

UDK 528.14

GPS VIRTUALIOSIOS REFERENCINĖS STOTIES REGRESINIO PROGNOZINIO MODELIO EKSPERIMENTINIAI TYRIMAI

Jonas Skeivalas, Robertas Dargis

Geodezijos ir kadastro katedra, Vilniaus Gedimino technikos universitetas,
Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lietuva
El. paštas Jonas.Skeivalas@ap.vgtu.lt, robertas@eika.lt

[teikta 2007 07 27, priimta 2007 09 27]

Santrauka. Straipsnyje pristatomi eksperimentiniai GPS metodu nustatytų taškų koordinatėms pataisų tikslumo tyrimai, sudarant GPS virtualiųjų stočių regresinius prognozinis modelius. Regresinių prognozių lygčių parametrų reikšmės apskaičiuojamos mažiausiųjų kvadratų metodu, taikant kolokaciją ir žinomas tikslas GPS referencinių stočių koordinatas bei išmatuotų atitinkamų GPS dydžių reikšmes. GPS vartotojo imtuvu išmatuotų prognozių koordinatėms pataisų skaičiuojamos pagal virtualiosiose stotyse sudarytus regresinius modelius, taikant apskaičiuotas parametrų reikšmes. Pagal prognozius modelius nustatytų GPS vartotojo imtuvo prognozių koordinatėms tikslumas įvertinamas jų kovariacijų matricių įverčiais.

Reikšminiai žodžiai: GPS referencinės stotys, regresija, kovariacija, prognozė.

1. Įvadas

Straipsnyje siūlomas GPS virtualiųjų stočių regresinis prognozinis modelis GPS vartotojo imtuvu išmatuotų taškų koordinatėms pataisoms skaičiuoti. Regresinių lygčių parametrų reikšmės nustatomos mažiausiųjų kvadratų metodu, taikant kolokaciją ir žinomas GPS referencinių stočių koordinatėms pataisus bei šių stočių geodezinės padėties duomenis. GPS virtualiųjų stočių regresiniams prognoziams modeliams sudaryti naudotasi Lietuvos 1-osios ir 2-osios klasių GPS tinklų matavimų duomenimis. Skaičiavimams atlikti parengtos kompiuterinės programos *Matlab* programinio paketo aplinkoje. Taikant GPS virtualiosios stoties modelį analizuojamas GPS vartotojo imtuvu nustatytų taškų prognozių koordinatėms tikslumas.

2. Regresinio kolokacinio modelio teorinio principo apžvalga

Troposferos ir jonosferos įtakai GPS matavimų rezultatams eliminuoti yra sudaromas GPS referencinių stočių tinklas [1–4]. Kadangi GPS referencinės stotys įrengiamos taškuose, kurių koordinatės tiksliai žinomos (su keleto milimetrų ar centimetrų klaidomis), tai kiekviena GPS referencinė stotis pagal priimtus dirbtinių Žemės palydovų (DŽP) kodinius ir nešlio signalus gali apskaičiuoti apytiksliai išmatuotų koordinatėms, pseudoatstumų bei nešlio fazių skirtumų pataisus. GPS vartotojas, taikydamas GPS referencinių stočių transliuojamas šių dydžių pataisus GPS virtualiosios stoties modelio pavidalu, apskaičiuoja tikslas savo

imtuvo koordinatas pagal išmatuotus apytikslius atitinkamus dydžius.

GPS virtualiosios referencinės stoties modelio parametrus skaičiuoti sudaroma parametrinių pataisų lygčių sistema blokinių matricių pavidalu [5, 6]:

$$V = A\tau - \delta F_0 = \begin{pmatrix} A_u & A_e \\ 0 & E \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \tau_u \\ \tau_e \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \delta F \\ \delta H_e \end{pmatrix}, \quad (1)$$

čia $V = (V_u^T V_e^T)^T$, $\delta F_0 = (\delta F^T \delta H_e^T)^T$ – laisvųjų narių vektorius, $\tau = (\tau_u^T \tau_e^T)^T$ – nustatomų parametrų vektorius, $V_u = \delta \tilde{F} - \delta F$ – tiksliai išmatuotų dydžių išlygintųjų pataisų vektorius kaip išlygintųjų ir tikslų dydžių vektorius skirtumas, $V_e = \tilde{H}_e - H_e$ – tiksliai išmatuotų elipsoidinių aukščių išlygintųjų pataisų vektorius kaip išlygintųjų ir tikslų elipsoidinių aukščių vektorius skirtumas, $\delta F = \bar{F} - F$ – tikslų ir apytikslių išmatuotų dydžių skirtumų vektorius, $\delta H_e = \bar{H}_e - H_e$ – tikslų ir apytikslių išmatuotų elipsoidinių aukščių skirtumų vektorius.

