

INFORMACIJOS SISTEMOS IR MODELIAVIMAS

Aerodromų kliūtis ribojančių paviršių modeliavimas geoinformacinių technologijų priemonėmis

Viktoras Paliulionis

Vilniaus universiteto Matematikos ir informatikos instituto mokslo darbuotojas, daktaras
 Vilniaus University, Institute of Mathematics and Informatics, Researcher, PhD
 Akademijos g. 4-327, LT-08663 Vilnius
 El. paštas: viktoras.paliulionis@mii.vu.lt

Trijų matavimų (3D) erdvinių duomenų modeliavimas, analizė ir vizualizavimas naudojami daugelyje sričių. Šiame straipsnyje nagrinėjami klausimai, susiję su aerodromų kliūtis ribojančių paviršių (apsaugos zonų) modeliavimu, siekiant nustatyti kliūtis, kurios gali kelti pavojų orlaivių skrydžiams. Pademonstruota, kaip šiuos klausimus galima spręsti naudojantis skaitmeniniu reljefo, vietovės ir kliūtis ribojančių paviršių modeliavimu, 3D vizualizavimu ir analize. Siūlomas skaitmeninių vietovės modelių sudarymo algoritmas leidžia efektyviai naudoti lazerinio skenavimo (LIDAR) taškų duomenis. Aprašyta bandomoji sistema „Akis-AER“, kurios paskirtis – padėti nustatyti kliūtis aplink aerodromus ir įvertinti planuojamus statyti ar aukštinaamus statinius aerodromų apsaugos zonose.

Įvadas

Tradicinėse geografinės informacijos sistemoje (GIS) paprastai naudojami dviejų matavimų erdviniai duomenys, tačiau augantis poreikis ir kompiuterinių technologijų tobulėjimas sudarė prielaidas trijų matavimų (3D) erdvinių duomenų modeliavimo, analizės ir vizualizavimo metodams atsirasti ir jais tirti. 3D modeliavimas naudojamas daugelyje sričių: miestų plėtros planavimui, aplinkosaugos, kariniams tikslams ir kt. Viena iš sričių, kurioje 3D modeliavimas ir vizualizavimas gali turėti didelę praktinę naudą, yra orlaivių skrydžių saugumo užtikrinimas. Mes nagrinėsime klausimus, susijusius su aerodromų kliūtis ribojančių paviršių (apsaugos zonų) modeliavimu ir automatizuotu objektų, galinčių kelti pavojų orlaivių skrydžiams, nustatymu.

Šiam uždaviniui spręsti reikalingas tikslus skaitmeninis vietovės modelis. Viena iš pažan-

giausių technologijų duomenims apie vietovę surinkti yra vietovės lazerinis skenavimas (LIDAR), kurio metu gaunamas trimačių taškų masyvas. Iš tų duomenų galima greitai sukurti labai tikslų ir detalių trimatį vietovės modelį. Vietovės lazerinis skenavimas neseniai buvo atliktas ir Lietuvoje.

Nors patys LIDAR duomenys ir jais remiantis sukurti modeliai gana plačiai išnagrinėti, tačiau klausimai, susiję su jų praktiniu naudojimu 3D analizei, vizualizavimui, sprendimų priėmimui, dar nėra iki galo iširti. Tam skirti metodai gali priklausyti nuo taikymo srities, sprendžiamų uždavinių, vartotojo poreikių.

Šio straipsnio tikslas yra iširti, kaip naudoti lazerinio skenavimo duomenis skaitmeniniams reljefo ir vietovės modeliams kurti, kaip juos pritaikyti nustatant kliūtis aplink aerodromus, kokios su tuo susijusios problemos iškykla ir

kaip jas spręsti. Pasiūlytas algoritmas pastatų ir kitų vietovės objektų modeliui kurti automatizuotu būdu. Aprašyta bandomoji sistema „Akis-AER“, kurios paskirtis – modeliuoti aerodromų kliūtis ribojančius paviršius, nustatyti kliūti, keliančias pavojų orlaivių skrydžiams, padėti įvertinti naujai statomus ar aukštinamus statinius. Ji demonstruoja, kaip sukurti modeliai naudojami 3D analizei ir vizualizavimui.

Paviršių modeliavimas geografinės informacijos sistemose

Nagrinėjant skaitmeninius paviršių modelius, naudojamus geografinėse informacinėse sistemose, išskiriami skaitmeniniai reljefo modeliai ir skaitmeniniai vietovės modeliai. *Skaitmeninis reljefo modelis* (SRM) – skaitmeniniu būdu išreikštas trimatis Žemės paviršiaus (reljefo) vaizdas (Geografinės..., 2011). *Skaitmeninis vietovės modelis* (SVM) apima virš Žemės paviršiaus esančius žmogaus sukurtus ir gamtinius fizinius objektus (pavyzdžiui, pastatus, augmeniją).

Sudaryti SRM ir SVM yra sudėtingas uždavinys, kuris priklauso nuo daugelio veiksnių: pirminių duomenų šaltinių, jų tikslumo, paviršių modeliavimo metodų ir kt. Aukščio taškai, reikalingi vietovės paviršiaus modeliams sudaryti, gaunami įvairiais būdais. Pagrindiniai yra šie:

- topografiniai duomenys (horizontalės, aukščių taškai, hidrografijos objektų linijos),
- lauko geodeziniai matavimai,
- skaitmeninė fotogrametrija,
- lazerinis skenavimas (LIDAR),
- radarinė interferometrija (InSAR).

