

引文格式: 丁鑫, 陶庭叶, 陶征广, 等. RTKLIB 软件结构及调用方法[J]. 导航定位学报, 2020, 8(4): 93-99. (DING Xin, TAO Tingye, TAO Zhengguang, et al. Discussion of software structure and calling method for RTKLIB[J]. Journal of Navigation and Positioning, 2020, 8(4): 93-99.) DOI:10.16547/j.cnki.10-1096.20200416.

RTKLIB 软件结构及调用方法

丁鑫, 陶庭叶, 陶征广, 何蓉

(合肥工业大学 土木与水利工程学院, 合肥 230009)

摘要: 针对 RTKLIB 软件难于理解、学习和使用等问题, 分析了 RTKLIB 软件的机理和效果: 介绍 RTKLIB 各版本的关键信息以及与 RTKLIB 有关的研究现状, 以 RTKLIB 2.4.2 的 RTKPOST 为例, 阐述软件结构和调用方法; 并通过优化和修改 RTKLIB 源代码, 设计出 1 款调用软件; 最后分别利用调用软件、RTKLIB 软件和 gLAB 软件进行标准单点定位实验。结果表明, 在 X 和 Y 方向上, 调用软件解算精度最优, 其次是 RTKLIB 软件, 最后是 gLAB 软件; 在 Z 方向上, 调用软件解算精度也是最优, 其次是 gLAB 软件, 最后是 RTKLIB 软件。总体而言, 在标准单点定位模式下, 经过优化、修改后的调用软件, 相对于 RTKLIB 软件和 gLAB 软件来说, 更加稳定可靠。

关键词: 全球卫星导航系统; 开源软件; 函数调用; 优化; 标准单点定位

中图分类号: P228 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-4999(2020)04-0093-07

Discussion of software structure and calling method for RTKLIB

DING Xin, TAO Tingye, TAO Zhengguang, HE Rong

(School of Civil Hydraulic Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Aiming at the problem that it is difficult to understand, learn and use for RTKLIB software, the paper comparatively discussed the principle and effect of the software: the key information of RTKLIB versions and the research status related to RTKLIB were introduced, and the structure and calling methods of RTKLIB were illustrated by taking RTKPOST of RTKLIB 2.4.2 as an example; and a calling software was developed by optimizing and modifying the source codes of RTKLIB; then the calling software, RTKLIB software and gLAB software were used respectively to carry out an experiment of standard single point positioning finally. Results showed that: for the direction of X and Y , the solution precision of the calling software would be the highest, following RTKLIB software, higher than gLAB software; for the direction of Z , the solution precision of the calling software would be the highest, following gLAB software, higher than RTKLIB software. In conclusion, the calling software after optimizing and modifying could have more stable and reliable effect than the other two software in the mode of standard single point positioning.

Keywords: global navigation satellite system; open source software; function calling; optimizing; standard single point positioning

0 引言

近年 20 年来, 全球卫星导航系统 (global navigation satellite system, GNSS) 发展迅速, 其应

用也越来越广泛。要想实现高精度导航定位功能, 高精度导航定位软件是不可或缺的一部分。然而, 现有的高精度导航定位软件分为科研型和商业型 2 种, 后者代码不开源, 不利于学习、交流和使用,

收稿日期: 2019-09-02

基金项目: 安徽省自然科学基金项目 (1808085MD105)。

第一作者简介: 丁鑫 (1995—), 男, 安徽安庆人, 硕士研究生, 研究方向为卫星导航与定位。

通信作者简介: 陶庭叶 (1980—), 男, 安徽芜湖人, 博士, 副教授, 研究方向为卫星导航定位与变形监测等。

为了解决这一问题, RTKLIB 软件开始进行开源发布并不断更新, 它是 1 个使用 GNSS 进行标准和精密定位的开源程序包, 由 1 个可移植的程序库和使用该库的命令用户界面 (command user interface, CUI) 和图形用户界面 (graphical user interface, GUI) 应用程序组成^[1]。对于从事 GNSS 研究的人员来说, RTKLIB 是重要的学习资料, 然而对于初学者来说, 面临的问题是入门难度较大。为了帮助初学者理解、学习和使用该软件, 本文首先介绍了 RTKLIB 软件各版本的关键信息以及与 RTKLIB 有关的研究现状, 然后以 RTKLIB 2.4.2 的 RTKPOST 为例, 阐述了软件结构和调用方法, 同时也将调用软件的标准单点定位解算结果与 RTKLIB 软件和 gLAB (GNSS-Lab tool suite) 软件的标准单点定位解算结果进行对比分析。