Parametrinių lygčių koeficientų matricoms A_u ir A_e sudaryti taikomos redukuotosios apytikrės epochinių matavimų metu nustatytos referencinių stočių koordinatės ir elipsoidiniai aukščiai.

Parametrinių pataisų lygčių sistema (1) sprendžiama mažiausiųjų kvadratų metodu, ir gaunami GPS referencinių stočių tiksliai išmatuotų dydžių (koordinatėms, nešlio fazių skirtumų ir pseudoatstumų) išlygintųjų

reikšmių vektorius $(\delta\tilde{\mathbf{F}} = \delta\mathbf{F} + \mathbf{V}_u)$ bei parametru reikšmių vektorius τ [5].

Parametru reikšmių vektorius τ skaičiuojamas iš normalinių lygčių sistemos:

$$\tau = \mathbf{N}^{-1} \mathbf{A}^T \mathbf{P} \cdot \delta\mathbf{F}_0, \quad (2)$$

čia $\mathbf{N} = \mathbf{A}^T \mathbf{P} \mathbf{A}$ – normalinių lygčių koeficientų matrica, $\mathbf{P} = (\mathbf{P}_u \mathbf{P}_e)_{\text{diag}}$ – referencinių stočių atitinkamų dydžių pataisų $\delta\mathbf{F}_i$ ir elipsoidinių aukščių pataisų $\delta\mathbf{H}_{e,i}$ svorių matrica.

Normalinių lygčių koeficientų matricą \mathbf{N} rašome blokiniu pavidalu:

$$\mathbf{N} = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_u & \mathbf{A}_e \\ 0 & \mathbf{E} \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} \mathbf{P}_u & \\ & \mathbf{P}_e \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{A}_u & \mathbf{A}_e \\ 0 & \mathbf{E} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_u^T \mathbf{P}_u \mathbf{A}_u & \mathbf{A}_u^T \mathbf{P}_u \mathbf{A}_e \\ \mathbf{A}_e^T \mathbf{P}_u \mathbf{A}_u & \mathbf{A}_e^T \mathbf{P}_u \mathbf{A}_e + \mathbf{P}_e \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{21} & N_{22} \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Apskaičiuotų parametru reikšmių vektoriaus τ tikslumas įvertinamas jų kovariacijų matrica \mathbf{K}_τ :

$$\mathbf{K}_\tau = \sigma_0^2 \mathbf{N}^{-1} = \sigma_0^2 \begin{pmatrix} \mathbf{Q}_{11} & \mathbf{Q}_{12} \\ \mathbf{Q}_{21} & \mathbf{Q}_{22} \end{pmatrix}, \quad (4)$$

čia σ_0 – matavimo rezultato, kurio svoris lygus vienetui, standartinis nuokrypis.

Standartinio nuokrypio įvertis m_0 gaunamas iš formulės:

$$\sigma_0^2 \approx m_0^2 = \frac{1}{n-k} \mathbf{V}^T \mathbf{P} \mathbf{V}. \quad (5)$$

3. GPS vartotojo imtuvo koordinatų pataisų prognozinius modelis

GPS virtualiosios referencinės stoties regresinio modelio parametru reikšmių vektorius τ taikomas GPS vartotojo imtuvu nustatomų taškų koordinatų pataisų prognoziniui modeliui sudaryti. Modelis įgauna išraišką:

$$\delta\mathbf{T}_v = \mathbf{A}_v \tau = \mathbf{A}_{vu} \tau_u + \mathbf{A}_{ve} \tau_e, \quad (6)$$

čia $\delta\mathbf{T}_v$ – GPS imtuvu nustatomų taškų koordinatų pataisų vektorius, \mathbf{A}_v – koeficientų matrica, sudaroma pagal vartotojų imtuvais nustatytas apriorines redukuotąsias taškų koordinatas (X'_v, Y'_v, Z'_v) , taikant išraišką (8).