Skaitmeninių reljefo modelių sudarymas iš vektorizuotų *topografinių žemėlapių horizontalių* yra seniausias ir plačiausiai naudojamas metodas. Tačiau jis nepasižymi dideliu tikslumu tiek dėl netikslių nubraižytų horizontalių, tiek dėl modeliavimo paklaidų. Sukurti algoritmai tikslumui padidinti, papildomai naudojant aukščio taškus, hidrografijos objektų ribas (Hutchinson, 1989).

Tikslus Žemės paviršiaus taškų aukščius galima gauti *lauko matavimais*, naudojant geodezinius prietaisus. Tačiau šis būdas yra labai

brangus, todėl dažniau naudojamas SRM kontroliuoti, o ne sudaryti.

Fotogrametrija laikoma klasikiniu, tiksliu ir išbandytu 3D duomenų gavimo metodu. Naudojant šį metodą taškų erdvinei padėčiai fiksuoti, reikalingos mažiausiai dvi tos pačios teritorijos aerofotonuotraukos, nufotografuotos iš skirtingų vietų. Pagal jas galima sukurti stereoskopinį vaizdą, kuriam pamatyti reikalinga speciali įranga. Kuriant SRM šiuo metodu, parenkami atraminiai taškai, jų aukščiai nustatomi automatiškai iš aerofotonuotraukų poros ir sudaromas trikampių tinklas. Fotogrametriniu metodu galima kurti ir pastatų modelius, tačiau vien iš aerofotonuotraukų automatizuotai išgauti pastatų modelius yra sudėtinga.

Lazerinis skenavimas (LIDAR, angl. *Light Detection and Ranging*) – optinė nuotolinių matavimų technologija, leidžianti nustatyti atstumus iki atspindinčių paviršių ir kai kurias tų paviršių savybes (Žalnierukas, Čypas, 2006). Vietovės paviršius skenuojamas iš lėktuvo arba sraigtasparnio, kuriame įtaisytas lazerinis skeneris. Gaunama nereguliari labai tanki taškinė trijų matavimų geometrinė ar radiometrinė informacija, dar vadinama taškų debesimi. Vėliau duomenys filtruojami ir klasifikuojami. Klasifikuojant atskiriami taškai, atspindėti nuo skirtingo tipo paviršių: pastatų stogų, medžių lapų, žemės paviršiaus ir kt. (Dorninger, Pfeifer, 2008; Demir ir kt., 2009).

Radarinė interferometrija (InSAR, angl. *Interferometric Synthetic Aperture Radar*), kaip ir LIDAR, yra tiesioginių nuotolinių matavimų technologija. Specialieji sintetinės apertūros radarai lokatoriai įrengiami palydovuose arba orlaiviuose. Jie leidžia gauti radiolokacinį Žemės paviršiaus ir virš jo esančių objektų vaizdą, nepriklausomai nuo meteorologinių sąlygų ir vietovės apšviestumo. Naudojant du ar daugiau radiolokacinių vaizdų, galima sukurti paviršiaus modelį. InSAR metodas nėra toks tikslus kaip LIDAR, be to, jame kartais lieka neišmatuotų plotų (Kumetaičienė, 2005).

LIDAR laikomas perspektyviausiu 3D duomenų gavimo metodu. LIDAR nuotolinių matavimų technologiją pradėjus naudoti Lietuvoje, šia tema padaugėjo ir mokslinių darbų, kuriuo-

se analizuojamas Lietuvos miestų skenavimo LIDAR metodu tikslumas (Žalnieriuokas ir kt., 2009), siūlomi algoritmai LIDAR duomenų klaidoms rasti ir šalinti (Kalantaitė ir kt., 2010), nagrinėjami LIDAR žemės paviršiaus taškų masyvo supaprastinimo būdai (Stankevičius, Kalantaitė, 2009).

Kuriant paviršių modelius pagal gautus duomenis, naudojamos dvi pagrindinės struktūros: *regularus stačiakampių tinklas* ir *nereguliarus trikampių tinklas* (angl. *Triangulated Irregular Network – TIN*). Pirmuoju atveju paviršių aprašo gardelių matrica, sudaryta iš eilučių ir stulpelių, sudarančių koordinacinių tinklėlių. Kiekvienoje gardelėje saugoma aukščio reikšmė. TIN modelis paviršių aprašo kaip sujungtų trikampių viršūnių grupę. Trikampių tinklas saugo informaciją apie aukštį trikampių viršūnėse ir trikampių tarpusavio ryšius.

Aerodromų kliūtis ribojantys paviršiai

Aerodromams ir šalia jų esantiems objektams keliami reikalavimai siekiant užtikrinti, kad oro erdvėje virš aerodromų ir aplink juos nebūtų kliūčių, kurios gali kelti pavojų skrydžių saugumui. Kliūtims nustatyti apibrėžiami *kliūtis ribojantys paviršiai* (KRP). Statiniai, reljefo elementai, net pavieniai medžiai, kurie iškilę virš nustatytų paviršių, laikomi kliūtimis. Į jas paskui atsižvelgiama planuojant orlaivių skrydžius. Naujai statomus arba aukštinamus statinius svarbu įvertinti, ar jie neiškils virš nustatytų KRP. Geoinformacinėmis technologijomis pagrįsta sprendimų paramos sistema gali padėti išspręsti daugelį šių uždavinių.

