

Posúdenie kompatibility bodov GPS technológiou

Gabriel Weiss a Juraj Gašinec¹

The compatibility investigation of 2D geodetic points by using the GPS technology

The compatibility of 2D geodetic points established in the past can be efficiently verified. It means that the suitable and also the unapplicable points can be determined by using the satellite measuring technology (GPS or GLONASS). The relative high precision of these technologies for the point coordinates determination enables a trustworthy identification of points with little defects as well.

The investigation procedure of the 2D points' compatibility state is shown in fig. 1. The GPS surveying should be made with respect to the receiver calibration, horizontal datum, suitable observation plan, software to be applied, models for the positioning, etc. For the GPS network processing should be used the Gauss-Markov model of full rank with constraints.

After the transformation of the given quantities $[XY]$ and h to the coordinates $[XYZ]^E$ and also $[XYZ]^W$ to $[XYZ]^{Et}$, one can obtain the 3D coordinate discrepancies (residuals) $V^E = [XYZ]^{Et} - [XYZ]^E$ as indicators of the point compatibility or incompatibility. The significance of V^E should be verified by a convenient test (from the group for testing linear hypotheses of parameters in estimations). A continuous transformation $[XYZ]^{Et}$ to $[XY]^t$ can also be made, from which the 2D discrepancies $V = [XY]^t - [XY]$ of point coordinates in the 2D country system will be apparent.

When, in the control more points are suspicious of incompatibility, their convincing identification can be evaluated by applying a suitable robust estimation.

From the evaluation of 2D point compatibilities by using the GPS surveying it the summary results are obtained: the points can be determined by the external accuracy $< (4-6)$ mm and a reliable identification of incompatible points can be performed with discrepancies $> (8-10)$ mm.

Key words: point compatibility of plane networks, GPS determination of coordinate discrepancies, testing, robust transformation

Úvod

V geodetickej praxi, predovšetkým pri zakladaní, zhustovaní a rozširovaní lokálnych polohových bodových polí v určitom záujmovom území, je vždy najprv potrebné zistiť použiteľnosť jestvujúcich bodov v danom priestore. Tieto body sú najčastejšie rôzneho druhu, čo do ich nomenklatúry, ako aj spôsobu a času ich založenia, takže väčšinou sa jedná o heterogénnu množinu bodov, ktorých závažné súradnice sú síce známe, najčastejšie však bez ďalších informácií o ich vlastnostiach, predovšetkým o ich kvalite (presnosť, spoľahlivosť).

Pre použitie takej bodovej množiny je potom nutné vyšetriť aspoň ich kompatibilitu, t.j. reálny stochastický súlad ich fyzických a súradnicových polôh, aby sa na základe výsledkov šetrenia mohli z ich budúceho použitia vyradiť nevhodné body. Identifikačný proces existujúcich bodov spravidla je súčasťou aj projektu založenia, resp. rozšírenia novej sieťovej štruktúry v danom priestore.

Vyšetrovanie kompatibility bodov

Ako je známe, kompatibilitu bodov je možné reálne vyšetriť väčšinou na porovnávacej báze ich "daných" súradníc C (z epochy τ) a súradníc súčasných C' , získaných z ich nového zamerania (v epoche τ'). Na základe porovnania C a C' a exaktnou analýzou ich diferencií – súradnicových rozporov $dC = C' - C$ je možné prijať stanoviská o spôsobilosti bodov pre súčasné použitie. V zásade, ak dC predstavujú "malé" hodnoty, bod je možné považovať za kompatibilný a teda použiteľný a naopak, ak dC budú signifikantné, neprijateľné hodnoty bod je možné deklarovať za nekompatibilný, t.j. nevhodný pre súčasné práce.

Prirodzene, veľkosť rozporov dC je potrebné posúdiť vhodnými objektívizujúcimi nástrojmi založenými na teórii pravdepodobnosti, matematickej štatistiky a ostatných, stochastických javov objektívizujúcich teórií.

Pre súčasné riešenie súradníc C' skúmaných bodov je možné použiť terestrické a družicové (GPS, GLONASS) technológie. V ďalšom bude naznačené použitie technológie GPS na určenie súradníc C' a rozporov dC a poukázanie na jej základné vlastnosti.

