

关于 CGCS2000 几个技术问题的探讨

赵庆海

(西安测绘信息技术总站, 陕西 西安 710054)

The Discussion on Technical Problems for CGCS2000

ZHAO Qinghai

摘要:针对 CGCS2000 的启用,探讨 GPS 数据处理中的坐标统一问题。主要包括 GPS 基线向量坐标框架的统一、基线向量历元的统一、基线向量影响的量级分析和起算坐标的兼容性分析,并给出相应的数学模型及适用条件。

关键词:GPS; 坐标系; 数据处理; 板块运动模型

一、引言

由于 GPS 技术自身的特点, GPS 数据处理过程中的坐标统一问题,是数据处理的难点,很容易被忽视。若处理不好,就会把一些不必要的误差带入控制网,影响数据处理的精度。

近年来,我国先后布测了全国一、二级 GPS 网,国家 A、B 级 GPS 网和中国地壳运动观测网络共 2 600 多点的全国范围高精度 GPS 控制网。通过统一平差,得到了新一代国家大地坐标系统——2000 国家大地坐标系(CGCS2000,即 ITRF97 在中国的扩展或加密),又通过与常规天文大地网的联合平差,实现了将常规大地点纳入 CGCS2000^[1]。随着 CGCS2000 的启用,今后所有大地控制网的坐标均需采用 CGCS2000。但由于 GPS 的星历、处理方法和软件、起算坐标等不同,要实现 CGCS2000,还有一些技术问题需要解决。

本文正是基于上述问题,对 GPS 数据处理中几个容易被忽视的技术问题进行一些有益的探讨,可作为 GPS 数据处理的参考。

二、GPS 基线向量坐标框架的统一

1. 基线向量坐标框架的直接转换

GPS 大地控制网一般采用静态观测的方法,又称为相对静态测量,观测量主要是信号的相位差。数据处理分为两个步骤:① 解算基线向量;② 基线向量的平差处理。对于解算基线向量,数据处理软件一般采用大型高精度软件或接收机配套的商用软件。前者如美国麻省理工学院(MIT)的 GAMIT 和瑞士 BERNESE 大学的 Bernese 等,这些软件模型

复杂,解算精度高,比较适合中长边的 GPS 基线;后者如 Trimble 公司的 TGO 和 TOPCON 公司的 Pinnacle 等,一般只能进行单基线的解算,没有考虑同步观测基线间的相关性,模型比较简单,适合短边基线(一般不超过 50 km)的解算。对于基线矢量的平差处理,各种软件都有与之相配套的软件,如 MIT 的 GLOBK 等,也可以使用自主开发的软件,如笔者开发的 GPSADJ。

根据解算基线向量的基本原理,基线向量的坐标框架和采用的星历是一致的。因此,采用不同星历解算的基线矢量,其坐标框架也是不相同的。考虑到星历一直在变化,对于采用不同星历解算的基线向量,如果一起处理,必须要考虑 GPS 基线矢量的坐标框架统一问题。

星历一般分为预报星历(也称为广播星历)和事后星历(也称为精密星历)。广播星历调制在卫星的导航电文中,由接收机接收观测数据时一并得到,它属于 WGS-84 坐标,先后有 G730、G873 和 G1150 等不同的精化坐标^[2]。精密星历一般采用 ITRF 系列坐标框架,由 IGS 提供,可从因特网直接下载。不同时期的观测数据使用不同的精密星历(不同 ITRF 框架的卫星空间轨道离散坐标),基线解的基线向量也具有不同的坐标框架。联合平差时,如果精度要求较高,必须统一观测量坐标框架(基线较长时更是如此),具体转换方法可参考有关文献提供的坐标转换参数计算^[3]。

需要说明的是,IGRS 提供的转换参数,是根据全球部分 IGS 站答解出来的,由于答解参数时我国的 IGS 站采用很少,因此在我国使用该转换参数,代表性并不太好。

收稿日期: 2010-12-23

作者简介: 赵庆海(1964—),男,河北高邑人,硕士,高级工程师,主要从事 GPS 数据处理理论与方法的研究工作。

2. 系统参数的引入及参数的检验

GPS 基线向量坐标框架的统一也可以采用求解系统参数的方法^[4]。

对于基线观测来说,只含有尺度和旋转参数信息,因此附加的系统参数为各子网相对于参考基准之间的尺度和旋转分量。

子网 k 中基线向量 b_{ij} 的误差方程为

$$\begin{bmatrix} V_{\Delta X} \\ V_{\Delta Y} \\ V_{\Delta Z} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \delta X_i \\ \delta Y_i \\ \delta Z_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \delta X_j \\ \delta Y_j \\ \delta Z_j \end{bmatrix} + R_{ij} \begin{bmatrix} \varepsilon_X \\ \varepsilon_Y \\ \varepsilon_Z \end{bmatrix} + m^k \begin{bmatrix} \Delta X_{ij} \\ \Delta Y_{ij} \\ \Delta Z_{ij} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Delta X_{ij}^0 - \Delta X_{ij}^0 \\ \Delta Y_{ij}^0 - \Delta Y_{ij}^0 \\ \Delta Z_{ij}^0 - \Delta Z_{ij}^0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中

$$R_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & -\Delta Z_{ij} & \Delta Y_{ij} \\ \Delta Z_{ij} & 0 & -\Delta X_{ij} \\ -\Delta Y_{ij} & \Delta X_{ij} & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \Delta X_{ij}^0 \\ \Delta Y_{ij}^0 \\ \Delta Z_{ij}^0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_j^0 - X_i^0 \\ Y_j^0 - Y_i^0 \\ Z_j^0 - Z_i^0 \end{bmatrix}$$