Pagal Tarptautinės civilinės aviacijos organizacijos (ICAO, angl. *International Civil Aviation Organization*) reikalavimus yra apibrėžti šie aerodromų kliūtis ribojantys paviršiai:

- išorinė horizontalioji plokštuma,
- prieigų paviršius,
- pereinamasis paviršius,
- kūginis paviršius,
- kilimo paviršius,
- vidinė horizontalioji plokštuma,
- vidinis prieigų paviršius,

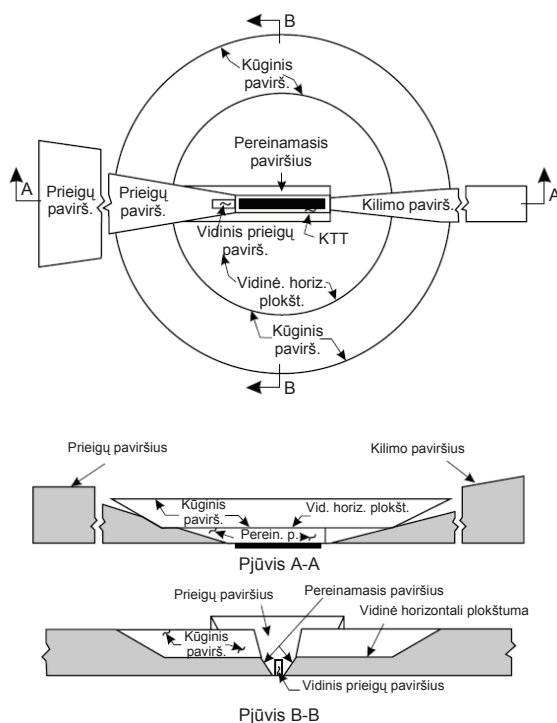
- vidinis pereinamasis paviršius,
- nutraukto tūpimo plokštuma.

Detali informacija apie šiuos paviršius ir jų parametrus yra Tarptautinės civilinės aviacijos konvencijos 14 priede (ICAO, 2009). Pagrindinių KRP forma ir padėtis aerodromo kilimo ir tūpimo tako (KTT) atžvilgiu pateikta 1 pav. Tiksli jų geometrija priklauso nuo aerodromo kategorijos, KTT tipo ir kitų charakteristikų.

Yra pasiūlyta keletas būdų modeliuoti kliūtis ribojančius paviršius ir ieškoti kliūčių. Pavyzdžiui, skrydžiams pavojingas sritis galima rasti naudojant rastrinės analizės funkcijas (Ulubay, Altan, 2002):

$$\text{Pavojingos sritys}^{\text{Matrica}} = \text{SRM}^{\text{Matrica}} - \text{KRP}^{\text{Matrica}}$$

Čia gautos teigiamos reikšmės nurodo orlaiviams pavojingas sritis. Kitame darbe siūloma kliūtis ribojančius paviršius ir testuojamus objektus aprašyti aštuntainiais medžiais, o kliūtis nustatyti naudojant kolizijos aptikimo algoritmą (Panayotov, Georgiev, 2008).



1 pav. Aerodromų kliūtis ribojantys paviršiai (pagal ICAO)

Manome, kad netikslinga naudoti rastrinius modelius KRP vaizduoti. Šiuos paviršius galima aprašyti analitinės geometrijos formulėmis, o pagal jas apskaičiuoti paviršiaus aukštį bet kuriai x , y koordinatei. Nustatyti, ar testuojamas objektas yra kliūtis, galima lyginant jo aukštį su žemiausio ribojančio paviršiaus aukščiu tame taške.

Modeliuojant KRP reikia turėti tikslų vietovės reljefo modelį, nes svarbu žinoti kilimo ir tūpimo profilį, o jis gali būti skirtingas įvairiose kilimo ir tūpimo tako vietose. Pavyzdžiui, Tarptautinio Vilniaus oro uosto kilimo ir tūpimo tako aukštis įvairiose vietose skiriasi net 18 metrų. Nustatant galimas kliūtis, reikia turėti ir vietovės aplink aerodromą 3D modelį.

Skaitmeninių paviršių modelių sudarymas naudojant LIDAR duomenis

SRM ir SVM sudaryti buvo naudojami 2007 metais atlikto Lietuvos apskričių centrų teritorijų lazerinio skenavimo duomenys. Nuotolinis lazerinis skenavimas atliktas esant ne didesnei kaip 30 cm vidutinei kvadratinei taško horizontalaus nustatymo paklaidai, ir ne didesnei kaip 15 cm vertikaliai paklaidai. Nuskenuojamų taškų tankis – ne mažesnis kaip 4 taškai kvadratiname metre. Šie duomenys apima dešimties miestų 24 750 kv. km plotą, vidutinis atstumas tarp taškų – 0,5 m. LIDAR duomenys yra filtruoti ir klasifikuoti, iš jų pašalinti taškai, kuriems turėjo įtakos triukšmai, ir duomenys apie nereikalingus objektus (pavyzdžiui, automobilius, apšvietimo stulpus ir kt.), kiti buvo sugrupuoti pagal temas: augmenija, statiniai, tiltai ir žemės paviršiaus taškai. Šie duomenys yra atskiruose tekstinio formato failuose, kuriuose kiekvienam išmatuotam vietovės taškui nurodytos x , y ir z koordinatės. Be to, visi taškų duomenys suskaidyti į 1×1 km dydžio lapus.

