių naudojimas geodezijos srityje padeda atlikti sudėtingus didelių teritorijų matavimus per trumpiausią laiką. Vienas pagrindinių šio matavimo privalumų yra pasikeitimų identifikavimas skirtingose laiko vietose (Hegazy et al., 2015). Nepilotuojamų orlaivių sistemos (angl. „Unmanned Airborne Systems“) renkant erdvinis oro duomenis tapo labai populiarūs. Šios bepilotės technologijos yra paremtos oro trianguliacijos (aerotrianguliacijos) metodais, taip pat žinomos kaip „SfM“ ir „DSMs“ junginiu. „SfM“, arba lietuviškai „struktūra iš judesio“, pateikia ortofotografijas, o skaitmeninio paviršiaus modelio sistema (angl. „digital surface models“) sukurta ortofotonuotrauką pateikia atitinkamu masteliu (Zhang et al., 2016). Nepaisant to, kad technologija plačiai naudojama, ją naudoti sunku dėl gaunamo didelio kiekio duomenų. Tai apsunkina darbą su jais. Norint išvengti ir sumažinti gaunamų taškų masių apimtį, galima juos klasifikuoti. Pagrindinis klasifikavimo uždavinys – atskirti žemės ir ne žemės taškus. Toliau klasifikuojamos kitos duomenų klasės. Žemės filtravimo metodai skirstomi į keturias grupes (Shan ir Toth, 2018): morfologiniai filtrai (angl. „morphological“); laipsniško tankinimo filtrai (angl. „progressive densification“); paviršiumi grįsti filtrai (angl. „surface-based“); segmentacija grįsti filtrai (angl. „segmentation-based“). Šiame straipsnyje nagrinėjami tik klasifikuoti žemės taškai, iš kurių sukuriamas 3D paviršius. Nors yra daug tyrimų, kuriuose nagrinėjama informacijos, gautos iš bepiločių orlaivių, tikslumas, Lietuvoje praktiškai nėra tyrimo, kur būtų vertinamos ir lyginamos bepiločio orlaivio naudojimo galimybės gatvių aukščio profiliams matuoti. Šio tyrimo tikslas – įvertinti gatvių aukščio profilių nustatymo tikslumą, naudojant bepiločius orlaivius.

„AutoCAD“ programine įranga sukurti du atskiri 3D paviršiai, vienam naudojant bepiločio orlaivio fotogrametrinius duomenis, kitam – GNSS taškus. Paviršių modelių tikslumas lyginamas naudojant aukščio profilius, šiame tyrime GNSS gauti duomenys laikomi tiksliais.

Tyrimo objektas ir darbo metodai

Bepilotų orlaivį galima naudoti visiškai autonomiškai, o tai leidžia skristi norimame aukštyje su iš anksto nustatytu persidengimu. Bepiločio orlaivio valdiklyje integruota valdymo sistema leidžia keisti užduoties vykdymo nustatymus realiu, užduoties vykdymo laiku. Pagrindinės bepiločio orlaivio specifikacijos pateikiamos 1 paveiksle.

Parametrai	DJI Phantom 4 RTK
Jutiklis	1" CMOS jutiklis
Jutiklio skiriamoji geba	20 Mpx
Objektyvas	8,8 mm / 24 mm f / 2,8-f / 11
Užraktas	Mechaninis ir elektroninis
Palydovinė padėties nustatymo sistema	GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou
RTK	+
Padėties tikslumas	~0,015m su RTK

1 pav. DJI PHANTOM 4 RTK techniniai parametrai
Fig. 1. DJI PHANTOM 4 RTK technical parameters

Naudojant bepilotų orlaivį DJI PHANTOM 4 RTK galima valdyti automatinį skrydį, tūpimą ir pakilimą. Atliekant skrydį, jo saugumas kontroliuojamas automatiškai, bet operatorius, norėdamas kontroliuoti avarines situacijas, gali įsikišti bet kuriuo skrydžio metu.

GNSS imtuvas šiame tyrime naudojamas atraminiais taškams surinkti ir aukščio profiliams tirti. Atraminiai taškai naudojami kaip pagalbinių priemonė tiksliai nuotolinių matavimų sistemų duomenims gauti. Darbe naudojami 5 atraminiai taškai (konturženkliai). Jie išdėlioti visoje darbo teritorijoje, gerai matomose vietose. Tiksliai profilių aukščiams nustatyti naudojamas GNSS imtuvas. Profilių aukščių matavimas atliekamas pusės metro žingsniu per visą profilio ilgį, išskyrus atvejus, kai profilio matavimo vietoje atsiranda tam tikri taškai, pavyzdžiui, šlaitai, bordiūrų viršus ir apačia. GNSS imtuvu gauti profilių aukščiai laikomi tiksliais ir lyginami su kitais būdais atliktais matavimais.