其中, $[X_i^0 \ Y_i^0 \ Z_i^0]^T$ 和 $[X_j^0 \ Y_j^0 \ Z_j^0]^T$ 分别为 i 和 j 两点的坐标初值; $[\Delta X_{ij} \ \Delta Y_{ij} \ \Delta Z_{ij}]^T$ 为基线向量观测值; $[V_{\Delta X} \ V_{\Delta Y} \ V_{\Delta Z}]^T$ 为观测值残差; $[\varepsilon_X \ \varepsilon_Y \ \varepsilon_Z]^T$ 和 m^k 分别为 k 子网的旋转和尺度参数; $[\delta X_i \ \delta Y_i \ \delta Z_i]^T$ 和 $[\delta X_j \ \delta Y_j \ \delta Z_j]^T$ 表示 i 和 j 两点初值到平差值的改正数。

基线的误差方程可以简写为

$$V_{ij} = -\delta X_i + \delta X_j + R_{ij} \varepsilon^k + m^k \Delta X_{ij} - f_{ij} \quad (2)$$

求解出各子网相对于参考基准之间的尺度和旋转参数后,这些参数必须经过统计假设检验,以确定它们是否在一定的置信水平下显著存在。如果这些参数不显著,它们的存在会影响平差系统的性状,应予以剔除。

三、GPS 基线向量历元的统一

1. 历元归算模型

确定测站速度的目的是为了进行测站坐标的历元归算。对于已有实测站速度的测站(如 IGS 站或中国地壳运动观测网络工程站),直接采用实测站速度;对于没有实测站速度的测站,可以利用近年来我国建立的地壳运动模型进行归算,具体模型可参考相应资料得到,也可以利用 NNR-NUVEL1A 板块运动模型计算^[3]。

数据处理中,地壳运动改正分两步完成:①利用 GAMIT 软件,在数据准备中将参考站的测站坐

标、测站速度和相应的历元按软件要求填写在相应文件中即可;②将观测历元的基线归算到相应的历元进行整体平差。

鉴于 CGCS2000 的实现精度和稳定性要求都在厘米级水平,在精密大地测量应用中,应顾及板块构造运动的影响^[1]。

2. NNR-NUVEL1A 模型

实践中,顾及板块运动影响的通常做法是利用一定的模型计算板块运动,对站坐标加以改正。如果没有利用实测速度建立的板块运动模型,宜采用 NNR-NUVEL1A 板块运动模型^[3]。

根据 NNR-NUVEL1A 模型,全球岩石圈划分为 16 个板块,板块和板块边界的划分以及各板块的旋转矢量见文献[3]。利用 NNR-NUVEL1A 模型计算速度的误差因地区而异,一般地区约为 5 mm/a,在青藏地区约为 10 mm/a^[1]。

3. 基于实测速度数据的滑动旋转矢量模型

除 NNR-NUVEL1A 模型外,还可以采用基于实测速度数据的滑动旋转矢量模型进行地壳运动改正。

将计算点周围区域视为一刚性块体。首先,利用位于块体内 3 个或 3 个以上已知点的水平速度,求出块体的旋转矢量($\Omega_x \ \Omega_y \ \Omega_z$)的最小二乘估值;然后用得到的($\Omega_x \ \Omega_y \ \Omega_z$)的估值和计算点的经纬度来计算点的速度。

根据现有中国地壳运动网络工程 900 多个 GPS 点的速度数据,利用基于滑动旋转矢量模型可以计算境内任意点的速度。

四、基线向量影响的量级分析

GPS 星历误差是一种起算数据误差,它必将以某种形式传递给测站坐标,产生定位误差。对于 GPS 相对测量来说,星历误差被大大削弱后仍影响基线向量,通常采用经验公式(3)估计对相对定位的影响^[5]

$$\frac{1}{10} \cdot \frac{dp}{p} < \frac{dB}{B} < \frac{1}{4} \cdot \frac{dp}{p} \quad (3)$$