Vietovei ir reljefui modeliuoti pasirinkome stačiakampių tinklą. Nors laikoma, kad TIN labiau atitinka pradines aukščių reikšmes, bet esant labai dideliame duomenų kiekiui stačiakampių tinklą lengviau sukurti ir analizuoti. Stačiakampių tinklo gardelės dydžio pasirinki-

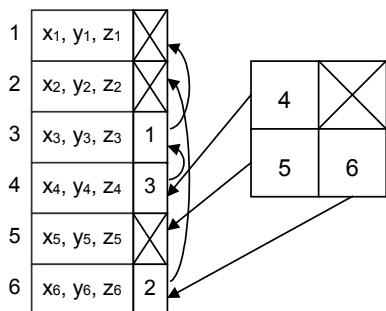
mas priklauso nuo pradinių duomenų ir reikiamo tikslumo.

Naudojant klasifikuotus pagal paviršiaus tipą LIDAR matavimų taškus, galima sukurti tiek SRM, tiek atskirų objektų tipų (pavyzdžiui, pastatų) paviršiaus modelius, tiek integruotus SVM (pavyzdžiui, reljefas su pastatais). Tačiau reikia atsižvelgti į keletą ypatumų:

- 1) Nepaisant didelio matavimų tikslumo, LIDAR duomenyse dėl triukšmų ar kitų priežasčių pasitaiko klaidų. Kai kurios yra nesunkiai aptinkamos ir pašalinamos. Pavyzdžiui, nagrinėjant gretimus taškus galima nustatyti taškus, kuriuose yra didelis aukščių šuolis, ir juos pašalinti.
- 2) Reljefą aprašančių taškų tankis nevienodas, nes yra tokių plotų, kuriuose nėra duomenų (pavyzdžiui, po pastatais). Tokiuose plotuose aukščiai nustatomi interpoliavimo būdu.
- 3) LIDAR duomenys yra suskaidyti į lapus, todėl siekiant tolydumo reikia nagrinėti gretimų lapų taškų aukščio reikšmes.

Detaliau aptarsime siūlomą pastatų modelių aprašančio stačiakampių tinklo kūrimo algoritmą. Kaip minėjome, LIDAR duomenys yra klasifikuoti pagal paviršių tipą, ir vienas iš jų yra pastatų duomenys. Pradiniai algoritmo duomenys yra taškų x , y , z koordinatinių masyvas. Pagrindiniai algoritmo žingsniai yra šie:

1 žingsnis – indeksavimas. Pirmiausia visa teritorija suskaidoma į vienodo dydžio kvadrato formos gardeles. Pasirinkus gardelės dydį 1 m, vienam duomenų lapui gaunamas 1000×1000 dydžio gardelių masyvas. Kiekvienai gardelei priskiriamas taškų, priklausančių tai gardelei, sąrašas. Indeksui realizuoti siūlome naudoti dvimatį masyvą, kurio kiekvienas elementas saugo nuorodą tik į pirmą gardelei priklausančią taškų masyvo tašką. Kiekvienas taškų masyvo taškas turi papildomą lauką, kuriame saugoma nuoroda į kitą sąrašo elementą. Antai 2 pav. pateiktame pavyzdyje pirmai gardelei priklauso 4-as, 3-ias ir 1-as masyvo elementai. Iš taip sudaryto erdvinio indekso galima greitai rasti kiekvienai gardelei priklausančius aukščio taškus arba išrinkti artimiausius taškus iš aplinkinių gardelių.

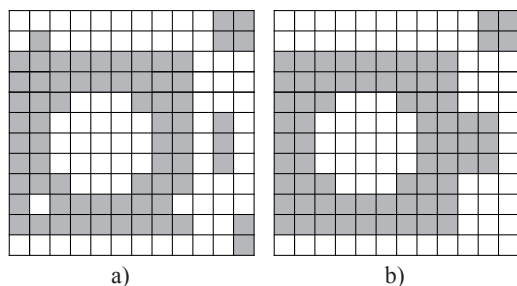


2 pav. Erdvinio indekso realizavimas

2 žingsnis – filtravimas. Randami ir pašalinami galimi klaidingi taškai, pavyzdžiui, tie, kurių aukštis smarkiai skiriasi nuo greta esančių. Automatiškai aptikti klaidas tarp pastatų aukščių taškų yra gana sudėtinga. Pavyzdžiui, aukščiau už kitus taškus iškilęs taškas yra nebūtinai klaida, bet gali būti, pavyzdžiui, smailaus bokšto viršūnė. Tačiau taškus, kurių aukščio reikšmė yra daug mažesnė už aplinkinių taškų aukščių reikšmes, galima laikyti klaidomis ir jas pašalinti.

