

GPS 的基线解算及已知点兼容性检验

张永军 王泽民 徐绍铨 鄢子平

(武汉测绘科技大学地学测量工程学院)

1 引言

全球定位系统(简称 GPS)是美国国防部为满足军事部门对海上、陆地和空中设施进行高精度导航和定位要求而建立的,它具有全球性、全天候、连续的精密三维导航与定位能力。经过全世界科技工作者、仪器生产厂商的共同努力,GPS 定位技术日趋成熟,而且具有自动化程度高、观测速度快、定位精度高、不受通视条件限制、抗干扰能力强等特点,从而广泛应用于测绘领域的各个部门。而这些优点的充分发挥,GPS 定位精度潜力的进一步挖掘,与作业者的正确操作及数据处理经验密切相关,例如采集外业数据时仪器的正确操作,基线解算的策略及质量控制,平差阶段多个已知点之间进行兼容性检验等。

本文结合我国南方某机场控制网的施测及数据处理过程,对 GPS 基线解算及网平差中的已知点兼容性检验问题进行探讨。该网按 C 级精度要求,采用 Trimble 4000 SSI 双频接收机施测,测区共有 8 个点,共布设了 8 个同步环,其中 GZ01 为国家一等点,GZ02 及 GZ03 为城市二等点,它们都有实测的水准数据及 1954 年北京坐标系坐标,中央子午线为东经 113°。基线解算采用随机的“GPSurvey Ver2.2”软件,平差则采用武汉测绘科技大学研制的“POWERADJ Ver3.00”软件。

2 基线解算过程及策略

(1) 基线解算的一般过程

GPS 技术在测量中均采用相对定位技术,

即确定点与点间的相对位置关系。这种相对关系可以用某一坐标系下的三维直角坐标差 ($\Delta X_{ij}, \Delta Y_{ij}, \Delta Z_{ij}$) 表示,也可以用大地坐标差 ($\Delta B_{ij}, \Delta L_{ij}, \Delta H_{ij}$) 等表示。这种点间的相对位置量称为基线向量。

基线处理的一般过程为:

① 读取数据。数据可从 GPS 接收机读取,也可从计算机或其他存储设备读取。

② 观测值的预处理。包括组成差分观测值、剔除不合格数据和周跳的探测及修复。

③ 组成误差方程、法方程并求解未知参数。

④ 确定整周未知数。一般是用概率统计的方法确定置信区间,找出可能的值,再根据方差最小来确定 N 。

⑤ 反复进行前两步,直到观测值残差符合要求,再最终求得基线向量的固定解。

(2) 解算参数的选择

① 截止高度角(Elevation mask):系统缺省的截止高度角为 15°;适当增大截止高度角有利于求解整周未知数及提高成果精度。因为所有相位的噪声随高度角增大而降低,如果 GDOP(几何强度因子)值能够满足,卫星数大于或等于 5 时,截止高度角选择 20~25 最佳。

② 星历(Ephemeris):卫星星历有广播星历和精密星历两种。一般情况下我们只能根据实测数据中得到的广播星历进行计算,对于绝大部分数据处理,这已经足够了;若控制网精度要求很高或有特殊需求,可以通过 Internet 网

提取事后计算出的精密星历进行解算。因为用精度星历可以通过减少广播星历误差的影响来提高基线精度,同时也能提高在长基线上固定整周模糊度的能力。

③ 对流层模型(Tropospheric model):对于对流层,系统有5种模型可供选择,一般采用系统缺省的Hopfield模型即可。

④ 电离层模型(Ionospheric model):电离层改正仅对用双频接收机观测的基线有用,而对单频机则无法进行改正。对于双频机,一般也应采用系统的缺省改正模型,除非有充分理由,否则不要改变缺省值。另外,电离层模型改正与频率的选取有关。当进行电离层影响改正时,处理器就会建立模型并消除电离层偏差,电离层偏差模型在码/相位浮点解的过程中开始建立,并且随后续解一起进行改善。

⑤ 频率(Frequency)选取:基线解算时频率有 $L1$ 、 $L2$ 、宽巷及窄巷4种选择,其中宽巷观测值的波长约86 cm,它从 $L1$ 与 $L2$ 作减法导出,即 $L1 - L2$ 。窄巷观测值波长11 cm,它由 $L1 + L2$ 载波得出,即 $L1 + L2$ 。对于单频和双频数据最终解的频率类型缺省方式为 $L1$,但是对于双频数据如果用电离层改正(缺省方式是对长于5 km的基线),则将生成无电离层影响解。如果想生成宽巷或窄巷解,则一定要保证电离层改正设置的正确性。在处理宽巷或窄巷解之前必须设置最终解不进行电离层的改正。