GPS vartotojų imtuvų prognozinių koordinatų vektorius gaunamas taip:

$$\tilde{\mathbf{T}}_v = \mathbf{T}_v + \delta\mathbf{T}_v, \quad (7)$$

čia $\mathbf{T}_v \rightarrow (\mathbf{T}_1, \mathbf{T}_2, \dots, \mathbf{T}_n)^T$, $\mathbf{T}_i \rightarrow (X_i, Y_i, Z_i)^T$, n – GPS vartotojo imtuvų skaičius.

GPS vartotojo imtuvo koordinatų pataisų prognoziniui modeliui naudojamas parametru reikšmių vektorius τ , apskaičiuotas pagal GPS virtualiosios referencinės stoties modelį, sudarytą taikant koordinatų korekciją. Šiuo atveju matricos \mathbf{A}_u ir \mathbf{A}_e yra tokio blokiniu pavidalo [7, 8]:

$$\mathbf{A}_u = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_{u_1} \\ \vdots \\ \mathbf{A}_{u_r} \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A}_e = (\mathbf{A}_{e_1}, \dots, \mathbf{A}_{e_r})_{\text{diag}},$$

čia $i = 1, 2, \dots, r$ – referencinių stočių eilės numeriai.

Blokinės dalys \mathbf{A}_{u_i} sudaromos taikant referencinių stočių redukuotąsias koordinatas $(X'_i, Y'_i, Z'_i) = \{(x_i - x_{\text{vid.}}) \cdot 10^{-5}, (y_i - y_{\text{vid.}}) \cdot 10^{-5}, (z_i - z_{\text{vid.}}) \cdot 10^{-5}\}$,

$$\mathbf{A}_{u_i} = \begin{pmatrix} \mathbf{A}_{x_i} \\ \mathbf{A}_{y_i} \\ \mathbf{A}_{z_i} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} X'_i & Y'_i & Z'_i & X_i'^2 & 0 & 0 \\ X'_i & Y'_i & Z'_i & 0 & Y_i'^2 & 0 \\ X'_i & Y'_i & Z'_i & 0 & 0 & Z_i'^2 \end{pmatrix} \quad (8)$$

taikant 6 parametru modelį.

Matricos \mathbf{A}_e blokinė dalis \mathbf{A}_{e_i} yra lygi

$$\mathbf{A}_{e_i} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & \dots & \mathbf{H}'_{e_i} & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \mathbf{H}'_{e_i} & \dots & 0 \\ 0 & 0 & \dots & \mathbf{H}'_{e_i} & \dots & 0 \end{pmatrix},$$

čia $\mathbf{H}'_{e_i} = \mathbf{H}_e \cdot 10^{-2}$ – redukuotasis elipsoidinis aukštis.

GPS vartotojo imtuvo koordinatų pataisų vektoriaus $\delta\mathbf{T}_v$ kovariacijų matrica $\mathbf{K}_{\delta\mathbf{T}_v}$ yra šio pavidalo:

$$\mathbf{K}_{\delta\mathbf{T}_v} = \mathbf{A}_{vu} \mathbf{K}_{\tau_u} \mathbf{A}_{vu}^T = \sigma_0^2 \mathbf{A}_{vu} \mathbf{Q}_{11} \mathbf{A}_{vu}^T. \quad (9)$$

4. Eksperimentinio modeliavimo rezultatai

GPS virtualiosios referencinės stoties regresiniam modeliui sudaryti buvo panaudoti Lietuvos 1-osios ir 2-osios klasių GPS tinklo matavimų duomenys (1993–1995 m. GPS dienos). Pagal šiuos duomenis kiekvienai GPS tinklo klasei buvo sudaryta po keturis GPS referencinių stočių klasterius: Vakarų, Rytų, Pietų ir Šiaurės Lietuvos dalyse. Pirmosios klasės klasteriai buvo sudaryti iš 3 referencinių stočių. Tokios buvo GPS tinklo matavimo duomenų teikiamos galimybės, nes regresiniams modeliams sudaryti yra būtini GPS matavimų rezultatai, gauti tais pačiais laiko momentais, t. y. tomis pačiomis epochomis. Pirmosios klasės