Tyrimo objektas yra kelio dalis Ukmergės mieste, Antakalnio g. Šis objektas pasirinktas tyrimui, nes gatvė nerenovuota, kelias nelygus, šaligatviai ir šalikelės nesutvarkytos. Tyrimo objekto – gatvės atkarpos ilgis – 220 m, plotis – po 10 m į šalis nuo ašinės linijos. Tyrimo objekto teritorija pažymėta 2 paveiksle.



2 pav. Tyrimo teritorija
Fig. 2. Study area

Vienas svarbiausių aspektų atliekant fotografavimą fotogrametriniais tikslais yra apšvietimo sąlygos. Norint gauti tikslų 3D modelį, objektas (kelias) turi būti gerai apšviestas saulės, o tai daugiausia įtakoja paros metas ir oro sąlygos. Svarbu išsirinkti tokį laiką, kai ant objekto nekrinta daug šešėlių, jis nėra apšviestas per silpnai arba per kontrastingai, o labiausiai reikėtų vengti tokių oro sąlygų, kai objekto apšvietimas gali keistis tyrimo metu, kaip vėjuotą, debesuotą su pragiedruliais dieną. Tyrimas atliktas 2022 m. rugsėjo 10 d. naudojant

DJI PHATOM 4 RKT bepilotį orlaivį (3pav.). Didesniam informacijos kiekiui gauti buvo pasirinktas automatinis skrydžio režimas su 30 laipsnių į žemę nukreipta kamera. Šiuo būdu renkami duomenys 3D paviršiaus modeliui kurti tinka labiau nei kiti būdai dėl gaunamų tikslesnių duomenų. Bepiločio orlaivio užduotis sukurta skristi 70 m aukštyje, pikselio dydis tokiame aukštyje yra 1,92 cm, greitis skrydžio metu – 5 m/sek., preliminarus užduoties atlikimo greitis – 15 min. Skersinis nuotraukų persidengimas – 75 proc., išilginis – 60 proc.

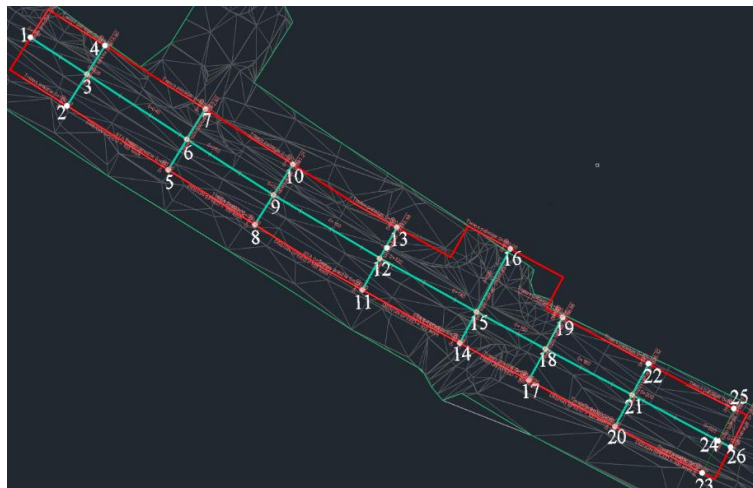


3 pav. Bepilotis orlaivis DJI PHATOM 4 RKT
Fig. 4. Drone DJI PHANTOM 4 RTK

Užduotis atlikta, kai bepilotis orlaivis skrenda ne tik išilgai reikiamos teritorijos, bet ir skersai, gaunama daugiau persidengiančių nuotraukų. Bepilotis orlaivis visą užduoties laiką skrido RTK režimu.

Matavimams vietovėje naudotas GNSS imtuvas, profilių aukščiai matuoti pusės metro žingsniu per visą profilio ilgį, išskyrus atvejus, kai profilio matavimo vietoje rasti tam tikti taškai, pavyzdžiui, šlaitai, bordiūrų viršus ir apačia. GNSS imtuvu gauti profilių aukščiai buvo naudojami patikrai, tikslumui įvertinti ir palyginti su kitais būdais atliktais matavimais.

