

Discussion on RTK Positioning Performance of Beidou Satellite Navigation System

Ze Zhou

Guizhou Yunshang Tongtu Engineering Consulting Co., Ltd., Guiyang, Guizhou, 550008, China

Abstract

The paper mainly expounds some basic theories of RTK technology. First introduces the system composition of RTK, and then explains the unified standards of BDS and GPS in time and space; then introduces several main error sources that affect the GNSS/RTK measurement, and explains the corresponding methods to correct these errors; finally analysis the types of GNSS observations and the corresponding observation equations are discussed, including code pseudorange measurement and carrier phase measurement, and the RINEX standard data format commonly used in GNSS measurement is introduced.

Keywords

Beidou satellite; navigation system; RTK; positioning

浅谈北斗卫星导航系统的 RTK 定位性能

周泽

贵州云上通途工程咨询有限公司, 中国·贵州 贵阳 550008

摘要

论文主要阐述了 RTK 技术的一些基础理论。首先介绍了 RTK 的系统组成, 接着对 BDS 与 GPS 在时间和空间上的统一标准进行了说明; 然后介绍了影响 GNSS/RTK 测量的几种主要误差源, 同时阐述了修正这些误差的相应方法; 最后分析了 GNSS 观测值类型及相应的观测方程, 包括码伪距测量和载波相位测量, 并且对 GNSS 测量中普遍应用的 RINEX 标准数据格式进行了介绍。

关键词

北斗卫星; 导航系统; RTK; 定位

1 全球导航卫星系统简介

全球导航卫星系统 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 是利用卫星技术为全球用户提供位置、时间等时空信息服务的空基无线电导航定位系统。目前, 全球有四大发展比较成熟的导航卫星系统, 主要包括美国的 GPS 系统 (Global Positioning System, GPS), 俄罗斯的 GLONASS 系统, 欧盟的 GALILEO 以及中国的北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System, BDS)。这些卫星系统在系统组成和定位原理方面都大同小异。目前普遍的无线电定位方法有三种, 即测边交会定位、双曲线定位和多普勒定位, 这些方法构成了卫星导航定位的基本原理。

目前 GPS 应用最广, 全球用户最多, 现已广泛应用于陆

地、海洋、空间导航定位等多个领域。GPS 卫星系统米用的坐标系为 WGS-84, 米用的时间系统为 GPS 时 (GPST), 该系统采用码分多址技术, 主要由空间部分 (GPS 卫星星座)、地面控制部分 (监控跟踪系统) 和地面接收部分等三部分组成。其中, 最为关键的部分为空间部分, 共由 27 颗卫星组成, 包括 24 颗工作卫星和 3 颗备用卫星, 主要负责接收并处理地面监控跟踪中心注入的指令信息, 还需持续地向地面发射卫星导航信号; 地面控制部分由监测中心、主控中心和注入中心组成, 完成数据的采集、处理和传输等工作; 地面接收部分主要是由地面 GPS 卫星接收机、卫星数据解算软件及其他相应的用户设备组成, 该部分的作用是通过接收和处理 GPS 卫星信号来达到为用户完成导航定位等目的^[1]。

GLONASS 系统是苏联研制的军用卫星导航系统, 是世界第二个全球导航卫星系统。GLONASS 采用的坐标系为 PZ-90 坐标系, 时间系统为 GLOT, 信号播发采用频分多址的技术。GLONASS 系统也由卫星星座、地面系统和用户设备三部分组成, 其中卫星星座由 21 颗工作卫星和 3 颗备用卫星组成; 地面系统由系统控制中心、中央同步器、遥测遥控站和外场导航控制设备组成; 用户设备由接收机和相关处理软件组成, 完成卫星信号的接收和定位解算。GLONASS 系统的开发是为了满足消费者不断增长的需求和系统的竞争力, 为了追赶上 GPS 的发展, GLONASS 系统也在积极推进现代化的进程^[2]。

GALILEO 系统是欧盟正在设计建造的全球卫星导航系统, 其坐标系统采用伽利略地面参考框架 (GTRF), 时间系统为 GST, 与国际原子时 (TAI) 有一个标称常数偏差, 该系统采用频分多址播发信号。该卫星系统与 GPS 相似, 也分为卫星星座、地面部分和用户设备三部分, 卫星星座由分布在 3 个轨道面上的 30 颗 MEO 卫星构成, 每个轨道平面有 10 颗卫星, 其中 1 颗为备用, 运行周期约为 14 时 4 分, 计划于 2020 年发射完毕。

北斗卫星导航系统是中国独立建设和运营的全球卫星导航系统, 可与 GPS 等卫星导航系统兼容。北斗卫星导航系统采用被动式定位原理, 用户若想利用北斗卫星进行导航定位, 只需要接收来自北斗卫星发射的卫星导航信号, 就能够自主解算出用户自己的三维姿态参数和七维状态参数。

