

Skaitmeninio reljefo modelio patikslinimas mozaikos funkcija

Aušra Kumetaitienė

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas: a.kumetaitiene@ivpk.lt

Jūratė Sužiedelytė-Visockienė

Vilniaus Gedimino technikos universitetas
El. paštas: a.kumetaitiene@ivpk.lt

IVADAS

Pastaraisiais dešimtmečiais visoje Europoje ypač padidėjo kelių transporto apimtys bei paklausa: apie 80% žmonių keliauja automobiliais, apie 44% – krovinių pervežimo transportu. Kasmet transporto priemonių Europos Sąjungoje padaugėja maždaug 3 milijonais, tad daugėja nelaimingų atsitikimų, žūčių ir sužeidimų keliuose, materialių nuostolių, pasireiškia žalingas transporto poveikis aplinkai.

Lietuvai tapus Europos Sąjungos nare, išaugo kokybiniai reikalavimai šalies kelių transporto sistemai. Šaliai būtina moderni kelių transporto informacinė infrastruktūra, atitinkanti augančius įvairių kategorijų kelių naudotojų poreikius ir užtikrinanti transporto paslaugas, kokias jau seniai teikia kitos pažangios Europos ir pasaulio valstybės, diegdamos intelektines transporto sistemas. Technologijų ir intelektinių transporto sistemų plėtrai Europoje skiriamas labai didelis dėmesys. Šiuo aspektu ypač išryškėjo poreikis įvertinti, kokius geografinius duomenis, susijusius su keliais, turime ir kiek tikslūs šie duomenys. Tai ypač svarbu projektuojant įvairias saugumą kelyje užtikrinančias mobilias priemones, padėsiančias naudotojams Lietuvos keliais važiuoti saugiai, operatyviai, gauti visą būtiną kelionės informaciją, o įvykus avarijai, kiek įmanoma greičiau gauti medicininę ir techninę pagalbą.

Šio tyrimo tikslas – remiantis geografiniais statistiniais metodais ištirti Vilniaus miesto pagrindinių gatvių skaitmeninio reljefo modelio (SRM), gauto pagal ortofotografiniu metodu išmatuotų taškų aukščių masyvą, tikslumą ir statistine analize įvertinti tikslumo kaitą, gatvių

duomenų masyvą suskaidant skirtingo pločio buferinėmis zonomis.

Sudaryto SRM tikslumo kontrolei pasirinktas stereofotogrametriniu metodu gautas taškų aukščių masyvus.

TYRIMŲ METODIKOS

Sprendžiant geostatistinius uždavinius tenka naudotis regionalizuotais duomenimis, kurių stochastinės savybės yra teritorijos geografinės padėties funkcijos. Gauti pradiniai matavimo rezultatai yra tarpiniai tarp grynai atsitiktinių ir grynai determinuotų dydžių. Modeliuojant reljefą, geografinės padėties funkcijų savybes lemia paviršiaus geomorfologiniai ypatumai. Reljefo paviršių modeliuojamų metodų (pvz., kringingo, *spline*, svorinio, daugianario) teorinis pagrindimas paremtas atsitiktinių dydžių statistine analize. Kadangi geostatistinių matavimų duomenų savybes sąlygoja teritorijos geografinė padėtis, ne visur vienodai gerai tinka vieni ar kiti modeliavimo metodai bei modeliavimo algoritmų parametrai. Todėl šiame tyrime SRM modeliuotas tinkamiausiu ir jau ne kartą patikrintu kringingo metodu, rankiniu būdu parenkant variogramos tipą bei laštelių parametrus. SRM sudarytas skaičiavimams panaudojant apskritiminę variogramą. Variograma – parametrinė funkcija, kuria nustatoma gretimų taškų aukščių koreliacija (statistinė priklausomybė). Ji naudojama optimaliausiam erdviniam sprendimui, t. y. gauti pačius bendriausius struktūrinio pavaizdavimo ypatumus, įvertinti objektų matmenis ir padėtį. Variograma parodo ribas teritorijų, kuriose išmatuoti dydžiai turi apibrėžto diapazono reikšmes. Jų naudojimo privalumas – paprastas matematinis realizavimas.

Su krigingu susijusios procedūros įvertina matavimų klaidas bei netikslumus (Chao-yi, 1995). Norint panaudoti variogramos funkciją, būtina nurodyti skaičiavimui naudojamų gretimų taškų skaičių ir ląstelės matmenis.

