

Využitie lokálnych geodetických sietí s koncentrovanou observačnou štruktúrou

Jana Sabová¹

The use of local geodetic networks with concentrated observational structures

This paper is devoted to treatment of local 2D geodetic networks as measured by total (universal) stations using concentrated observation structures. The excellent quality properties of such networks are discussed.

Key words: total station, estimating procedures, free stations, concentrated observational structures

Úvod

Lokálne geodetické siete (LGS) sa v súčasnosti zameriavajú tradičným spôsobom. Pre zameranie vhodného počtu veličín v LGS na rôznych bodoch bodového poľa siete, podľa možnosti na čo najväčšom počte bodov sa používajú rôzne prístroje (teodolity, dĺžkomery, pásma). Pri zameraní LGS sa teda realizuje tzv. *rozptýlená observačná štruktúra*, ktorá nemôže využiť všetky výhody a prednosti súčasnej najvýkonnejšej pozemnej meracej (geodetickej) techniky - totálnych, resp. univerzálnych staníc (US).

Koncentrované observačné štruktúry

Univerzálnou stanicou môžeme pri každej zámere realizovať priestorovú polárnu zámeru - trojrozmerný observačný vektor primárny (Weiss, 1998)

$$[D_{ij} \ Z_{ij} \ \omega_{kij}]$$

alebo sekundárny (mikroprocesorom US počítané veličiny)

$$[d_{ij} \ \Delta h_{ijp} \ \text{a iné}] ,$$

kde D_{ij} je priestorová dĺžka, d_{ij} vodorovná dĺžka, Z_{ij} zenitový uhol, Δh_{ijp} prístrojové prevýšenie (elipsoidické) a ω_{kij} vodorovný uhol. S touto schopnosťou US dokážu z niekoľkých málo bodov zmerať potrebný nadbytočný počet veličín v LGS, ktorý je žiaduci pre jej spracovanie.

Z bodového poľa siete je vždy možné vybrať niekoľko topograficky dominantných bodov, z ktorých je možné realizovať zámery na všetky ostatné body.

Observačnými bodmi, na ktorých sa vykonajú merania pomocou US, môžu v LGS byť:

- *body dátumové* (dané, pevné, pripájacie), t.j. body jestvujúceho bodového poľa v určitej súradnicovej sústave, ktoré sa prevezmú do budovania LGS, alebo body, ktoré sa zvolili za determinujúce body lokálnej súradnicovej sústavy,
- *určované (nové) body* LGS, ktoré sa majú súradnicove určiť.

Ak žiadne body siete nie sú z tohoto hľadiska vhodné ako observačné body, vždy je možné voliť pomocné body, tzv. *prechodné (volné) stanoviská* s jednoduchou prechodnou stabilizáciou (na dobu merania) (Sabová, 1992), na takých vhodných miestach v LGS, aby z nich bolo možné zmerať jej body. Vždy je teda možné v bodovom poli LGS pomocou US realizovať tzv. *koncentrované observačné štruktúry*, ktoré znamenajú pri použití niekoľkých odrážačov značné organizačné, časové, a teda aj ekonomické výhody.

LGS s uvedenou observačnou štruktúrou je vhodné nazvať LGS s polárnymi štruktúrami (skrátene: polárnymi LGS) i keď v podstate sú to siete s určením bodov na báze multinásobných polohových alebo priestorových pretínaní (napred).

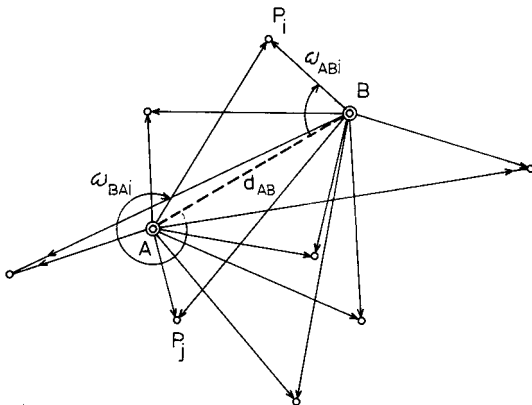
¹ Ing. Jana Sabová, CSc., Katedra geodézie a geofyziky Fakulty BERG Technickej univerzity, 043 84 Košice, Park Komenského 19
(Recenzovali: Prof. Ing. Juraj Sütti, DrSc. a Doc. Ing. Michal Badida, CSc. Revidovaná verzia doručená 20.2.1998)