1 软件结构

1.1 软件版本及研究现状

RTKLIB 在开源之前有 4 个版本, 其中 V.0.0.0 (2006 年 4 月) 为第 1 个版本的实时动态差分 (real-time kinematic, RTK) 程序, 使用 C 语言编写; V.1.0.0 (2007 年 1 月) 是 1 个简单的后处理应用程序; V.1.1.0 (2007 年 3 月), 添加了 Windows 图形用户界面应用程序; V.2.1.0 (2008 年 7 月), 添加了一些应用程序, 支持中程距离的 RTK 解算。RTKLIB 在开源发布以后, 也已经有了多个版本的更新, 其中 V.2.2.0 (2009 年 1 月), 添加了实时应用程序, 支持通过互联网进行国际海运事业无线电技术委员会 (Radio Technical Commission for Maritime Services, RTCM) 网络传输的协议 (networked transport of RTCM via internet protocol, NTRIP); V.2.2.1 (2009 年 5 月), RTCM 及网络 RTK (network RTK, NRTK); V.2.2.2 (2009 年 9 月), 修复了多个程序缺陷 (bug), 提供英文手册; V.2.3.0 (2009 年 12 月), 支持格洛纳斯卫星导航系统 (global navigation satellite system, GLONASS) 数据; V.2.4.0 (2010 年 8 月), 对于实时和后处理, 都增加了精密单点定位动态 (precise point positioning kinematic, PPP-Kinematic) 模式和 PPP 静态 (PPP-Static) 模式, 自动通过 FTP 下载精确的星历表以支持长基线 RTK; V.2.4.1 (2011 年 6 月), 支持日本准天顶卫星系统 (quasi-zenith satellite system, QZSS) 的数据; V.2.4.2 (2013 年 4 月), 支持伽利略卫星导航系统 (Galileo navigation satellite system, Galileo) 和北斗卫星导航系统 (BeiDou navigation satellite system,

BDS) 的数据、PPP 整周模糊度解, 但是 Windows 应用程序的构建环境从 Turbo C++ 更改为 C++ Builder XE2 或 XE3, 不再支持 Turbo C++。最新版本的 RTKLIB 需要从 GitHub 上下载, 其中 ver.2.4.2 pXX 是稳定版本, ver.2.4.3 bXX 是开发或 beta 版本。

目前, 国内外的研究者对于 RTKLIB 的研究主要集中在以下 3 个方面:

1) 分析评估^[2-5]。通过与同类软件的实验分析对比, 评估 RTKLIB 的定位性能, 如文献[2]选取了在全球范围内分布的 76 个国际 GNSS 服务组织 (International GNSS Service, IGS) 观测站的数据, 采用 RTKLIB、gLAB 和 G-Nut 这 3 款开源精密单点定位软件进行静态模拟动态 PPP 解算, 将不同软件解算的对流层延迟和坐标与 IGS 提供的参考值进行比较, 评估其对流层解算精度、收敛时间以及收敛后的坐标解算精度的差异; 文献[4]利用 RTKLIB 进行静态精密单点定位数据处理, 采用事后、快速、超快速 3 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进行对比; 文献[5]对比分析了 RTKLIB 在不同星历产品、不同滤波方式、不同观测时间条件下的静态单点定位精度优劣, 提出事后精密星历结合组合滤波方法, 并给出 RTKLIB 静态精密单点定位的更优解算策略。

2) 功能改进^[6-7]。在 RTKLIB 源代码的基础上, 进行 2 次开发, 改进现有功能, 以便满足具体的科学研究和工程应用, 如文献[6]开发了 1 款新的 GNSS 分析软件 (GNSS analysis software for multi-constellation and multi-frequency precise positioning, GAMP), 它虽然是基于 RTKLIB 的 2 次开发, 但是具有许多改进, 比如周跳探测、接收机时钟跳变修复和 GLONASS 伪距频率间偏差处理等, 可以基于非差、非组合观测值实现多 GNSS 的精密单点定位; 文献[7]提出利用对流层延迟模型 UNB3 替代 RTKLIB 软件中现有的 Saastamoinen 模型, 以提高对流层延迟的计算精度。

