

RTKLIB 软件静态精密单点定位 精度测试与分析

张建龙¹, 徐爱功¹, 张兆南², 吴探诗¹, 李国明³

(1. 辽宁工程技术大学测绘与地理科学学院, 辽宁 阜新 123000;

2. 东北煤田地质局物探测量队, 辽宁 沈阳 110101;

3. 内蒙古科技大学矿业工程学院, 内蒙古 包头 014010)

摘 要: 介绍了精密单点定位的基本原理及常用组合量, 利用日本东京海洋大学研发的开源软件 RTKLIB 进行静态精密单点定位数据处理, 采用事后、快速、超快速三种星历及钟差产品对某 IGS 站单天观测值进行解算, 并将处理结果和准确值对比。结果表明事后和快速产品单天解收敛曲线基本一致, 最终收敛值 X 、 Y 、 Z 三个方向偏差在 4 cm 左右, 完全满足一般精度要求的工程需要; 采用超快速产品 Y 方向上偏差较大, 表明超快速产品对该软件的定位精度有一定的影响。

关键词: RTKLIB 软件; 精密单点定位; 组合观测值; 精密星历钟差

中图分类号: P228.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-9268(2014)01-0037-05

0 引 言

精密单点定位 (PPP), 即非差相位单点定位, 提出于上世纪七十年代子午卫星时代, 九十年代中期国际 IGS 组织开始向全球用户提供精密星历和精密钟差产品, 为精密单点定位的发展提供了良好的机会。由于其具有单台接收机实现高精度定位、定位不受作用距离限制、作业机动灵活、成本低效率高、应用广泛等优点, 越来越受到人们的重视, 相关学者与研究机构也对其进行了深入的研究, 取得了一系列成果。美国喷气推进实验室的 Zumberge 等研究人员利用 GIPSY 软件和 IGS 星历, 取得了单天解静态定位精度 1~2 cm 左右, 动态 2.3~3.5 dm 左右的实验结果^[1]; 加拿大 Calgary 大学的高扬博士对 PPP 的理论和算法进行了深入的研究, 并开发了相关软件; 武汉大学叶世榕博士在其博士论文中对精密单点定位进行了详细的研究^[2]; 武汉大学的张小红教授经过多年理论研究, 开发出了精度和可靠性已达国际先进水平的高精度 PPP 商业化软件 TriP; 武汉大学卫星导航定位中心自主研发的 PANDA 软件在精密定轨和

PPP 方面也具有很高的精度; 此外还有日本东京海洋大学的 Tomoji Takasu 等研发的 RTKLIB 软件。

本文简要介绍了精密单点定位的理论基础, 采用 RTKLIB 软件对 IGS 站观测数据进行静态精密单点定位实验, 利用不同星历钟差产品对其定位精度进行了详细的分析, 并将解算结果与准确值对比, 为使用该软件提供了参考。

1 精密单点定位基本原理

1.1 精密单点定位数学模型

PPP 一般采用一台双频接收机, 利用载波相位观测值, 和 IGS 组织提供的精密星历以及卫星钟差所进行的高精度定位^[3], PPP 定位不同于传统 GPS 定位的双差模型, 通过站间和星间求差来消除误差, 而是采用相位和伪距观测值, 通过双频相互组合消除电离层延迟, 引入未知参数估计对流层延迟, 其观测方程为^[4-6]:

$$P_i \rho_i^s + c(dT - dt) + \delta d_z \cdot M + e_p, \quad (1)$$

收稿日期: 2013-09-29

资助项目: 精密工程与工业测量国家测绘地理信息局重点实验室开放基金(批准号: PF2012-8)

联系人: 张建龙 E-mail: zj1905209365@99.com

$$L_i = \rho_i^s + c(dT - dt) + \lambda \cdot N + \delta d_z \cdot M + e_L, \quad (2)$$

式中: ρ_i^s 为卫星与测站之间的几何距离; dt 为接收机钟差; dT 为卫星钟差; M 为投影函数, δd_z 为天顶对流层延迟; N 为无电离层相位观测值模糊度, 此处已不具有模糊度的整数特性; e_p 、 e_L 为组合观测量的噪声与多路径误差之和。精密单点定位无法固定整周模糊度, 定位精度的提高很大程度上依赖于观测数据的质量, 所以, 适当的时候也可以提前进行数据预处理。

