

高精度 GNSS 服务中对流层映射函数的影响性分析

蒋光伟, 田晓静, 王 斌, 马新莹, 忽 巍

(国家测绘地理信息局大地测量数据处理中心, 陕西 西安 710054)

摘 要:针对 GNSS 服务中如何获取高精度的大地高以及 GNSS 气象中对流层湿延迟项, 文中采用 3 种试验方案, 利用对流层变化复杂的香港区域 CORS, 分析不同映射函数在不同高度角时对精密服务的影响。结果表明: 在高度角为 15° 时 VMF1、GMF、NMF 映射函数获取基线重复性相当, 天顶延迟变化规律一致; 在低高度角为 10° 时, 基于 VMF1 映射函数的基线重复率更好, 对大气变化的敏感性更强, GMF 映射函数获取的天顶延迟精度较好, NMF 映射函数获取的精度较弱。

关键词:GNSS; GNSS 气象; 映射函数

中图分类号: P228.4

文献标志码: A

文章编号: 1006-7949(2013)05-0013-03

Analysis of troposphere mapping function on high precision service

JIANG Guang-wei, TIAN Xiao-jing, WANG Bin, MA Xin-ying, HU Wei

(Geodetic Data Processing Center, National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, Xi'an 710054, China)

Abstract: As for the high precision geodetic height and troposphere wet delay, Hongkong CORS data are used to analyze the mapping function effect on precision service in different angle. The result shows that the baseline repetition and the zenith variation are closed to each other; at 15° elevating angle; the baseline repetition based on the VMF1 mapping function scheme at 10° elevating angle are more better and more sensitive than others; the GMF mapping function accuracy is middle; and the NMF mapping function are least weak.

Key words: GNSS; GNSS meteorology; mapping function

全球导航定位系统(GNSS)卫星信号穿越大气层时, 由于信号受到电离层电子和中性大气的影响发生折射, 致使传播路径比几何距离长。其中由电离层电子引起的弯曲可通过双频技术消除其影响, 非电离层大气折射部分的中性延迟是无法通过双频组合技术扣除其影响的^[1-2], 这部分延迟主要是由于对流层瞬时变化引起的。虽然当前 GNSS 的定位精度已达厘米至毫米级, 但大量的观测结果与研究分析表明: 测量结果的精度与可靠性在一定程度上受大气折射模型精度的限制, 因此, 对流层延迟误差是影响 GNSS 定位精度以及 GNSS/气象方面的重要因素。

随着 GNSS 广泛应用于高精度精密服务, 如定

位、实时导航、GNSS 气象中, 则更需要精确的对流层模型改正, 从而有效削弱对流层延迟的影响。目前, 高精度 GNSS 数据处理中大都采用传统的对流层改正模型与参数估计的方法进行解算, 即利用映射函数把天顶延迟总延迟量作为未知数投影到各个卫星的斜路径上, 并使用参数估计的方法确定对流层湿延迟的不确定性量级。由于传统的对流层模型都尚未考虑对流层折射在方位上的各向异性问题, 因此其精度在一定程度上具有局限性。目前在对流层研究方面也已取得丰富成果: 研究表明真实大气时空变化的复杂性和大气折射积分函数的不可积性, 使得大气延迟的计算精度仍在同一数量级上徘徊^[3]; 动态映射函数 VMF1 的时空分布较 GMF、NMF 在全球更加合理^[4]。在低高度角时 GNSS 结果受对流层的影响非常严重, 并且映射函数的作用是将对流层的斜路径延迟转换为天顶延迟, 这又是地基 GNSS 遥感水汽的基础数据^[5-7]。

收稿日期: 2011-12-13

基金项目: 国家 863 计划资助项目(2009AA121402-5)

作者简介: 蒋光伟(1985—), 男, 硕士。

映射函数的准确性与可靠性是影响 GNSS 空间定位大地高精度的关键,是反映地基 GNSS 层析空间水汽分布情况合理性的重要因素,是改善数值天气预报模式精度的重要参考因子,因此,若选取的不合理将不能可靠地提供精密服务。

为更好地了解对流层延迟的变化规律与影响,并合理地评价映射函数在 GNSS 高精度服务中的选择性,从而促进 GNSS 在地壳形变、大气科学、实时导航等领域的工程应用和科学研究服务。基于此,本文依托对流层变化显著的香港区域连续运行参考站网数据,详细研究并探讨了对流层延迟中映射函数的影响性问题。