¹ prof. Ing. Gabriel Weiss, PhD. Katedra geodézie, ÚG a GIS, FBERG, TU v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice

Ing. Juraj Gašinec, PhD., Katedra geodézie, ÚG a GIS, FBERG, TU v Košiciach, Letná 9, 042 00 Košice, juraj.gasinec@tuke.sk
(Recenzovaná a revidovaná verzia dodaná 29. 4. 2005)

GPS určenie súradnicových rozporov

Súradnicové rozpory

Na overenie množiny 2D bodov B_i , $i = 1, 2, \dots, p$ v lokálnom priestore sú k dispozícii ich súradnice $C_i = [XY]_i$ z určitého 2D súradnicového systému (napr. S-JTSK, S42/83,...) a ich výšky. Tieto sa pri GPS overení bodov transformujú na súradnice $[B, L, H]_i^E$, resp. $C_i^E = [XYZ]_i^E$ v súradnicovom systéme ECS príslušného referenčného elipsoidu (napr. Besselov, Krasovského,...).

Po GPS zameraní množiny 2D bodov B_i , z vyhodnotenia a spracovania meraní sú určené súradnice $\hat{C}_i^W = [\hat{X}\hat{Y}\hat{Z}]_i^W$ v 3D súradnicovom systéme WGS84, ktoré sa transformujú do elipsoidocentrického systému ECS na súradnice $C_i^{Et} = [XYZ]_i^{Et}$ a na základe komparácie C_i^E a C_i^{Et} je možné posúdiť 3D súradnicové rozpory bodov B_i

$$dC_i^E = [dX \ dY \ dZ]_i^E = [X^{Et} - X^E \ Y^{Et} - Y^E \ Z^{Et} - Z^E]_i. \quad (1)$$

Je možné však $\hat{C}_i^W = [\hat{X}\hat{Y}\hat{Z}]_i^W$ transformovať aj do použitého 2D súradnicového systému na súradnice $C_i^t = [XY]_i^t$ a spolu s hodnotami C_i analyzovať ich diferencie, t.j. 2D súradnicové rozpory bodov B_i

$$dC_i = [dX \ dY]_i = [X^t - X \ Y^t - Y]_i. \quad (2)$$

GPS meranie a spracovanie

Pri použití GPS meraní pre vyšetrenie funkčnosti skúmaných bodov B_i je potrebné zabezpečiť maximálnu kvalitu samotného merania, ako aj spracovania meraní na súradnice $\hat{C}_i^W = [\hat{X}\hat{Y}\hat{Z}]_i^W$ bodov B_i . Pri takýchto použitíach GPS technológií dominantnou snahou má byť dosiahnutie minimálnych štandardných odchýlok pre \hat{C}_i^W . Vtedy, pri posudzovaní rozdielov medzi "danými" súradnicami bodov z τ a ich súčasnými súradnicami z τ' je zodpovedne možné príčiny signifikantných súradnicových diferencií - rozporov prisúdiť vzniku, zmene a pôvodnému určeniu súradníc bodu v τ . Poloha a súradnice bodu B_i z epochy τ sa posudzujú vzhľadom k presným súradniciam zo súčasnosti (epocha τ').

Pri GPS určení bodov B_i je teda potrebné zodpovednú starostlivosť venovať všetkým fázam celého procesu, menovite :

- vlastnostiam použitých prijímačov, ich výkonnosti, adjustácii, atď.,
- observačnej metóde a observačnému plánu na vzájomné zameranie bodov B_i ,
- metódam vyhodnotenia meraní na príslušné vektory, ich komponenty, ich charakteristikám presnosti a korelovanosti, výberu referenčného bodu pre absolútne umiestnenie vektorovej štruktúry v referenčnom rámci WGS84 a pod.

Pre všetky tieto oblasti GPS určenia súradníc C_i^W overovaných bodov je potrebné zabezpečiť rôzne prípravy, voľby a činnosti, ktoré sú z hľadiska teórie i praxe známe (Hofmann-Wellenhopf 2002, Lichtenegger a Collins 2001, Hefty a Husár 2003, Leick 1995, Xu 2004).

Z hľadiska spracovania GPS sieťovej štruktúry bodov je vhodné dať prednosť singulárnemu Gauss-Markovovmu modelu.

