

# 大空间尺度 GPS 网共模误差提取方法研究

谢树明<sup>1</sup> 潘鹏飞<sup>1,2</sup> 周晓慧<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 武汉市测绘研究院, 湖北 武汉, 430022

<sup>2</sup> 武汉大学测绘学院, 湖北 武汉, 430079

**摘 要:**基于全球分布均匀且时间跨度大于 10 a 的 138 个 IGS 基准站坐标时间序列, 分析了大空间尺度 GPS 网基准站坐标时间序列之间的相关性, 发现部分测站之间的距离超过 5 000 km 时仍存在较显著的相关性。针对目前共模误差提取方法存在的不足, 引入相关系数作为权重因子, 改进了区域叠加滤波算法。并利用 IGS 基准站坐标时间序列验证了此方法。结果表明, 改进后的相关系数加权叠加滤波算法能够有效地提取大空间尺度 GPS 网坐标时间序列中的共模误差。

**关键词:**GPS 坐标时间序列; 共模误差; 相关系数

**中图法分类号:**P228.41

**文献标志码:**A

GPS 数据处理过程受到诸多因素的影响, 导致 GPS 坐标时间序列中包含多种不同性质的误差<sup>[1-6]</sup>。Wdowinski 认为, 在不同站点坐标时间序列中存在一种空间相关的误差, 将其定义为共模误差(common mode error)<sup>[7]</sup>。共模误差是 GPS 时间序列数据误差的主要来源<sup>[8-11]</sup>。目前, 对于共模误差的研究主要集中在区域 GPS 观测网<sup>[12-14]</sup>。有学者认为, 随着距离的增加, 测站之间的相关性逐渐减弱, 直至 2 000 km 左右不再相关<sup>[13-16]</sup>。本文研究发现, 大空间尺度 GPS 网中, 部分 GPS 站坐标时间序列之间存在较显著的正相关性和负相关性, 表明测站之间存在共模误差的影响。然而, 传统的区域叠加滤波算法对于计算大空间尺度 GPS 网的共模误差存在一定的局限性<sup>[17-19]</sup>, 如何有效地提取大空间尺度乃至全球范围 GPS 网坐标时间序列中的共模误差是一个亟需解决的问题。本文讨论了大空间尺度 GPS 网基准站坐标时间序列之间的相关性, 并引入相关系数作为权重因子, 改进区域叠加滤波算法, 以克服空间尺度的局限性。

## 1 GPS 残差坐标时间序列的获取

为了得到观测值残差的时间序列, 采用正弦、

余弦函数描述测站的年周期、半年周期变化, 将坐标分量每日解观测序列按式(1)建模:

$$y(t) = a + bt_i + c\sin(2\pi t_i) + d\cos(2\pi t_i) + e\sin(4\pi t_i) + f\cos(4\pi t_i) + \sum_{j=1}^{n_g} g_j H(t_i - T_{g_j}) + v_i \quad (1)$$

式中,  $t$  表示日坐标解历元(单位: a);  $a$  为测站位置;  $b$  为线性速度;  $c, d$  描述测站的年周期运动;  $e, f$  描述半年周期运动;  $\sum_{j=1}^{n_g} g_j H(t_i - T_{g_j})$  为跳变改正项;  $g_j$  表示跳变振幅;  $T_{g_j}$  表示发生跳变的历元;  $n_g$  表示跳变个数;  $H$  为海维西特阶梯函数(Heaviside step function), 在突变前,  $H$  值为 0, 发生突变后,  $H$  值为 1;  $v_i$  为观测值残差。本文中所使用的全球 138 个 IGS 站以及 PBO 观测网 GPS 基准站的残差坐标时间序列数据由 IGS 分析中心 SOPAC(scripps orbit and permanent array center, <http://sopac.ucsd.edu>)提供。

## 2 GPS 坐标时间序列相关性分析

### 2.1 相关系数

本文选用相关系数表征 GPS 基准站间坐标时间序列的相关程度, 基准站坐标间的相关系数

收稿日期: 2013-10-11

项目来源: 国家自然科学基金资助项目(41304007); 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(121103); 武汉大学地球空间环境与大  
地测量教育部重点实验室测绘基础研究基金资助项目(11-02-02)。