3) 扩展应用。利用 RTKLIB 的数据解算功能, 将 RTKLIB 应用到相关的科学研究和工程实践中去^[8-12], 如文献[8]根据 GNSS 数据预处理软件 (translation, editing and quality checking, TEQC) 和 RTKLIB 软件在全球定位系统 (global positioning system, GPS) 观测数据质量检核方面的功能各有优势和不足的特点, 将 TEQC 与 RTKLIB 软件 2 者结合起来应用, 对 GPS 观测数据进行全面、直观的分析; 文献[12]将 RTKLIB 应用到开发低成本

接收机的工作中去, 并获得较好的定位性能。

1.2 软件结构

本文将以 RTKLIB 2.4.2 中的后处理程序 RTKPOST 为例来叙述其软件结构。RTKPOST 目前支持 9 种定位模式^[13], 分别是 Single、DGPS/DGNSS、Kinematic、Static、Moving-Base、Fixed、PPP Kinematic、PPP Static、PPP Fixed, 不同的定位模式适用的范围也不相同, 如表 1 所示, 表 1 中的 SBAS 表示星基增强系统。

表 1 RTKPOST 定位模式

类别	定位模式	适用范围
绝对定位	Single	标准单点定位或 SBAS DGPS
	PPP Kinematic	精密单点定位, 动态
	PPP Static	精密单点定位, 静态
	PPP Fixed	精密单点定位, 接收机位置固定, 残差分析
相对定位	DGPS/DGNSS	基于测距码的差分 GPS
	Kinematic	基于载波的动态定位
	Static	基于载波的静态定位
	Moving-Base	移动基线, 通常用于流动站和基准站接收机都在移动, 且仅需要流动站相对于基准站的相对位置
	Fixed	流动站接收机位置固定, 残差分析

在 RTKPOST 中, postpos 函数的功能是进行后处理定位, 图 1~图 3 展示了 postpos 函数中的函数调用关系。

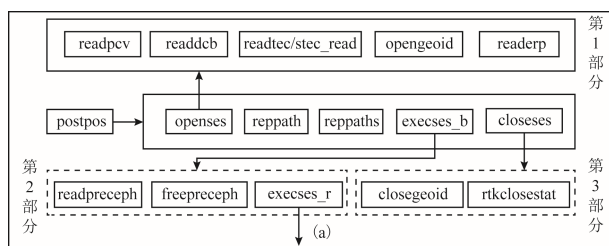


图 1 postpos 函数调用关系

图 1 表示 postpos 函数主要分为 3 个部分: 第 1 部分是打开处理测段, 包括读取卫星天线参数、读取接收机天线参数、读取不同类型码观测测量硬件延迟偏差 (differential code bias, DCB) 参数、读取电离层数据文件、打开大地水准面数据、读取地球自转参数 (Earth rotation parameter, ERP) 数据; 第 2 部分是基准站处理, 包括读取精密星历等、流动站处理(a)、释放精密星历等; 第 3 部分是关闭处理测段, 包括关闭大地水准面数据、关闭解状态文件。

流动站处理(a)过程如图 2 所示, 包括调用 excses 函数, 执行处理测段, 具体包括读取观测值和导航数据、设置天线参数、读取海洋潮汐荷载

参数、获取流动站/参考站的固定位置、打开解状态文件、写文件头到输出文件、打开输出文件追加内容, 处理定位(b) (或者处理定位(b), 打开输出文件追加内容, 组合前向/后向解)、释放观测值和导航数据等函数。