Transformácia C^W na C^{Et} , C^t a vyšetrenie rozporov

Štandardnú transformáciu (s určením transformačných parametrov MNS) súradníc C^W na súradnice C^{Et} a C^t naznačuje zjednodušená schéma (obr. 1). Podľa rozloženia kľúčových pozícií v transformačných tokoch veličín, možnosti posúdenia kompatibility bodov B_i okrem finálnych hodnôt C^t sú ešte aj na dvoch predchádzajúcich miestach transformačnej procedúry, teda na nasledovných troch pozíciách² :

1. V pozícii č. 1, pri určení odhadov transformačných parametrov $\hat{t}\hat{p}$ pre prevod C^W na odpovedajúce súradnice C^{Et} v elipsoidocentrickom systéme, zisťujú sa pre posúdenie kvality $\hat{t}\hat{p}$ a celej transformácie aj "opravy V^E " súradníc C^E vzhľadom k C^{Et} , ktoré predstavujú súradnicové rozpory dC^E pre každý bod v zmysle

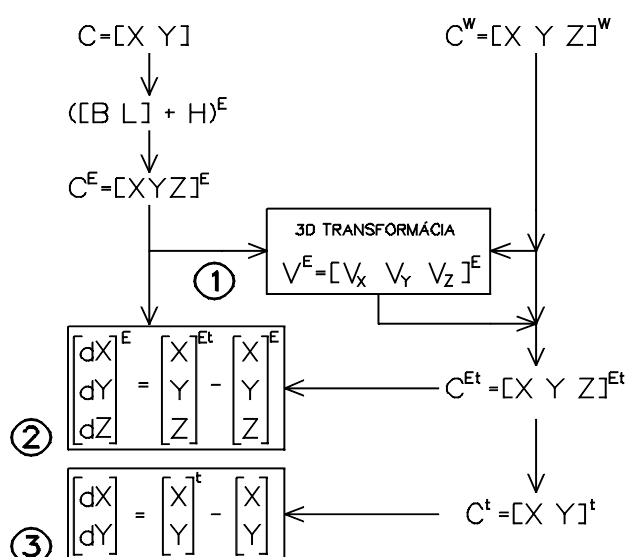
² posúdenie je možné vykonať aj s odpovedajúcimi geodetickými súradnicami na iných miestach schémy

$$V_i^E = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \\ V_z \end{bmatrix}_i^E = A_i \hat{t}p - (C_i^E - C_i^W), \quad (3)$$

kde A_i je časť celkovej transformačnej matice A pre bod B_i a

$$\hat{t}p = [t_x t_y t_z dm \varepsilon_x \varepsilon_y \varepsilon_z]^T \quad (4)$$

sú odhady transformačných parametrov získané MNS.



Obr. 1. Schéma transformácií GPS meraní s 3 pozíciami na posúdenie kompatibility bodov
Fig. 1. Transformation flowchart of GPS results with 3 determining positions to identify the point compatibility

2. V pozícii č.2, po vyšetrení $\hat{t}p$ a určení súradníc C^{Et} , ktoré dostávame transformáciou z GPS meraní a spracovaní získaných súradníc C^W , pre skúmané body B_i sú teda k dispozícii hodnoty ich súradníc pôvodných (z epochy τ) C^E a hodnoty súradníc C^{Et} získaných z GPS meraní. Je zjavné, že pre kompatibilné body príslušné C^E a C^{Et} s prihliadnutím na rôzne technológie ich určenia a metód spracovania príslušných meraní, mali by súhlasiť do veľkosti stochastických rozdielov medzi nimi. Pre ich diferencie platí

$$C_i^{Et} = C_i^E + dC_i^E$$

ako aj na základe (3)

$$dC_i^E \therefore V_i^E \quad (5)$$

a

$$dC_i^E = \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix}_i^E = C_i^{Et} - C_i^E = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_i^{Et} - \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_i^E, \quad (6)$$

kde je

$$C_i^{Et} = A_i \hat{t}p = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \\ z_0 \end{bmatrix}_i^W + (1 + dm) \begin{bmatrix} 1 & \varepsilon_z & -\varepsilon_y \\ -\varepsilon_z & 1 & \varepsilon_x \\ \varepsilon_y & -\varepsilon_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{bmatrix}_i^W. \quad (7)$$

Z identity (6) teda vyplýva, že na pozíciách č.1 a č.2, t.j. pri vyšetrení $\hat{t}p$ alebo pri transformácii $\hat{C}^W \Rightarrow C^{Et}$, sa zisťuje ten istý 3D indikátor $dC_i^E \therefore V_i^E$ kompatibility bodov. Po objektívnom posúdení veľkosti hodnôt V_i^E (kap.4) je možné prijať stanoviská k použiteľnosti skúmaných bodov B_i zatiaľ najmä z 2D – polohového hľadiska.

