

新疆天文台本地连接测量的 GPS 资料归算^{* 1}

张阿丽¹⁾ 熊福文²⁾ 朱文耀³⁾

(1)中国科学院新疆天文台,乌鲁木齐 830011
(2)上海市地质调查研究院,上海 200072
(3)中国科学院上海天文台,上海 200030

摘 要 利用2011年8月在新疆天文台南山观测站进行的GPS与VLBI空间大地测量技术并置站的本地连接测量数据,探讨本地连接测量中GPS控制网的布设与观测、数据处理方法及测量精度,测控网的GPS测量结果与光学测量结果之间的坐标转换等问题。

关键词 国际地球参考框架;GPS;VLBI;并置站;本地连接测量

中图分类号:P227

文献标识码:A

ANALYSIS ON GPS OBSERVATIONS IN COLLOCATION SURVEY AT XINJIANG ASTRONOMICAL OBSERVATORY

Zhang Ali¹⁾, Xiong Fuwen²⁾ and Zhu Wenya³⁾

(1)Xinjiang Astronomical Observatory, CAS, Wulumuqi 830011
(2)Shanghai Institute of Geological Survey, Shanghai 200072
(3)Shanghai Astronomical Observatory, CAS, Shanghai 200030

Abstract The GPS data of collocation survey between the GPS and VLBI stations at the Nanshan stations of the Xinjiang astronomical observatory in August, 2011 were used to discuss the layout and observation, data processing method and the measurement accuracy of GPS control network, and coordinate transformation between the GPS measurements and optical measurements in the monitoring network.

Key words: ITRF; GPS; VLBI; co-location site; local collocation survey

1 引言

所谓空间大地测量技术并置站本地连接,源于国际地球参考架(ITRF)对VLBI、SLR、GPS、DORIS等多种空间大地测量技术所实现的地球参考架的综合。进行这种综合的基本约束参数是在多技术并置

站获得不同技术参考点之间的三维坐标差,即本地连接参数^[1-4]。

测站参考点通常指主转动轴与从属轴所在平面的交点,位于设备内部,是个虚拟的点,因此观测难度比较大,必须布设一些观测网站,借助一些观测仪器,并通过GPS测量获得测控点在ITRF下的坐标,再经

* 收稿日期:2013-03-30

基金项目:国家自然科学基金(10978022)

作者简介:张阿丽,女,副研究员,主要研究方向天体测量与地球动力学. E-mail: zhangal@uao.ac.cn

坐标转换最终得到参考点在 ITRF 中的坐标^[5-10]。由此可见,GPS 测量资料的归算精度及其与常规大地测量结果之间转换关系将直接影响到本地连接参数的测量精度。为此,我们利用新疆天文台南山观测站的 GPS 与 VLBI 空间大地测量技术并置站的本地连接测量数据,探讨了本地连接测量中 GPS 控制网的观测、数据处理方法及测量精度,测控网的 GPS 测量结果与光学测量结果之间的坐标转换等问题。

2 局域网的布设与观测

新疆天文台南山观测站的 GPS 与 VLBI 本地连接的局域网的布设如图 1 所示。

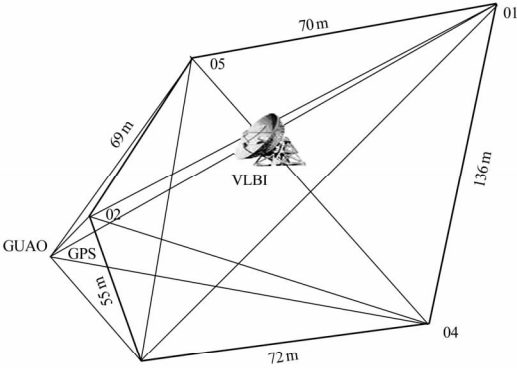


图 1 南山观测站局域网示意图
Fig. 1 Local network sketch of the Nanshan site

从图 1 可见,三角网的布设总体与 GPS 控制网相同(在局域网中,将 1 号点编号为 11,2 号点编号为 12,3、4、5 号点类推),由于 GUAO CORS 站无法安装棱镜,采取在 4、5 号点交会的方式测量其中心,高程测量采用工程上竖井高程传递的方法,用吊钢尺配合数字水准仪,精确测量中心高程。对局域网采用 GPS 载波相位双差测量和常规大地测量的边角测量方法,含水平方向、高度角和斜距测量。常规大地测量用于确定各点位在局域网中的坐标,GPS 测量用于局域网与地心三维坐标的转换。

