

子网划分在大规模 GNSS 基准站网 数据处理中的应用

姜卫平¹ 赵 倩¹ 刘鸿飞² 杨 凯²

(1 武汉大学卫星导航定位技术研究中心,武汉市珞喻路 129 号,430079)

(2 武汉大学测绘学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘 要:基于大规模 GNSS 基准站网数据处理中的相关理论和技术,介绍了高精度数据软件及精密数据处理方法,以江苏连续运行参考站网(以下简称江苏 CORS)为例,探讨分析了子网划分策略的可行性,给出了适用于大规模 GNSS 基准站网数据处理的原则,并将其结果与整体平差进行了比较分析,对大规模 GNSS 基准站网中子网划分方法提出了建议。

关键词:大规模 GNSS 基准站网;子网划分;数据处理

中图法分类号:P228.41

随着越来越多的城市 CORS(continuously operational reference stations)的建成,获取了大量的多站同步 GNSS 观测数据,对数据处理提出了新的要求。目前,GNSS 基准站数据处理方法有许多方面需要改进。无论是双差还是非差,随着基准站数目的增加,求解的未知参数都将增多,这意味着解算时需要更多的内存和时间。更为重要的是,大多数 IGS 分析中心的软件同时解算的测站数小于 100 个。如 GAMIT 软件^[1,2],目前解算的测站数小于 100 个;GFZ 的 EPOS 软件虽然能解算 400 个站,但需要高性能的计算机和大量的时间,这在很大程度上滞后了产品的现势性,故一般建议小于 250 个站。

针对以上情况,大多 GNSS 基准网数据分析中心采用分区计算、综合处理的方法,如美国 SIO(Scripps Institute of Oceanography)采取的方法就是将全球划分成近 10 个子网,先分子网求解有关参数,然后再综合处理。原则上讲,整体解顾及到了各测站之间的相关信息,理论严密,而划分子网再综合处理的方法则会使计算的效率与数学模型的严密性受到影响。本文以江苏 CORS 为例,通过解算分析,研究了划分子网在大规模 GNSS 基准站网数据处理中的实际应用。

1 高精度 GPS 数据处理软件

目前,国际上使用的高精度 GPS 网基线解算软件,如 GAMIT、BERNESE、GIPSY、EPOS 等,其解算输出成果包括以下几个方面:地面站的三维坐标;卫星轨道参数;相位观测值整周模糊度;钟差参数;对流层天顶延迟和地球自转参数。从理论上说,这些输出量都可以作为数据处理时平差的观测量。在本文的数据处理中,采用 GAMIT 软件^[2]进行基线解算,并用 GLOBK 软件^[3]对所得的观测量进行平差。

2 GNSS 子网划分的原则分析

本文在参考国外一些子网划分模式的基础上,拟定了 GNSS 基准站网子网划分的几种方案,并以实际数据来验证这些方案的可行性。

SOPAC(Scripps Orbit and Permanent Array Center)将全球 IGS 跟踪站划分为各种不同的全球性或区域性的子网,有典型的 IGS1、IGS2 和 IGS3 三个全球性的 IGS 子网,如彩色插页 I 图 1 所示,它们每个都包含超过 50 个站点。其中 IGS1 包含很多较有历史的测站,且基本覆盖了美

国和欧洲大部分地区;IGS2则基本覆盖了亚洲、澳大利亚及南美大部分地区;而IGS3则包含了很多的亚洲站,并且包含了IGS所定义的很多核心站,基本上是全球范围内均匀分布。在SOPAC的定义中,每个子网里所包含的站点并不是固定不变的,而是随着时间的变化而作了调整的,以保证子网的可靠性^[4]。在处理大规模的基准站网数据时,也可以效仿SOPAC采用划分不同的子网计算、再综合处理的方法。