北斗系统所采用坐标系为中国 2000 国家大地坐标系, 时间系统为北斗时, 也由空间卫星星座、地面接收机与用户部分组成。北斗空间段卫星轨道并不是单一的类型, 而是由地球静止轨道 (GEO)、倾斜地球同步轨道 (IGSO) 和中圆轨道 (MEO) 这三种类型组成, 其中 IGSO 卫星和 MEO 卫星的瞬时位置计算方法与 GPS 卫星位置计算类似, GEO 稍有不同, 主要是考虑轨道倾角对同步轨道带来的影响; 北斗系统自 20 世纪 90 年代启动研制, 到 2020 年将完成全面建设, 进一步提升系统服务性能^[3]。

2 RTK 技术与需求

随着社会的发展, 各行各业对导航定位的准确性要求也越来越高, 基于卫星定位的精度受到诸多因素的影响, 普通 GNSS 单点定位通常能达到 10m (95%) 的定位精度,

但在很多应用场合却无法满足不同精度的定位要求。由于在 GNSS 绝对定位中, 定位精度受到信号传播中电离层延迟和对流层延迟以及卫星轨道和卫星时钟等因素的影响, 会产生定位误差, 虽然通过相应的模型改正可以消除或减弱其中一部分误差, 但是模型残差的影响仍然存在, 并不能完全消除误差。

为了满足高精度的定位需求, 出现了 GNSS 相对定位技术, GNSS 相对定位也称为 GNSS 差分定位, 该技术利用了信号传播中对流层延迟、电离层延迟、卫星轨道误差和卫星钟差这四种误差的空间相关性, 通过建立差分系统, 尽可能地减弱四种误差的影响, 获得观测站的精确位置。差分技术的出现提高了定位的准确性, 使卫星定位技术从标准单点定位演变为差分定位, 定位精度从米级发展到分米级, 定位精度大大提高。

1983 年, B.W.Remondi 首次提出了一种基于卫星信号载波相位进行高精度相对定位的数学模型, 之后由此模型衍生了 RTK (Real Time Kinematic) 技术, 其基本原理是利用相邻两个观测站之间的空间相关性来消除或削弱测量过程中产生的误差, 并使用解算出整周模糊度后的载波相位进行定位解算, 可以得到高精度的定位结果。

RTK 是目前应用较广泛的精密定位技术, 该技术利用两台接收机分别安置在基准站和移动站两个测站上, 同步观测到的一组 GNSS 卫星, 基准站接收到卫星信号后, 由观测到的卫星数据和测站已知坐标计算出测站改正值, 并由基准站通过无线电台或移动网络将测站校正值和载波相位测量数据发送给移动站; 移动站结合两个站的观测数据进行解算实现差分定位。

若实现 RTK 定位, 需要至少两个接收机分别作为基准站和移动站来接收卫星信号, 此外还需数据通信链路和数据解算方法或软件来完成定位解算。目前一般的测量型接收机基于伪距定位可达到分米级定位精度, 基于载波相位定位精度可以达到厘米级, 基本能满足 RTK 技术的设备要求; 数据通信链路通常使用 UHF/VHF 无线电台, 其覆盖范围可达到 10~20km, 并且国际海运事业无线电技术委员会 (RTCM) 建立了用于 RTK 数据传输的格式标准, 为不同类型用户进行 RTK 数据传输提供了方便。由于在动态 RTK 观测过程中, 不能保证能够持续锁定所观测的卫星, 如果对卫星跟踪失败, 发生失锁现象, 则需要重新进行初始化工作, 这会耗费时间

使观测效率降低,为此近年来许多学者都致力解决这一难点,并根据数据处理方式提出了后处理 RTK 方法,后处理解算不需要建立观测数据的实时传输系统,因此卫星观测数据必须加以存储,以便在观测工作结束后进行处理,RTK 数据解算是基于后处理方式进行的。

3 RTK 理论基础

RTK 定位是基于载波相位的差分定位,因此需有两个接收机进行数据接收才能进行差分处理,若接收的卫星数据包含不同的卫星星座,还需统一时间基准和空间基准才能进行混合星座定位。因此本章介绍了 RTK 系统组成和时间基准与空间基准的统一方法,并分析了影响 RTK 定位精度的误差来源以及相关修正模型,最后说明了在进行 GNSS 定位时所需的观测值类型及数据格式。

3.1 RTK 系统组成

RTK 系统由基准站、数据通信、数据处理和用户移动站这四部分组成,每个部分都包含特定的软件或硬件^[4]。其中,基准站和用户移动站一般是由接收机及相关硬件构成,负责观测同步卫星并接收卫星数据;数据通信部分负责进行数据的传输,一般由移动网络或无线电台组成,数据处理部分主要是由各种数据解算法组成。RTK 基线分为短基线、中基线和长基线三种,其中短基线是指基线长度最多为几公里的情况,中等基线指的是相对倾斜电离层延迟的不确定性可以可靠地建模为基线长度的函数的情况,长基线是指有必要通过电离层-漂移模型和天顶电离层延迟来模拟倾斜电离层延迟的情况。