Paprastojo krigingo metodas naudoja modelį, išreikštą formule (Johnston et al, 2001):

$$H(s) = \mu \pm \varepsilon(s); \quad (1)$$

čia $H(s)$ – taško s aukščio reikšmė, μ – nežinomo aukščio vidurkio reikšmė, $\varepsilon(s)$ – nepriklausoma atsitiktinė paklaida. Vidurkis apskaičiuojamas iš aplinkinių žinomų taškų aukščių reikšmių.

TYRIMO OBJEKTAS

Eksperimentui panaudota Vokietijos Neubrandenburgo taikomųjų mokslų universitete sudaryta nedidelės (~ 4 km²) teritorijos (7 stereofotografinių modelių ribose) kartografinė duomenų bazė (KDB), apimanti Vilniaus miesto dalies (Savanorių prospektas kartu su viaduku, jungiančiu Naujamiesčio ir Lazdynų mikrorajonus) gatvių paviršiaus aukščių taškus. KDB orientavimas atliktas fotogrametriniu prietaisu *PLANICOMP P3* (Zeiss, Vokietija), modelio orientavimas ir fotogrametrinis tinklo taškų matavimas – programomis *P-CAP* ir *P-ATM*. Aerotrianguliacija apskaičiuota dviem – *BINGO* (Vokietija) ir *NLHBUNT* (Norvegija) – programomis, kurios išlygina ir apskaičiuoja išmatuotų taškų koordinatas remiantis atraminiais, geodeziškai koordinuotais taškais. Gauti tikslų skaičiavimų rezultatai pateikti 1 lentelėje. Jie yra panašūs, tik šiek tiek skiriasi svorio vieneto vidutinė kvadratinė paklaida m_0 , tačiau turint omenyje, kad leistina m_0 paklaida yra 4–12 μm , abu rezultatai yra geri (1 lentelėje) (Dörstel, 1995; Kresee, 1993). Abi programos yra tinkamos taškų išlyginimui.

Teritorijos aukščių taškai, gauti fotogrametrine analitine sistema *PHODIS* (Zeiss, Vokietija) (Dörstel, 1995; Kresee, 1993; Mayr, 1993; *Photogrammetrisches...*, 1999), yra pakankamai tikslūs. Gautų aukščių vidutinis kvadratinis paklaidų vidurkis siekia $m_{\Delta z} = 0,14$ m, didžiausi altitudžių skirtumai, lyginant su geometrinio niveliavimo rezultatais, –0,16 – +0,39 m (Žalnierukas, Kumetaitienė, 1999).

Skaitmeninis reljefo modelis sudarytas naudojant *ESRI ArcGIS* programų paketą su priedais *3D Analyst*, *Spa-*

tial Analyst ir *Geostatistical Analyst*, skirtais paviršiams modeliuoti ir darbui su rastro duomenimis (Environmental Systems..., 1998).

Turimas gatvių taškų aukščių masyvas sumodeliuotas stačiakampio rastro modeliu, sudarant SRM paprastojo krigingo metodu. SRM sudarytas pagal 9 gretimus taškus bei naudojant 2 × 2 metrų ląstelės matmenis.

Norint įvertinti gatvių SRM tikslumą, naudotas *ESRI ArcGIS* programos *Spatial Analyst* įrankis *Extraction*, kuriuo iš kontrolinių taškų masyvo taškams priskiriamos gatvių SRM ląstelių aukščių reikšmės. Programa nuskaito kiekvieno taško iš kontrolinių taškų masyvo koordinatas ir, pagal jas nustačiusi konkrečią ląstelę, nuskaito šios ląstelės aukščio reikšmę bei įveda ją į bendrą atributinių duomenų lentelę. Sudaromas naujas duomenų masyvas, iš kurio išmetami duomenys, kuriems nebuvo priskirtos ląstelių tinklėlio reikšmės. Taip sutvarkius duomenis, galima iširti viso duomenų masyvo tikslumą.

Tyrimo metu buvo siekiama nustatyti, kaip SRM tikslumas priklauso nuo gatvių aukščių taškų masyvui sudarytų buferinių zonų pločio. Šiam uždaviniui atlikti naudojamas įrankis *Buffer*, kuris apjuosia išmatuotus gatvių taškus buferinėmis zonomis. Didinant šias zonas, tiriamas sudaryto SRM tikslumo konkrečiose zonose pokytis bei tendencijos.