klasteriuose naudota po vieną kontrolinę vartotojo stotį, o antrosios klasės – po 2 ir 3 kontrolines vartotojo stotis. Pirmosios klasės klasteriuose atstumai tarp GPS referencinių stočių – 50–80 km, o antrosios klasės klasteriuose – 10–20 km. Skirtumai GPS pirmosios ir antrosios klasių klasteriuose tarp tikslų referencinės stoties koordinatų ir pavienėse epochose apytiksliai išmatuotų – nuo keleto metrų iki keleto dešimčių metrų. Maždaug tokio pat didumo skirtumai buvo ir kontrolinėse vartotojo stotyse.

GPS virtualiųjų referencinių stočių 6-osios ir 9-osios eilės regresiniai modeliai buvo sudaryti taikant paprastąsias regresines lygtis bei regresines lygtis su papildomomis kolokacinėmis lygtimis. Skaičiavimai atlikti pagal sudarytą kompiuterinę programą *VRSk.m*, panaudojus *Matlab* programinio paketo operatorius. Variantuose apskaičiuotieji GPS virtualiųjų stočių regresinių modelių parametrai buvo naudojami GPS vartotojo imtuvo koordinatų nustatymo prognoziniam modeliui sudaryti (6). Kontrolinių GPS vartotojo imtuvų apskaičiuotų prognozinių koordinatų nuokrypiai nuo jų tikrųjų koordinatų parodyti 1–6 lentelėse.

1 lentelė. 1-osios klasės klasterio kontrolinio GPS vartotojo imtuvo (Piliuona, Pietų Lietuva) prognozinių koordinatų nuokrypiai, taikant modelį *VRS.m*

Table 1. Prognostics coordinates deviations of 1st class cluster of GPS user control recipient (Piliuona, South Lithuania)

Epochos	Koordinatų nuokrypiai, kai taikomas					
	6-osios eilės regresinis kolokacinis modelis, m			9-osios eilės regresinis kolokacinis modelis, m		
	$\delta X, m$	$\delta Y, m$	$\delta Z, m$	$\delta X, m$	$\delta Y, m$	$\delta Z, m$
1	-0,1411	-0,0302	-0,6175	-1,3441	-0,8982	-1,9105
2	0,5428	0,3007	-0,4643	0,9348	0,0767	-0,1283
3	-0,0108	-0,1931	-0,1075	-0,6878	-0,6661	-0,8845
4	-0,0006	0,0910	-0,4872	-0,6946	-0,2130	-0,8402
5	0,0677	0,1858	0,0029	0,3007	0,2758	0,3969
6	0,2032	-0,1461	-0,4074	0,7642	0,0899	0,0336

2 lentelė. 1-osios klasės klasterio kontrolinio GPS vartotojo imtuvo (Padvarninkai, Šiaurės Lietuva) prognozinių koordinatų nuokrypiai, taikant modelį *VRS.m*

Table 2. Prognostics coordinates deviations of 1st class cluster of GPS user control recipient (Padvarninkai, North Lithuania)

Epochos	Koordinatų nuokrypiai, kai taikomas					
	6-osios eilės regresinis kolokacinis modelis, m			9-osios eilės regresinis kolokacinis modelis, m		
	$\delta X, m$	$\delta Y, m$	$\delta Z, m$	$\delta X, m$	$\delta Y, m$	$\delta Z, m$
1	0,1726	0,4301	0,0584	0,4996	-0,6379	0,1564
2	-0,0017	0,1286	-0,2717	0,0943	-0,8534	-0,8937
3	-0,2527	0,3690	0,1417	-0,1767	0,4070	0,2327
4	0,2019	-0,7126	0,1713	0,0789	-0,1436	0,2003
5	0,3406	0,1650	-0,4754	0,4456	-0,1850	-0,7134
6	-0,3167	0,3515	0,0660	-0,2027	-0,6675	-0,3180

3 lentelė. 1-osios klasės klasterio kontrolinio GPS vartotojo imtuvo (Piliuona, Pietų Lietuva) prognozinių koordinatų nuokrypiai, taikant modelį *VRSk.m*