Princípy spracovania

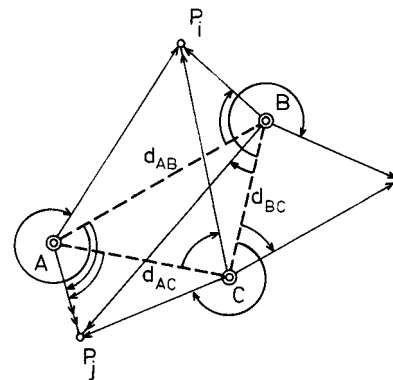
Ak pre zameranie a spracovanie siete budú k dispozícii $b=2$ dátumové body A, B (obr.1) s počtom dátumových parametrov $D=6$, tieto body vytvárajú meračskú orientovanú základnicu d_{AB} a na každom z nich sa potom vzhľadom k tejto základnici realizujú pre každý bod P_i dve priestorové polárne zámery (PrPZ)

$$\mathbf{L}_{A_i}^T = [D_{A_i} \ Z_{A_i} \ \omega_{BA_i}], \quad \mathbf{L}_{B_i}^T = [D_{B_i} \ Z_{B_i} \ \omega_{AB_i}],$$

určujúce priestorovú polohu každého bodu P_i dvojnásobne. V tomto prípade priestorovú sieť možno určiť bezväzbovou alebo voľnou vyrovnávacou procedúrou.



Obr.1. Využitie dvoch dátumových bodov.



Obr.2. Využitie troch dátumových bodov.

Ak budú pre observácie použité $b=3$ dátumové body A, B, C (obr.2) s počtom dátumových parametrov $D=9$, tieto body vytvoria dve, resp. tri observačné základnice d_{AB} , d_{BC} resp. d_{AB} , d_{AC} , d_{BC} , pričom na ľubovoľný bod P_i môže byť realizovaná z každého stanoviska A, B, C, podľa situácie, jedna až dve PrPZ. Keď v dátumovom bode končí len jedna základnica, je možná observácia len jednej PrPZ, keď končia dve základnice (na obr.2 v každom bode A, B, C), je možná realizácia dvoch PrPZ na P_i (všeobecne toľko PrPZ, koľko základníc končí v príslušnom dátumovom bode). Napr. na obr.2 pre PrPZ na bod AP_j možno z observácií zostaviť vektory

$$\mathbf{L}_{A_j}^T = [D_{A_j} \ Z_{A_j} \ \omega_{BA_j}], \quad \mathbf{L}_{B_i}^T = [D_{A_j} \ Z_{A_i} \ \omega_{CA_j}],$$

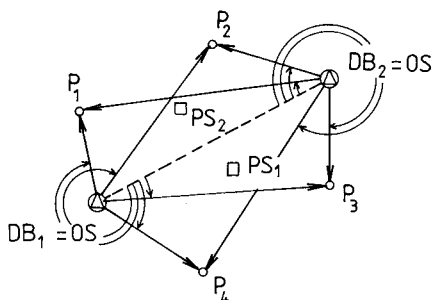
ktoré sa líšia v horizontálnej orientácii polohového vektora AP_j .

Podobné situácie by vznikali aj pri väčšom počte b dátumových bodov, vytvárajúcich $\binom{b}{2} = b(b-1)/2$ základníc s analogickými možnosťami tvorby PrPZ.

Podľa použitia rôznych bodov ako observačných stanovísk (OS), resp. ich kombinácií, je možné vytvoriť rôzne formy Gaussovo-Markovovho (GMM) modelu (Sabová, 1992; 1996; Šüttí, 1993; 1996), líšiace sa najmä rôznosťou štruktúr konfiguračnej matice \mathbf{A} (a z toho vyplývajúcimi odlišnosťami aj matic \mathbf{Q}_L , $d\mathbf{L}$). Niektoré formy GMM dávajú, aj podľa použitia väzbového alebo voľného vyrovnania, vhodné, efektívne použiteľné postupy spracovania polárnych LGS (Sabová, 1992).