第一作者: 谢树明, 高级工程师。主要从事卫星大地测量和工程测量研究。E-mail: xiesm0828@163.com

通讯作者: 周晓慧, 博士。E-mail: xhzhou@sgg.whu.edu.cn

$r_{xy}$  通过基于两个基准站坐标分量的残差时间序列( $x$  和  $y$ )的公共历元获得:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})^2 \sum_{k=1}^N (y_k - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

其中,  $N$  为公共历元的个数;  $\bar{x}$  和  $\bar{y}$  为两个 GPS 基准站残差坐标时间序列的均值。

## 2.2 样本数对相关系数的影响

本文选取了空间距离小、时间序列跨度基本相同、相同历元数多的 10 个 PBO 观测网络基准站进行分析, 分别为 P059、P164、P182、P183、P184、P185、P186、P187、P188、P189。各基准站坐标时间序列的时间跨度均从 2006~2012 年, 历元数基本为 2 000 左右。

通过计算相关系数的标准差, 能够反映出不同时间序列长度下测站之间相关系数的变化情况, 标准差越大, 说明求得的相关系数随时间序列长度的变化越大。本文分别采用历元数  $n=500, 600, \dots, 1\,900, 2\,000$  的数据来计算 P059 基准站在  $N$ 、 $E$ 、 $U$  方向上与其他站台之间的相关系数, 然后计算采用不同长度时间序列所得到的相关系数的标准差。

图 1、图 2、图 3 分别显示了在  $N$ 、 $E$ 、 $U$  方向不同历元数下所计算的 P059 基准站与其他测站之间相关系数标准差的直方图统计。其中测站在  $N$  方向相关系数的标准差均小于 0.05, 标准差平均值为 0.025; 在  $E$  方向相关系数的标准差均小于 0.03, 标准差平均值为 0.014; 在  $U$  方向相关系数的标准差均小于 0.045, 标准差平均值为 0.026。由此可见, 采用不同样本数对于三个方向上坐标时间序列相关系数的计算影响不大。

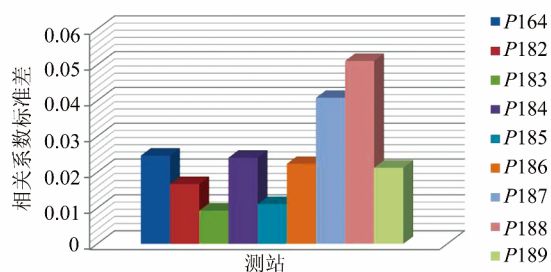


图 1 不同样本数下  $N$  方向相关系数标准差

Fig. 1 Standard Deviation of Coefficients in Different Samples ( $N$  Component)

## 2.3 相关性分析

本文利用 IGS 分析中心 SOPAC 提供的 IGS 基准站残差坐标时间序列, 选择了全球均匀分布

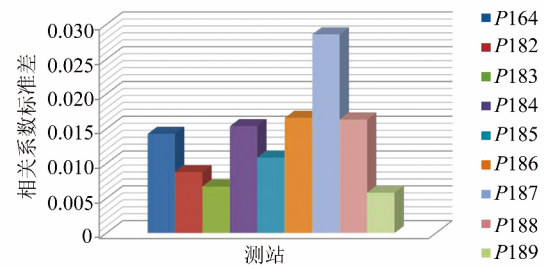


图 2 不同样本数下  $E$  方向相关系数标准差

Fig. 2 Standard Deviation of Coefficients in Different Samples ( $E$  Component)

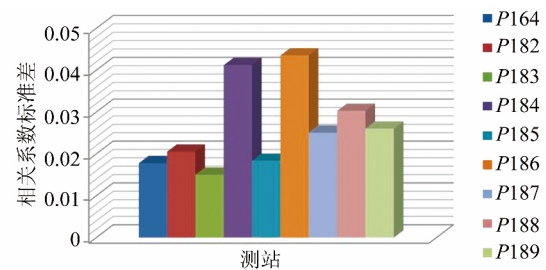


图 3 不同样本数下  $U$  方向相关系数标准差

Fig. 3 Standard Deviation of Coefficients in Different Samples ( $U$  Component)