Table 3. Prognostics coordinates deviations of 1st class cluster of GPS user control recipient (Piliuona, South Lithuania)

Epochos	Koordinatų nuokrypiai, kai taikomas					
	6-osios eilės regresinis kolokacinis modelis, m			9-osios eilės regresinis kolokacinis modelis, m		
	$\delta X, m$	$\delta Y, m$	$\delta Z, m$	$\delta X, m$	$\delta Y, m$	$\delta Z, m$
1	-0,4401	0,0498	-0,8665	0,4799	0,9778	-0,2845
2	0,2398	0,1497	-0,7483	1,0388	0,4577	-0,0733
3	-0,2298	-0,0891	-0,2845	0,6362	0,5309	0,5765
4	-0,2666	0,0970	-0,7182	-0,1306	0,5300	-0,3192
5	0,2487	0,1488	0,1559	-0,4243	-0,3902	-0,2751
6	0,2712	-0,0011	-0,3294	0,7832	0,2259	-0,0224

4 lentelė. 1-osios klasės klasterio kontrolinio GPS vartotojo imtuvo (Padvarninkai, Šiaurės Lietuva) prognozinių koordinatų nuokrypiai, taikant modelį *VRSk.m*

Table 4. Prognostics coordinates deviations of 1st class cluster of GPS user control recipient (Padvarninkai, North Lithuania)

Epochos	Koordinatų nuokrypiai, kai taikomas					
	6-osios eilės regresinis kolokacinis modelis, m			9-osios eilės regresinis kolokacinis modelis, m		
	$\delta X, m$	$\delta Y, m$	$\delta Z, m$	$\delta X, m$	$\delta Y, m$	$\delta Z, m$
1	0,8506	0,5931	0,7424	0,4996	-0,6379	0,1564
2	0,8003	0,3226	0,5373	0,0943	-0,8534	-0,8937
3	-0,3377	0,3520	0,0567	-0,1767	0,4070	0,2327
4	-0,1971	-0,8076	-0,2307	0,0789	-0,1436	0,2003
5	0,5766	0,2120	-0,2374	0,4456	-0,1850	-0,7134
6	0,4903	0,5465	0,8800	-0,2027	-0,6675	-0,3180

5 lentelė. 2-osios klasės klasterio 3-jų kontrolinių GPS vartotojo imtuvų (Pietų Lietuva) prognozinių koordinatų nuokrypiai, kai GPS virtualiosios stoties modelis iš 4 referencinių stočių, taikant modelį *VRS.m*

Table 5. Prognostics coordinates deviations of 2nd class cluster of GPS user control recipient (South Lithuania) GPS virtual station models using 4 reference stations

Epochos	Koordinatų nuokrypiai, kai taikomas					
	6-osios eilės regresinis modelis, m			9-osios eilės regresinis modelis, m		
	$\delta X, m$	$\delta Y, m$	$\delta Z, m$	$\delta X, m$	$\delta Y, m$	$\delta Z, m$
	0,0016	0,0036	-0,0042	-0,0024	-0,0004	-0,0082
1	-0,0093	0,0320	0,0010	-0,0053	0,0000	0,0000
	0,0020	0,0090	-0,0078	-0,0010	-0,0010	-0,0308
2	0,1038	-0,0543	0,0257	0,1448	-0,0303	0,0507
	0,1190	-0,0176	-0,0384	-0,3790	0,2974	-0,0314
	0,1107	-0,0593	0,0018	0,2947	-0,0243	0,1248
	-0,0598	0,0613	-0,0080	-0,1278	0,0223	-0,0480
3	0,0395	0,3922	0,0645	1,4725	0,0562	-0,1045
	-0,0169	0,1346	0,0268	-0,6059	-0,0174	-0,2012
	-0,0665	-0,0094	-0,0382	-0,0855	-0,0174	-0,0582
4	0,0971	-0,1024	-0,0002	0,1531	-0,2984	0,0568
	0,0630	-0,1661	-0,0324	0,0680	-0,1371	-0,0554