1.2 精密单点定位误差源及常用组合观测量

在精密单点定位中, 使用的是非差观测值, 它不同于以往的差分观测值, 通常有三类误差会影响定位精度, 一是与接收机和测站有关的误差, 如接收机钟差及天线相位偏差; 二是与卫星有关的误差, 如卫星钟差、卫星轨道误差、卫星天线中心偏差及相位偏差; 三是与传播路径有关的误差, 如电离层延迟、对流层延迟、多路径效应等。

这些误差源如果不进行有效的消除或减弱会对定位结果有较大的影响, 对于这些误差的处理方式通常有两种, 即模型化处理和使用组合观测量。上述卫星天线相位中心改正、相对论效应、潮汐等可以采用第一种方式改正, 不能模型化处理的误差, 如电离层延迟等, 则采用第二种方式改正。以下是 PPP 中几种常用组合观测量:

1) 消电离层 Iono-free 组合

在精密单点定位数据处理中, 为了充分消除电离层延迟影响, 可以利用 P_1 和 P_2 , L_1 和 L_2 分别组成线性观测值。消除电离层的码伪距组合观测值为^[6]

$$P_3 = \frac{f_1^2 P_1 - f_2^2 P_2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (3)$$

消除电离层的载波相位组合观测值为

$$L_3 = \frac{f_1^2 L_1 - f_2^2 L_2}{f_1^2 - f_2^2} \quad (4)$$

2) 宽巷 (Wide-lane 组合)

$$L_4 = \frac{f_1 L_1 - f_2 L_2}{f_1 - f_2} \quad (5)$$

宽巷观测值的突出优点是容易固定整周模糊度。但由于测量噪声大, 宽巷观测值一般只用来确定 L_1 和 L_2 的整周模糊度。

3) M-W 组合

$$L_{MW} = \frac{f_1 L_1 - f_2 L_2}{f_1 - f_2} - \frac{f_1 P_1 + f_2 P_2}{f_1 + f_2} \quad (6)$$

该组合把 L_1 、 L_2 载波相位和 P_1 、 P_2 码伪距组合, 能够有效消除几何距离、电离层及对流层的影响。

1.3 精密单点定位的数据处理流程

精密单点定位数据解算的过程为, 首先获取所需文件包括测站观测值文件, 精密星历和钟差文件; 其次进行数据预处理, 主要是消除各种误差, 得到较为干净的数据; 最后进行参数估计, 解算测站坐标, 接收机钟差等。其解算流程如图 1 所示。

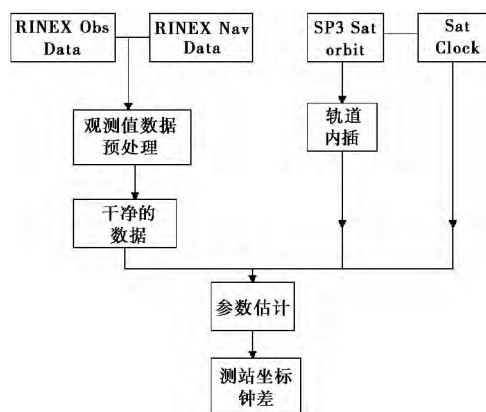


图 1 精密单点定位数据处理流程图

2 RTLLIB 软件静态精密单点定位实例分析

静态精密单点定位通常需要在测站上进行连续观测。本次实验采用国际 IGS 站 bjfs 站 2011 年 6 月 1 日的观测数据, 采样间隔为 30 s, 数据处理之前首先下载该天测站的观测值文件和导航文件(bjfs1520.11o, bjfs1520.11n)。由于精密单点定位还需要精密星历和精密钟差文件, 需要到 IGS 网站下载星历和钟差数据。为了对比不同 IGS 产品对定位结果的影响, 本次下载该天三种产品, 数据为 igs16383.clk, igs16383.sp3, igr16383.clk, igr16383.sp3, igu16383.clk, igu16383.sp3。此外, 国际 GNSS 服务组织 IGS 发布的产品如表 1 所示^[7]。

表 1 IGS 提供的精密星历和卫星钟差产品及其精度

| 产 品 | | 精 度 | 滞后时间 | 更新率 | 采样率 |
|-----------------|---------|-----|---------|--|--------|
| 超快速产品 (预报部分) | 轨道/cm | 5 | 实时 | 1 次/6h,UTC | 15 min |
| | 卫星钟差/ns | 3 | | 3 ^h ,9 ^h ,15 ^h ,21 ^h | |
| 超快速产品 (实测部分) | 轨道/cm | 3 | 3~9 h | 1 次/6h,UTC | 15 min |
| | 卫星钟差/ps | 150 | | 3 ^h ,9 ^h ,15 ^h ,21 ^h | |
| 快速产品 | 轨道/cm | 75 | 17~41 h | 1 次/天,UTC 17 ^h | 15 min |
| | 卫星钟差/ps | 2.5 | | | 5 min |
| 最终产品 | 轨道/cm | 2.5 | 12~18 天 | 1 次/星期,每 | 15 min |
| | 卫星钟差/ps | 75 | | 星期四发布 | 30 s |