从彩色插页I图1可以很直观地看出,在子网的划分中,考虑到了各方面的问题,如站点分布的均匀、特定区域的加密、核心站点的选择等。在面对一个具体工程项目时,划分子网往往还需要考虑到更多细节,如施测时期的不同、观测仪器的不同、作业等级的不同、基线解算时采用不同的星历等,这些都可作为划分子网的依据。

3 GNSS子网划分方法及实例分析

3.1 江苏连续运行参考站

江苏CORS包括了62个参考站,覆盖整个江苏省,参考站间最长间距83 km,最短间距11 km,平均间距48.96 km,分布见彩色插页I图2。其中,绝大部分测站使用LEICA GRX 1200 GG-PRO型接收机和LEIAX1202GG型天线,苏州地区部分测站使用了TRIMBLE NETRS型接收机和TRM41249.00型天线。

3.2 子网划分方案与数据处理策略

将JSCORS网当作划分子网实例,分两个方案操作,如彩色插页I图2所示,具体如下。

方案一 整体解算。

在整个江苏境内,选取江苏CORS所包含的所有62个基准站,与中国周边11个IGS站联测,11个IGS站为IRKT、ULAB、URUM、POL2、KIT3、BJFS、SUWN、TCMS、KUNM、LHAZ、WUHN;将其命名为整体网。整体网的站点数量较多,如彩色插页I图2(a)所示。

方案二 区域性划分子网。

将江苏整个区域划分为上、中、下三个部分,分为子网一、子网二和子网三。子网二为彩色插页I图2(b)中黑色粗线圈起部分,子网一为其上的部分,子网三为其下的部分,同样选取11个IGS站分别与之联测;其中,子网一有22个基准站,子网二有15个基准站,子网三有20个基准站,这3个子网相互间至少有5个重复基站。本文利用GAMIT软件首先在各子网解算出基线,

然后再整体平差求出站点坐标。

本文将通过这两个方案来验证GNSS子网划分方法的优劣,并且通过直接整体解算以及先分子网再整体解算这两种方法,来检验和分析划分子网对解算结果的影响。图表中所出现的数据单位均为m。

在上述两个方案中,均使用GAMIT10.35软件进行基线解算,并且用GLOBK进行平差,得到站点坐标。所用数据均为江苏CORS站30 s采样率的数据,数据质量好。采用GAMIT软件,处理策略如下^[5,8]:①卫星钟差的模型改正(用广播星历中的钟差参数);②接收机钟差的模型改正(用根据伪距观测值计算出的钟差);③电离层折射影响用LC观测值消除;④对流层折射根据标准大气模型用萨斯坦莫宁(Saastamoinen)模型改正,采用分段线性的方法估算折射量偏差参数,每2 h估计一个参数;⑤卫星和接收机天线相位中心改正,卫星与接收机天线 L_1 、 L_2 相位中心偏差采用GAMIT软件的设定值;⑥测站位置的潮汐改正;⑦截止高度角为 15° ,历元间隔为30 s;⑧考虑卫星轨道误差,即松弛IGS轨道。

3.3 结果分析

子网划分可以提高计算效率。以本文为例,数据解算均在16核、32 G内存的Intel至强2.13 GHz小型工作站上进行。统计结果表明,方案二比方案一在时间花费和内存占用率上可以提高20%的效率。

方案一中直接整体平差后得到的站点坐标与方案二先分子网再整体平差后得到的站点坐标较差如彩色插页I图3所示,两个方案的点位较差都在2 mm内。整体看来,方案一和方案二这两个方案的解算结果相差很小,在Y方向上的差别略大于X方向和Z方向上的差别。

彩色插页I图4为两个方案中重复站点在各个方向上的中误差比较。从图中可以看出,对于方案一和方案二,其精度都很高,各方向中误差最大也不超过0.025 m,并且对于江苏CORS的各站点来说,精度变化较为平缓,差不多是在同一波动范围内,方案一和方案二在解算精度上几乎一致。