Pre jednotlivé, z hľadiska OS homogénne, LGS polárne vyplývajú z hľadiska spracovania nasledovné hlavné poznatky:

a) pri observáciách (obr.3) na dátumových bodoch (DB) má globálna matica \mathbf{A}^G pre väzbové spracovanie štruktúru (obr.3a) za predpokladu, že referenčné zámery pri meraní osnov smerujú na ostatné DB alebo PS (teda body, ktorých stĺpce v \mathbf{A} sa pri spracovaní siete nezohľadnia). Blokovaná diagonálna štruktúra \mathbf{A} a tiež matice koeficientov normálnych rovníc \mathbf{N} (ak kofaktorová matica \mathbf{Q}_L bude tiež pozitívne definitná, diagonálneho typu) umožňuje rozdeliť matematický model na čiastkové modely, podľa ktorých je možné riešiť každý určovaný bod osobitne, alebo potrebnú skupinu určovaných bodov spoločne. Vlastnosti (odhady súradníc, presnostné charakteristiky) takto riešených LGS polárnych poskytujú výsledky identické s výsledkami, ktoré by mala sieť pri jej komplexnom vyrovnaní (všetky určované body).



Obr.3. Observácie na dátumových bodoch.

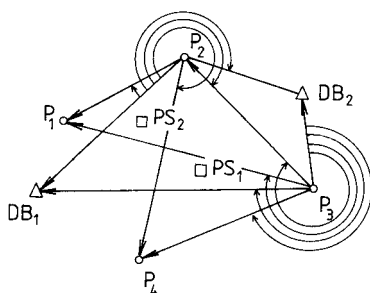
$$A^G = [A A^T] =$$

1	2	3	4	DB ₁	DB ₂

Obr.3a. Štruktúra konfiguračnej matice pri observáciách na dátumových bodoch.

Pri voľnom vyrovnaní je delenie matice A síce možné, ale len tak, že pri každom dielčom riešení sa určia odhady súradníc nielen príslušného určovaného bodu, ale aj súradníc dátumového bodu. Tieto odhady však pri každom čiastkovom riešení poskytujú iné, stochasticky rozptýlené hodnoty, teda čiastkové riešenia voľného vyrovnania vedú k nejednoznačným odhadom súradníc a tiež ukazovateľom kvality danej polárnej LGS.

b) Pri observáciách (obr.4) na určovaných bodoch (UB), bude mať matice A^G ako pre väzbové, tak aj pre voľné spracovanie všeobecnú štandardnú štruktúru, bez upraviteľnosti A (obr.4a) na blokovú diagonálnu formu (podobne ako pri rozptýlenej observačnej štruktúre).



Obr.4. Observácie na určovaných bodoch.

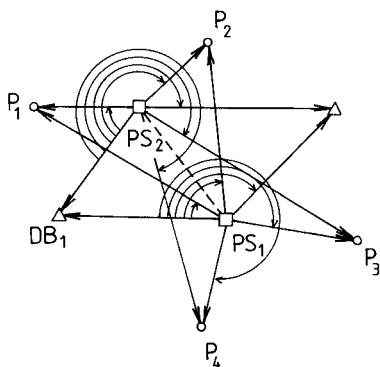
$$A^G =$$

1	2	3	4	DB ₁	DB ₂

$$= [A A^T]$$

Obr.4a. Štruktúra konfiguračnej matice pri observáciách na určovaných bodoch.

c) pri observáciách (obr.5) na prechodných stanoviskách (PS) s predpokladom, že zámery na DB budú realizovateľné a od týchto referenčných smerov sa budú merať osnovy smerov (uhly) na PS.



Obr.5. Observácie na prechodných stanoviskách.

$$A^G = [A A^T] =$$

1	2	3	4	PS ₁	PS ₂	DB ₁	DB ₂

Obr.5a. Štruktúra konfiguračnej matice pri observáciách na prechodových stanoviskách.

Spracovala sa LGS-P jednak s ponechaním PS a jednak s vynechaním PS zo spracovania. Skúmali sa vyrovnávacie procedúry pre voľné a väzbové vyrovnanie a situácie s jedným a dvomi PS.

Spracovanie LGS-P s ponechaním PS

Väzbové vyrovnanie:

Štruktúra konfiguračnej matice **A** (obr.5a) ukazuje plné obsadenie všetkých stĺpcov pre body PS_1, PS_2 , na ktorých boli vykonané všetky observácie. Zodpovedajúca matica koeficientov normálnych rovníc **N** nebude diagonálna, bloková, a teda body siete sa dajú určiť len globálnym vyrovnaním.