3. V pozícii č. 3 transformačného procesu sa overuje kompatibility bodov na základe porovnania ich databázových súradníc $C = [XY]$ v 2D súradnicovom referenčnom rámci so súradnicami $C^t = [XY]^t$, získanými pokračujúcou transformáciou 3D súradníc C^{Et} na 2D súradnice C^t . Určenie 2D súradnicových diferencií – rozporov

$$dC_i \equiv \begin{bmatrix} dx \\ dy \end{bmatrix}_i = C_i^t - C_i = \begin{bmatrix} x^t \\ y^t \end{bmatrix}_i - \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} V_x \\ V_y \end{bmatrix}_i \quad (8)$$

poskytuje tiež podklad (vhodné indikátory), na základe ktorého je možné vhodnými objektívnymi metódami posúdiť veľkosť dC_i a podľa toho rozhodnúť o kompatibility vyšetovaných bodov B_i . Tento postup s 2D indikátormi dC (8) sa používa často, keďže dáva porovnateľné informačné hodnoty vzhľadom k bežným údajom a presnosti geodetických prác 2D charakteru v používanom 2D súradnicovom systéme. Možno však očakávať, že v dôsledku dlhého a zložitého transformačného reťazca $C^{Et} \Rightarrow C^t$, hodnoty C^t môžu byť aj neprijateľnou mierou skreslené.

Na základe rôznych teoretických a empirických analýz sa ukazuje, že z uvedených možností posúdenia kvality bodov najdôveryhodnejší obraz o ich súradnicových vzťahoch z epoch τ a τ' dávajú rozpory V_i^E ∴ dC_i^E skúmané na 1., resp. 2. pozícii v transformačnom procese.

Vyšetrenie charakteru súradnicových rozporov

Prezentovaný postup pri overení kompatibility bodov je vhodný pre testovanie 3D rozporových vektorov dC^E . Postupy pre 2D dC sú analogické, pravda s odlišnosťami kvôli rozmernosti dC a použiteľnosti rôznych testovacích štatistík.

Charakter dC^E z hľadiska ich významovej hodnoty je účelne vyšetrit' dvomi postupmi, podľa určenia transformačných parametrov, sú to:

- štandardná procedúra MNS v rámci vhodného odhadovacieho modelu,
- robustná odhadovacia procedúra s MNS riešením a iteračným váhovaním v krokoch algoritmu.

Veľkosť získaných dC^E z oboch postupov je potom možné posúdiť formuláciou hypotézy v tvare vhodného lineárneho modelu o parametroch dC^E a ich testovaním vhodnými štatistickými testami.

Na základe uvedeného princípu je testový model v tvare nulovej hypotézy

$$H_0: dC^E = 0 \quad (9)$$

vyjadrujúcej prijatie dC^E za stochastické, nevýznamné hodnoty, t.j. pripustenie stanoviska, že B_i možno považovať za kompatibilné body, resp. alternatívnej hypotézy $H_a: dC^E \cong 0$, vyjadrujúcej negáciu H_0 . K zamietnutiu, resp. nezamietnutiu H_0 sú konštruované rôzne testy, s rôznymi testovacími štatistikami (napr. Koch 1985, Bill 1984, Lenzmans 1984, Heck 1985, Benning 1985 a ďalšie).

Použitie Koch -ovho testu pre 3D rozporové vektory.

Nech je overovaných p bodov B_i , $i = 1, 2, \dots, p$ so známymi súradnicami $C = [XY]$ v určitom 2D súradnicovom systéme a s určenými elipsoidickými výškami H , medzi ktorými bodmi sa vhodnou GPS metódou zameria vytvorená vektorová štruktúra s presnosťou, charakterizovanou kofaktorovou maticou Q_L .