2.1 观测数据预处理

在进行数据处理之前应首先对数据的质量进行分析,必要的预处理是提高解算精度的前提,RTKLIB 软件不仅具有基线解算和精密单点定位功能,而且具有强大的图形输出功能,可以对原始观测数据卫星可见性,卫星天空视图,DOP 值,多路径及卫星高度角进行图形化显示^[8-9],对本次下载的数据各指标如图 2~5 所示。可见,测站该天卫星可见性良好,几何精度因子 DOP 值较小,多路径效应不明显,说明观测数据质量较好。

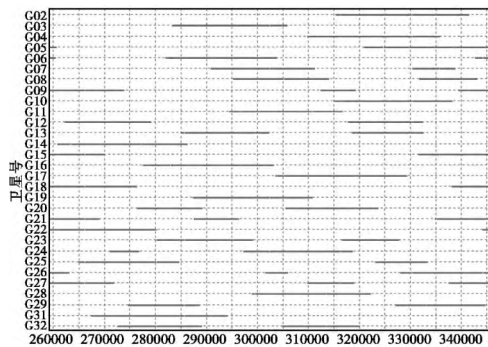


图 2 卫星可见性

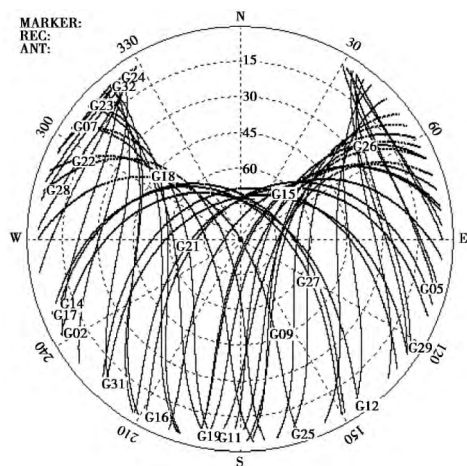


图 3 卫星天空视图

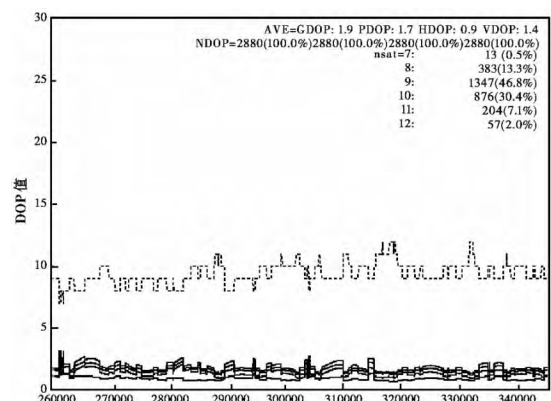


图 4 几何精度因子 DOP 值

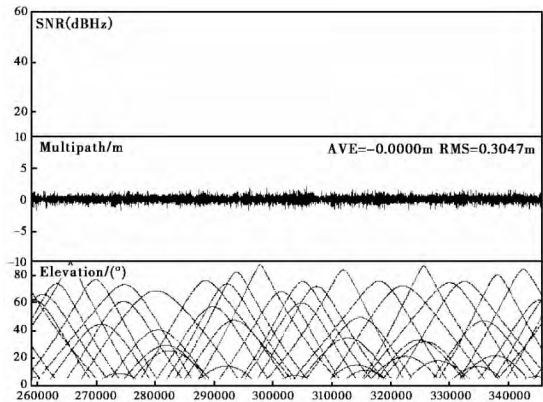


图 5 多路径及高度角

2.2 解算结果分析

图 6~图 8 是 bjfs 站使用 RTKLIB 软件解算单天数据采用 igs、igr、igu 星历在 X、Y、Z 三个方向上的收敛曲线图。为了将解算结果与准确值对比,使用武汉大学导航定位中心研发的 PANDA 软件对该天数据解算,并将其结果视为准确值,表 2 示出了 RTKLIB 软件单天解最后收敛结果与准确值的差值。可以看出快速星历钟差产品解算结果与最终星历钟差产品定位精度相当,都能够较准确的逼近准确值,最终收敛结果与准确值比较偏差 X