式中 p 为卫星到测站的几何距离; dp 为卫星星历误差; B 为基线向量长度; dB 为卫星星历误差引起的基线向量误差。

据式(3)估算,广播星历对基线向量的影响(dB/B)在 $(0.1 \sim 1.25) \times 10^{-6}$ 之间;精密星历对基线向量的影响(dB/B)在 $(0.04 \sim 0.1) \times 10^{-6}$ 之间。因此,对于大部分工程测量(边长较短),使用广播星历已满足对定位精度的要求;但对于高精度相对定位(边长几百千米到几千千米)来说,广播星历对基线向量的影响已不可忽视,必须使用精密星

历,甚至要顾及不同精密星历之间的不一致性。

对于一般的工程网,最后的结果需要转换到国家大地坐标系或地方坐标系,通常的处理方法有两种:①先得到 CGCS2000 的坐标,然后再利用公共点解算坐标转换参数,最后得到未知点的坐标;②直接使用已知点的国家大地坐标作起算,把 GPS 基线向量当作观测量进行平差得到未知点的坐标。前者理论比较严密;后者没有顾及基线向量在不同坐标系的旋转和尺度参数,它的影响与基线的长度成线性关系,对于短边基线,这种影响可以满足一般工程网的要求,随着边长的增加,这种影响必须顾及^[6]。

五、起算坐标的统一和兼容性检验

GPS 基线向量网平差时,需约束已知控制点的坐标进行约束平差,而未知控制点坐标必须兼容,否则会损害 GPS 网的精度。GPS 已知数据兼容性的判别常用的方法有单位权方差的假设检验法、符合路线闭合差比较法等^[7]。采用这些方法前,首先应对 GPS 控制网进行同步环、异步环闭合差及基线重复性检验,甚至进行抗差估计,确认 GPS 基线向量观测值中无粗差^[8]。

六、结束语

随着 CGCS2000 的采用,我国已建成新的高精

度的大地基准,CGCS2000 与常规技术建立的大地坐标系的区别,在于它不但实现了由参心到地心的转变,而且实现了高精度和四维化,即把时间概念引入了坐标系(带有历元)。所有这些都为 GPS 数据处理带来了新的问题,数据处理时必须认真对待。

参考文献:

- [1] 魏子卿. 2000 中国大地测量系 [J]. 大地测量与地球动力学, 2008, 28(6): 1-4.
- [2] 陈俊勇. 世界大地坐标系统 1984 的最新精化 [J]. 测绘通报, 2003(2): 1-3.
- [3] MCCARTHY D D, PETIT G. IERS Conventions (2003) [R]. Frankfurt am Main: Verlag des Bundesamts für Kartographie und geodäsie, 2004.
- [4] 赵庆海, 方明. 高精度 GPS 数据处理过程中的系统误差问题 [C] // 联合平差论文集(四). 北京: 解放军出版社, 2003: 8-11.
- [5] 张勤, 李家权. GPS 测量原理及应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [6] 赵庆海, 赵亚平. 以 1954 北京坐标作起算对 GPS 基线向量网平差的影响 [J]. 四川测绘, 2002, 25(3): 119-120.
- [7] 傅晓明, 沈云中. GPS 网起算点坐标的兼容性分析 [J]. 测绘通报, 2002(9): 10-11.
- [8] 赵庆海. 高精度 GPS 向量网抗差估计 [J]. 测绘学报, 2004, 33(1): 43-46.

FARO 推出用于三维建档激光扫描仪 Focus^{3D} 的最新版本

【本刊讯】2011年12月22日,世界领先的便携式三维建档、测量及成像系统提供商 FARO,宣布推出最先进的三维建档技术。其新推出的三维激光扫描仪 FARO Focus^{3D} 和新发布的 SCENE 软件带来了一系列新的优势,使得三维建档项目更具成本效益,最大程度地减少了后处理阶段中的手动操作和时间。

新的多传感器硬件特性包括指南针和高度传感器,这是对 FARO Focus^{3D} 现有的双轴补偿器的补充。两个新的传感器为每次扫描提供相对于设置起始点的方位和相对高度。它们显著改善了自动配准过程,最大程度地减少了后处理中的手动操作。

凭借 WLAN 远程控制, FARO Focus^{3D} 带来了一个非常有用的新特性,使用户能够远程启动、停止、查看或下载扫描。如从高空、空间狭小的罐体或污水渠等人难以手动操作的位置进行扫描。

此外 FARO Focus^{3D} 目前可以配备 3 个用于特定应用的新适配器。自动化适配器使得 Focus^{3D} 能够安装在如固定柱、机器人手臂和铁轨等任何支撑物上;用于移动螺旋形扫描的适配器以原有的自动化适配器为基础,但增加了两个插销以将扫描仪水平轴锁死,避免因震动等因素引起水平轴旋转;最后是 TMS 适配器,是专为高效的隧道扫描测量特别开发的。

FARO 的互联网共享浏览器 SCENE WebShare 4.9 将提供测量和注释功能。利用 WebShare 功能共享的扫描可以在浏览器上直接进行分析;在概览图中可以精确地测量距离和面积,而在全景图中,可以很容易地测量点与点之间的距离。



法如 VIP 现场答记者问

(本刊编辑部)