由以上分析可以得到以下结论。

1) 划分子网再综合处理的方法,在实际工作中可以使用并且能提高效率,其在处理时间上不仅优于整体解算,而且在解算精度上也与直接整体网解在一个量级上,满足大规模GNSS基准站网数据处理的要求。并且在实际计算,特别在工

程项目应用中,当软硬件条件不允许时,分子网有很大优势,因为它对于机器配置要求不高,可以有效节约生产成本,提高生产效率。

2) 虽然理论上划分子网再综合处理的方法会使计算中数学模型的严密性受到影响,但从实际计算来看,这种影响并不大。从本文算例中看来,几乎没有差别,两种方案在解算精度上都是 mm 级。当遇到基准站数目超过 100 个或者更多,要分子网处理时,可以按照方案二的方法进行,先分为几个小的子网解基线,再综合处理。

总体来说,本文中划分子网方案经实例验证,证实了它的可行性。在今后的大规模 GNSS 网的数据处理中,尤其是 CORS 网的数据处理,可以按区域划分子网、再综合处理的方式进行解算,其解算结果的精度在 mm 级,满足数据处理的解算的要求。

致谢:感谢美国麻省理工学院(MIT)授权使用 GAMIT/GLOBK 软件包,感谢江苏省测绘工程院提供江苏 CORS 实验数据。

参 考 文 献

[1] 刘经南,刘晖. 建立我国卫星定位连续运行站网的若干思考[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2003,28(3):259-264

[2] MIT. GAMIT Reference Manual,Release10.3 2009 [OL]. http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/GAMIT_Ref.pdf, 2011

[3] MIT. GLOBK Reference Manual,Release10.3 2009 [OL]. http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/GLOBK_Ref.pdf,2011

[4] SOPAC. SOPAC Processed GPS Sites/Networks [OL]. <http://sopac.ucsd.edu/processing/gamit/>, 2011

[5] 姜卫平,叶世榕,刘经南. GPS 形变监测网基线处理中系统误差的分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2001(3):196-199

[6] 隋立芬. 高精度 GPS 网的统一与数据处理若干问题研究[D]. 郑州:信息工程大学,2001

[7] 黄劲松,李征航. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉:武汉大学出版社,2005

[8] Blewitt G. Global Coordinates with Centimeter Accuracy in the International Terrestrial Reference Frane Using GPS [J]. Geophysical Research Letters,1992,19(9):853-856

第一作者简介:姜卫平,教授,博士,博士生导师,现在主要从事空间大地测量和地球动力学研究。代表成果:联合多种卫星测高数据建立全球平均海面模型 WHU2000;冰岛南部地区板块边界形变的运动模型等。
E-mail:wpjiang@ whu.edu.cn

Application of the Sub-network Division in Large Scale GNSS Reference Station Network

JIANG Weiping¹ ZHAO Qian¹ LIU Hongfei² YANG Kai ²

(1 Research Center of GNSS,Wuhan University,129 Luoyu Road,Wuhan 430079,China)

(2 School of Geodesy and Geomatics,Wuhan University, 129 Luoyu Road,Wuhan 430079,China)

Abstract: This paper introduces the high-precision data processing software as well as precise data processing method. Based on the Jiangsu Continuously Operational Reference Station network(JSCORS for short), we discuss the feasibility of sub-network division strategy through numerical calculation, and present the principle suitable to large scale GNSS reference station network data processing. By comparative analysis with integration adjustment, we make some useful suggestion on the method of sub-network division in large scale GNSS reference station network application.

Key words: large scale GNSS reference station network; sub-network division; GNSS data processing

About the first author: JIANG Weiping, professor, Ph. D, Ph. D supervisor, majors in spatial geodesy and geodynamic. His typical achievement is global mean sea surface WHU2000 derived from multisatellite altimeter data,Kinematic models of plate boundary deformation in southwest Iceland, etc.
E-mail: wpjiang@ whu.edu.cn