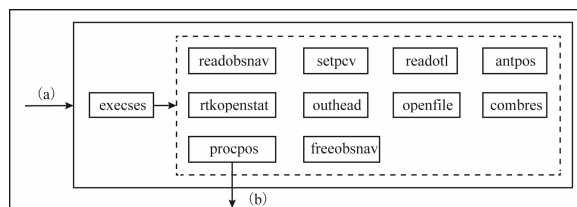


图 2 流动站处理过程

处理定位(b)过程如图 3 所示, 包括初始化 RTK 结构体、输入观测值数据、精密定位、输出解到输出文件、释放 RTK 结构体。

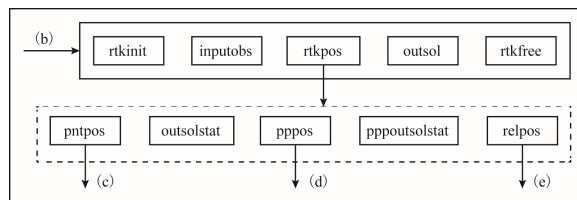


图 3 处理定位过程

在处理定位中, 首先要输入 1 个历元的观测值, 然后调用 rtkpos 函数进行精密定位。该函数主要包括标准单点定位 pntpos (c)、精密单点定位 pppos (d)、相对定位 relpos (e), 其中: pntpos 函数计算接收机的位置、速度、钟偏差; pppos 函数利用 1 台接收机获取高精度的定位结果; relpos 函数将 2 台接收机的同步观测值进行组合处理, 获取 1 台接收机相对于另 1 台接收机的坐标和速度。

标准单点定位 pntpos 函数(c), 如图 4 所示, 适用于 Single 定位模式。

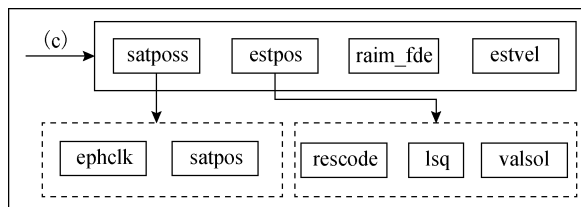


图 4 单点定位 pntpos

图 4 中: satpos 计算卫星位置、速度、钟偏差; estpos 使用伪距观测值估计接收机位置; estvel 使用多普勒频移观测值估计接收机速度。

精密单点定位 pppos 函数(d), 如图 5 所示, 适用于 PPP Kinematic、PPP Static、PPP Fixed 3 种

定位模式。其中: satpos 计算卫星的位置和钟偏差; res_ppp 计算相位和码残差; filter 利用卡尔曼滤波进行状态更新; pppamb 用于解算整周模糊度。

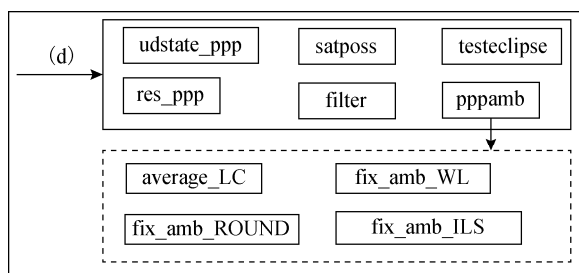


图5 精密单点定位 pppos

相对定位 relpos 函数(e), 如图6所示, 适用于 DGPS/DGNSS、Kinematic、Static、Moving-Base、Fixed 5 种模式。

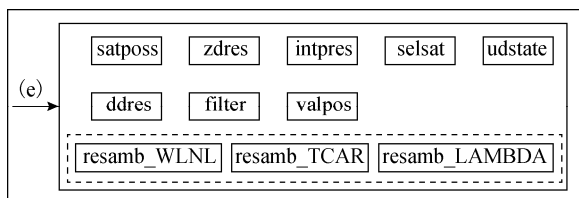


图6 相对定位 relpos

图6中: satpos 计算卫星位置和钟偏差; zdres 计算流动站或基准站的非差残差项; udsta 实时更新状态; ddres 计算双差残差项; filter 利用卡尔曼滤波进行状态更新; resamb_LAMBDA 估计整周模糊度解。若定位模式是 Moving-Base, 则除了使用标准单点定位估计流动站的位置/速度外, 还需要使用标准单点定位估计基准站的位置/速度。