1 对流层数学模型

1.1 对流层模型

GNSS 信号穿越地球大地层时,信号经过对流层引起的延迟(ΔD_{trop})可表示为^[2]

$$\Delta D_{trop} = \Delta D_{Wet} M_{Wet} + \Delta D_{Dry} M_{Dry}. \quad (1)$$

式中: ΔD_{trop} 为斜路径延迟; ΔD_{Wet} 为天顶湿延迟; M_{Wet} 为湿映射函数; ΔD_{Dry} 为天顶干延迟; M_{Dry} 为干映射函数。

1.2 映射函数模型

目前常用的映射函数主要有: NMF、MIT、GMF、VMF1^[8-11],这些映射函数大都是利用全球附近的探空资料、折射资料及相关的气象物理模型等并基于对流层延迟变化的各向同性的基础上构建的,其可用统一的公式表示为^[3]

$$mf(e) = \frac{1 + \frac{a}{1 + \frac{b}{1 + c}}}{\sin(e) + \frac{a}{\sin e + \frac{b}{\sin e + c}}}. \quad (2)$$

其中: e 是卫星高度角; a, b, c 为计算相应映射函数干湿项的系数。

2 算例分析

香港处于北回归线以南,是典型的海洋性亚热带季风气候,年平均温度约 28 °C,年平均相对湿度约 77%,年平均降雨量超过 2 214 mm。夏季由于受多变的天气影响,带来热带气旋和雷暴,天气极不稳定,夏季降雨量最大,且主要集中在 7、8 月份,是中国年降雨量最多地区之一。

鉴于此,为分析 GNSS 精密定位中不同对流层映射函数对基线分量以及天顶延迟的影响,从而满足高精度导航定位与应用的需求。笔者采用香港 CORS 网络的数据,通过联测周围的 IGS 超级跟踪

站 BJFS、KUNM、PIMO、SUWN、TWTF,并顾及大气水平梯度、海潮、大气潮等影响,基于 GAMIT 软件采用如下 3 种方案分析了不同映射函数 NMF、GMF、VMF1 在不同高度角时对基线分量以及 GNSS 遥感对流层天顶延迟时的影响。

方案 1:在卫星高度角分别为:15°和 10°的 VMF1 映射函数;

方案 2:在卫星高度角分别为:15°和 10°的 GMF 映射函数;

方案 3:在卫星高度角分别为:15°和 10°的 NMF 映射函数。

2.1 基线分量重复率分析

一般通过对定位结果的影响来判定方案的优劣,通常以单天解的重复率^[11]作为依据来判别解的精度,见式(3)。

$$R = \left[\frac{\frac{n}{n-1} \sum_{i=1}^n \frac{(b_i - \bar{b})^2}{\sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (3)$$

式中: n 为单天解的个数; b_i, σ_i 分别为单天解基线分量和相应方差; \bar{b} 为单天解基线分量的加权平均值。基线重复率统计见表 1。

表 1 基线重复率统计

映射函数 高度角/(°)	VMF1		GMF		NMF	
	15	10	15	10	15	10
\bar{R}_{north}/mm	2.2	2.1	2.1	2.2	2.2	2.1
\bar{R}_{east}/mm	2.9	2.7	2.5	2.5	2.9	2.7
\bar{R}_{up}/mm	8.7	8.5	8.6	8.9	8.7	8.7
\bar{R}_{length}/mm	2.5	2.3	2.4	2.3	2.5	2.4

从表 1 分析得出:NMF、GMF、VMF1 映射函数在高度角为 15°时基线分量重复率基本一致,北方向平均重复率为 2.2 mm,东方向平均重复率为 2.7 mm,大地高方向平均重复率约 8.6 mm,且相互差异甚小。在低高度角时,基于数值气象模式的映射函数 VMF1 的基线与基线分量重复率更低,大地高精度更高,这与映射函数建立时采用的数据、模型有关。VMF1 映射函数构建时采用了大量的低高度角无线电探空数据,并且顾及了经度因素,因而对经度具有一定的敏感性。同时,也说明在低高度角时,映射函数对高精度定位服务具有一定的影响。