3 žingsnis – klasifikavimas. Gardelės klasifikuojamos pagal tai, ar žymi pastatą, ar ne. Pavyzdžiui, 3a pav. pilkai nuspalvintos gardelės, kurioms priklauso bent vienas pastato taškas pagal LIDAR duomenis, o 3b pav. parodyta, kokios gardelės po klasifikavimo buvo pažymėtos kaip pastatų gardelės. Pavyzdyje pagal pasirinktą toleranciją pašalinti smulkūs objektai ir smulkios „skylės“.

4 žingsnis – interpoliavimas. Jei gardelei priklauso bent vienas taškas ir tas taškas yra lo-



3 pav. Pastatų formos tikslinimas

kalus maksimumas, tai to taško aukščio reikšmė priskiriama gardelei. Tokiu būdu neprarasime maksimalios pastato aukščio reikšmės, o tai svarbu mūsų nagrinėjamu atveju. Jei taškas nėra lokalus maksimumas, galima interpoliuoti pagal aplinkinius taškus.

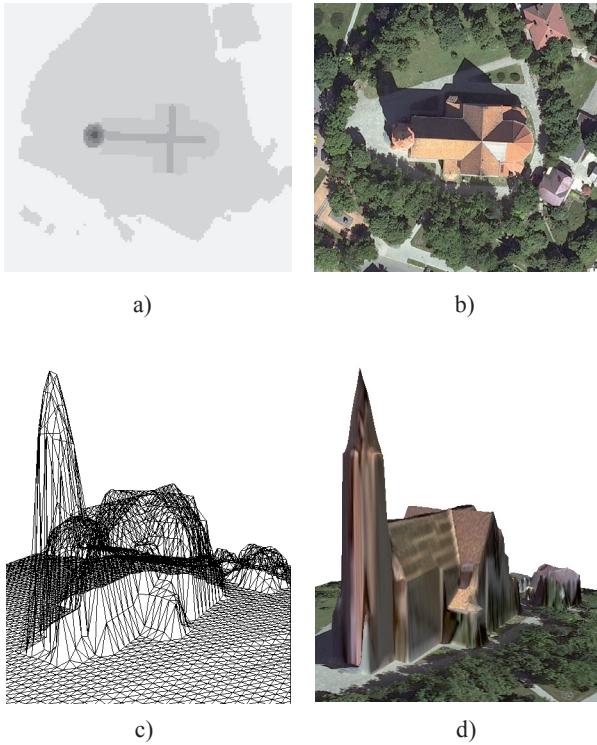
Gautas pastatų modelis įrašomas į failą. Analogiškai sudaromi skaitmeniniai tiltų ir augmenijos modeliai. Sujungus skaitmeninį reljefo modelį su pasirinktais objektų modeliais gaunamas skaitmeninis vietovės modelis.

Naudojant šį algoritmą modelis sudaromas gana greitai, nes interpoliavimui naudojami tik taškai iš gretimų gardelių. Algoritmas gali netinkamai suveikti taškams lapo pakraščiuose, tačiau šį trūkumą galima pašalinti lapų pakraščiuose analizuojant taškus iš gretimų lapų, nors tai šiek tiek sumažina algoritmo efektyvumą.

Paviršių 3D vizualizavimas

Paviršių 3D vizualizavimui realizuoti galima naudoti kurią nors standartinę grafikos biblioteką, pavyzdžiui, OpenGL. Prieš vaizduojant nagrinėjamas vietovės fragmentas dinamiškai suskaidomas į trikampus ir gaunamas reguliarus viršūnių tinklas. Kiekvienos tinklo viršūnės aukštis gaunamas iš SRM arba SVM. Taip sukuriamas atitinkamo žemėlapių fragmento trimatis SRM arba SVM karkasas. Vietovės 3D vaizdą galima padaryti realistiškesnį, integravus SRM arba SVM su ortofotografiniu žemėlapiu, t. y. ant sudaryto trimačio karkaso uždedant ortofotografinio žemėlapių tekstūrą (4 pav.). Tiesa, aeronuotraukoje nėra vertikalųjų sienų vaizdų, todėl 3D vaizde vertikalūs paviršiai gaunami tiesiog ištempus aeronuotraukos taškus. Tačiau šio metodo pakanka daugelyje taikymų, kai reikia greitai ir be didelių sąnaudų sukurti trimatį vaizdą.

Panašiai rengiami kliūtis ribojančių paviršių 3D vaizdavimo duomenys. Tik juos patogiau aproksimuoti plokščiomis geometrinėmis figūromis – trikampaiais, keturkampiais, daugiakampiais, galbūt su „skylėmis“ – atsižvelgiant į šiuos paviršius aprašančias analitines geometrinės formules.