2 软件调用及结果分析

2.1 调用方法

本文将按照图7所示的方法步骤调用、优化并修改 RTKLIB 源代码, 实现 Single 模式下的标准单点定位功能, 最终形成1款软件(以下简称“调用软件”)。

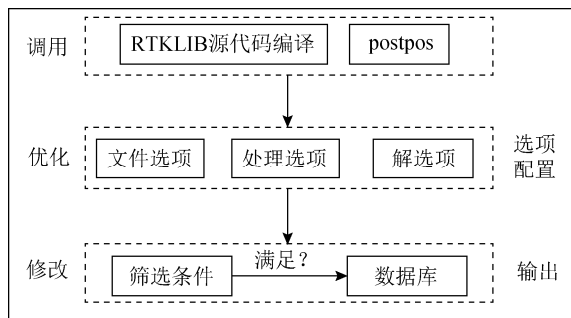


图7 函数调用方法

具体地说: 首先调用 RTKLIB 源代码, 在 VS2013 环境下重新编译 RTKLIB, 并调用 postpos 函数; 然后优化参数, 包括重新设置文件选项、处理选项和解选项, 以达到较好的解算效果, 其中, 文件选项包括卫星/接收机天线相位中心变化文件、卫星位置文件、大地水准面数据文件、电离层文件、地球定向参数文件、不同类型码观测量硬件延迟偏差文件、海洋潮汐荷载系数文件等, 处理选项包括定位模式、使用的载波频率数、解类型(滤波器类型)、接收机动力学模型、地球潮汐改正、使用的导航卫星系统、截止高度角、卫星星历/钟差、模糊度解模式、GLONASS 模糊度解模式、最小固定计数、最小锁定计数、电离层选项、对流层选项、定位选项、滤波器迭代次数、插入参考站观测值、星基增强系统(satellite-based augmentation system, SBAS)卫星选择、码/相位误差比值、测量值误差因子、过程噪声标准差、卫星钟稳定度、模糊度解验证阈值、几何精度衰减因子(geometric dilution of precision, GDOP)拒绝阈值、基线长度约束、与接收机无关的交换格式(receiver independent exchange format, RINEX)选项等, 解选项包括解格式、时间系统、时间格式、小数点后时间数字的位数、纬度/经度格式、输出文件头、输出处理选项、参考基准面、高程、大地水准面模型、静态解模式、解统计级别、调试跟踪级别等; 最后修改源代码, 包括修改 estpos 函数, 使其能够根据伪距残差的大小变化适当增加或减少迭代次数, 而不是执行最大迭代次数, 新增 ScreenSolution 和 InsertSolution 函数, 其中 ScreenSolution 函数主要根据有效卫星数量 ns、位置方差-协方差阵的6个元素 qr[0]~qr[5]和龄差 age 的数值, 并利用动态确定的阈值来筛选有效解, 而 InsertSolution 函数将满足筛选条件的解算结果输入到 SQL Server 数据库中, 便于后续的计算、处理和分析工作。

调用软件实现单点定位的界面如图8所示。其

	Id	X	Y	Z
1	1	-3971.9	4045.73	3888.26
2	2	-3972.15	4045.77	3888.21
3	3	-3971.98	4046.07	3888.55
4	4	-3972.33	4046.41	3888.64
5	5	-3972.29	4046.27	3888.52
6	6	-3971.98	4046.67	3888.71
7	7	-3972.05	4046.27	3888.57
8	8	-3971.83	4046	3888.16

图8 调用软件界面

中主菜单栏有 3 项内容, 分别为文件、功能和帮助, 如图 9 所示。



图 9 主菜单栏介绍

2.2 结果分析

目前, 广泛使用的开源软件有 RTKLIB、G-Nut 和 gLAB, 且已有相关文献对其定位性能进行了初步分析^[2-5, 14-15], 其中 gLAB 由西班牙加泰罗尼亚科技大学天文与测量研究组联合开发, 界面友好、解算结果稳定可靠, 并且可以方便地在 Linux 和

Windows 操作系统上运行。为了验证调用软件的定位性能, 本文还使用了 RTKLIB 软件和 gLAB 软件进行标准单点定位解算, 并将 3 种软件的解算结果进行对比分析。随机地选取全球范围内 2019 年 9 月 1 日 (年积日第 244 天) BJFS、HKSL、INVK 等 16 个 IGS 跟踪站的观测数据进行解算, 以 IGS 站周解坐标为参考, 分别将调用软件、RTKLIB 软件和 gLAB 软件解算的坐标与其求差, 得到坐标分量 (X 、 Y 、 Z) 方向的误差, 进一步地定量分析定位结果, 统计不同 IGS 站坐标分量 (X 、 Y 、 Z) 方向的误差序列的均方根 (root mean square, RMS) 值, 如表 2 所示。