(3) 固定站参考坐标的获取

对于基线解算时固定站WGS—84坐标的精度,《规范》中有明确规定,一般情况下应具有10 m以内的精度,若固定站坐标精度不能满足要求,则在基线解算时会引入误差。获取符合精度要求的WGS—84坐标的方法有单点定位解、通过坐标转换求出、与国内永久性GPS跟踪站联测等。条件许可时,最好采用与跟踪站联测的方法进行,对于1 000 km左右的基线,采用精密星历可以达到厘米级的精度,因而可以充分保证起算点坐标的精度。

(4) 对基线质量的影响因素及解决方法

当起算点坐标不准确时,如上文所述,可采用单点定位解、坐标转换、与国内永久性GPS跟踪站联测等方法获取满足精度要求的WGS—84坐标。还有一种方法就是整网利用一个点的坐标或从该点衍生出来的坐标作为整网的起算坐标,如果有个别卫星观测时间短,在开始观测不久卫星就落下去或在结束观测不久前卫星才升起来,这时可将该星的观测值删除掉。有时利用残差图可发现某时段内周跳太多,解决办法大致有:据残差值算出周跳并加到观测值中再做平差,删除发生周跳卫星的观测值,某星的周跳很多时可截取该星未发生周跳的一段进行计算,对未发生周跳的卫星则利用整个时段的数据。对于多路径效应的影响,则可通过提高卫星的截止高度角,比如提高到20°或更高、删除卫星观测值或截时段,适当放宽编辑因子等方法;而对流层和电离层影响可通过加入气象改正和电离层改正模型改正或利用双频观测值进行改正而提高基线结果的精度。

另外,基线解算的成果可能带有偏差,一般情况下我们可以通过进行残差计算并删除残差大的观测数据,进行同步环及异步环闭合差检核来消除,对于同步环和异步环的闭合差,《规范》中均有相应的要求。同步环和异步环闭合差的严格控制,往往是决定三维无约束平差成果精度的关键因素,因而在基线解算时必须予以高度重视。

在本网的基线处理过程中,首先提取精密星历,用武汉和上海两个GPS跟踪站的数据计算出3个已知点的WGS—84坐标,以一等点GZ01的坐标为参考坐标进行基线解算,并进行了对流层和电离层的改正,解算过程中对同步环、异步环及重复基线闭合差进行了严格的控制,最大同步环闭合差为0.4 cm,最大异步环闭合差为1.3 cm,最大重复基线闭合差为0.8 cm,相对闭合差都小于 1.5×10^{-6} ,因而完全满足《规范》的C级网精度要求,确保了外业数据质量的可靠性。

3 网平差中已知点兼容性的检验

GPS 测量成果属于 WGS—84 坐标系, 而我们所需要的是转换至国家或地方坐标系的二维或三维成果。具体转换方法主要是利用已知点作为约束条件, 在平差计算时强制符合到已知点所在的坐标系中。但由于种种原因, 已知点可能存在较大的误差或彼此之间不兼容, 这会损失 GPS 网本身的精度, 带来不可忽略的影响。因此需要对已知点进行必要的兼容性检验, 以便发现并剔除存在较大误差的点或明显不兼容的点。

常用的检验方法有实测基线比较法和约束平差分析法两种。实测基线比较法是利用 GPS 较高精度的边长观测结果来检核已知点的兼容性, 此法的关键是要将实测结果化算到已知点所在的坐标系中, 具体可参见相关资料, 此处不在赘述。下面简单介绍一下约束平差分析法。

GPS 网二维或三维无约束平差所得的单位权及长度、方位的精度真实地反应了 GPS 的实测精度。如果平差后的单位权中误差 $\delta = 1$, 而且基线坐标分量改正数在毫米级, 则可认为 GPS 网无明显粗差, 可以进行二维约束平差的分析 and 比较。具体方法是通过已知点间的不同组合进行约束平差, 然后比较其结果, 其分析方法大致有:

① 平差前后单位权中误差 δ 不近似等于 1, 由于 GPS 网本身没有粗差存在, 而随机基线解算软件所提供的方差—协方差也合适, 则一般是已知点数据质量有问题, 有可能是起算数据有粗差, 也可能是已知点之间互相不兼容。

② 比较同名基线在约束平差和无约束平差中改正数的变化。如果有很大的差异, 则一般是起算数据不合理。

③ 通过边长、方位、点位精度来分析。如果约束平差得到的边长相对中误差、方位中误差和点位中误差与无约束平差结果相近, 则说明用于平差的已知点无明显问题; 反之则可能引入了不合理的已知点。