且时间跨度大于 10 a 的 138 个 IGS 基准站, 其点位分布如图 4 所示。其中, ALGO 站时间序列的跨度最大, 为 1992 年第 242 天至 2012 年 223 天, 共 7 127 个历元; OUS2 站时间序列的跨度最小, 为 2002 年第 120 天至 2012 年 230 天, 共 1 527 个历元。然后分别计算了 IGS 站之间的距离以及残差坐标时间序列的相关系数。

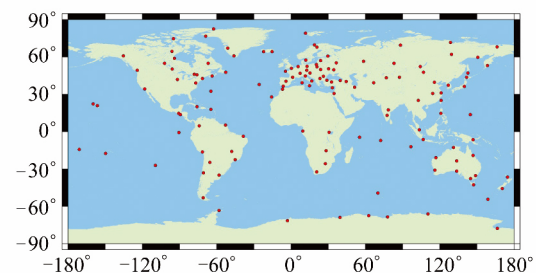


图 4 全球 138 个 IGS 基准站分布图

Fig. 4 Distribution of 138 Global IGS Stations

图 5 为 WUHN 站与其余 IGS 站之间相关系数与距离的关系。结果表明, 在 5 000 km 范围以内, 随着距离的增加, 测站残差坐标时间序列之间的相关系数逐渐减小; 一般情况下, 当距离达到 5 000 km, 相关系数减小到 0.1 以下, 测站之间的相关性不再明显; 随着距离的继续增加, 个别 IGS 站之间的相关系数会出现增大的情况。

表 1 反映了部分 IGS 站之间的距离 (大于 5 000 km) 与残差坐标时间序列相关系数的关系。

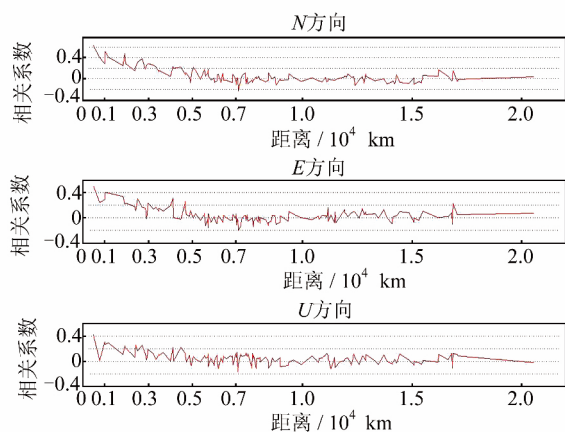


图5 全球IGS站与WUHN站距离和残差坐标时间序列相关系数的关系

Fig. 5 Correlation Coefficients Between Global IGS and WUHN of Residual Time Series as Function of Distance

由表1可知,当测站之间距离超过5 000 km时,部分测站残差坐标时间序列之间的相关系数仍可达到0.2以上,显示出较明显的相关性;三个方向的相关性不一致,如WUHN站和NSSP站N方向的相关系数达到0.222,E方向却为-0.008。

由图5和表1可以看出,共模误差不仅存在于2 000 km范围以内的区域GPS网,而且也存在于更大空间尺度的GPS网中;并且GPS测站在N、E、U方向的相关性不尽相同,需要分别计算三个方向的共模误差。

表1 长距离IGS站残差坐标时间序列间的相关系数

Tab. 1 Coefficients of Long-distance Residual Coordinate Time Series

测站	相关系数			距离/km
	N方向	E方向	U方向	
WUHN-NSSP	0.222	-0.008	0.072	5 030
WUHN-SFER	0.155	0.223	0.127	10 300
MOBS-DAV1	0.169	-0.049	0.215	8 130
DUBO-POLV	0.243	0.018	0.100	7 980
DUBO-MOBN	0.203	0.060	-0.032	7 530
DUBO-GLSV	0.210	0.061	0.054	7 730
DUBO-KELY	0.037	0.009	0.244	5 320
PRAC-KOUR	0.214	0.119	-0.060	6 770
MBAR-QAQ1	0.217	-0.059	0.064	9 350
MBAR-BRFT	0.308	0.022	0.076	7 180