表 2 不同 IGS 站坐标分量 (X 、 Y 、 Z) 方向的误差序列 RMS 值

序号	测站名称	调用软件的解算结果/m			RTKLIB 软件误差的解算结果/m			gLAB 软件误差的解算结果/m		
		X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Y 方向	Z 方向	X 方向	Y 方向	Z 方向
1	BJFS	0.563 9	1.858 9	1.116 5	0.980 7	2.043 6	1.512 4	1.124 3	2.577 6	1.755 2
2	HKSL	0.565 6	1.624 4	0.722 1	0.867 6	2.021 6	1.246 4	0.823 8	1.862 9	1.141 8
3	INVK	0.725 8	0.626 0	2.464 9	0.722 6	0.650 7	2.840 3	0.682 7	0.635 7	2.299 3
4	KOUG	1.161 4	0.756 4	0.477 9	1.232 8	1.385 9	0.723 7	1.664 2	2.318 0	0.794 7
5	MTKA	1.341 8	0.837 6	0.928 2	1.565 3	1.409 4	1.310 7	1.657 7	1.492 5	1.272 3
6	NKLG	2.748 8	0.862 5	0.470 8	2.648 0	0.895 7	0.544 4	3.084 4	1.010 7	0.546 1
7	ONSA	0.453 5	0.264 8	1.151 8	0.729 1	0.414 6	1.212 8	0.698 8	0.387 2	1.019 7
8	PRDS	0.624 1	0.792 9	1.510 2	0.639 8	1.026 8	1.778 7	0.636 3	0.893 7	1.114 6
9	ABPO	1.868 7	1.876 4	0.884 5	2.692 5	2.683 2	1.003 2	1.689 9	1.577 9	1.356 2
10	ALBH	0.817 7	1.018 5	0.802 5	1.354 1	1.679 4	2.139 9	0.937 9	1.100 9	1.201 7
11	CHUR	0.466 8	0.965 8	1.935 8	0.559 0	1.603 8	3.006 8	0.492 9	0.964 3	1.785 8
12	DAEJ	0.854 3	1.705 7	1.002 5	1.314 1	1.828 5	1.396 9	1.474 0	2.093 9	1.428 2
13	GENO	1.158 8	0.376 6	0.949 8	1.643 5	0.487 3	1.188 5	1.777 3	0.504 3	1.223 3
14	HLFX	0.638 0	1.510 0	1.361 3	0.818 7	1.294 0	1.459 1	1.034 4	1.461 0	1.339 1
15	KERG	0.338 2	0.936 8	1.216 4	0.725 3	1.376 7	1.431 3	0.741 3	1.640 5	1.677 0
16	SASK	0.553 9	0.822 5	1.515 4	0.530 4	1.027 6	1.851 0	0.519 7	0.894 8	1.305 1

图 10~图 12 分别表示 3 种软件解算坐标分量 X 、 Y 、 Z 方向的误差序列。由图 10~图 12 可知, 在 X 方向上, 调用软件和 RTKLIB 软件相比, 除了 NKLG 站外, 其他各站的调用软件解算精度均优于 RTKLIB 软件或者 2 者相差不大, 调用软件和 gLAB 软件相比, 除了 ABPO 站外, 其他各站的调用软件解算精度均优于 gLAB 软件或者 2 者相差不大, RTKLIB 软件和 gLAB 软件相比, 除了 ABPO 和 ALBH 站外, 其他各站的 RTKLIB 软件解算精度优于 gLAB 软件或者 2 者相差不大; 在 Y 方向上, 调用软件和 RTKLIB 软件相比, 除了 HLFX 站外, 其他各站的调用软件解算精度均

优于 RTKLIB 软件或者 2 者相差不大, 调用软件和 gLAB 软件相比, 除了 ABPO 站外, 其他各站的调用软件解算精度均优于 gLAB 软件或者 2 者相差不大, RTKLIB 软件和 gLAB 软件相比, 除