Siekiant palyginti dviejų aukščių taškų masyvus, naudojant *ESRI ArcGIS* programų paketą, pagal gatvių taškų masyvo duomenis gautas SRM. Šis SRM sudarytas paprastojo krigingo metodu.

Vėliau, įvertinus ląstelės aukštį ir kontrolinių taškų aukščių duomenis, patikslintas SRM. Gautas standartinio nuokrypio įvertis σ yra 3,38 m. Iš viso tyrimui panaudota 10900 bendrų taškų (1 pav.).

BUFERINĖS ZONOS DYDŽIO ĮTAKA SRM STANDARTINIO NUOKRYPIO ĮVERČIO REIKŠMEI

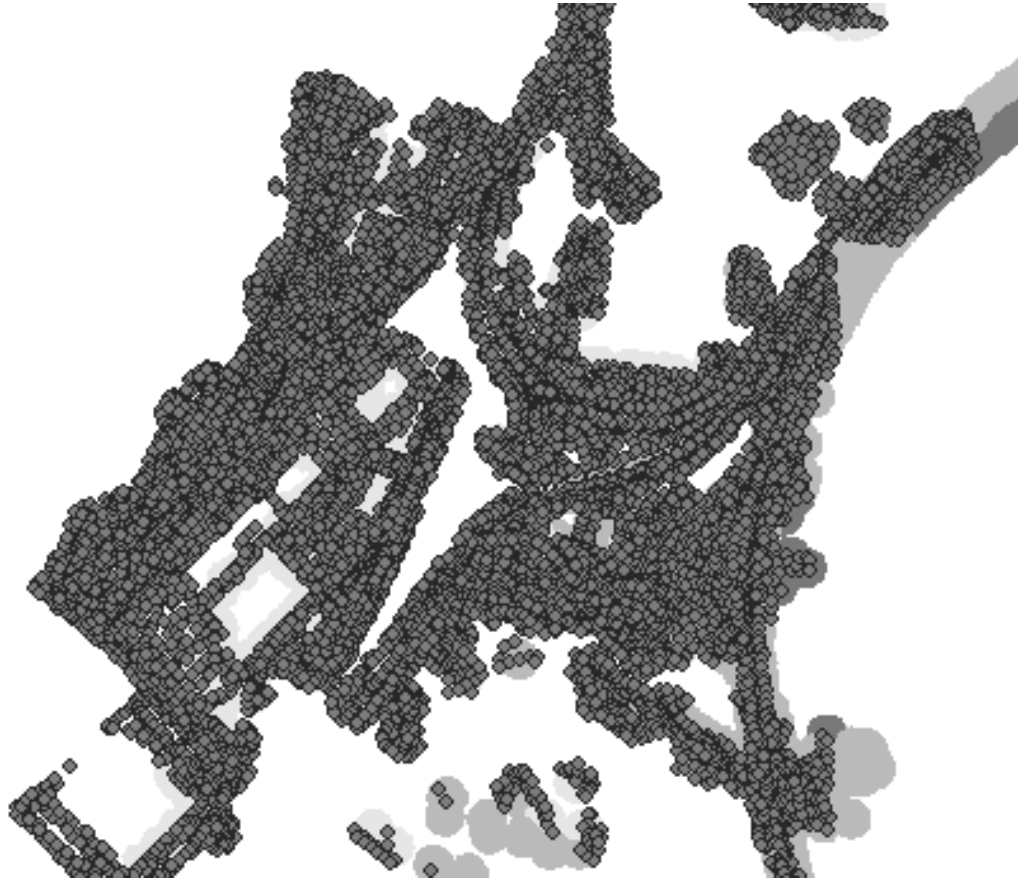
Vertinant priklausomybę tarp standartinio nuokrypio skaitinės reikšmės, atliktas tyrimas, kurio metu gatvių taškų masyvas padalytas į buferines zonas, pradedant nuo 5 metrų ir nuosekliai kas 5 metrus plečiant šias zonas iki 35 metrų (2 pav. tiriami taškai pažymėti balta spalva, o buferinės zonos, juosiančios šiuos taškus, – pilka).