5 lentelės pabaiga

	0,1371	-0,0534	0,0404	0,1021	-0,0724	0,0184
5	-0,0421	-0,0921	-0,0177	0,6539	-0,2771	-0,0887
	0,0388	0,0155	0,0531	-0,2412	-0,0475	-0,0509
	-0,0862	0,1010	-0,0045	-0,0322	0,1330	0,0535
6	0,3868	0,1624	0,0192	0,1208	0,6914	-0,0708
	0,1907	-0,0809	-0,0142	0,2517	-0,0919	0,1338

6 lentelė. 2-osios klasės klasterio 2-jų kontrolinių *GPS* vartotojo imtuvų (Pietų Lietuva) prognozinių koordinatų nuokrypiai, kai *GPS* virtualiosios stoties modelis iš 4 referencinių stočių, taikant modelį *VRSk.m*

Table 6. Prognostics coordinates deviations of 2nd class cluster of *GPS* user control recipient (South Lithuania) *GPS* virtual station models using 4 reference stations

Epochos	Koordinatų nuokrypiai, kai taikomas					
	6-osios eilės regresinis kolokacinis modelis, m			9-osios eilės regresinis kolokacinis modelis, m		
	$\delta X, m$	$\delta Y, m$	$\delta Z, m$	$\delta X, m$	$\delta Y, m$	$\delta Z, m$
1	-0,0169	-0,016	-0,0148	-0,0219	-0,015	-0,0438
	-0,0173	-0,0198	-0,0245	-0,0103	-0,0128	-0,0215
2	0,0404	0,1516	-0,008	0,0464	-0,0864	-0,086
	-0,0799	0,0151	-0,0845	-0,1479	-0,0929	-0,1655
3	-0,1075	-0,1267	-0,1083	-0,0735	-0,1197	-0,2323
	-0,0746	-0,0721	-0,0918	-0,0236	-0,0271	-0,0698
4	0,3121	0,4344	0,2074	-0,1879	0,2154	0,6344
	-0,0227	0,0671	-0,008	-0,4227	-0,2689	-0,229
5	-0,1697	-0,3095	-0,1221	0,2933	-0,0485	-0,7981
	-0,0817	-0,1525	-0,1432	0,3873	0,2675	0,1118
6	-0,0996	-0,0062	0,0277	-0,8486	-0,0812	0,4517
	0,1704	-0,2452	-0,0569	-0,2656	-0,5432	-0,2639

Kontrolinių *GPS* vartotojo imtuvų prognozinių koordinatų tikslumas įvertinamas jų kovariacijų matrica (9). Pietų Lietuvos 2-osios klasės klasterio kontrolinių *GPS* vartotojo imtuvų prognozinių koordinatų vektorius kovariacijų matricos įvertis parodytas 7 lentelėje. Šios lentelės duomenys rodo, kad dviejų *GPS* imtuvų koordinatų standartinių nuokrypių įverčiai 3,5–8,5 cm svyruoja.

Palyginus lentelėse pateiktus duomenis matyti, kad 1-osios klasės klasterių kontrolinių *GPS* vartotojo imtuvų prognozinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių kinta nuo keleto centimetrų iki keleto decimetrų, o 2-osios klasės klasterių – nuo keleto milimetrų iki keleto centimetrų (pavienėse epochose – iki keleto decimetrų). Lemia tai, kad esant 1-osios klasės klasteriams žymiai didesni atstumai (50–80 km) tarp referencinių stočių bei tarp referencinių stočių ir vartotojo imtuvų nei kai klasteriai 2-osios klasės (10–20 km).

7 lentelė. Pietų Lietuvos 2-osios klasės klasterio 2-jų kontrolinių *GPS* vartotojo imtuvų prognozinių koordinatų vektorius matricos įvertis

Table 7. The estimation of prognostics coordinates vectors matrixes of *GPS* user control recipient of 2nd class cluster in South Lithuania

0,0014	0,0013	0,0014	-1,79 e-005	-0,0010	4,72 e-005
0,0013	0,0013	0,0013	9,98 e-006	-0,0009	7,03 e-005
0,0014	0,0013	0,0014	-1,70 e-005	-0,0010	8,32 e-005
-1,79 e-005	9,98 e-006	-1,70 e-005	0,0013	0,0018	0,0012
-0,0010	-0,0009	-0,0010	0,0018	0,0080	0,0016
4,72 e-005	7,03 e-005	8,32 e-005	0,0012	0,0016	0,0013

Žemės paviršiaus taškuose nutolusiuose vienas nuo kito dideliu atstumu, labai skiriasi troposferos ir jonosferos parametrų reikšmės. Didžiausią įtaką *GPS* matavimų rezultatų tikslumui turi jonosfera, todėl, tolstant *GPS* vartotojo imtuvui nuo referencinių stočių, didėja *GPS* vartotojo imtuvu nustatomų koordinatų klaidos [8].