2.2 对流层天顶延迟分析

为高精度获取对流层湿延迟为气象预报提供可靠的参考,有必要分析不同映射函数与高度角的

相关性。此处仅给出 HKMW 天顶延迟(ZTD)的分布曲线,如图 1、图 2 所示。

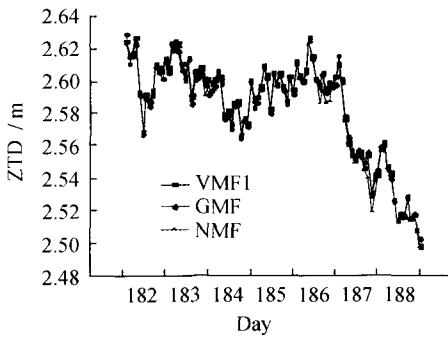


图 1 高度角为 10° 时天顶延迟分布图

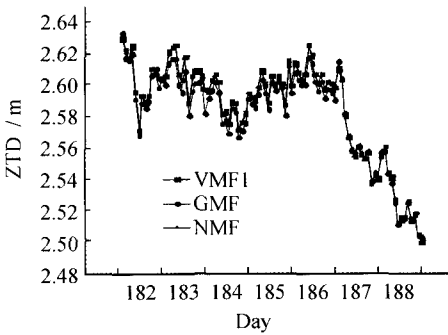


图 2 高度角为 15° 时天顶延迟分布图

分析图 1、图 2 得出:

1) 在卫星高度角为 15° 时,不管是那种方案,计算的天顶延迟的趋势都趋于一致;在高度角为 10° 时 3 种方案反应的趋势差异较为明显,其中 VMF1 与 GMF 差异稍小。原因为:VMF1 考虑了天气的瞬时变化,GMF 虽没有考虑到大气的瞬时变化,但 GMF 映射函数是基于 VMF1 的基础数据,为易于高精度数据处理而构建的,因此,在一定程度上,若无法获取近实时映射函数 VMF1 所需要的外部数据,在一定程度上可采用 GMF,从而可保证得到较可靠的天顶延迟。

2) 在低高度角为 10° 时,映射函数对水汽反演有明显的差别;基于数值预报模式的 VMF1 更能真实反应天顶延迟的变化趋势,NMF 得到的天顶延迟变化与基于 VMF1 与 GMF 的变化较大,其对大气的瞬时变化不是很敏感。因此,建议在实时气象应用方面采用基于数值气象模式的 VMF1 映射函数,会更精确地获取对流层湿延迟。

3 结论

1) 为满足高精度定位需求,尤其是大地高应用方面,在高度角为 15° 时 3 种映射函数获取基线精度相当,在低高度角为 10° 时,基于 VMF1 映射函数的基线重复率更好,大地高方向精度有一定的改善,但其需要外部数据;基于 GMF 映射函数基线重复率优于基于 NMF 映射函数的结果。

2) VMF1 映射函数更能满足实时气象水汽变化的需要,精度最高,GMF 可在事后数据处理上代替 VMF1 映射函数,NMF 在高高度角时与 VMF1、GMF 相当,在低高度角时对大气变化的敏感性较弱。

参考文献:

- [1]欧吉坤. GPS 测量的中性大气折射改正的研究[J]. 测绘学报, 1998,27(1):31-36.
- [2]曲建光. GPS 遥感气象要素的理论与应用研究[D]. 武汉:武汉大学,2005.
- [3]严豪健. 大气折射的研究进展[J]. 世界科技研究与发展, 2006,28(1):48-58.
- [4]张双成,叶世榕,刘经南,等. 动态映射函数最新进展及其在 GNSS 遥感水汽中的应用研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2009,34(3):280-283.
- [5]姜卫平,邹璇. 精密 GPS 定位中大气模型误差的研究与分析[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2008,33(11):1106-1109.
- [6]陈俊勇. 利用 GPS 反解大气水汽含量[J]. 测绘工程, 1998,7(2):6-8.
- [7]李国平,黄丁发. GPS 气象学研究及应用的进展与前景[J]. 气象科学,2005,25(6):651-661.
- [8]蒋光伟,王利,张秀霞. 基于 GPS 与 MOIDS 遥感影响的映射函数与大气可降水汽分析[J]. 地球科学与环境学报,2010,32(4):436-440.
- [9]JOHANNES BOEHM, BIRGIT WERL, HARALD SCHUH. Troposphere mapping functions for GPS and VLBI from ECMWF operational analysis data [J]. JGR, 2006, 111.
- [10]JOHANNES BOEHM, ARTHUR NIELL, PAUL TREGONING, et al. Global Mapping Function (GMF): A new empirical mapping function based on numerical weather model data [J]. GRL, 2006, 33:.
- [11]张勤,李家权. GPS 测量原理及应用[M]. 北京:科学出版社,2005.

[责任编辑:刘文霞]