Nech spracovanie meraní sa vykoná s použitím singulárneho Gaussovo-Markovovho modelu, z ktorého sa získajú pre B_i odhady súradníc \hat{C}^w a ich kofaktorová matica $Q_{\hat{C}^w}$. Na základe všetkých bodov (ako homologických) sa pre 3D podobnostnú (Helmertovu) transformáciu určia transformačné parametre $t\hat{p}$ (regulárny GMM) a realizuje sa transformácia

$$\hat{C}^w \Rightarrow C^{Et}, \quad (10)$$

pričom v rámci nej sa získajú pre body aj súradnicové rozpory

$$dC^E \therefore V^E = C^{Et} - C^E = [dX \ dY \ dZ]^{Et} = \begin{bmatrix} dX_1 & dY_1 & dZ_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ dX_i & dY_i & dZ_i \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ dX_p & dY_p & dZ_p \end{bmatrix}^{Et} \quad (11)$$

Hodnoty dC^E budú sa teda posudzované testovaním osobitne pre každý bod (testovanie je možné realizovať aj pre celé bodové pole) s použitím zvoleného testu (Koch 1985) s testovacou štatistikou

$$T_i = \sqrt{\frac{R_i}{d \cdot s_o^2}} \quad \Xi \quad \tau(f_1, f_2) \quad (12)$$

kde

$$R_i = dC^{E T} Q_L^{-1} H_i (H_i^T Q_L^{-1} Q_{dCE} Q_L^{-1} H_i)^{-1} H_i^T Q_L^{-1} dC^E \quad (13)$$

je kvadratická forma bodových rozporov,

$$Q_{dCE} = Q_L - A(A^T Q_L^{-1} A)^{-1} A^T \quad (14)$$

je kofaktorová matica bodových rozporov dC^E ,

$$H_i^T = [N \ N \dots J_i \dots N] \quad (15)$$

je lokalizačná matica i-tého bodu s $p-1$ nulovými 3×3 submaticami N

a s 3×3 maticou identity J_i bodu B_i na i -tom mieste v ich poradí,

$d = 3$, súradnicová dimenzia bodov,

$t = 7$, počet transformačných parametrov v (10),

$n = 3p$, počet súradníc v bodovom poli a

$$s_o^2 = \frac{(dC^E)^T Q_{dCE}^{-1} dC^E}{n - t} \quad (16)$$

je jednotková posteriorná variancia transformačných parametrov.

Testovacia štatistika T má τ - rozdelenie pravdepodobnosti, ktorej kvantily je možné určiť pomocou F - rozdelenia (Koch 1985, Heck 1985)

$$\tau_\alpha = \sqrt{\frac{(n-t) \cdot F_\alpha}{n-t-d+d \cdot F_\alpha}} \quad (17)$$

kde kritická hodnota $((1 - \alpha) -$ kvantil) F - rozdelenia na hladine významnosti α je

$$F_\alpha = F(\alpha; f_1, f_2), \quad (18)$$

pričom pre jednotlivé body sa vezme $\alpha = 0.01$ (Heck 1985) a stupne voľnosti sú $f_1 = d$, $f_2 = n-t-d$.

Ak bude $T_i < \tau_\alpha$,

H_0 na zvolenej hladine významnosti nie je potrebné zamietnuť, a teda príslušný bod B_i je možné deklarovať ako kompatibilný, spôsobilý pre použitie.

V prípade $T_i \geq \tau_\alpha$,

H_0 na zvolenej hladine významnosti je možné zamietnuť, resp. neprijat' a na základe tohoto výsledku ako aj príslušných signifikantných hodnôt dC^E môže sa bod pokladať za nekompatibilný, a teda nepoužiteľný v geodetických prácach.

Použitie štatistických testov pri postupe získania indikátorov dC^E pomocou MNŠ môže však niekedy poskytnúť aj nereálny obraz o kompatibilite skúmaného bodu, najmä v závislosti od konštrukcie štatistiky a jej rozdelenia pravdepodobnosti. Určite však zlyháva vtedy, keď skúmané bodové pole obsahuje viac nekompatibilných bodov (t.j. so signifikantnými hodnotami dC^E), kedy vysoké hodnoty dC^E reálne nekompatibilných bodov v procese MNŠ sa "rozmažú" aj na kompatibilné body a teda vzniká skreslený obraz

o celom bodovom poli. V takých prípadoch pomôže vhodné ročlenie skúmaného poľa, resp. vyčlenenie podozrivých, potenciálne možných nekompatibilných bodov a realizácia testovania po príslušných častiach poľa osobitne.