3.2 RTK 时空基准的统一

时间和空间参照系统是卫星导航系统的基本系统,所有的导航问题均在此基本系统内讨论,卫星位置和用户接收机位置均对应于空间坐标系的一个点。卫星导航定位的观测量为时间延迟或多普勒频移,是与时间密切相关的,由于各卫星导航系统的时空系统不统一,因此不能进行多系统导航定位,如果分析 BDS 与 GPS 的混合系统定位性能,需要对这两个系统数据进行时空基准统一。一般来说, GPS 系统相对稳定和成熟,所以在 GPS/BDS 多系统数据融合处理过程中,以 GPS 系统的时空基准为主,对 BDS 数据进行处理实现时空基准统一。

3.3 影响 RTK 测量的主要误差源

在卫星定位过程中,无论采用哪种卫星观测量进行定位,多多少少都会受到各种因素的影响而产生定位误差,不同因素引起的定位误差大小也不相同,有的误差可以通过技术手段消除,有的误差不可消除。可以根据定位误差产生的原因将误差分为三类:第一类是与导航卫星有关的定位误差;第二类是与传播路径有关的定位误差;第三类是与接收机有关的定位误差^[5]。

4 GNSS 观测值及观测方程

无论是其他国家的 GPS、GLONASS 或 GALILEO 卫星系统还是中国的北斗卫星导航系统,在进行导航定位时基本原理都是相同的,卫星观测量也是相似的。卫星观测量主要有测码伪距观测值、载波相位观测值和多普勒观测值这三种类型,测码伪距测量原理是计算卫星测距信号从发射开始直至地面接收到所用的时间;载波相位测量原理是计算卫星载波信号从发射到被接收时传播的相位;多普勒测量是指由多普勒频移计算得出的测量值,主要用于接收机测速,目前较常用于定位的测量值有伪距测量值与载波相位测量值。

GNSS 差分模型可以有效地消除或大大削弱各项系统偏差的影响,因此是目前 GNSS 相位测量中常用的数据模型,如果能获得准确的初始整周模糊度,便可得到精确的定位信息^[6]。

5 RTK 数据格式

在 RTK 定位中,可以采用 RINEX 格式的卫星数据进行定位解算,几乎所有的数据分析和处理软件都可以直接读取 RINEX 格式的数据,通用性较强。

RINEX 格式已经有 2.10、2.11、3.00、3.02 等多个版本,2016 年 1 月 29 日至 30H,国际海事无线电技术委员会召开了第 104 专业委员会(RTCMSC-104)全体会议,会议发布了首个全面支持北斗的 RINEX^[34]标准(3.03 版本),从此北斗完整进入 RINEX 标准,论文在进行 RTK 数据处理时所采用的 RINEX 版本为 3.03 版本。

RINEX 文件分为观测数据、导航数据和气象数据等多种类型,RTK 数据处理过程中只需观测数据和导航数据即可,该数据文件命名规则为 ssssdddff.yyt,其中 ssss 代表工作站名称,ddd 表示年积日,f 表示一天内的时段号,取值范围为 0~9 和 A~乙若取值为 0 则表示当天所有的数据,yy 表示两

位年号。例如, 18 代表为 2018 年, t 表示文件类型, 0 表示观测值文件, N 表示导航文件, M 表示气象文件, C 表示时钟文件。

6 结语

随着科技的发展和各国卫星系统的成熟, 利用卫星系统进行高精度定位的技术也应运而生。在进行卫星导航定位时, 可用的卫星信号观测值有伪距观测值和载波相位观测值, 其中基于伪距观测值的定位精度较低, 基于载波相位进行定位的精度远高于伪距定位精度。目前, 常用的 RTK 载波相位差分技术, 通过实时差分处理两个测站的载波相位观测量, 可以得到实时的高精度厘米级定位结果。北斗卫星导航系统是中国自主建设并独立运行的卫星导航系统, 因此进行基于北斗系统定位的研究对中国北斗卫星系统的建设和发展具有重

要意义。

参考文献

- [1] 马瑞峰. 基于北斗导航定位系统的伪卫星技术研究 [D]. 西安: 西北工业大学, 2005.
- [2] 赵龙. 北斗导航定位系统关键技术研究 [D]. 西安: 西安电子科技大学, 2006.
- [3] 郭陈江, 马瑞峰, 丁君, 等. 基于北斗导航定位系统改进技术的定位误差仿真和分析研究 [J]. 测绘技术, 2006, 26(001):21-23.
- [4] 沈笑云, 保宁鑫, 焦卫东. BDS RTK 定位性能分析 [J]. 信号处理, 2019(8):16-18.
- [5] 杨元喜, 李金龙, 王爱兵, 等. 北斗区域卫星导航系统基本导航定位性能初步评估 [J]. 中国科学: 地球科学, 2014, 044(001):72-81.
- [6] 保宁鑫. 北斗卫星导航系统的 RTK 定位性能研究 [D]. 北京: 中国民航大学, 2020.