

基于北京 CORS 系统的虚拟站观测数据质量分析

汪胜国¹ 朱照荣² 张锡越²

(1. 中兵勘察设计研究院有限公司,北京 100053; 2. 北京市测绘设计研究院,北京 100038)

【摘要】 针对网络 RTK 在特殊环境中无法获取固定解的情况,提出一种基于虚拟站观测数据的控制点解算方法。通过 Trimble Pivot 软件生成虚拟观测数据,并利用 TBC 软件网解求出观测点位置。分析结果表明,虚拟观测数据各项质量评价指标均与真实观测数据相当,具有可靠性。另外,利用虚拟站点网解求出的控制点三维精度优于 5 cm。

【关键词】 网络;RTK 数据质量;虚拟观测值

【中图分类号】 TU 198.2

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2018.03.003

Quality Analysis of Virtual Reference Station Observation Data Based on Beijing CORS System

Wang Shengguo¹ Zhu Zhaorong² Zhang Xiyue²

(1. China Ordnance Industry Survey, Design & Research Institute Co., Ltd, Beijing 100053, China;

2. Beijing Institute of Surveying and Mapping, Beijing 100038, China)

【Abstract】 Aiming at the situation that one may not obtain the fixed network RTK solution in some specific VRS environment, this paper presents a control point calculating method based on the virtual station observation data. The virtual reference station observation data is generated by Trimble Pivot software, then the coordinate of observation point can be obtained within TBC software by baseline processing and adjusting together. The results show that the quality of the virtual reference station observation data is equivalent to the real station observation data and is reliable. In addition, the three-dimensional precision of the control points obtained by using the virtual site network solution is better than 5 cm.

【Key words】 network; RTK data quality; virtual observations

0 引言

随着 GNSS 导航定位技术的不断发展,实时、高精度的网络 RTK 技术逐渐成为城市空间数据基础设施建设的重要手段。该技术由若干个连续运行的参考站组成一个网络,各参考站通过网络将观测数据传给数据处理中心,处理中心通过参考站及网络建模数据解算出改正数信息,并将其通过 GSM/GPRS 公众网络发送给用户,用户根据这些实时差分改正信息获得实时高精度的定位结果。由于网络 RTK 可以全自动、全天候、实时提供建网地区的高精度三维坐标和时间信息,所以它是一个城市或一个地区实现现代化管理和数字化城市,甚至数字化地球所不可缺少的重要组成部分。它可以满足各类不同行业用户对精密定位,快速和实时定位、导航的要求,及时地满足城市规划、国土测绘、地籍管理、城

乡建设、环境监测、防灾减灾、交通监控等多种现代信息化管理的社会需求^[1-4]。

虚拟基准站(VRS)技术是利用地面布设的多个基准站构成 GNSS 参考站网,综合利用各个基站的真实观测信息,通过精确的误差模型修正卫星以及信号传播过程中的各种误差,在用户站附近建立一个物理上不存在的虚拟基准站,并计算出虚拟观测值与用户站构成短基线或者超短基线差分,实现用户高精度的定位^[5-6]。但流动站用户在野外网络 RTK 作业过程中,受复杂环境因素(如信号遮挡、信号中断及受干扰等)的影响,有时候不能获得 RTK 固定解,无法实现作业。一般情况下,只能利用常规的静态观测的方法解决这种复杂环境下的控制点解算问题,但此种方法需要耗费大量的时间、人力。因此,本文基于 Trimble Pivot 平台中的 Reference

Data Shop 模块,在观测点附近模拟出虚拟观测数据,与观测点进行同步解算,求解观测点三维位置。为验证此方法的可行性,从不同的方面对虚拟观测数据的质量进行了评估,并进行了实际定位解算及精度分析。

1 数据质量评价指标

观测数据的质量直接影响着定位解算的精度和可靠性,数据质量评价指标主要包括:多路径效应、周跳比、信噪比等,他们直接影响着数据解算的策略和精度。

1.1 周跳比

周跳是接收机在连续工作的过程中由于信号干扰或是信号受到遮挡等原因引起接收机计时器的信号中断产生的整周的相位跳变。当某颗星某历元两个频率上任何一个载波相位观测值发生周跳则认为这个历元发生了周跳。周跳比的统计方法是用观测值总历元数除以发生周跳的历元个数,它是反映观测数据质量的重要指标。