5. Išvados

1. Atlikti eksperimentiniai skaičiavimai, taikant virtualiosios *GPS* referencinės stoties 6-osios ir 9-osios eilės regresinius modelius bei regresinius modelius su papildomomis kolokacinėmis lygtimis. Nustatyta *GPS* vartotojo imtuvo prognozinių koordinatų nuokrypių nuo tikrųjų reikšmių kaita keičiant modelio variantus.

2. *GPS* vartotojo imtuvo prognozinių koordinatų nuokrypiai, taikant 6-osios eilės regresinį modelį, yra maždaug tokio paties didumo kaip ir taikant 9-osios eilės modelį. Regresinis kolokacinis modelis yra nežymiai mažesnio tikslumo nei paprastas regresinis modelis.

3. Didinant atstumą tarp *GPS* vartotojo imtuvo ir *GPS* referencinių stočių didėja vartotojo imtuvo prognozinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių. Taikant siūlomą regresinį modelį, nutolus vartotojo imtuvui iki 20 km nuo referencinių stočių, *GPS* vartotojo imtuvo prognozinių koordinatų nuokrypiai nuo tikrųjų reikšmių yra nuo keleto milimetrų iki keleto centimetrų.

Literatūra

1. WANNINGER, L. Virtuelle *GPS*-Referenzstationen für grossräumige kinematische Anwendungen. *Zeitschrift für Vermessungswesen*, 2003, No 3. Stuttgart: Verlag K. Witwer, S. 196–202.
2. HANKEMEIER, P. Der Satellitenpositionierungsdienst SAPOS in Deutschland. In *Multifunktionale GNSS-*

3. *Referenzstationsysteme für Europa*. Workshop von 4–5. März 2002 in der Europäischen Akademie für städtische Umwelt. Berlin, 2002, S. 16–23.
4. TEUNISSEN, P. J. G. The parameter distributions of the integer *GPS* model. *Journal of Geodesy*, 2002, No 1 (76), p. 41–48.
5. GAO, Y. and LIU, Z. Z. Precise ionosphere modeling using regional *GPS* network data. *Journal of Global Positioning Systems*, 2002, Vol 1, No 1, p. 18–24.
6. SKEIVALAS, J. Regression model of virtual *GPS* reference. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, 2006, Vol XXXII, No 4, p. 96–99 (in Lithuanian).
7. SKEIVALAS, J. The regression model of virtual *GPS* reference station by application of collocation method. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, 2007, Vol XXXIII, No 1, p. 9–12 (in Lithuanian).
8. KOCH, K. R. *Einführung in die Bayes-Statistik*. Berlin-Heidelberg: Springer-Verlag, 2000. 225 S.
9. SKEIVALAS, J. Accuracy determination of the coordinates augmentations of *GPS* vectors by measuring double phase shifts of the carrier. *Geodesy and Cartography (Geodezija ir kartografija)*, 2003, Vol XXIX, No 4, p. 115–118 (in Lithuanian).

Jonas SKEIVALAS. Prof, Doctor Habil. Vilnius Gediminas Technical University. Dept of Geodesy and Cadastre, Saulėtekio al. 11, LT-10223 Vilnius, Lithuania. Ph +370 5 2744 703, Fax +370 5 2744 705, e-mail: jonas.skeivalas@ap.vgtu.lt.

Author of two monographs and more than 130 scientific papers. Participated in many intern conferences and research visits to the Finish Geodetic Institute.

Research interests: processing of measurements with respect to tolerances, adjustment of geodetic networks.

Robertas DARGIS. Director UAB „Eika“, A. Goštauto g. 40A, LT-01112 Vilnius, Lithuania.

Dipl Eng (1984). President of the Lithuanian association of real estate developers.

Research interests: engineering geodesy, adjustment of geodetic networks.