图 1 中在 01、02、03、04、05 五个点位上安置 GPS 接收机,通过与 GUAO 站长时间连续观测,精确求得 01、02、03、04、05 五个控制点的 ITRF2008 坐标。

三角网测量时,在 01、02、03、04、05 五个点位上设站,分别观测这五个点位间平距、斜距、角度、高差,按照四等三角测量技术要求精确测量相对关系,精确求得 01、02、03、04、05 五个控制点的局域网坐标。

测量所用的 5 台接收机为 Z-Surveyor 双频接收机。观测时间为 2011-08-31T0 9:24—09-06T02:53 年积日 DOY243 ~ DOY249,观测卫星高度角 ≥ 15°;

有效观测卫星数 ≥ 5;时段长度为 24 小时;时段数 ≥ 3;数据采样间隔 30 秒。

3 GPS 数据处理与精度分析

3.1 参考历元及起算数据

数据处理时,选取 GUAO 站为起算基准。GUAO 站在历元 1997.0 的 X 、 Y 、 Z 坐标分量的精度分别为 0.6、0.7、0.7 mm,速度三分量 V_x 、 V_y 、 V_z 的精度分别为 0.04、0.08、0.08 mm/a。根据观测时刻(2011 年第 241 天, $t=2011.660\ 27$),GUAO 站站坐标 $X(t)$ 、 $Y(t)$ 、 $Z(t)$ 为:

$$\begin{aligned} X(t) &= X(t_0) + V_x(t - t_0) = 228\ 378.798\ 5\ \text{m} \\ Y(t) &= Y(t_0) + V_y(t - t_0) = 4\ 631\ 946.906\ 7\ \text{m} \\ Z(t) &= Z(t_0) + V_z(t - t_0) = 4\ 367\ 028.516\ 6\ \text{m} \end{aligned}$$

(1)

其中 $t_0=1997.0$ 。根据误差传播定律,得到观测时刻 GUAO 站坐标 $X(t)$ 、 $Y(t)$ 、 $Z(t)$ 的精度分别为 1.0、1.2、1.2 mm。

3.2 基线处理

选取南山 GPS 观测站 GUAO 站作为起算基准。基线处理用 GAMIT 10.4 版软件,采用 SP3 格式 IGS 精密星历,在 Sittbl. 文件中不固定任何点,只是给 GUAO 站较强的约束值(0.005 0.005 0.010),处理 5 个本地连接点和 GUAO CORS 站 GPS 数据及气象数据。按照年积日分别计算出 243—249 单日基线解,表 1 为 243 日的基线数据。

为了检测和衡量 GPS 测量的精度,统计了单日解 N、E、U 三个方向分量的重复性。重复性定义为:

$$R = \left[\frac{\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(C_i - C_m)^2}{\sigma_{C_i}^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_{C_i}^2}} \right]^{1/2}$$

(2)

式中 n 为同一基线的观测时段总数, C_i 是同一观测时段的基线的某一坐标分量或边长, $\sigma_{C_i}^2$ 为 C_i 分量相应的方差, C_m 为各时段 C_i 的加权平均值。

根据式(2),对 doy243—249 的基线文件进行统计分析,得出 N、E、U 三个方向和长度分量重复性如表 2 所示。表 2 表明基线在 N、E 和长度方向的重复性较高,为 0.3 ~ 0.4 mm,U 方向分量重复性稍差,重复性为 1.4 mm。基线相对精度为 0.8×10^{-8} ,满足《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB_T 18314—2009)中 A 级网基线相对精度 1×10^{-8} 的要求。

表 1 2011.243X 基线精度统计一览表(单位:m)
Tab.1 Statistics list of 2011.243X baseline precision (unit: m)