### 3 大空间尺度CME提取的局限性

目前,区域叠加滤波法是最常用的提取共模误差的方法<sup>[7]</sup>。该算法假设共模误差在某一区域是均匀分布的,将单日解的误差作为权重因子,利用简单的算数平均来计算<sup>[20]</sup>。

$$\epsilon_i = \frac{\sum_{s=1}^S \frac{v_{i,s}}{\sigma_{i,s}^2}}{\sum_{s=1}^S \frac{1}{\sigma_{i,s}^2}} \quad (3)$$

式中, $\epsilon_i$ 为第*i*个台站的共模误差值; $v$ 为残差坐标时间序列; $\sigma_{i,s}$ 为单日坐标解的误差; $S$ 为参与计算共模误差的台站数。

对于大空间尺度的GPS网,每个基准站所受共模误差的影响各异,区域叠加滤波算法就失去了作用。目前常用的方法是划分为多个子区来计算共模误差。比如覆盖了北美西海岸约2 000 km空间范围的美国PBO网络,由于共模误差的分布很可能存在较大的区域差异,SOPAC将整个PBO网络划分为若干个子区,然后针对每个子区分别进行区域叠加滤波。

然而,划分子区计算大空间尺度GPS网共模误差的方法存在一定的局限性。

1) 子区域的划分缺乏准确的依据。由于共模误差的起源没有确定,GPS观测网子区的划分没有严格的标准,导致共模误差的计算不准确。

2) 边缘交错地带滤波结果不统一。对GPS观测网划分区域,会使相距很近的基准站归属于不同的子区。对于边缘交错地带的GPS基准站,由于归属的子区不同,可能导致计算得到的共模误差差别较大。

### 4 相关系数加权叠加滤波

GPS基准站坐标时间序列之间存在着正、负相关性的影响,为了全面地计算所有测站对某一基准站所产生的共模误差的大小,本文改进了传统的区域叠加滤波法,引入相关系数作为权重因子。

$$\epsilon_i = \frac{\sum_{j=1}^S \frac{v_{j,k}}{\sigma_{j,k}^2} \times r_{i,j}}{\sum_{j=1}^S \frac{1}{\sigma_{j,k}^2} \times |r_{i,j}|} \quad (4)$$

式中, $\epsilon_i$ 为第*i*个台站的共模误差值; $S$ 为参与计算共模误差的台站数; $v_{j,k}$ 和 $\sigma_{j,k}^2$ 分别为第*j*个台站某一位置分量第*k*天的残差和误差; $r_{i,j}$ 为站*i*和站*j*该分量残差坐标时间序列间的相关系数。

相关系数加权叠加滤波主要具有以下两个特点:

1) 权重因子选择更加合理。传统的区域叠加滤波算法以单日坐标解误差作为权重因子,没有考虑到共模误差随空间的分布会存在差异这一

事实。相关系数能够准确地表示测站之间的相关性,这种定权的方式更加合理。

2) 计算数据更加完整。对于大空间尺度 GPS 网,大部分测站之间的相关性并不显著,三个方向残差坐标时间序列之间的相关系数通常小于 0.1。当测站之间的相关性不明显或者小于零时,传统的区域叠加滤波算法失去了作用。相关系数叠加滤波算法能够计算所有测站对于目标测站累计产生的共模误差,更加的全面和客观。

5 算例分析

为了对比传统的区域叠加滤波以及相关系数加权叠加滤波处理大空间尺度 GPS 网共模误差的情况,本文选择 5 个 IGS 基准站进行分析,分别为 DUBO 站、MOBS 站、POLV 站、SUTH 站和 WUHN 站,其站点分布如图 6 所示。

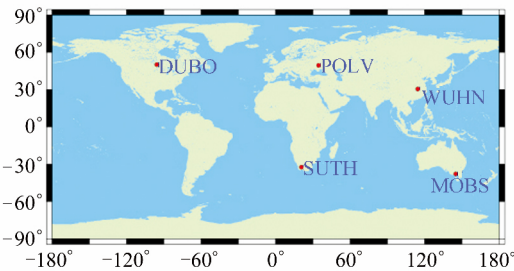


图 6 全球范围 5 个 IGS 基准站分布图  
Fig. 6 Distribution of 5 IGS Stations

对以上 5 个 IGS 基准站,分别进行区域叠加滤波和改进后的相关系数加权叠加滤波,其中与 DUBO 基准站  $N$  方向残差坐标时间序列滤波前后的相关系数如表 2 所示。