④ 尺度比参数的大小 du 反映了 GPS 网与地面网之间的兼容程度, 如果 du 较小(一般应小于 10^{-5}), 则可认为彼此之间兼容较好; 如果 du 较大且采用不同的约束方式所得的 du 相差较大, 则参与平差的某个已知点肯定有问题。

进行该机场控制网的平差时, 采用了武汉测绘科技大学研制的“POWERADJ Ver3.00”软件。为了对甲方单位所给的已知点坐标进行检核, 在完成三维无约束平差后, 又分别进行了二维无约束平差和 3 种方式的二维约束平差, 计算结果如表 1。

表 1

约束点点号	GZ01	GZ01、GZ02	GZ01、GZ03	GZ01、GZ02、GZ03
单位权中误差/cm	1.00	0.98	1.00	1.00
最弱边相对中误差	1/23.1万	1/21.8万	1/23.0万	1/20.8万
最弱点位中误差/cm	0.65	0.77	0.65	0.99
平均点位中误差/cm	0.31	0.47	0.32	0.70
某条基线改正数 (V_x V_y) /cm	0.54 0.16	0.64 0.33	0.49 0.05	3.01 2.59
尺度比参数 du (10^{-6})	8.90	1.74	7.99

由表 1 可以看出:

① 只引入 1 号点进行无约束平差, 精度为最高, 反映了 GPS 网的实测精度。

② 引入 1、2 号点进行约束平差, 其结果质量有较大的下降, 表明 1、2 号点之间兼容性差。

③ 引入 1、3 号点进行约束平差, 其结果与

无约束平差非常接近, 表明 1、3 号点之间兼容性较好。

④ 同时引入 1、2、3 号点进行约束平差, 其结果质量有显著下降, 表明 1、2、3 号点间兼容性有明显问题。

(下转第 11 页)

或谷底线流入湖泊或海洋,另一种可能是等高线在这一部分分布太稀,数字化点太少而不能足够详细地描述地貌形态。在某点搜索到的山谷线的下一点是别的山谷线上的点的原因是两条山谷线会合在此点。

提取山脊线是由低向高逐条线来搜索的。其搜索的原理和方法与搜索山谷线相同。

4 试验

本试验采用数据为2幅图,是铁道部专业设计院在宝成铁路沿线用数字化航空摄影测量获得的两个地段的数据,其采样方式是用解析测图仪沿等高线采样并加测特征点。

提取特征线是从等高线数据中提取出特征点,进而将特征点连成线来实现的。因此,本实验采用的数据是只有等高线的数据文件,也就是说,把原始数据文件(宝成线地段、地段)经过预处理(删除特征点及碎部点)后作为试验

数据文件。

试验结果如下:

① 宝成线地段,区域大小700 m × 700 m,提取山脊线74条,山谷线57条。

② 宝成线地段,区域大小700 m × 700 m,提取山脊线100条,山谷线86条。

5 结束语

试验证明,基于多因素模糊综合评判技术提取特征线的方法理论是正确的,可以绝大多数的特征线提取出来,生产中是可行的,具有一定的应用价值。

参 考 文 献

- 1 胡继才等. 应用模糊数学. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1993
- 2 陈向东. 利用数字化等高线数据自动生成地性结构线. 测绘科技动态, 1991(5)

(上接第8页)

⑤ 比较几种方案可知,固定1、3号点进行平差为最佳,而2号点很可能有问题。

4 结束语

本文主要讨论了GPS网基线处理的一些策略及网平差时的已知点兼容性检验等问题。在利用GPS定位技术进行高精度测量时,只要外业数据检核时严格把关,进行同步环、异步环及重复基线检验,并控制其闭合差,一般可以获得很高的内符合精度。但是我们并不能只依赖GPS网本身的精度,因为GPS定位的解算结果属于WGS—84坐标系,而我们需要的是转换至国家或地方坐标系的二维或三维成果。因而为了获得理想的测量精度,我们必须合理优化

地布设网形结构、采集外业数据,并确保外业数据检核合格。在进行平差时,要认真对已知点坐标进行兼容性检验,并进行适当的筛选,而且一般只采用两点进行约束,以免引起GPS网的额外变形,需要注意的是,网中至少应有3个已知点,以便判明其兼容性,而且在网形布设时,已知点间最好直接有基线相连,以利于对其进行检验。

参 考 文 献

- 1 徐绍铨等. GPS测量原理及应用. 武汉: 武汉测绘科技大学出版社, 1998
- 2 刘基余, 李征航等. 全球定位系统原理及其应用. 北京: 测绘出版社, 1993
- 3 黄劲松等. GPS测量数据处理教程. 武汉测绘科技大学地测院, 1998