Pre situácie, kedy sa v skúmanom bodovom poli očakáva viac nekompatibilných bodov, najrealnejší postup predstavuje použitie v odhadovacom procese pre transformačné parametre, t.j. aj pre určenie dC^E použitie niektorý vhodný robustný odhadovací postup (Juhl 1984, Benning 1985, Koch 1996). Robustné odhadovanie má zo skúmaného hľadiska poľa aj tú vlastnosť, že jeho odhadovací mechanizmus "nerozmaže" veľké hodnoty dC^E , tieto zostanú akoby nezohľadnené v celkovom spracovaní, teda získané rozpory dC^E nebudú skreslené a významné hodnoty dC^E budú pravdivo indikovať len nekompatibilné body.

Vhodné robustné odhadovacie procedúry pre 3D súradnice bodov, ktoré pri ich GPS určení je možné použiť, uvádza napr. Somogyi 1988, 1989. Robustné odhadovanie aj v tomto prípade je možné realizovať na základe iteračných postupov s použitím vhodných váhových funkcií.

Demonštračný príklad

V určitom priestore treba overiť kompatibilitu, t.j. použiteľnosť 8 bodov B_i , $i=1,2,\dots,8$ zo ŠTS a zo staršej lokálnej siete, ktorých súradnice C z S-JTSK a normálne výšky h (Bpv) sú známe. Je podozrenie, že B_3 nie je kompatibilný a testovaním sa má vyšetriť stav kompatibility nielen jeho ale aj ostatných bodov.

Body sa v rámci GPS merania spojili vhodnou vektorovou štruktúrou a na základe vyhodnotenia a spracovania meraní boli získané ich súradnice $\hat{C}^W = [\hat{X}\hat{Y}\hat{Z}]^W$. V zmysle naznačenej využiteľnosti GPS meraní pre sledované ciele, pre B_i boli transformáciou ich C na $[B L]^E$ a určenie elipsoidických výšok H^E odvodené karteziánske elipsoidocentrické súradnice (Bessel) $C^E = [BLH]^E$ a tieto boli transformované na $C^E = [XYZ]^E$. Ďalej boli určené parametre pre transformáciu $\hat{C}^W \Rightarrow C^{Et} = [XYZ]^{Et}$ a potom hodnoty C^{Et} ako aj súradnicové rozpory $dC^E = C^{Et} - C^E$ (tab.1).

Tab. 1. Súradnicové rozpory a veličiny k ich testovaniu

Tab. 1. Coordinate discrepancies and the parameterst of their testing

BOD	Súradnicové rozpory $dC^E \therefore v^E = C^{Et} - C^E$ [m]			R_i	T_i
	dX^E	dY^E	dZ^E		
B1	0,001	0,004	0,008	0,000107	0,48586
B2	0,007	0,004	0,010	0,000364	0,89613
B3	0,019	0,014	0,023	0,001738	1,95815
B4	0,006	0,009	0,005	0,000245	0,73520
B5	0,003	0,007	0,011	0,000321	0,84154
B6	0,006	0,011	0,013	0,000496	1,04607
B7	0,008	0,002	0,009	0,000287	0,79572
B8	0,010	0,005	0,010	0,000362	0,89367

Pre posúdenie kompatibility skúmaných 8 bodov na základe ich súradnicových rozporov dC^E bola formulovaná nulová a alternatívna hypotéza v tvare

$$H_0: dC^E = 0, H_a: dC^E \neq 0$$

a testovacím postupom (Kochov test) bolo overené, či možno H_0 pre jednotlivé body prijať alebo zamietnuť.

Podľa (13), (14), (15) boli určené kvadratické formy bodových rozporov R_i a s uvažovaním $d=3$, $t=7$, $n=3,8=24$, $s_0^2=0,00015109$ ($s_0=0,01229$) podľa (12) bodové realizácie testovacej štatistiky T_i (tab. 1).

Pre kritickú hodnotu F – rozdelenia pri $\alpha=0,01$, $f_1=3$, $f_2=24-7-3=14$ bude $F_\alpha=5,564$ a pre τ - rozdelenia podľa (17)

$$\tau_\alpha = \sqrt{\frac{(24-7) \cdot F_\alpha}{24-7-3+3 \cdot F_\alpha}} = 1,8825.$$

Na základe porovnania realizácií T_i s kritickou hodnotou τ_α vyplýva:

- pre bod B_3 : $T_i > \tau_\alpha$, teda H_0 sa pre tento bod zamietajú,
- pre ostatné body: $T_i < \tau_\alpha$, príslušné H_0 sa nezamietajú.