表 2  $N$  方向残差坐标时间序列滤波前后相关系数对比  
Tab. 2 Coefficients of Residual Coordinate Time Series Before and After Filtering ( $N$  Component)

站点	相关系数			距离/km
	滤波前	区域叠加滤波	本文方法	
MOBS	-0.031	-0.416	-0.056	15 097
POLV	0.243	-0.149	-0.006	7 976
SUTH	0.041	-0.503	-0.007	14 542
WUHN	-0.036	-0.557	-0.028	10 573

由表 2 可见,经过传统的区域叠加滤波后,测站之间的相关系数反而得到了大幅的增加,表明传统的区域叠加滤波方法不适用与大空间尺度 GPS 网进行空间滤波。而经过相关系数加权叠加滤波后,除了 MOBS 站,其余测站与 DUBO 站  $N$  方向残差坐标时间序列之间的相关性均有所减小。

为了进一步验证相关系数加权叠加滤波提取大空间尺度 GPS 网共模误差的效果,本文选取了如图 4 所示的 138 个 IGS 站进行分析。以 WUHN 站为例,统计滤波前后 WUHN 站与其他 IGS 站在  $N$ 、 $E$ 、 $U$  方向上的相关系数。表 3、表 4 分别列出了  $N$ 、 $U$  方向上与 WUHN 站相关系数大于 0.2 的测站。结果表明,经过相关系数加权叠加滤波提取共模误差以后,IGS 测站之间的相关性有所减小。

表 3  $N$  方向残差时间序列滤波前后相关系数对比  
Tab. 3 Coefficients of Residual Coordinate Time Series Before and After Filtering ( $N$  Component)

测站	滤波前	滤波后	降幅/%
PIMO	0.226	0.027	88.24
LAE1	0.249	0.042	83.31
BJFS	0.253	0.013	94.97
IISC	0.254	-0.016	93.85
SELE	0.270	0.025	90.63
ULAB	0.280	0.001	99.71
IRKT	0.308	-0.020	93.63
YSSK	0.351	-0.023	93.50
TWTF	0.364	-0.020	94.45
SUWN	0.392	-0.012	96.84
KUNM	0.463	0.018	96.09
TSKB	0.475	0.009	98.17
SHAO	0.583	-0.012	97.89

表 4  $U$  方向残差坐标时间序列滤波前后相关系数对比  
Tab. 4 Coefficients of Residual Coordinate Time Series Before and After Filtering ( $U$  Component)

测站	滤波前	滤波后	降幅/%
ULAB	0.209	0.004	98.11
YSSK	0.228	-0.018	91.95
BJFS	0.229	-0.004	98.07
KUNM	0.231	0.070	69.74
TSKB	0.239	-0.061	74.37
SUWN	0.254	0.114	55.35
SHAO	0.376	0.015	95.94

本文还分别计算了去除共模误差前后 138 个 IGS 站  $N$ 、 $E$ 、 $U$  分量残差坐标时间序列的均方差。其中, $N$  方向残差坐标时间序列均方差滤波后平均减少 9.07%, $E$  方向平均减少 26.59%, $U$  方向平均减少 60.38%。表 5 列出了其中 20 个基准站去除共模误差前后残差坐标时间序列的均方差。

6 结 语

全球 IGS 站相关性分析表明,共模误差不仅存在于区域 GPS 网,而且大空间尺度 GPS 网同样受到共模误差的影响。改进后的相关系数加权

叠加滤波算法引入相关系数作为权重因子,以单个基准站为单位,突破空间尺度的局限性,计算所有基准站对目标测站产生的共模误差。实例表明,采用相关系数加权叠加滤波能够有效地提取全球范围 IGS 站的共模误差,剔除共模误差以后的残差坐标时间序列标准差减小,GPS 观测数据质量得到提高。

表 5 IGS 基准站滤波前后残差坐标时间序列标准差对比

Tab. 5 Standard Deviation of Residual Coordinate Time Series Before and After Filtering