4 pav. Skaitmeninio vietovės modelio ir ortofotografinio žemėlapio integravimas 3D žemėlapyje: a) SVM vaizdavimas 2D žemėlapyje, b) ortofotografinio žemėlapio 2D vaizdas, c) iš trikampių sudarytas SVM 3D karkasas, d) ortofotografinio žemėlapio tekstūra uždėta ant 3D karkaso

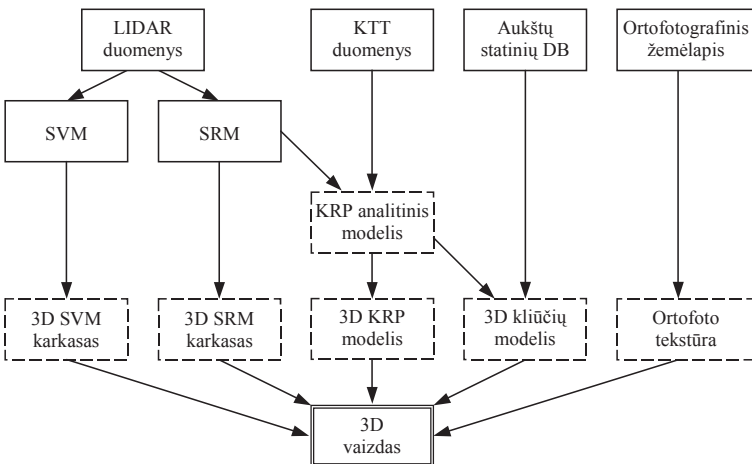
Kliūtis ribojančių paviršių ir vietovės modeliavimas naudojant sistemą „Akis-AER“

Siekiant pademonstruoti ir įvertinti 3D analizės ir vizualizavimo galimybes, buvo sukurta bandomoji sistema „Akis-AER“. Praktinė sistemos paskirtis yra padėti įvertinti galimas skrydžių kliūtis, nustatyti, ar aukšti statiniai (esami arba projektuojami) aplink aerodromą neviršija kliūtis ribojančių paviršių. Sistemoje „Akis-AER“ naudojamų duomenų ir modelių schema pateikta 5 pav. Brūkšniuotąja linija pažymėtos dinamiškai generuojamos duomenų struktūros.

Naudojant šiame darbe aprašytas idėjas, pagal apskričių centrų lazerinio skenavimo duomenis buvo sudaryti dešimties Lietuvos miestų SRM ir SVM. Šių modelių gardelės dydis 1x1 m, jų bendras plotas – 2475 kv. km, kiekvieno modelio gardelių skaičius yra 2475 milijonai. Sistemoje taip pat buvo integruoti ortofotografiniai žemėlapiai bei įvairių mastelių vektoriniai žemėlapių duomenys, taip pat visos Lietuvos skaitmeninis reljefo modelis (toms teritorijoms, kurioms nebuvo lazerinio skenavimo duomenų). Pagal

30-ies Lietuvos aerodromų ir jų kilimo takų duomenis ir ICAO nustatytus reikalavimus buvo sukurti erdviniai kliūtis ribojančių paviršių modeliai. Pažymėtina, kad šiuo metu tik devyni iš 30-ies aerodromų patenka į teritorijas, kurios turi LIDAR duomenis ir stambaus mastelio (1:2000) ortofotografinius žemėlapius.

Sistemos funkcionalumui testuoti buvo naudojami aukštų statinių duomenys (ryšio bokš-



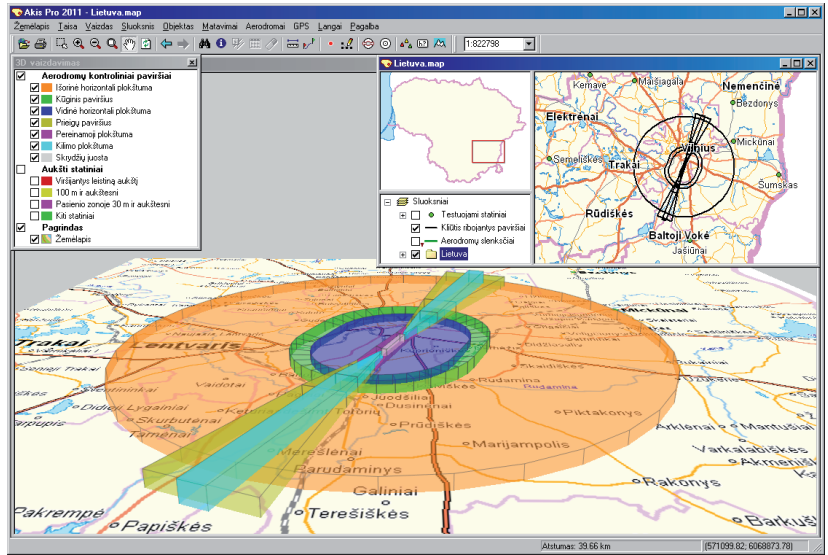
5 pav. Sistemoje „Akis-AER“ naudojamų duomenų ir modelių schema

tai, stiebai, aukšti pastatai ir kt.), kurie gali kelti pavojų orlaivių skrydžiams. Šie statiniai buvo klasifikuoti pagal tai, ar statinio aukštis viršija žemiausio kliūtis ribojančio paviršiaus aukštį toje vietoje. Sudaryti kliūčių ir kliūtis ribojančių paviršių žemėlapiai. Rezultatai pateikiami vartotojui 2D ir 3D žemėlapiuose (6 pav.). 3D vizualizavimo komponentas sukurtas naudojant OpenGL grafikos biblioteką. Trimatį vaizdą vartotojas gali priartinti, pasukti, apžiūrėti iš visų pusių.