基线	X	Y	Z	L
01_02	106.404 7 ±0.001 9	55.584 3 ±0.006 9	-54.466 9 ±0.006 6	131.826 5 ±0.002 1
01_03	95.543 6 ±0.001 8	93.864 6 ±0.006 7	-94.944 9 ±0.006 4	164.175 7 ±0.002 3
01_04	21.943 3 ±0.001 7	90.846 4 ±0.006 2	-81.799 5 ±0.005 9	124.200 3 ±0.002 3
01_05	78.671 2 ±0.002 0	10.992 3 ±0.007 4	-14.451 8 ±0.007 1	80.739 4 ±0.002 0
01_GUAO	116.847 5 ±0.001 8	68.686 9 ±0.006 4	-62.673 2 ±0.006 1	149.329 1 ±0.002 1
02_03	-10.861 2 ±0.001 9	38.280 2 ±0.006 7	-40.478 0 ±0.006 4	56.761 0 ±0.002 4
02_04	-84.461 5 ±0.001 7	35.262 0 ±0.006 2	-27.332 6 ±0.005 9	95.520 8 ±0.001 9
02_05	-27.733 5 ±0.002 0	-44.592 1 ±0.007 4	40.015 1 ±0.007 1	66.021 3 ±0.002 6
02_GUAO	10.442 8 ±0.001 8	13.102 5 ±0.006 3	-8.206 3 ±0.006 0	18.656 7 ±0.002 8
03_04	-73.600 3 ±0.001 7	-3.018 2 ±0.006 0	13.145 4 ±0.005 8	74.825 9 ±0.001 8
03_05	-16.872 3 ±0.002 0	-82.872 3 ±0.007 2	80.493 1 ±0.006 9	116.754 6 ±0.002 5
03_GUAO	21.304 0 ±0.001 8	-25.177 7 ±0.006 2	32.271 7 ±0.005 9	46.143 6 ±0.002 3
04_05	56.728 0 ±0.001 8	-79.854 1 ±0.006 8	67.347 7 ±0.006 5	118.871 6 ±0.002 4
04_GUAO	94.904 3 ±0.001 6	-22.159 5 ±0.005 7	19.126 3 ±0.005 4	99.316 1 ±0.001 7
05_GUAO	38.176 3 ±0.001 9	57.694 6 ±0.007 0	-48.221 4 ±0.006 6	84.329 1 ±0.002 6

表 2 GPS 控制网基线处理重复性统计表
Tab.2 Repeatability statistics of baseline processing of GPS control network

统计分量	重复性(m)	相对精度(10 ⁻⁸)
N	0.000 31	0.964 13
E	0.000 34	0.875 93
U	0.001 42	1.195 17
Length	0.000 37	0.777 59

3.3 GPS 网平差

南山站 GPS 控制网平差采用 GPS_NET 软件,固定 GUAO 站在 ITRF2008 框架下 2011.66027

(2011.8.30 日)历元的坐标,对整网进行平差,平差后 01、02、03、04 四个点的 X、Y、Z 坐标精度达 0.4 mm,05 点的 X、Y、Z 坐标精度为 0.5 mm(表 3)。

4 三角测量数据处理

如图 1,将 2 号点作为局域网原点,1 号点作为参考方向($y=0$),2 号点垂直向上为 z 轴, xyz 为右手系,建立局域网坐标系。

局域网的常规大地测量由全站仪完成。经三维网平差得到的各点位坐标见表 4。

表 3 测控点在 ITRF2008 框架下的坐标(单位:m)
Tab.3 Coordinates (ITRF2008) of survey points in local network (unit: m)

点号	X	Y	Z	σ	σ	σ
01	228 261.952 0	4 631 878.217 4	4 367 091.188 3	0.000 4	0.000 4	0.000 4
02	228 368.357 2	4 631 933.804 3	4 367 036.723 4	0.000 4	0.000 4	0.000 4
03	228 357.495 7	4 631 972.083 8	4 366 996.245 1	0.000 4	0.000 4	0.000 4
04	228 283.895 5	4 631 969.064 5	4 367 009.389 6	0.000 4	0.000 4	0.000 4
05	228 340.622 9	4 631 889.212 1	4 367 076.738 3	0.000 5	0.000 5	0.000 5
GUAO	228 378.798 5	4 631 946.906 7	4 367 028.516 6	0.000 0	0.000 0	0.000 0

表 4 测控点在局域网中的坐标及精度(单位:m)
Tib.4 Coordinates and precision of survey points in local network (unit: m)

点号	X	Y	Z	σ_x	σ_y	σ_z
11	131.664 9	0.000 0	-6.605 3	0.000 8	0.000 0	0.000 2
12	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.0000	0.0000	0.000 0
14	42.257 6	-85.587 4	3.732 6	0.000 4	0.000 5	0.000 2
15	57.504 8	31.915 7	-5.795 8	0.000 5	0.000 3	0.000 2
13	-24.146 6	-51.369 1	-0.506 4	0.001 8	0.001 1	0.000 2

5 结论

利用 GAMIT、GPS net 等数据处理软件,分析了南山 2011 年本地连接测量中 GPS 网与局域三角网的测量精度,获得了测控网点在 ITRF2008 下的高精确坐标以及在局域网里的坐标,结果显示:基线在 N、E 和长度方向的重复性在 0.3 ~ 0.4 mm,U 方向分量重复性为 1.4 mm,GPS 测控点在 ITRF2008 系统下的坐标精度均好于 0.5 mm。

参 考 文 献

1 Steinforth C, et al. Stability of space geodetic reference points at Ny-Alesund and their excentricity vectors [DB/OL]. ftp://ivs. bkg. bund. de/pub/analysis/papers/083 – Steinforth. pdf.