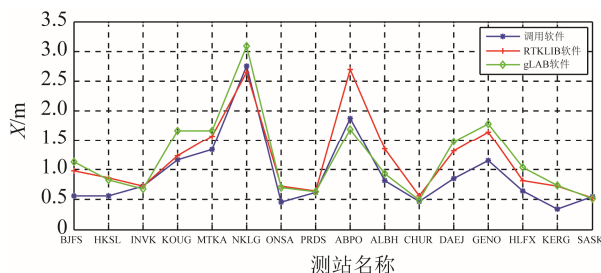


图 10 3 种软件解算坐标分量 X 方向的误差序列

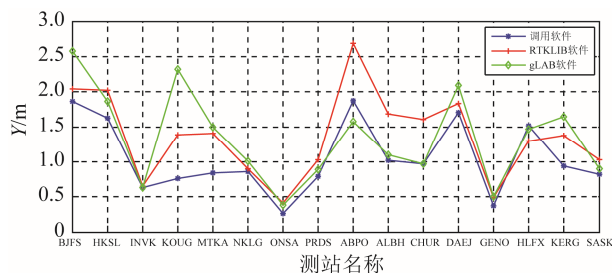


图 11 3 种软件解算坐标分量 Y 方向的误差序列

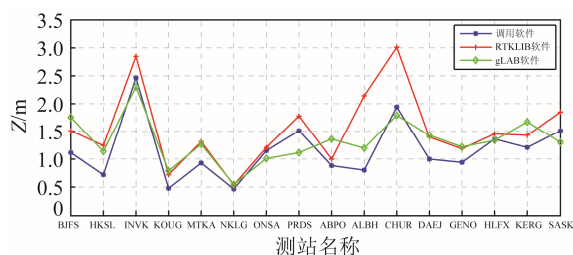


图 12 3 种软件解算坐标分量 Z 方向的误差序列

了 HKSL、ABPO、ALBH 和 CHUR 站外，其他各站的 RTKLIB 软件解算精度均优于 gLAB 软件或者 2 者相差不大；在 Z 方向上，调用软件和 RTKLIB 软件相比，所有站的调用软件解算精度

都优于 RTKLIB 软件，调用软件和 gLAB 软件相比，除了 PRDS、CHUR 和 SASK 站外，其他各站的调用软件解算精度都优于 RTKLIB 软件或者 2 者相差不大，gLAB 软件和 RTKLIB 软件相比，除了 BJFS、ABPO 和 KERG 站外，其他各站的 gLAB 软件解算精度都优于 RTKLIB 软件或者 2 者相差不大。

进一步统计出了不同软件解算坐标分量 X、Y 及 Z 方向的误差序列 RMS 值的最小值、最大值和平均值，如表 3 所示。从表 3 可以看出：在 X 和 Y 方向上，调用软件的标准单点定位精度大约为 0.930 1 和 1.052 2 m，优于 RTKLIB 软件的 1.189 0 和 1.156 9 m，而 RTKLIB 软件优于 gLAB 软件的 1.190 0 和 1.338 5 m；在 Z 方向上，调用软件的标准单点定位精度大约为 1.156 9 m，优于 gLAB 软件的 1.328 8 m，而 gLAB 软件优于 RTKLIB 软件的 1.540 4 m，总体而言，以上 3 款软件的标准单点定位解算结果均能达到米级的定位精度，其中调用软件在 X、Y 及 Z 方向上定位精度均优于 RTKLIB 软件和 gLAB 软件。

表 3 不同软件解算坐标分量 X、Y 及 Z 方向的误差序列 RMS 值的统计信息

单位：m

软件名称	X 方向误差			Y 方向误差			Z 方向误差		
	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值	最小值	最大值	平均值
调用软件	0.338 2	2.748 8	0.930 1	0.264 8	1.876 4	1.052 2	0.470 8	2.464 9	1.156 9
RTKLIB 软件	0.530 4	2.692 5	1.189 0	0.414 6	2.683 2	1.156 9	0.544 4	3.006 8	1.540 4
gLAB 软件	0.492 9	3.084 4	1.190 0	0.387 2	2.577 6	1.338 5	0.546 1	2.299 3	1.328 8