测站	N 方向		E 方向		U 方向	
	滤波前	滤波后	滤波前	滤波后	滤波前	滤波后
ALGO	2.41	2.25	3.24	2.41	7.57	2.41
ALIC	3.15	2.79	4.84	3.15	8.56	3.15
ALRT	3.46	3.27	3.94	3.46	7.81	3.46
ANKR	1.90	1.66	2.54	1.90	7.49	1.90
AREQ	5.55	5.01	7.00	5.55	8.80	5.55
ARTU	2.02	1.81	3.09	2.02	8.29	2.02
ASPA	4.38	4.16	4.93	4.38	10.96	4.38
AUCK	3.61	3.32	5.11	3.61	8.04	3.61
BAKE	2.21	2.05	3.01	2.21	7.71	2.21
BAKO	6.00	5.66	7.81	6.00	12.26	6.00
BILI	2.74	2.42	3.24	2.74	6.91	2.74
BJFS	3.33	2.90	4.27	3.33	7.53	3.33
BOGT	3.87	3.57	4.94	3.87	11.99	3.87
BRAZ	5.17	4.70	8.43	5.17	10.43	5.17
BRFT	4.63	4.12	4.54	4.23	8.48	4.63
BRMU	3.34	3.03	4.88	3.34	7.87	3.34
BRST	3.17	2.91	3.84	3.17	5.76	3.17
BUCU	1.42	1.24	2.26	1.42	6.89	1.42
CAGL	1.80	1.63	3.44	1.80	6.38	1.80
CAGS	3.34	3.06	3.71	3.34	7.50	3.34

## 参 考 文 献

- [1] Huang Liren. Noise Properties in Time Series of Coordinate Component at GPS Fiducial Stations[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2006, 26(2):31-33(黄立人. GPS 基准站坐标分量时间序列的噪声特性分析[J]. 大地测量与地球动力学, 2006, 26(2):31-33)
- [2] Huang Liren, Fu Yang. Analysis on the Noise from Continuously Monitoring GPS Sites[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2007, 29(2): 197-202(黄立人, 符养. GPS 连续观测站的噪声分析[J]. 地震学报, 2007, 29(2): 197-202)
- [3] Li Zhao, Jiang Weiping, Liu Hongfei, et al. Noise Model Establishment and Analysis of IGS Reference Station Coordinate Time Series Inside China [J]. *Acta Geodetica et Cartographica Sinica*, 2012, 41(4): 496-503(李昭, 姜卫平, 刘鸿飞, 等. 中国区

- 域 IGS 基准站坐标时间序列噪声模型建立与分析[J]. 测绘学报, 2012, 41(4): 496-503)
- [4] Wang Min, Shen Zhengkang, Dong Danan. Effects of Non-tectonic Crustal Deformation on Continuous GPS Position Time Series and Correction to Them [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2005, 48(5): 1 045-1 052 (王敏, 沈正康, 董大南. 非构造形变对 GPS 连续站位置时间序列的影响和修正[J]. 地球物理学报, 2005, 48(5): 1 045-1 052)
- [5] Mao A, Harrison C G, Dixon T H. Noise in GPS Coordinate Time Series[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978-2012), 1999, 104(B2): 2 797-2 816
- [6] Williams S. The Effect of Coloured Noise on the Uncertainties of Rates Estimated from Geodetic Time Series[J]. *Journal of Geodesy*, 2003, 76(9/10): 483-494
- [7] Wdowinski S, Bock Y, Zhang J, et al. Southern California Permanent GPS Geodetic Array: Spatial Filtering of Daily Positions for Estimating Coseismic and Postseismic Displacements Induced by the 1992 Landers Earthquake[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978-2012), 1997, 102(B8): 18 057-18 070
- [8] Gu Guohua, Zhang Jing, Wang Wuxing. Time Series of the Horizontal Displacement Vectors at Fiducial Stations in the Crustal Movement Observation Network of China[J]. *Earthquake*, 2003, 23(2): 39-47(顾国华, 张晶, 王武星. 中国地壳运动观测网络基准站水平位移向量时间序列[J]. 地震, 2003, 23(2): 39-47)
- [9] Han Ying, Fu Yang. Analysis of GPS Time Series of Height Component[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2003, 28(4): 425-428 (韩英, 符养. GPS 高程数据时间序列分析[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(4): 425-428)
- [10] Dong D, Fang P, Bock Y, et al. Anatomy of Apparent Seasonal Variations from GPS-derived Site Position Time Series [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2002, 107(B4): 2 075
- [11] Langbein J, Johnson H. Correlated Errors in Geodetic Time Series: Implications for Time-Dependent Deformation[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978-2012), 1997, 102(B1): 591-603
- [12] Yang Guohua, Wang Cuizhi, Yang Bo, et al. Discussion About Influence of ITRF "Frame Drift" on GPS Continuous Observation[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2009, 29(4): 5-9 (杨国华, 汪翠枝, 杨博, 等. ITRF 框动对 GPS 连续观测的影响研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2009, 29(4):