Tyrimo metu gauto SRM, suskirstyto į buferines zonas, tikslumas buvo vertinamas naudojant stereofotogra-

1 lentelė. Fotogrametrinio tinklo išlyginimo skirtingomis programomis rezultatai

Table 1. Results of photogrammetric network equation by different programs

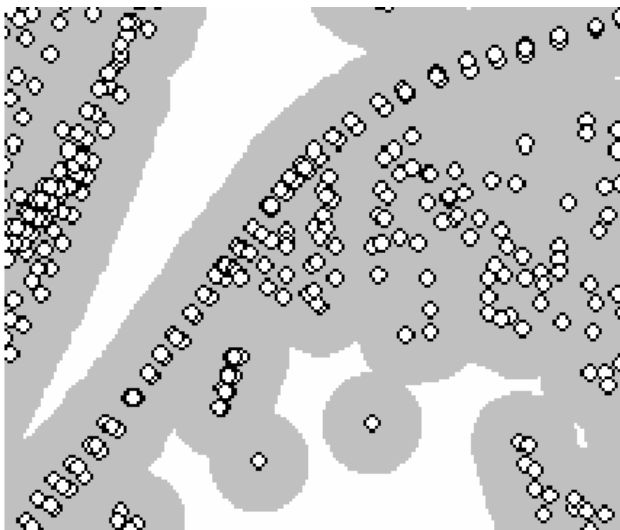
Naudotos programos <i>Programs</i>	Išlygintų ryšio taškų vidutinių kvadratinų paklaidų vidurkiai m <i>Level connect points mean-root-square average, m</i>			Didžiausios vidutinės kvadratinės paklaidos m <i>Largest mean-root-square, m</i>			Svorio vieneto vid. kv. pakl. μm <i>Weight unit mean-root-square, μm</i>
	m_x	m_y	m_z	$m_{x \max}$	$m_{y \max}$	$m_{z \max}$	m_0
<i>BINGO</i>	0,030	0,035	0,062	0,049	0,069	0,098	4,6
<i>NLHBUNT</i>	0,029	0,022	0,050	0,046	0,060	0,064	7,67



1 pav. Taškų masyvas, pagal kurį sudarytas gatvių SRM
 Fig. 1. Point array used to compile the DTM of streets

metriškai išmatuotus kontrolinius taškus. Į skirtingas zonas suskaidyto skaitmeninio reljefo modelio tikslumas pateiktas 2 lentelėje.

Atliktų tyrimų rezultatai rodo, kad sudaromo reljefo modelio tikslumas tiesiogiai priklauso nuo buferinių zonų dydžio. Didėjant buferinei zonai, mažėja skaitmeninio reljefo modelio tikslumas (3 pav.). Kaip matyti iš 4 paveikslėlio, kiekvienoje iš sudarytų buferinių zonų taškų skaičius skirtingas. Daugiausia taškų papuola į 10 metrų



2 pav. Aukščio taškai, apjuosti 15 m buferinėmis zonomis
 Fig. 2. 15-m buffer zones around the high points

buferinę zoną, antra pagal panaudotų taškų skaičių yra 5 metrų buferinė zona. Tačiau pastebima, kad ne visi taškai pakliūva į nedidelio pločio buferines zonas. Taigi didesnio pločio buferinėse zonose ženkliai mažėja SRM tikslumas. 35 metrų buferinės zonos standartinio nuokrypio įvertis yra 5,97 metro.

SRM MOZAIKOS SUDARYMAS

Tyrimo metu išsiaiškinta, kad turimi duomenys yra pakankamai tikslūs, kai buferinės zonos siekia iki 15 metrų (2 lentelė). Turint tos pačios teritorijos anksčiau sudaryto SRM duomenis, dalį jų galima pakeisti naujai gautu modeliu, mūsų atveju – gatvių SRM.