2 Zuheir Altamimi. ITRF2005 residuals and co-location tie issues [R]. IERS Workshop, June 2008.

3 Zuheir Altamimi. Position paper on: ITRF and collocation sites [R]. IERS Workshop on Local Surveys and Collocation Sites, Thursday, 23 October, 2003.

4 John Dawson, IERS Working Group on Site Survey and Co-

location (WG 2) [R], 2007 (http://www. iers. org/iers/about/wg/wg2/).

5 Pierguido sarti. Height bias and scali effect induced by antenna gravitational deformations in geodetic VLBI data analysis [J]. J Geod. , 2011 , 85 : 1 – 8.

6 刘光明, 马金辉, 唐颖哲. VLBI 归心测量中的空间拟合 [J]. 测绘通报; 2011, (10): 11 – 19. (Liu Guangming, Ma Jinhui and Tang Yingzhe. Fit method in determination of space coordinate differences of VLBI sites [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2011, (10): 11 – 19).

7 Ding X L, et al. Seasonal and secular posional variations at eight co-located GPS and VLBI stations [J]. J Geod. , 2005, 79: 71 – 81.

8 Zhu Wenyao, Fu Yang and Li yan. Globat elevation vibration and seasonal changes derived by the analysis of GPS height [J]. Science in China, Series (D), 2003, 46 (8): 765 – 778.

9 Zhu Wenyao. Recommendations for construction of a nonlinear international Terrestrial Reference Frame [J]. Science China, 2011, 54 (1): 1 – 8.

10 Claudio Abbondanza and Zuheir Altamimi. Local effects of redunadt terrestrial and GPS-based tie vectors in ITRF-like combinations [J]. J Geod. , 2009, 83: 1 031 – 1 040.

(上接第 128 页)

参 考 文 献

1 Ge M, et al. Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in Precise Point Positioning (PPP) with daily observations [J]. Journal of Geodesy, 2008, 82: 389 – 399.

2 Li X, Zhang X and Ge M. Regional reference network augmented precise point positioning for instantaneous ambiguity resolution [J]. Journal of Geodesy, 2011, 85 (3): 151 – 158.

3 张宝成, 等. 精密单点定位整周模糊度快速固定 [J]. 地球物理学报, 2012, 55 (7): 2 203 – 2 211. (Zhang Baocheng, et al. Rapid integer ambiguity-fixing in precise point positioning [J]. Chinese Journal of Geophysice, 2012, 55 (7): 2 203 – 2 211)

4 Gao Y and Chen K. Performance analysis of precise point positioning using real-time orbit and clock products [J]. Journal of Global Positioning System, 2004, 3 (2): 95 – 100.

5 张小红, 李星星. 非差模糊度整数固定解 PPP 新方法 & 实验 [J]. 武汉大学学报 (信息科学版), 2010, 35 (6): 657 – 660. (Zhang Xiaohong and Li Xingxing. A new method for zero differenced interger ambiguity resolution and its application to PPP [J]. Geomatics and Information Science of

Wuhan University, 2010, 35 (6): 657 – 660)

6 Geng J, Meng X and Dodson A. Integer ambiguity resolution in precise point positioning: method comparison [J]. Journal of Geodesy, 2010, 84 (9): 569 – 581.

7 Leandro R and Santos M. Wide area based precise point positioning [A]. Proceedings of ION GNSS 2006 [C]. Fort Worth, TX, 2006: 2 272 – 2 278.

8 Collins P. Isolating and estimating undifferenced GPS integer ambiguities [A]. Proceedings of ION NTM-2008 [C]. San Diego, CA, 2008: 720 – 732.

9 Teunissen P J G and Kleusberg A. GPS for geodesy [J]. Lecture Notes in Earth Sciences, 1996, 60: 175 – 217.

10 Keshin M. Directional statistics of satellite-satellite single-difference widelane phase biases [J]. Article Satellites, 2004, 39 (4): 305 – 324.

11 Cai J, Grafarend E and Hu C. The statistical property of the GNSS carrier phase observations and its effects on the hypothesis testing of the related estimators [A]. Proceedings of ION GNSS 2007 [C]. Fort Worth, TX, USA, 2007: 331 – 338.

12 Jammalamadaka S R and SenGupta A. Topics in circular statistics [M]. Malaysia: World Scientific Publishing, 2001.