方向、Z 方向保持在 3~4 cm 之间, Y 方向低于 1 cm, 都具有较高的精度; 而预报星历钟差产品 Y 方向误差偏大, 收敛时间较长, 收敛曲线也不太稳定, 表明预报星历钟差产品对该软件静态精密单点定位的影响较大。

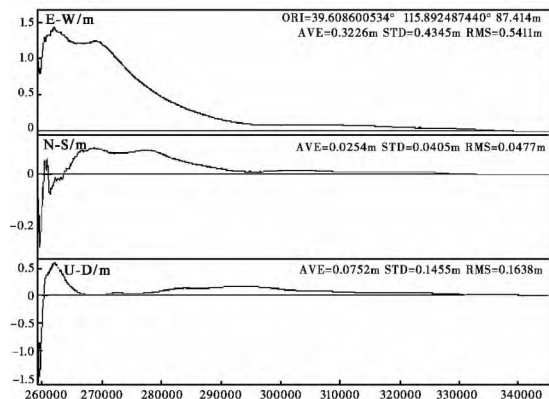


图 6 igs 数据单天解收敛曲线图

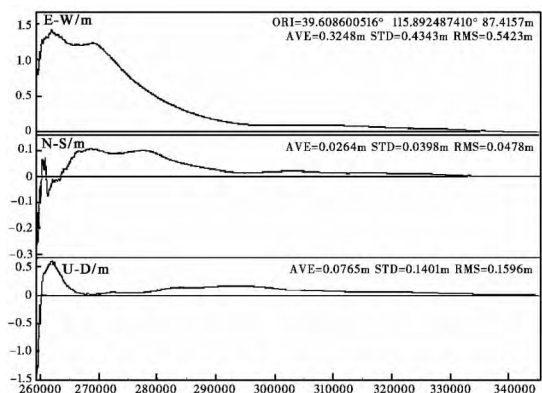


图 7 igr 数据单天解收敛曲线图

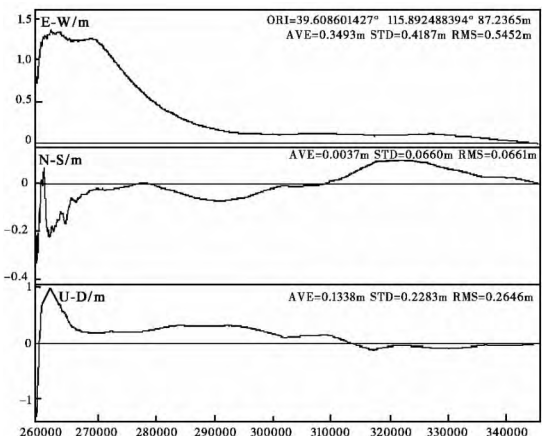


图 8 igu 数据单天解收敛曲线图

表 2 单天解算最后收敛值与准确值对比表

| 星历及钟差产品 | 坐标分量 | 差值(绝对值)/m |
|---------|------|-----------|
| igs | X | 0.043 5 |
| | Y | 0.009 4 |
| | Z | 0.036 2 |
| igr | X | 0.044 8 |
| | Y | 0.006 2 |
| | Z | 0.036 9 |
| igu | X | 0.042 6 |
| | Y | 0.222 8 |
| | Z | 0.036 4 |

3 结束语

精密单点定位实现了只由一台接收机在全球范围内就可以获取 ITRF 框架内的精确坐标, 实现几个厘米级的高精度定位, 因而在地形测量、大地测量、航空摄影、海洋测量、城市规划、国土资源等领域得到了广泛的应用^[8], 它改变了以往只能靠差分模式消除各种误差来达到高精度定位的状况。但高精度的获取依赖于各种误差的充分消除, 目前许多精密单点定位软件源代码不开放, 操作相对复杂。RTKLIB 软件是一款优秀的开源基线解算与定位软件, 该软件可以进行基线解算、实时定位、后处理分析、处理结果图形化、以及对 IGS 相关产品下载^[9], 该软件操作简单, 功能强大, 处理精度高, 本文针对静态精密单点定位的应用对该软件进行了分析, 采用事后星历和快速星历最后收敛值与准确值比较差值均在 4 cm 左右, 达到了预期的精度, 完全满足一般精度要求的工程需要, 值得推广使用。