Kaip pavyzdys tyrimui paimtas pirmasis skaitmeninis 1:50000 mastelio visos Lietuvos reljefo modelis (toliau – SRM50), kuris buvo sudarytas 1996 m. GIS centre (GIS-Centras, 1999) naudojant stačiakampių tinklą. Vėliau šis modelis buvo kelis kartus tikslinamas remiantis papildomais aukščių ir hidrografijos duomenimis. Sudarant SRM buvo panaudoti taškų aukščiai ir horizontalės. Aukščių taškai gauti skaitmeninant 1:50 000 mastelio topografinių žemėlapių, išleistų 1975–1990 m., horizontales ir aukščių ženklinius. Pradinių duomenų tikslumas atitinka 1:50 000 mastelio žemėlapiui keliamus reikalavimus. 1:50 000 mastelio topografinių žemėlapių horizontalių laiptas yra 10 metrų. Dėl tuo metu ribotų skaičiavimo technikos resursų pasirinktas 50 × 50 m (iš viso 46533375

2 lentelė. I buferinės zonos suskaidyto SRM tikslumas

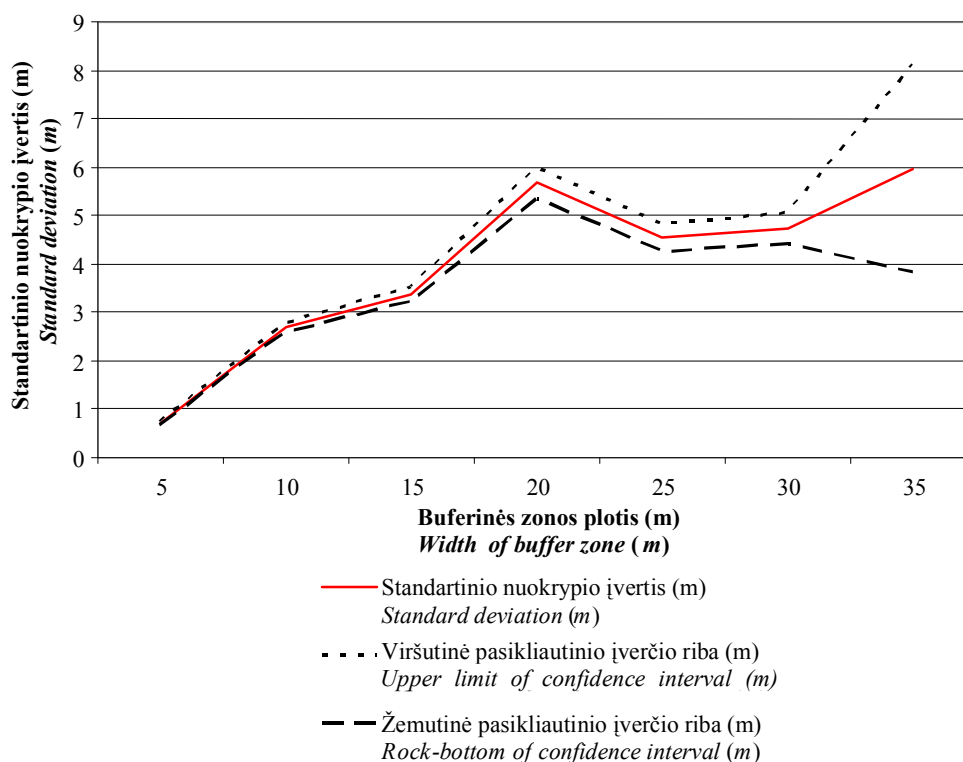
Table 2. Accuracy of DTM separated to buffer zones

Bufėrinės zonos plotis m <i>Width of buffer zone, m</i>	Standartinio nuokrypio įvertis σ m <i>Standard deviation σ, m</i>	Standartinio nuokrypio įverčio pasikliautinis intervalas m, kai $q = 0,05$ <i>Confidence interval of standard deviation, m, $q = 0,05$</i>	
5	0,70	0,67	0,73
10	2,71	2,62	2,80
15	3,38	3,22	3,53
20	5,68	5,36	5,99
25	4,54	4,26	4,83
30	4,74	4,41	5,07
35	5,97	3,83	8,11

3 lentelė. SRM tikslumo palyginimas

Table 3. DTM accuracy comparison

	Standartinio nuokrypio įvertis σ m <i>Standard deviation, σ m</i>	Standartinio nuokrypio įverčio pasikliautinis intervalas m, kai $q = 0,05$ <i>Confidence interval of standard deviation, m, $q = 0,05$</i>	
SRM50	5,09	4,99	5,19
Patikslintas SRM50 Qualified SRM50	3,39	3,33	3,45