1.2 信噪比

信噪比与卫星信号的强度有关,是载波的信号强度与噪声强度之比,是反映载波信号质量的指标之一。卫星信号的信噪比主要是由载波信号受到的接收机的状态影响、接收机天线的增益以及多路径效应的影响。卫星信号的信噪比越高,说明卫星信号的强度越大。对实时原始数据的信噪比进行解析和呈现能够实时地表现原始数据的质量,是质量分析和判断的重要方面。通常原始 GNSS 数据流中都包含信噪比量,可以直接解析得到,在生成 RINEX 观测文件时往往也需要输出每个信号的 SNR 量^[7-8]。

1.3 多路径效应

多路径效应是指接收机除直接收到卫星发射的信号外,还同时包含测站附近的物体表面一次或多次反射的信号,这种不同路径的信号与直接信号叠加,产生的时延效应称为多路径误差。相比于伪码,载波相位的多路径影响可以忽略。因此,通过载波相位观测值和伪距观测值之差来求得伪距的多路径误差。由于相位模糊度的存在,得到的多路径与实际值存在系统性偏差,通常采用移动平均的方法计算伪距的多路径值,在不发生周跳的情况下,载波的整周未知数为常数,选择一个序列,计算出移动窗口内多路径的平均值,再用伪距瞬时多路径减去这一平均值,就得到多路径效应的幅值,获得正确的多路径值^[8-9]。

伪距的多路径误差可表示为:

$$M_{p1} \approx P_1 - \left(1 + \frac{2}{a-1}\right)L_1 + \frac{2}{a-1}L_2 - B_{p1} \quad (1)$$

$$M_{p2} \approx P_2 - \frac{2a}{a-1}L_1 + \left(\frac{2a}{a-1} - 1\right)L_2 - B_{p2} \quad (2)$$

式中: $a=f_1^2/f_2^2$, B_{p1} 、 B_{p2} 分别为 L_1 和 L_2 观测值上包含的相位模糊度和频间偏差,在不发生周跳的情况下, B_{p1} 和 B_{p2} 为常数; M_{p1} 为 L_1 上的多路径效应; M_{p2} 为 L_2 上的多路径效应; P_1 、 P_2 为两种频率上的伪距观测值。

2 虚拟站观测数据质量分析

本文选取 2017 年 9 月 1 日北京 CORS 站 BISM 及 IGS 站 BJFS 作为参考测站,利用 Trimble Pivot 软件在 BISM 站和 BIFS 站的真实位置生成虚拟观测文件 VBISM 和 VBIFS,使用 TEQC 和 RT-KPLOT 数据质量分析软件对虚拟观测数据的可见卫星数量、GDOP 值、周跳比、多路径、信噪比等质量指标进行分析,并与真实的观测数据进行对比。

2.1 可见卫星数量及 GDOP 值

BISM 站和虚拟站 VBISM、BIJS 站和虚拟站 VBIFS 单 GPS 系统可见卫星数量及 GDOP 值随时间的变化如图 1—图 4 所示。

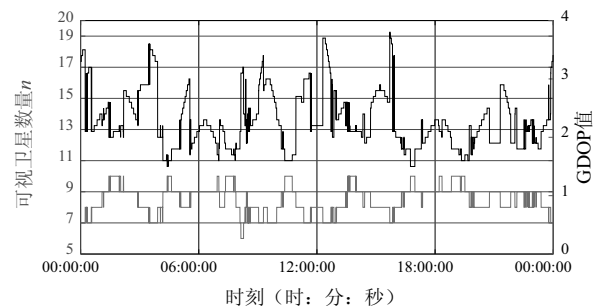


图 1 BISM 站可见卫星数量及 GDOP 值随时间的变化

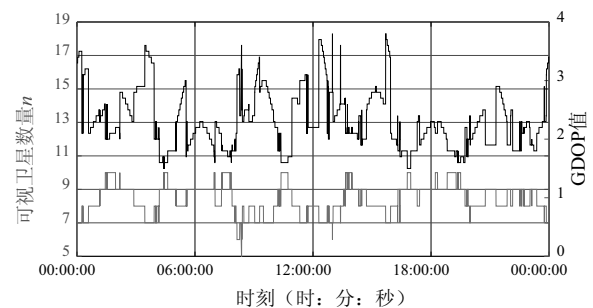


图 2 VBISM 站可见卫星数量及 GDOP 值随时间的变化

由图 1—图 4 分析可知,Trimble Pivot 生成的虚拟观测数据的可见卫星数量和 GDOP 值与真实观测数据相当。BISM 站、BJFS 站及虚拟站可见卫星数量均值在 8 颗左右,GDOP 值均值在 2.2~2.3 之间。