Rezultatų aptarimas

Vizualiai analizuojant SVM pastebėta, kad kai kurių testuojamų aukštų statinių nebuvo užfiksuota lazerinio skenavimo metu, nes jie yra mažo skersmens, smailėjantys į viršų (pavyzdžiui, ryšio antenų stiebai). Dėl šios priežasties vien iš lazerinio skenavimo duomenų sukurto modelio, neturint duomenų iš kitų šaltinių apie aukštus statinius, nepavyktų nustatyti visų esamų kliūčių.

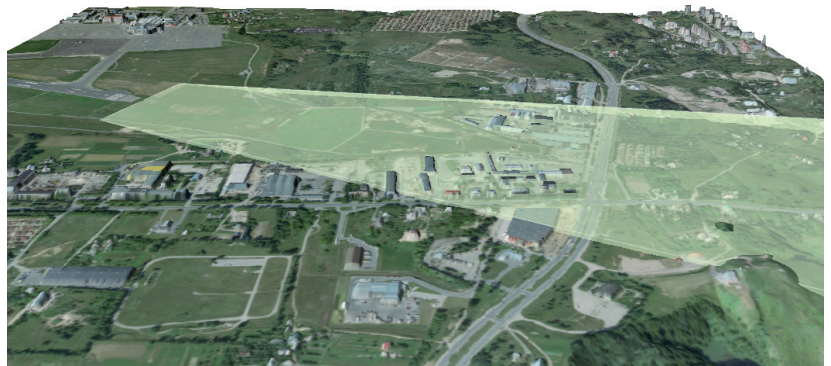
Kita vertus, naudojant 3D SVM, buvo nustatyta keletas kliūčių, kurių nebuvo aukštų statinių bazėje. 7 pav. matome virš aerodromo prieigų paviršiaus iškilusią kalvą ir keletą virš jo iškilusių pastatų.



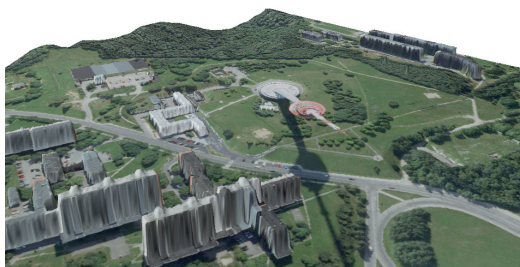
6 pav. Programos „Akis-AER“ ekrano vaizdas

Tačiau šios kliūtys jau egzistavo iki aerodromo eksploatacijos pradžios ir buvo įvertintos prieš statant aerodromą.

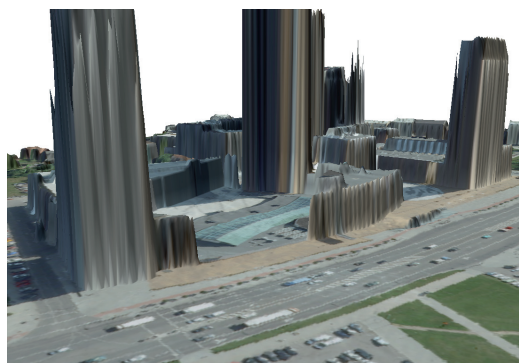
Pastebėtos kai kurios lazerinio skenavimo duomenų klaidos. Pavyzdžiui, Vilniaus televizijos bokšto vietoje nebuvo aukščio duomenų, todėl televizijos bokštas 3D žemėlapyje atrodė tarsi paguldytas ant žemės (8 pav.). Taip pat trūko informacijos apie žemus pastatus, esančius šalia aukštų pastatų. 9 pav. matome prekybos centrą „Europa“, kurio dalis yra tarsi sulyginta su žeme. Tai atsitiko, matyt, dėl



7 pav. Pavyzdys, kuriame matyti virš aerodromo prieigų paviršiaus iškilusios kliūtys



8 p a v. *LIDAR duomenų spraga: televizijos bokštas Vilniuje*



9 p a v. *LIDAR duomenų spraga: PC „Europa“ Vilniuje*

to, kad atliekant lazerinį skenavimą iš orlaivio šalia esantys dangoraižiai užstojo kelią lazerio spinduliui. Pasitaiko ir neteisingo klasifikavimo atvejų. Pavyzdžiui, keliu važiuojantys didesni automobiliai arba augalijos plotai kartais priskiriami pastatų tipui.

Sistemoje „Akis-AER“ realizuotas 3D SVM vizualizavimo būdas dėl dinamiškai pasirenkamos 3D skiriamosios gebos leidžia greitai ir efektyviai vizualizuoti bet kurią 2D

žemėlapią vietą nekeliant ypatingų reikalavimų kompiuterio ir vaizdo posistemio ištekliams. Vizualizuojant žemėlapią 1:2000 arba stambesniu masteliu gaunamas gana realistiškas vaizdas. Tačiau pastebėta, kad esant smulkesniam masteliui dėl duomenų išretinimo pastatų formos šiek tiek iškraipomas.