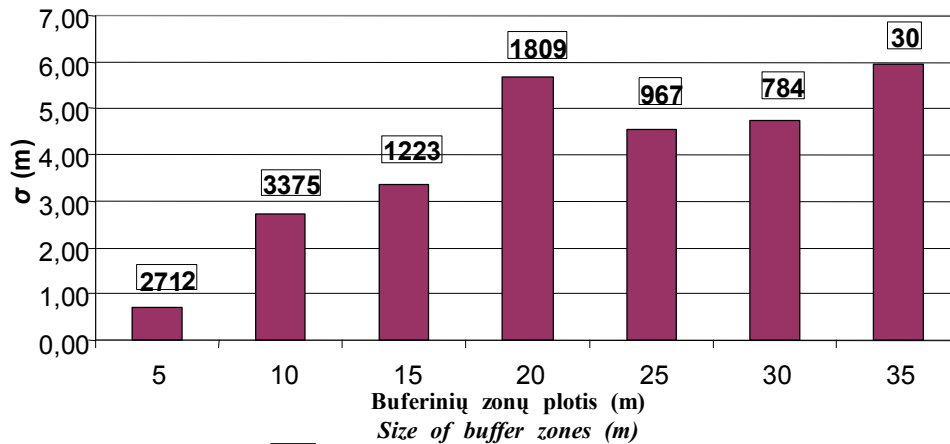
3 pav. Pasikliautinio intervalo sklaida didėjant buferinės zonos pločiui

Fig. 3. Confidence interval spread with increasing buffer zone dimension

ląstelės) tinklinio modelio ląstelės dydis. Kadangi paviršiaus modelis buvo sudaromas *ArcInfo* (Environmental Systems..., 1998) programine įranga, reljefo modeliavimui pasirinktas *ESRI GRID* tinklinių duomenų kodavimo formatas. Paviršiaus modeliui sudaryti panaudotas kriginio linijinių ir taškinių duomenų interpoliavimo al-

goritmas (Petroe, Kennie, 1990), sudarytas Baltijos koordinacijų sistemoje (centrinis meridianas – 24 laipsniai, mastelis ties ašiniu meridianu – 0,9996).

SRM50 išikeltas į projektą ir palikta mus dominanti teritorija. Kad tyrimas būtų efektyvus, SRM50 ląstelių dydžiai sumažinami iki 2×2 metrų.



271 – Skaičiavimams naudotų taškų skaičius
271 – Number of points used for calculations

4 pav. Standartinio nuokrypio įverčio priklausomybė nuo buferinės zonos pločio bei skaičiavimams naudotų taškų skaičiaus

Fig. 4. Standard deviation dependence on buffer zone dimension and the number of points used for calculation

Pakeitus SRM50 duomenis tyrimo metu gautu tikslesniu SRM (buferinės zonos iki 15 m), šio SRM tikslumas labai pagerėja (3 lentelė). Nustatytas standartinio nuokrypio įvertis σ yra 5,09 m; pakeitus gatvių duomenimis tikslesniais, jis sumažėja iki 3,39 m (3 lentelė). Patikslintas SRM50 yra tikslesnis 33%.

Tyrimo metu akivaizdžiai įrodoma, kad ir gausūs, tačiau reikalingi pradiniai duomenys sėkmingai gali būti panaudoti sprendžiant reikiamus uždavinius, ypač kai yra papildomas duomenų šaltinis ir vieni duomenys papildomi kitais, kad susidarytų tikslus bendras vaizdas.

IŠVADOS

1. Modeliuojant paviršių, rekomenduojama įvertinti ne tik gauto modelio, bet ir pradinių duomenų tikslumą. Kontrolei naudojamų taškų aukščių vidutinė kvadratinė paklaida siekia $m_{Az} = 0,14$ m.

2. Skaitmeninio reljefo modelio tikslumas tiesiogiai priklauso nuo parinktų buferinių zonų dydžio. Penkių metrų buferinės zonos standartinio nuokrypio įverčio tikslumas yra $\sigma = 0,70$ m, o 35 metrų buferinės zonos – $\sigma = 5,97$ m.

3. Tikslumo reikalavimai tenkinami, kai buferinės zonos plotis imamas iki 15 m, tuomet standartinio nuokrypio įvertis $\sigma = 3,38$ m.