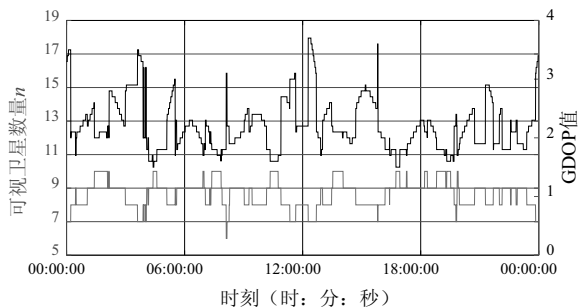


图3 BJFS站可见卫星数量及GDOP值随时间的变化

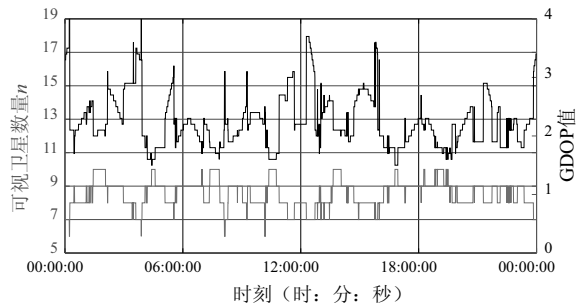


图4 VBJFS站可见卫星数量及GDOP值随时间的变化

2.2 周跳比分析

利用TEQC软件对BISM站和虚拟站VBISM、BIJS站和虚拟站VBJFS观测数据的周跳情况进行分析,结果如表1所示。结果表明虚拟观测数据周跳比值远远大于原始观测数据周跳比值,与观测数据总量相对比可知,虚拟观测数据不含有周跳,且数据利用率为100%。