Išvados

Tyrimas ir eksperimentinės sistemos kūrimas parodė, kad šiuolaikines GIS technologijas galima sėkmingai naudoti nustatant šalia aerodromų esančias kliūtis, kurios gali kelti pavojų skrydžių saugumui. Tam reikia sudaryti skaitmeninius vietovės modelius ir kliūtis ribojančių paviršių modelius. Didelės skiriamosios gebos skaitmeniniam vietovės modeliui sudaryti galima naudoti LIDAR duomenis. Tačiau vien šių duomenų nepakanka, nes buvo pastebėta, kad juose dažnai trūksta aukštų smalių statinių (pavyzdžiui, ryšio bokštų, stiebų), kurie gali būti kliūtys orlaivių skrydžiams. Todėl reikia papildomai naudoti informaciją apie aukštus statinius iš kitų šaltinių ir integruoti ją su LIDAR duomenimis. Be to, tikslinga pašalinti lazerinio skenavimo klaidas, parinkti tinkamus erdvinio interpoliavimo metodus.

Pasiūlytas greitas skaitmeninio vietovės modelio sudarymo algoritmas, kuris taip pat pašalina kai kurias duomenų klaidas.

Sukurtus modelius galima naudoti tiek analizei, tiek vietovės 3D vizualizavimui. Tai suteikia sprendimų priėmėjui vertingos informacijos nustatant kliūtis, kurios gali kelti pavojų orlaivių skrydžiams, projektuojant naujus statinius arba aukštinant esamus, statant naujus ar plečiant senus aerodromus.

LITERATŪRA

DEMIR, N.; POLI, D.; BALTSAVIAS, E. (2009). Detection of Buildings at Airport Sites Using Images & Lidar Data and a Combination of Various Methods. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXXVIII, part 3/W4, p. 71–77.

DORNINGER, Peter; PFEIFER, Norbert (2008). A Comprehensive Automated 3D Approach for Building Extraction, Reconstruction, and Regularization from Airborne Laser Scanning Point Clouds. *Sensors*, vol. 8(11), p. 7323–7343.

Geografinės informacijos sąvokų žinynas [interaktyvus]. [žiūrėta 2011 m. gegužės 10 d.]. Prieiga per internetą: <<http://www.geoportal.lt>>.

HUTCHINSON, M. F. (1989). A new procedure for gridding elevation and stream line data with automatic removal of spurious pits. *Journal of Hydrology*, vol. 106, p. 211–232.

ICAO (2009). *Aerodromes, Annex 14 to the Convention on International Civil Aviation*. Vol. 1. Aerodrome Design and Operations. International Civil Aviation Organization. July 2009.

KALANTAITĖ, Aušra; PUTRIMAS, Raimundas; ŠLIKAS, Dominykas (2010). Erdvinių skenavimo duomenų taikymas vietovės trimačiams modeliams generuoti. *Geodezija ir kartografija*, t. XXXVI, nr. 4, p. 151–155.

KUMETAITIENĖ, Aušra (2005). Skaitmeninių reljefo modelių, sudarytų taikant įvairius pradinius duomenis, tikslumo įvertinimas. *Geodezija ir kartografija*, 2005, t. XXIX, nr. 3, p. 110–114.

PANAYOTOV, Apostol; GEORGIEV, Iliya (2008). Modelling of the Airport Navigation Space Obstructions. In *Proceedings of the 3rd International Conference from Scientific Computing to Computational Engineering*, Athens, 9–12 July, 2008.

STANKEVIČIUS Žilvinas; KALANTAITĖ, Aušra (2009). LIDAR Žemės paviršiaus taškų masivo supaprastinimo algoritmų parametų parinkimas. *Geodezija ir kartografija*, t. XXXV, nr. 2, p. 44–49.

ULUBAY, A.; ALTAN, M. O. (2002). *A Different Approach to the Spatial Data Integration*. IAPRS&SIS, Vol. 34, Part 4: Geospatial Theory, Processing and Applications. Ottawa, p. 657–661.

ŽALNIERUKAS, Albinas; ČYPAS, Kęstutis (2006). Žemės paviršiaus skenavimo lazeriu iš orlaivio technologijos analizė. *Geodezija ir kartografija*, t. XXII, nr. 4, p. 101–105.

ŽALNIERUKAS, Albinas; RUZGIENĖ, Birutė; KALANTAITĖ, Aušra; VALAITIENĖ Rimanta (2009). Miestų skenavimo LIDAR metodu tikslumo analizė. *Geodezija ir kartografija*, t. XXXV, nr. 2, p. 55–60.

THE USE OF GIS TECHNOLOGY IN MODELLING OBSTACLE LIMITATION SURFACES OF AN AERODROME

Viktoras Paliulionis

Summary

There are many domains where the modelling, analysis and visualization of three-dimensional spatial data can be useful. The paper discusses the issues concerning the modelling of aerodrome obstacle limitation surfaces. They can help to detect obstacle in the flight path of an aircraft. To this end, digital relief and site models need to be created together with obstacle limitation surface models. A fast and effective algorithm of creating three-dimensional digital site

model which uses airborne laser scanning (LIDAR) data is proposed. The 3D visualization and analysis of the model are also discussed. The paper presents the experimental Akis-AER software designed to detect potential obstacles around an aerodrome and assess whether it is safe to install a new construction or to increase the height of the existing one in the navigating space around the aerodrome.