Tyrimo naudota „Agisoft Metashape“ programinė įranga bepiločio orlaivio duomenims apdoroti, taškų debesims sugeneruoti, taškams klasifikuoti. „Agisoft Metashape“ programine įranga sugeneruotas ortofotografinis planas, DEM (angl. „digital elevation model“) ir taškų debesis, kuris tyrime naudojamas kaip šaltinis 3D paviršiui kurti. Toliau tyrime naudojant „AutoCAD“ programinę įrangą, buvo sukurtas 3D paviršiaus modelis iš bepiločio fotogrametrinio orlaivio duomenų. Iš gauto 3D paviršiaus modelio išskirti aukščio profiliai tikslesniems rezultatams gauti pateikiami 4 paveiksle.



4 pav. Aukščio profilių vietos tyrimo teritorijoje
Fig. 4. Location of height profiles in the study area

Aukščio profiliai buvo lyginami su GNSS imtuvu gautais duomenimis. Toks duomenų lyginimo būdas yra pranašesnis norint sužinoti ne atskirų taškų, bet viso skersinio ar išilginio aukščio profilio paklaidas.

Matavimai fotogrametriniu bepiločiu orlaiviu ir GNSS imtuvu atlikti tą pačią dieną. Ši diena tyrimui buvo pasirinkta dėl tinkamų oro sąlygų – buvo giedra, saulėta, vėjo greitis minimalus. Tokiomis oro sąlygomis, kaip deklaruoja gamintojas, bepilotį orlaivį naudoti geriausia, nes gaunamas maksimalus tikslumas.

Tyrimo rezultatai ir jų aptarimas

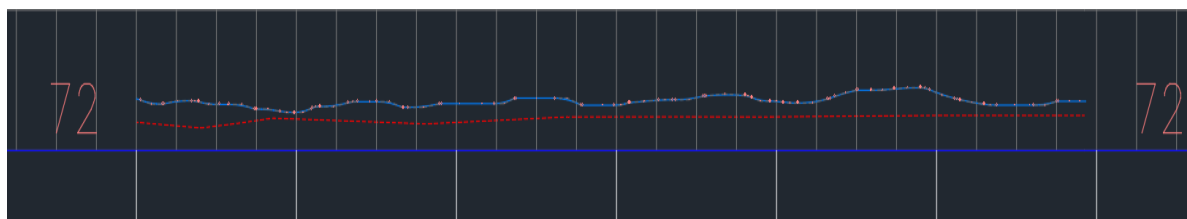
Atliekant matavimus, bepilotis orlaivis visą laiką skrido RTK režimu, todėl 332 nuotraukos, kurios buvo gautos skrydžio metu, yra ganėtinai tikslios. Didžiausios nuotraukų vietos paklaidos yra x iki 14 cm, y iki 11 cm ir z iki 11 cm. Kaip pagalbinė priemonė sumažinti esančias paklaidas naudojami pririšimo taškai. Tyrimo teritorijoje jie yra 5. Taškų debesies aukščio tikslumas yra iki 2 cm. Sukurtas 3D paviršiaus modelis naudojamas aukščio profiliams kurti. 3D modelis pavaizduotas 5 paveiksle.



5 pav. Sukurto 3D modelio iškarpa

Fig. 5. A cutout of the created 3D model

GNSS imtuvu surinktais taškais buvo braižomos 3D aukščio linijos, kurios išreiškiamos kaip aukščio profilis ir lyginamos su iš bepiločio orlaivio gautų duomenų aukščio profiliais. Kelio ašies aukščio profilių palyginimas pavaizduotas 6 paveiksle.



6 pav. Kelio ašies aukščio profilių palyginimas: mėlyna linija – bepiločio orlaivio aukščio profilis, raudona – GNSS imtuvo aukščio profilis

Fig. 6. Comparison of road axis height profiles, blue line drone height profile, red line GNSS receiver height profile

1 lentelė. Profilių aukščių palyginimas atsitiktinėse vietose

Table 1. Comparison of profile heights at non-random locations

	Profilio aukščių palyginimas atsitiktinėse vietose		
	GNSS imtuvo duomenų aukščio profilis	Bepiločio orlaivio duomenų aukščio profilis	Skirtumas tarp aukščių profilių
1	72,58	72,2	0,38
2	72,62	72,16	0,46
3	72,69	72,19	0,5
4	72,62	72,23	0,39
5	72,62	72,19	0,43
6	72,62	72,24	0,38
7	72,58	72,24	0,34
8	72,54	72,25	0,29
9	72,41	72,25	0,16