表1 不同类型测站周跳比统计

站名	BISM	VBISM	BJFS	VBJFS
数据可用率/%	95	100	96	100
周跳比	3321	25856	1677	38698

2.3 多路径效应分析

对BIJS站和虚拟站VBJFS选取G06和R16星进行多路径效应的分析,不同测站不同频率观测数据多路径效应与高度角随时间的变化如图5—图12所示。

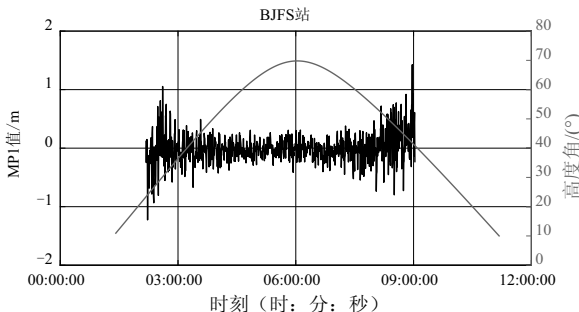


图5 G06星L1观测值多路径和高度角随时间的变化

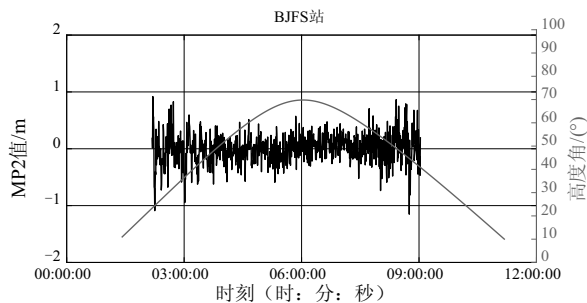


图6 G06星L2观测值多路径和高度角随时间的变化

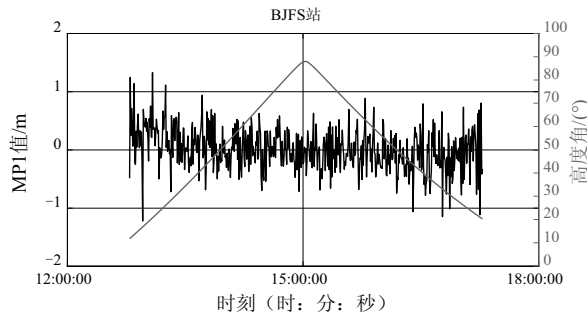


图7 R16星L1观测值多路径和高度角随时间的变化

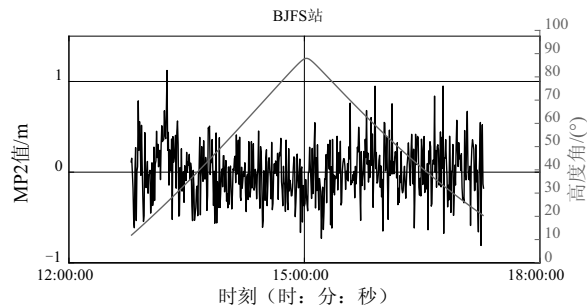


图8 R16星L2观测值多路径和高度角随时间的变化

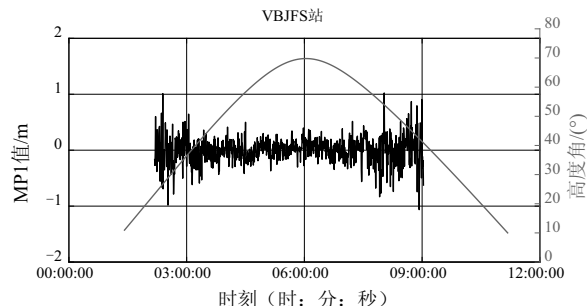


图9 G06星L1观测值多路径和高度角随时间的变化

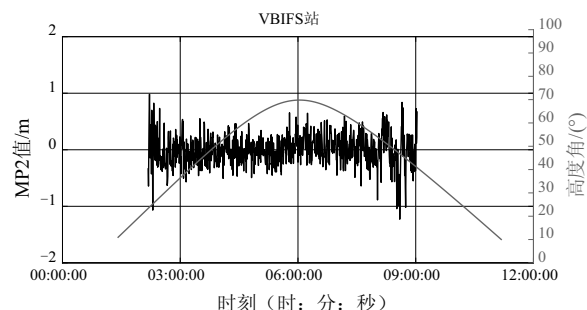


图10 G06星L2观测值多路径和高度角随时间的变化

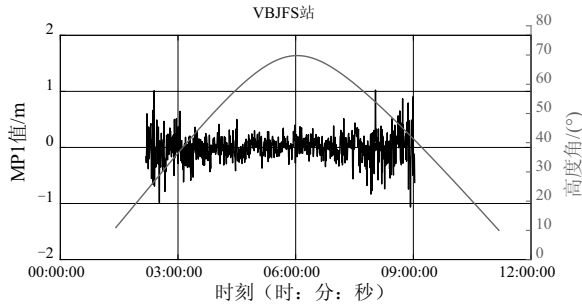


图 11 R16 星 L1 观测值多路径和高度角随时间的变化

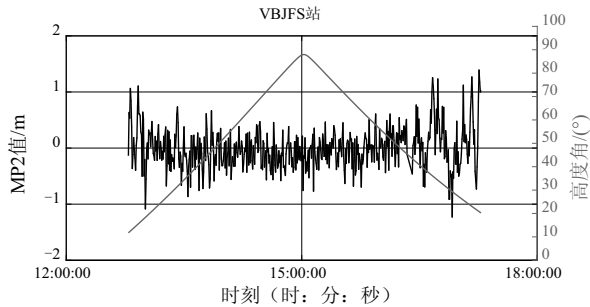


图 12 R16 星 L2 观测值多路径和高度角随时间的变化

由图 5—图 12 分析可知,虚拟参考站观测值的多路径值与原始观测数据有所不同,但均满足与高度角成负相关的特性。经软件计算可得,BJFS 站 MP1 值为 0.35,MP2 值为 0.36,VBJFS 站 MP1 值为 0.31,MP2 值为 0.31。虚拟参考站观测数据多路径效应要比原始观测数据小一些,这主要与 Trimble Pivot 仿真多路径效应的模型有关。

