

河北地区 CORS 网的电离层完备性监测分析^{* 1}

赵传华^{1,2)} 秘金钟²⁾ 党亚民^{1,2)}

(¹⁾ 山东科技大学, 青岛 266510
(²⁾ 中国测绘科学研究院, 北京 100830)

摘 要 为确保河北 CORS 网用户定位结果的可靠性与可用性, 利用电离层残差完备性监测指标 IRIM、电离层残差内插不确定性指标 IRIU 对该网的数据进行了电离层完备性监测, 结果表明该区域内电离层延迟在分米级以内, 且较稳定。

关键词 河北地区; CORS 网; 完备性监测; IRIM; IRIU; 电离层延迟

中图分类号: P412. 294

文献标识码: A

IONOSPHERE INTEGRITY MONITORING ANALYSIS OF CORS NETWORK IN HEBEI AREA

Zhao Chuanhua^{1,2)}, Bei Jinzhong²⁾ and Dang Yamin^{1,2)}

(¹⁾ Shandong University of Science and Technology, Shandong Province, Qingdao 266510
(²⁾ Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100830)

Abstract In order to guarantee the reliability and availability of users' positioning of Hebei CORS, ionosphere residual integrity monitoring indicator and ionosphere residual interpolation uncertainty indicator are used to conduct ionosphere integrity monitoring of the data of this network. The results show that the ionosphere delay calculated by these data within the decimeter level, and they are stable.

Key words: Hebei area; CORS network; integrity monitoring IRIM; IRIU; ionosphere delay

1 引言

完备性指的是系统出现故障或残差超限, 不能再用于导航、定位服务时, 系统及时对用户发出警告信息的能力。根据不同用户的需求, 通过利用不同的模型算法以实现相应的精度控制, 以达到一定的精度, 但对系统完备性的要求在任何时候都是必要的, 它是衡量用户定位安全的重要参数指标^[1,2]。

目前, 许多学者在电离层完备性监测方面做了

大量的分析研究, 如文献[3]提出了电离层残差完备性监测指标 IRIM 和电离层残差内插不确定性指标 IRIU, 并利用该指标对德国、日本的参考站数据进行分析, 得出该指标能够较准确地衡量流动站处的电离层延迟残差和内插误差。文献[4]提出基于双差的电离层完备性监测, 并利用四川地区 CORS 网的数据进行了分析, 也取得了良好的效果。

本文采用河北地区 CORS 网的实测数据, 通过 IRIM 和 IRIU 指标对部分基线进行电离层完备性监

* 收稿日期: 2012-10-11

基金项目: 山东科技大学研究生科技创新基金(YCA120205); 科技部 863 重点项目(2011AA120503); 科技部支撑计划(2012BAB16B01); 中国测绘科学研究院科研业务费(7771120/7771207); 国家测绘地理信息局重点实验室开放基金(201103); 国家重大基础测绘项目(B2551); 国家 927 工程项目(A1939)

作者简介: 赵传华, 女, 硕士研究生, 主要研究方向为电离层完备性监测。E-mail: zhaochuanhua2007@126.com

测,探讨区域内电离层延迟的大小及区域上空电离层是否稳定,从而确定观测数据是否可用,以保证用户定位结果的可靠性和可用性。

2 算法过程

电离层完备性监测包括四个方面:计算电离层延迟;构建电离层内插模型;计算 IRIM 与计算 IRIU。据研究^[5],若忽略双差载波相位的观测噪声,则参考站处的电离层延迟计算公式为:

$$\Delta \nabla I = \left(\frac{f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} \right) [(\lambda_1 \Delta \nabla \varphi_1 - \lambda_2 \Delta \nabla \varphi_2) + (\lambda_1 \Delta \nabla N_1 - \lambda_2 \Delta \nabla N_2)] \quad (1)$$

基于文献[6-8],电离层内插模型为:

$$\Delta \nabla I_{i,n} = \alpha_1 \Delta X_{i,n} + \alpha_2 \Delta Y_{i,n} + \alpha_3 \quad (2)$$

求得内插系数的最小二乘解公式为:

$$\begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix} = (A^T P A)^{-1} A^T P L$$

$$A = \begin{bmatrix} \Delta X_{1,n} & \Delta Y_{1,n} & 1 \\ \Delta X_{2,n} & \Delta Y_{2,n} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \Delta X_{n-1,n} & \Delta Y_{n-1,n} & 1 \end{bmatrix}, L = \begin{bmatrix} \Delta \nabla I_{1,n} \\ \Delta \nabla I_{2,n} \\ \vdots \\ \Delta \nabla I_{n-1,n} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中 $P = \text{diag}(d_{u,1}^{-1}, \dots, d_{u,n}^{-1})$, d 指的是各个参考站至流动站的距离。流动站与主参考站基线的双差电离层延迟为:

$$\Delta \nabla I_{u,n} = B \begin{bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中, $B = [\Delta X_{u,n} \quad \Delta Y_{u,n} \quad 1]$, ΔX 、 ΔY 分别为同一坐标系下的坐标差值。