参考文献

- [1] 李征航, 张小红. 卫星导航定位新技术及高精度数据处理方法[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2009: 1-16.
- [2] 叶世榕. GPS 非差相位精密单点定位理论与实现[D]. 武汉: 武汉大学, 2002.
- [3] 陈安京. GPS 动态精密单点定位 (PPP) 研究[D]. 南京: 东南大学, 2007.
- [4] 郝 明, 丁希杰. GPS 精密单点定位的数据处理方法综述[J]. 测绘工程, 2008, 17(5): 60-62.
- [5] 高成发, 陈安京, 陈 默, 等. GPS 精密单点定位精度测试与分析[J]. 中国惯性技术学报, 2006, 14(6): 23-26.
- [6] 吴江飞, 黄 斌. GPS 精密单点定位模型及其应用分析[J]. 大地测量学与地球动力学, 2008, 28(1): 96-100.
- [7] 李征航, 黄劲松. GPS 测量与数据处理[M]. 武汉: 武

汉大学出版社,2005:87-88.

- [8] 杜向锋,蒋利龙,李 霞. GPS 静态精密单点定位精度实验分析[J]. 全球定位系统,2008,33(1):35-37.
- [9] TOKYO UNIVERSITY OF MARINE SCIENCE AND TECHNOLOGY. RTKLIB ver. 2. 4. 2 Manual[OL]. (2013-04-29). <http://www.rtklib.com>.

作者简介

张建龙 (1987—),男,山西山阴人,硕士生,

主要从事卫星定位导航数据处理与算法研究。

徐爱功 (1963—),男,山东日照人,教授,博士生导师,主要从事全球卫星定位系统与地理信息系统集成及其在智能交通系统中的应用研究。

张兆南 (1976—),男,辽宁沈阳人,高级工程师、经济师,主要从事岩土工程物探及工程测量方面的工作。

Static Precise Point Positioning Accuracy Test and Analysis of RTKLIB Software

ZHANG Jianlong¹, XU Aigong¹, ZHANG Zhaonan², WU Tanshi¹, LI Guoming³

(1. School of Geomatics, Liaoning Technical University, Liaoning Fuxin 123000, China;

2. Physical Exploration and Surveying Team, Northeast Coalfield Geology Bureau,

Liaoning Shenyang 110101, China; 3. Institute of Mining Engineering, Inner Mongolia

University of Science and Technology, Baotou Inner Mongolia 014010, China)

Abstract: The paper introduced the basic principle of Precise Point Positioning and commonly used combination value. It used the open source software RTKLIB developed by Tokyo University of Marine Science and Technology to process static PPP data. Some IGS station single day observed value was calculated with the IGS, IGR, IGU three ephemeris and clock products, and compared the results with the accurate value. The results show that IGS and IGR products single day solution convergence curves are basically no difference, and the final convergence value deviation of X, Y, Z three directions are about 4cm. It fully meets the needs of the general project accuracy requirement. However, the IGU product caused Y direction deviating seriously, which shows that IGU product has certain impacts to the positioning accuracy of this software.

Key words: RTKLIB software; Precise Point Positioning; combination observation value; precise ephemeris and clock

(上接第 36 页)

作者简介

田英国 (1987—),男,内蒙古乌兰察布人,硕士生,主要从事星载 GNSS 低轨卫星精密定轨方法研究。

郝金明 (1962—),男,山东曹县人,教授,博士生导师,主要从事卫星导航与精密定位教学与研究。

谢建涛 (1987—),男,山东潍坊人,博士研究生,主要从事网络 RTK 研究。

The Positioning Accuracy Analysis of Open Source Precise Point Positioning Software gLAB

TIAN Yingguo¹, HAO Jinming¹, XIE Jiantao¹, ZHANG Liyang², BO Junwei³

(1. College of Navigation and Aerospace Engineering, Information Engineering

University, Zhengzhou Henan 450052, China; 2. 66191 Troops, Zhangjiakou

Hebei 076250, China; 3. 61234 Troops, Wulumuqi Xinjiang 830000, China)

Abstract: In this paper, gLAB precise point positioning software is used to process the POL2 station measured data on November 30, 2012 by use of static and static simulation of dynamic methods. The experimental results and online PPP calculation results are compared. Through the analysis, static calculating results by gLAB can achieve mm-cm level (95%), and dynamic calculating results by gLAB can reach the cm-dm level (95%).

Key words: gLAB; PPP online; kinematic precise point positioning; static precise point positioning; positioning accuracy