2.4 信噪比

对 BJFS 站和虚拟站 VBJFS 选取 G06 和 R16 星进行信噪比分析,不同测站不同频率观测数据信噪比随时间的变化如图 13—图 16 所示,平均值及最值统计结果如表 1 所示。

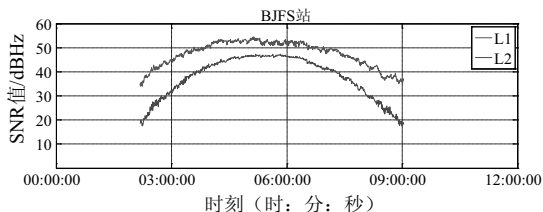


图 13 G06 星观测值信噪比随时间的变化

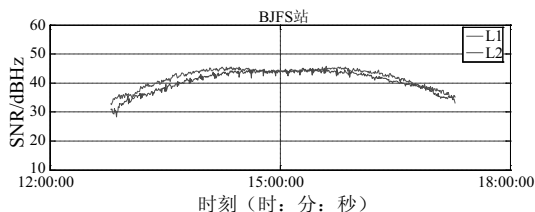


图 14 R16 星观测值信噪比随时间的变化

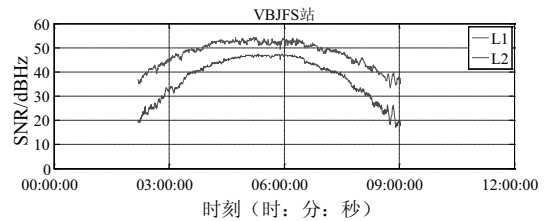


图 15 G06 星观测值信噪比随时间的变化

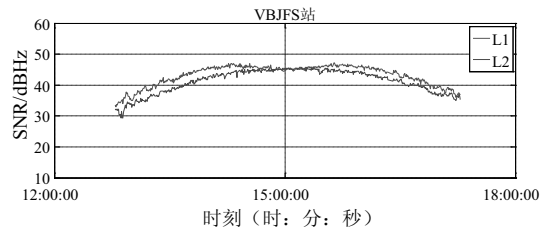


图 16 R16 星观测值信噪比随时间的变化

表 1 信噪比均值及最值统计结果

站名	统计量	G06-L1	G06-L2	R16-L1	R16-L2
BJFS	平均值	47.4	37.7	42	40.7
	最大值	54.5	47.3	45.8	45
	最小值	34	17.5	32.5	28.3
VBJFS	平均值	47.6	37.9	43.2	41.2
	最大值	54.3	47.5	47.3	45.8
	最小值	33.3	17	33	29.2

由图 13—图 16 可知,虚拟站信噪比的大小和随时间变化趋势与原始观测数据基本一致。由表 1 分析可知,虚拟观测数据信噪比值要略微大于原始观测数据信噪比值,不同卫星不同频率下,信噪比均值和最大最小值基本相当。综上所述,模拟出的虚拟观测值的信噪比具有真实可靠性。

3 虚拟站定位实例分析

基于 CORS 系统管理软件 Trimble Pivot 中的 Reference Data Shop 模块,在观测点周围一定距离内生成 3 个虚拟参考数据(如图 17 所示),数据格式为标准的 Rinex 格式。利用 TBC 数据处理软件将观测点和 3 个虚拟观测数据一同进行网解,虚拟点与观测点的距离约为 300 m,时长约 1 h。分析方案如下所示。

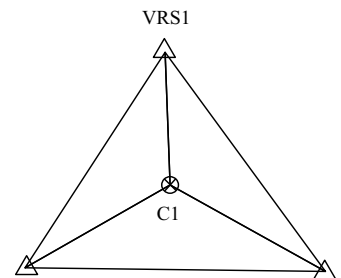


图 17 虚拟点和观测点分布图

方案 1:选取北京 CORS 网中的 BISM 站作为测试站,在 BISM 周围选取三个虚拟点作为控制点解算

BISM点位置,结果与BISM站的真实坐标进行比较。

方案2:选取北京境内的静态采集数据,在测试点周围选取三个虚拟点作为控制点进行解算。最终结果与利用北京CORS站RTK网解的结果进行比较。

利用TBC软件解算后,对两种方案的三维外符合精度进行统计,结果如表2所示:

表2 两种方案三维外符合精度统计

方案	dX/cm	dY/cm	dZ/cm
1	0.2	0.17	0.05
2	2.8	3.1	4.3

由表2分析可知,在方案1中,观测点距离CORS站很近时,利用虚拟点网解求出的三维坐标精度优于3mm。在方案2中,在距离CORS站较远的位置采集的数据,利用虚拟点网解求出的三维坐标精度优于5cm。利用虚拟站点网解求解出的未知观测点位置精度与观测点距离CORS站的距离有一定的关系,但依然可以满足优于5cm级的定位精度,跟网络RTK固定解相当。

4 结语

在网络RTK实际应用过程中,受外界环境的影响,可能无法获取测站固定解。基于虚拟站点求解未知控制点的方法具有高精度、方便、低成本等优点。通过本文的分析,得出如下结论:

1)基于Trimble Pivot软件中的Reference Data Shop模块生成的虚拟点观测数据质量与真实观测数据相当,可视卫星数量及PDOP值大小基本一致,多路径效应及信噪比随时间的变化规律及大小

也相当,但虚拟观测数据中不含周跳值,数据可用率高。综上,虚拟观测数据具有可靠性。

2)基于虚拟点网解定位实例表明,解算精度与观测点距离CORS站的距离有一定的关系,可以获得优于5cm的三维位置精度。

参 考 文 献

- [1] 景维立,孙仁锋,王占龙,等. GPS网络RTK技术及应用[J]. 测绘,2005,28(4):184-187.
- [2] 吴北平. GPS网络RTK定位原理与数学模型研究[D]. 北京:中国地质大学,2003.
- [3] 张照杰. 网络RTK定位原理与算法研究[D]. 青岛:山东科技大学,2007.
- [4] 吴北平. GPS网络RTK定位原理与数学模型研究[D]. 北京:中国地质大学,2003.
- [5] 黄治荣,田永明,殷达伟. 虚拟参考站(VRS)在汶川地震灾区应急测绘基准建设中的应用[J]. 测绘,2009,32(5):218-221.
- [6] 杨 聪. GPS虚拟参考站算法研究及软件开发[D]. 北京:清华大学,2010.
- [7] 朱静然. 多系统GNSS实时数据质量分析及软件实现[D]. 南京:东南大学,2015.
- [8] 吴 丹,王 利,张 勤,等. GNSS数据质量评估软件的实现及验证分[J]. 测绘科学技术学报,2015,32(4):344-348.
- [9] 范丽红. GPS/BDS数据质量评估及完好性监测研究[D]. 西安:长安大学,2014.

收稿日期:2018-01-05

(上接第119页)

5)在相同的水泥掺入比情况下,双轮铣深搅工法以其独特的工艺特点,对比传统水泥土搅拌工艺(三轴搅拌、TRD工法),其对水泥土强度有显著提高,利于节约成本。

6)CSM工法已经是一种很成熟的工艺,各发达国家在积极提升推广该工艺的应用。而在国内,作为防渗墙和挡土墙均有一定数量的成功案例,取得了良好的效果。随着CSM工法理论的完善和施工的创新发,CSM工法将发挥更大的作用。

参 考 文 献

- [1] 毕元顺. 双轮铣深搅(CSM)工艺在基础工程中的应用

[C]//中国水利学会地基与基础工程专业委员会第十一次全国学术技术研讨会论文集,2011.

- [2] 吴海燕,林森斌. CSM工法在深基坑支护工程中的应用[J]. 路基工程,2013(2):168-173.
- [3] 霍 镜,朱 进,胡正亮,等. 双轮铣深层搅拌水泥土地下连续墙(CSM工法)应用探讨[J]. 岩土工程学报,2012,34(S1):666-670.
- [4] 高凤栋,廖春华,胡正亮,等. CSM工法在天津软土地区超深基坑的应用[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2014,41(5):77-80.
- [5] JGJ/T 199—2010 型钢水泥土搅拌墙技术规程[S].

收稿日期:2018-03-30