Paveiksle yra bepiločiu orlaiviu gautų duomenų aukščio profilis (mėlyna linija) ir GNSS imtuvo gautų duomenų aukščio profilis (raudona linija), aiškiai matomas skirtumas tarp profilių aukščių. Profilių aukščių skirtumas vietomis siekia 50 cm, vidutinis skirtumas yra 21 cm, nė vienoje vietoje nėra aukščio profilių sutapimų. Aukščio profilių palyginimas atsitiktinėse vietose pavaizduotas 1 lentelėje.

Tyrimė taip pat buvo lyginami skersiniai aukščio profiliai, jų nesutapimas yra dar didesnis, vidutiniškai 16 cm. Taip pat bepiločio orlaivio duomenyse nebuvo išreikšti bordiūrai. Bepiločio orlaivio surinktų duomenų aukščio profilis yra nelygus, banguotas, o tai nėra būdinga keliui.

Iš gautų tyrimo rezultatų galima pastebėti, kad bepiločiu orlaiviu surinkti duomenys nėra tikslūs. Nepaisant to, juos vis tiek galima naudoti sudarant mažesnio tikslumo planus. Tikslumo klasės pagal GKTR 1:01:2020 pavaizduotos 2 lentelėje.

2 lentelė. Tikslumo klasės

Table 2. Accuracy classes

Tikslumo klasė	Išmatuotų topografinių objektų padėties paklaida (vid. kv. paklaida, 95 proc. tikimybė), cm			Rekomenduojama masteliui	Mažiausias objekto dydis, vaizduojamas masteliu, cm
	horizontalios	vertikalios			
		tvirtų kontūru	kietų paviršių		
A	10	10	20	1:200	10
B	20	10	20	1:500	20
C	50	25	50	1:1000	50
D	80	80	100	1:2000	80

Išvados

1. Pagal GKTR 1:01:2020 bepilotį orlaivį geodeziniuose matavimuose galima naudoti sudarant C ir D klasės planus. Nors naudojant bepiločius orlaivius negalima sudaryti didelio tikslumo planų, jų naudojimas geodeziniuose matavimuose palengvina ir paspartina darbus.

2. Iš bepiločio orlaivio ir GNSS imtuvo duomenų gauti skersiniai ir išilginiai aukščio profiliai nesutampa, vietomis nesutapimas siekia 50 cm, vidutinis skersinių ir išilginio aukščio profilių nesutapimas yra 18,5 cm.

Literatūra

1. Hegazy, I. R.; Kaloop, M. R. 2015. Monitoring urban growth and land use change detection with GIS and remote sensing techniques in Daqahlia governorate Egypt. *International Journal of Sustainable Built Environment*, Vol. 4(1), p. 117–124.
2. Quan Li, X.; An Chen, Z.; Ting Zhang, L.; Jia, D. 2016. Construction and Accuracy Test of a 3D Model of Non-Metric Camera Images Using Agisoft PhotoScan. *Procedia Environmental Sciences*, Vol. 36, p. 184–190.
3. Shan, J., Toth, C. K. 2018. *Topographic laser ranging and scanning: principles and processing*. CRC press.

3D SURFACE ACCURACY ANALYSIS OF UNMANNED PHOTOGRAMMETRIC AIRCRAFT

Summary

In recent years, a great interest has been observed in the use of drones in geodetic measurements, drones can be used to collect data from which 3D models and maps are made. This technology creates new opportunities and allows geodetic measurements to be performed faster. Fixed-wing or rotary drones can be used for manual, semi-automatic or autonomous flights. One of the fundamental problems faced by surveyors using drones is the accuracy of the data obtained. In this study, one of the most popular and most frequently used drones by Lithuanian geodesists is used. Data acquired in the area with a GNSS receiver was used to assess the accuracy of the drone data. AutoCAD software is used, with the help of which 3D models of data obtained by different methods are created, height profiles, GNSS receiver data are considered accurate in this work. After the investigation, it was found that the data of the drone is not accurate, the error reaches 50 cm, so the drones can only be used when making class C and D plans.

Keywords: photogrammetry, UAV, GNSS, 3D model