Z týchto výsledkov testovania dC^E teda rezultuje, že bod B_3 nie je možné považovať za kompatibilný a pre geodetické práce za vhodný, kým u ostatných bodov môžeme ich kompatibilitu pripustiť a použiť ich na potrebné účely.

Po vyradení bodu B_3 zo skúmanej množiny, novým, analogickým testovacím postupom je možné sa presvedčiť, že všetky zostávajúce body možno považovať za kompatibilné.

Záver

Využitie GPS technológie na vyšetrenie kompatibility aj 2D bodov má pred terestrickými meraniami rad výhod, ako napr. efektívnejšie spájanie bodov skúmanej množiny do sieťovej štruktúry, dosahovaná vysoká homogénna presnosť v súčasnom určovaní skúmaných bodov (epocha t') a ďalšie.

Vyšetrenie kompatibility 2D bodov v rámci spracovania 3D GPS meraní je možné realizovať alebo v rámci 3D transformácie súradníc \hat{C}^w na C^{Et} , v ktorej sa určujú 3D súradnicové rozpory bodov

$$dC^E = C^{Et} - C^E = [dX \ dY \ dZ]^E, \text{ prípadne len 2D rozpory } dC^E = [dX \ dY]^E$$

(zložka dZ sa vynechá) alebo 2D súradnicové rozpory dC po transformácii C^{Et} na C^t , t.j. na súradnice použitého 2D súradnicového systému v príslušnej oblasti alebo krajine.

K získaniu pravdivého obrazu o charaktere (kompatibilita) skúmaných bodov sú použiteľné osvedčené efektívne nástroje: testovanie štatistických hypotéz pre posudzovanie signifikantnosti dC^E , resp. dC a robustné odhadovacie postupy (MNS procesy s iteračným preváňovaním súradníc) na určovanie rozporov.

Literatúra - References

- Benning W.: Test von Ausreissern bei der Helmerttransformation. *Zeitschr.f. Vermessungswesen*, 110,5,207-209, 1985.
- Benning W.: Vergleich dreier L_p –Schätzer zur Fehlersuche in hybriden Lagenetzen. *Zeitschr.f. Vermessungswesen*, 120,12,606-617, 1995.
- Bill R.: Eine Strategie zur Ausgleichung und Analyse von Verdichtungsnetzen. *Veröff.d.Deutschen Geodät. Komm. R.C, H.295, München 1984.*
- Heck B.: Ein- und zweidimensionale Ausreissertests bei der ebenen Helmert-Transformation. *Zeitschr.f. Vermessungswesen*, 110,10,461-471, 1985.
- Hefty J., Husár L.: Družicová geodézia. *STU, Bratislava 2003.*
- Hofmann-Wellenhof B., Lichtenegger H., Collins J.: GPS. Theory and Practice. *Springer, Wien 2002.*
- Juhl J.: The "Danish Method" of weight reduction for gross error detection. In: *Proceed. XV ISP Congress, Comm.III., Rio de Janeiro 1984.*
- Koch K. R.: Test von Ausreissern in Beobachtungspaaren. *Zeitschr.f. Vermessungswesen*, 110,1,34-38, 1985.
- Koch K. R.: Ein allgemeiner Hypothesentest für Ausgleichungsergebnisse. *Allgem. Verm. Nachrichten*, 82,10,339-345, 1975.
- Koch K. R.: Robuste Parameterschätzung. *Allgem. Verm. Nachrichten* 103, 1,1-18, 1996.
- Leick A.: GPS Satellite Surveying. *J.Wiley & Sons, New York 1995.*
- Lenzmann L.: Zur Aufdeckung von Ausreissern bei überbestimmten Koordinatentransformation *Zeitschr.f. Vermessungswesen*, 9,474-479, 1984.
- Leššo, I., Horovčák, P., Flegner, P.: Hodnotenie metód signálu snímača z hľadiska teórie informácie. *AT&P Journal*, 4/2004, str. 70-73, ISSN 1335-2237.
- Somogyi J.: Robust estimation and their use in geodesy. *Acta Geodaet. Geoph. Mont 1988. Acad.Sci.Hung.23*, 45-53.
- Somogyi J, Kalmár J.: Robusztus becslési eljárások a Helmert transzformációhoz. *Geodézia és kartográfia*, 1, 6-9, 1989.
- Xu G.: GPS.Theory,Algorithmus and Applications. *Springer, Berlin 2004.*