用式(1)得到基线的电离层延迟计算值后,建立内插模型,用其中的若干条基线(最少为2条)内插计算另外一条基线的电离层延迟值(也称为估计值),并计算该基线的电离层延迟计算值与估计值的差。然后计算所有历元卫星的加权均方根(RMS),对 RMS 进行累积计算(累积区间为1小时)便可得到 IRIM。

$$IRIM = \sum_{m(i-1)+1}^{m_i} \cos^2(z_i) \left(\frac{\Delta \nabla V_i - \Delta \nabla V}{n} \right)^2 \quad (5)$$

式中, n 为历元数, $i = 1, \dots, n$, m 为1个小时的观测值个数, $\Delta \nabla V_i$ 为每个历元电离层延迟计算值与估计值的差; $\Delta \nabla V$ 为均值, z 为卫星的高度角。

计算所有卫星在某一特定时刻标准差的加权平均值即可得到 IRIU^[8]。

标准差 $\delta_{\nabla \Delta I}$ 的计算公式为:

$$\delta_{\nabla \Delta I}^2 = B Q B^T \quad (6)$$

式中, Q 为内插系数的协方差矩阵。

3 算例分析

3.1 电离层延迟的计算

采用河北地区 CORS 网 2010-04-25 日的数据(采样间隔 30 s)进行分析。在模糊度固定后利用式(1)计算基线的双差电离层延迟。利用 TTC 数据处理软件计算得到的 BDMC-SJZX(139.4 km)、BDMC-SJJZ(103.7 km)、BDMC-HSZQ(164.0 km)、BDMC-CZNP(155.3 km)、BDMC-CZYS(194.8 km)等5条基线的双差电离层延迟如图1所示。

从图1可看出,大多数延迟值集中在0.5 m以内,达到分米级精度。精度不高的原因主要是这5条基线较长,造成电离层延迟值较大。在GPS时3—7点间电离层延迟值较大,这主要是河北属于东八时区,GPS时3—7时对应当地地方时的11—15时,该时段太阳辐射比较剧烈,电离层活跃,导致了电离层延迟值偏大。GPS时17—2时对应当地地方时的1—10时,该时间段对应的是晚上和上午,太阳辐射微弱,电离层活动也较为微弱,因此电离层延迟较小。

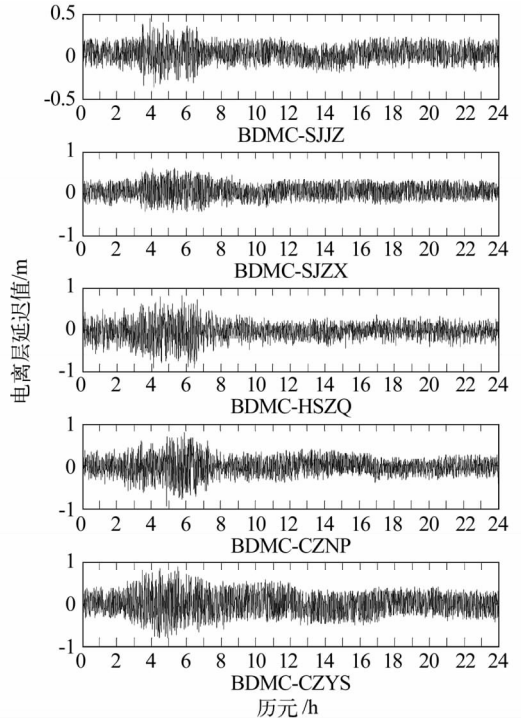


图1 双差电离层延迟

Fig.1 Double-difference ionosphere delay

通过比较5条基线上双差电离层延迟的最大值,BDMC-SJJZ基线的最大值为0.44 m、BDMC-SJZX基线的最大值为0.60 m、BDMC-CZNP基线的最大值为0.77 m、BDMC-HSZQ基线的最大值为

0.81 m、BDMC-CZYS 基线的最大值为 0.87 m,从图 1 与 5 条基线的长度可看出,双差电离层延迟随基线长度的增加而增大。

3.2 电离层内插模型的构建

采用文献[8]提出的低阶曲面模型构建电离层内插模型,计算电离层延迟计算值与内插值的差值。以 SJJZ 为流动站,BDMC 为主参考站,内插 BDMC-SJJZ 基线的延迟估计值,内插残差如图 2 所示。由图 2 可看出内插残差为厘米级精度,经统计内插残差在 4 cm 以内的占 96.4%,在 5 cm 以内的占 98.8%,证明该内插模型是好的内插模型,可以用于电离层延迟的内插计算,也可以用于建立电离层内插模型。