3 结束语

RTKLIB 作为 1 款利用 C/C++ 混合编程的优秀免费开源 GNSS 数据处理软件，功能强大、可视化程度较高，越来越多的研究人员开始了解、学习并使用 RTKLIB。本文首先介绍了 RTKLIB 各版本的关键信息以及与 RTKLIB 有关的研究情况，然后以 RTKLIB 2.4.2 的 RTKPOST 为例阐述了软件结构和调用方法，为初学者了解和掌握 RTKLIB 提供参考和借鉴，对于初学者具有重要参考意义。同

时，也分析了调用软件的解算结果，选取 16 个 IGS 跟踪站的数据对调用软件、RTKLIB 软件和 gLAB 软件解算出的坐标进行精度分析，结果表明，在标准单点定位模式下，X 和 Y 方向解算精度，调用软件优是最优的，其次是 RTKLIB 软件，最后是 gLAB 软件；Z 方向解算精度，调用软件也是最优的，其次是 gLAB 软件，最后是 RTKLIB 软件。总体而言，在标准单点定位模式下，经过优化、修改后的调用软件，相对于 RTKLIB 软件和 gLAB 软件来说更加稳定、可靠，这也可作为 RTKLIB 的应用提供参考。

参考文献

- [1] TAKASU T. RTKLIB: an open source program package for GNSS positioning[EB/OL]. (2013-04-29) [2019-07-25]. <http://www.rtklib.com/>.
- [2] 宋佳, 李敏, 赵齐乐, 等. 3 种开源精密单点定位软件性能评估[J]. 大地测量与地球动力学, 2017, 37(6): 627-632.
- [3] 朱李忠, 吴文会, 王连仲, 等. RTKLIB 后处理模块定位精度分析及可用性探讨[J]. 测绘与空间地理信息, 2018, 41(6): 41-43, 46.

- [4] 张建龙, 徐爱功, 张兆南, 等. RTKLIB 软件静态精密单点定位精度测试与分析[J]. 全球定位系统, 2014, 39(1): 37-41.
- [5] 陈佳清, 刘立龙, 黎峻宇, 等. 一种静态单点定位的事后精密星历组合滤波方法[J]. 导航定位学报, 2018, 6(1): 108-113.
- [6] ZHOU F, DONG D N, LI W W, et al. GAMP: an open-source software of multi-GNSS precise point positioning using undifferenced and uncombined observations[J]. GPS Solutions, 2018, 22(33): 1-10.
- [7] 温志群, 刘立程, 陈变娜, 等. UNB3 模型的性能分析及在卫星定位的应用研究[J]. 计算机测量与控制, 2016, 24(6): 174-177.
- [8] 徐亚明, 刘志锋, 张鹏, 等. USRP 平台下 GPS 软件接收机高精度定位的实现[J]. 测绘通报, 2016(2): 8-11, 16.
- [9] 龚真春, 赵龙海, 林成寿, 等. TEQC 结合 RTKLIB 软件检核 GPS 观测数据质量[J]. 全球定位系统, 2018, 43(5): 123-128.
- [10] 王应建, 朱光耀, 康济童, 等. 利用 RTKLIB 实现 GPS PPP 时间比对[J]. 全球定位系统, 2018, 43(4): 91-94.
- [11] 雷海林, 陈永生, 张阳阳. 一种加快 RTKLIB 收敛速度的小波分析方法[J]. 导航定位学报, 2017, 5(1): 115-120.
- [12] TAKASU T, YASUDA A. Development of the low-cost RTK-GPS receiver with an open source program package RTKLIB, international symposium on GPS/GNSS[EB/OL]. (2009-11-04) [2019-07-25]. http://gpspp.sakura.ne.jp/paper2005/isgps_2009_rtklib_revA.pdf.
- [13] TAKASU T. RTKLIB ver.2.4.2 Manual (PDF, 5.9MB) (in English) 2013/04/29[EB/OL]. (2013-04-29) [2019-07-25]. http://www.rtklib.com/prog/manual_2.4.2.pdf.
- [14] VÁCLAVOVIC P, DOUŠA J, GYÖRI G. G-nut software library - state of development and first results [J]. Acta Geodyn Geomater, 2013, 10(4): 431-436.
- [15] 田英国, 郝金明, 谢建涛, 等. 开源精密单点定位软件 gLAB 定位精度分析[J]. 全球定位系统, 2014, 39(1): 34-36, 41.