Voľné vyrovnanie:

O možnosti použitia voľného vyrovnanie sietí rozhoduje počet PS a rozsah observácií, t.j. konkrétne observačné situácie. Pri jednom PS (v prípade 3-dimenzionálneho určovania) vzniká observačná situácia $n < k$, t.j. nemožnosť aplikácie voľného vyrovnanie v dôsledku konfiguračného defektu siete. Ak uvažujeme dve PS, je už $n > k$, a teda je možné použiť voľné vyrovnanie. Uvedené platí aj pre $s \geq 2$ PS.

Spracovanie LGS-P s vynechaním PS

Väzbové vyrovnanie:

Ak nechceme do spracovania zaradiť PS, príslušné stĺpce (týkajúce sa PS) v matici **A** vynecháme, a tým v príslušných stĺpcoch pre body P_i zostávajú len tie nenulové riadky, ktoré zodpovedajú observáciám, vykonaným na P_i . Potom pri vhodnom usporiadaní riadkov už táto matica **A** ukáže blokovú diagonálnu štruktúru (rovnako aj matica **N**), je teda možné aplikovať výhodný separátny postup vyrovnanie.

Voľné vyrovnanie:

O možnosti použitia voľného vyrovnanie opäť rozhoduje počet PS a rozsah observácií, t.j. konkrétne observačné situácie.

Predpokladáme, že všetky observácie sa vykonajú na prechodných stanoviskách, teda v matici **A** nebudú figurovať stĺpce pre PS. Opäť pri vhodnom usporiadaní matica **A** bude mať diagonálnu blokovú štruktúru. Pre ďalší postup, ak budeme uvažovať len nenulové riadky matice **A**, je zrejmé, že takúto blokovú diagonálnu štruktúru bude mať aj matica **N** a tá bude nesingulárna, teda odhady súradníc určených i dátumových bodov siete je možné určiť priamo podľa MNS estimátora väzbového vyrovnanie $dC = N^{-1} A^T Q_L^{-1} dL$. Teda vynechaním stĺpcov observačných bodov, t.j. PS v pôvodnej matici **A**, sa voľné vyrovnanie transformuje do väzbového vyrovnanie s Gaussovým - Markovovým regresným modelom.

Záver

Vyrovňavacie procedúry so štruktúrnymi analýzami, analýzy presnostných ukazovateľov takto zameraných a spracovaných 2D a 3D sietí a z nich zovšeobecnené poznatky ukazujú, že koncentrovanými observačnými štruktúrami zamerané LGS, teda siete s polárnou štruktúrou, sú vo všeobecnosti kvalitnejšie. Dá sa očakávať, že používanie US s adekvátnym spracovateľským postupom (čiastkové vyrovnanie LGS) a automatizačnými prostriedkami vytvorí v tejto oblasti aplikácie geodetických metód tzv. inteligentnú meraciu techniku. Tiež je evidentné, že US, ako najprogresívnejšia súčasná prístrojová technika, si zachová svoj význam aj v budúcom období rozšíreného používania družicových technológií, napr. GPS.

Uvedené postupy boli rozpracované v rámci doktorandskej dizertačnej práce (Sabová, 1996).

Literatúra

- Sabová, J.: Deformačné merania metódou voľných stanovísk. *Zborník prednášok 8. ban. ved. techn. konf. BF TU Košice, 1992, s. 98-105.*
- Sabová, J.: Polohové polárne siete a polárne pretínania. *Geodet. a kart. obzor 1992, 38/80, č.12, s. 245-250*
- Sabová, J.: Lokálne geodetické siete s polárnou štruktúrou. *Doktorandská dizertačná práca, Košice 1996, 143 s.*
- Šutti, J. & Sabová, J.: Geodetické siete s koncentrovanými meraniami. *Geodet. a kart. obzor 1993, 39/81, č.12, s. 225-261.*
- Šutti, J., Sabová, J. & Weiss, G.: Trojrozmerné siete v lokálnych geodetických systémoch. *Geodet. a kart. obzor, 1996, 40/84, č.9, s. 187-191.*

Weiss, G.: Trojrozmerné súradnicové zameranie geodetických sietí totálnymi stanicami. *Slovenské pedagogické nakladateľstvo, Bratislava 1998, 71 s.*