4. Geriausių rezultatų pasiekama, kai yra galimybė patikslinti SRM į jį įterpian turimus tikslesnius duomenis. Eksperimentu nustatyta, kad tuomet SRM tikslumas pagerėja iki 33%, standartinio nuokrypio įvertis sumažėja nuo 5,09 iki 3,39 m.

5. Turint aktualų bei tikslesnį nedidelės teritorijos SRM, jį galima įterpti į mažesnio tikslumo SRM. Tokiu atveju pastarojo SRM tikslumas ženkliai pagerėja, kartu sudaromas visapusiškesnis ne tik aktualios nedidelės teritorijos SRM, bet daug platesnės teritorijos vaizdas.

Gauta 2006 09 30
Accepted 2006 10 16

Literatūra

- Chao-yi L. (1995). *Kriging interpolation*. Dept. of Computer Science, Cornell University, URL: www.nbb.cornell.edu/neurobio/land/OldStudentProjects/cs490-94to95/clang/kriging.html, 2005 01 27.
- Johnston K., Ver Hoef J. M., Krivoruchko K., Lucas N. (2001). *Using ArcGIS Geostatistical Analyst*. Redlands, CA: ESRI Press. 300 p.
- Dörstel Ch. (1995). *PHODIS Innovations. Photogrammetric Week'95*. Stuttgart: Wichmann Verlag. 5–10.
- Kresee W. (1993). *Digital orthophoto with PHODIS. Photogrammetric Week'93*. Karlsruhe. Wichmann. 11–16.
- Mayr W. (1993). *Photogrammetric digital image processing at Carl Zeiss. Photogrammetric Week'93*. Karlsruhe: Wichmann. 137–142.
- Photogrammetrisches Bildverarbeitungssystem PHODIS. Handbuch 51-1254d Revision 9707*. (1999). Zeiss. 3–137.
- Žalnierukas A., Kumetaitenė A. (1999). Topografinių duomenų bazių, sukurtų stereofotogrametriniu būdu, taškų altitudžių tikslumas. *Geodezija ir kartografija. XXV(3)*: 113–118.
- Environmental Systems Research Institute. (1998). *Arc/Info v7.0.2 Manual*. Redlands. C A: ESRI, Inc.
- Petroe G., Kennie T. J. M. (1990). *Terrain Modelling in Surveying and Civil Engineering*. New York: McGraw-Hill, Inc.

Aušra Kumetaitenė, Jūratė Sužedelytė-Visockienė

CORRECTIONS OF DIGITAL TERRAIN MODEL ACCURACY BY MOSAIC FUNCTION

Summary

The introduction presents the importance of the problems, aims and methods of research, scientific novelty and practical importance of the digital terrain model.

“Analysis of Methods” presents a review of the techniques of compiling digital terrain models (DTM) depending on

statistical analyses of stochastic data. The data conditioned the geographic position and parameters of the algorithms of modeling. DTM are compiled by the kriging methods. DTM was made using a circular variogram.

Analysis of the possibilities and accuracy of DTM modeling by means of the kriging method are presented. Initial data were obtained by stereophotogrammetric and analytic methods with a *PLANICOMP P2* photogrammetric instrument, *P-CAP*, *P-ATM*, *BINGO* (Germany), *NLHBUNT* (Norway) software and a *PHODIS* photogrammetry work station (Germany). The DTM was created by the kriging method with ESRI ArcGis software where the size of cells is 2×2 m. The accuracy of the DTM was evaluated using the *Extraction* package of *ESRI ArcGIS* software.

“The impact of buffer zone size on the value of DTM standard deviation” presents the DTM applied to a buffer zone from 5 to 35 m. The accuracy of the results are calculated.

DTM model accuracy directly depended on the size of the buffer zone.

The chapter “Creation of DTM mosaic” describes the possibility of using old and upgraded data for DTM creation. Results were the most accurate using the DTM.

General conclusions

1. The modeling terrain model is recommended for evaluating data accuracy. The mean-root-square of the high points was $m_{\Delta z} = 0.14$ m.

2. The accuracy of DTM is directly dependent on the size of the buffer zone. Standard deviation for the buffer zone 5 m is $\sigma = 0.70$ m and for 35 m $\sigma = 5.97$ m.

3. The best results are achieved when it is possible to renew the old DTM data base. During the experiment, the accuracy improved by 33% and standard deviation decreased from 5.09 to 3.39 m.