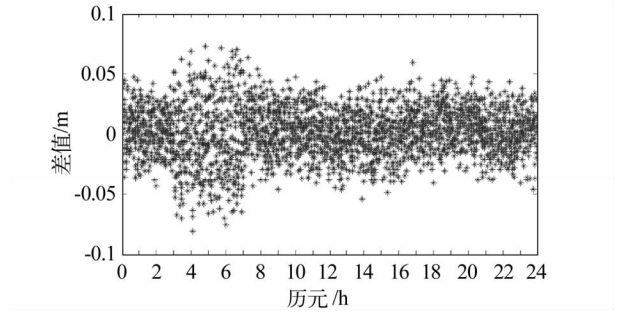


图2 计算值与内插值的差值

Fig. 2 The difference between calculated value and interpolated value

3.3 计算 IRIM

图 3 是 BDMC-SJJZ 基线的 IRIM 图,从图 3 可看出 IRIM 值的总体变化较平稳,5 时出现最大值,5 时正好是当地地方时的下午 13 时,太阳辐射较强,电离层较活跃,电离层延迟值较大,导致 IRIM 的值偏大。4—7 时的电离层延迟相对较大,IRIM 值也较大,说明 IRIM 能够有效地监测电离层残差的总体情况。

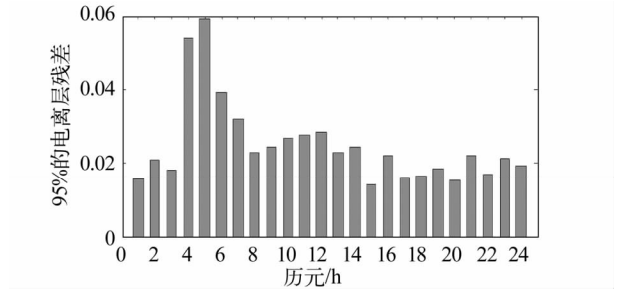


图3 BDMC-SJJZ 基线上的 IRIM 值

Fig. 3 The IRIM of BDMC-SJJZ baseline

3.4 计算 IRIU

图 4 和图 5 分别为利用 5 条基线计算的 GPS 时 08:00、20:00 时刻整个网的 IRIU 图。由图 4、5 可知,以左上角为中心向外扩散,随着经纬度的增加,IRIU 逐渐增大。而且图 4 的 IRIU 值要比图 5 的相

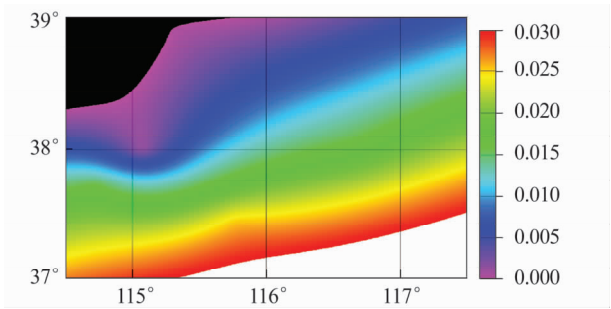


图4 GPS 时 08:00 时刻全网的 IRIU 值(单位:m)

Fig. 4 IRIU value of whole network at 8:00 moment (unit:m)

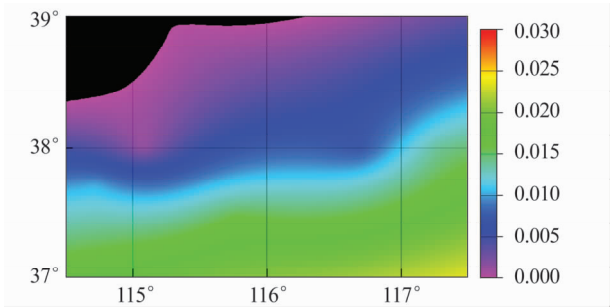


图5 GPS 时 20:00 时刻全网的 IRIU 值(单位:m)

Fig. 5 IRIU value of whole network at 20:00 moment (unit:m)

对大些,证明 08:00 时刻网内的电离层延迟偏大,使内插的精度偏低,不确定性偏大。但总体上看,IRIU 的值都很小,说明电离层内插的不确定性较小,电离层延迟较稳定,电离层较平稳;同时表明河北地区 CORS 网的数据质量较高,数据可用。

4 结语

通过对 5 条基线双差电离层延迟计算和分析,可看出大多数延迟值集中在 0.5 m 以内,即分米级精度,而且电离层延迟随基线增长而增大。由 IRIM、IRIU 两项监测指标监测的结果可知用河北地区 CORS 网数据计算的电离层延迟精度较高,且较稳定,上空的电离层处于平静状态,证明 CORS 网的数据质量较高,用于导航定位服务,用户定位的可靠性和可用性都能得到保证。

参 考 文 献

1 秘金钟. GNSS 完备性监测方法、技术与应用[D]. 武汉大学,2010. (Bei Jinzhong. GNSS integrity monitoring method, technology and application[D]. Wuhan University, 2010)

2 周东卫. 虚拟参考站 VRS 技术的质量控制和完备性监测研究[D]. 西南交通大学,2007. (Zhou Dongwei. Investigation into quality control and integrity monitoring for VRS technique [D]. Southwest Jiaotong University, 2007)

(下转第 140 页)