- 5-9)
- [13] Williams S D, Bock Y, Fang P, et al. Error Analysis of Continuous GPS Position Time Series[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978-2012), 2004, 109(B3):3 412-3 431
- [14] Yuan Linguo, Ding Xiaoli, Chen Wu, et al. Characteristics of Daily Position Time Series from the Hong Kong GPS Fiducial Network[J]. *Chinese J Geophys*, 2008, 51(5):1 372-1 384(袁林果,丁晓利,陈武,等. 香港 GPS 基准站坐标序列特征分析[J]. *地球物理学报*, 2008, 51(5): 1 372-1 384)
- [15] Tian Yunfeng, Shen Zhengkang. Progress on Reduction of Non-tectonic Noise in GPS Position Time Series[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2009, 31(1): 68-81(田云锋,沈正康. GPS 坐标时间序列中非构造噪声的剔除方法研究进展[J]. *地震学报*, 2009, 31(1): 68-81)
- [16] Tian Yunfeng, Shen Zhengkang, Li Peng. Analysis on Correlated Noise in Continuous GPS Observations[J]. *Acta Seismologica Sinica*, 2010, 32(6): 696-704(田云锋,沈正康,李鹏. 连续 GPS 观测中的相关噪声分析[J]. *地震学报*, 2010, 32(6): 696-704)
- [17] Hu Shouchao, Wu Jicang, Sun Yafeng. Comparison Among Three Spatiotemporal Filtering Methods for Regional GPS Networks Analysis[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2009, 29(3): 95-99(胡守超,伍吉仓,孙亚峰. 区域 GPS 网三种时空滤波方法的比较[J]. *大地测量与地球动力学*, 2009, 29(3): 95-99)
- [18] Dong D, Fang P, Bock Y, et al. Spatiotemporal Filtering Using Principal Component Analysis and Karhunen-Loeve Expansion Approaches for Regional GPS Network Analysis[J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth* (1978-2012), 2006, 111(B3):3 405-3 421
- [19] Zhang Hengjing, Cheng Pengfei. Study on Robust Detection and Interpolation from Gross Errors of GPS Height Time Series[J]. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2011, 31(4):71-75(张恒璟,程鹏飞. 基于 GPS 高程时间序列粗差的抗差探测与插补研究[J]. *大地测量与地球动力学*, 2011, 31(4):71-75)
- [20] Nikolaidis R. Observation of Geodetic and Seismic Deformation with the Global Positioning System [D]. San Diego:University of California, 2002

## Research on Common Mode Error Extraction Method for Large-Scale GPS Network

XIE Shuming<sup>1</sup> PAN Pengfei<sup>1,2</sup> ZHOU Xiaohui<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Wuhan Geomatic Institute, Wuhan 430022, China

<sup>2</sup> School of Geodesy and Geomatics, Wuhan University, Wuhan 430079, China

**Abstract:** Based on 138 evenly distributed IGS coordinate time series spanning more than 10 years, site-to-site coefficients in large scale GPS network were analyzed. Their site-to-site coefficients indicate significant corelationship even when the between-site distance more than 5 000 km. Therefore, this paper proposes a new method introducing coefficients as weight factor to calculate common mode error, and it improved the correlation-based spatial filtering technique. Time series from global and regional networks were used to verify this new method. The results show that this improved coefficient-based spatial filtering technique overcomes the spatial scale limit and effectively extracts common mode error of GPS coordinates time series.

**Key words:** GPS coordinate time series; common mode error; correlation coefficient

**First author:** XIE Shuming, senior engineer. His main research interests focus on the space geodesy and engineering survey. E-mail: xiesm0828@163.com

**Corresponding author:** ZHOU Xiaohui, PhD. E-mail: xhzhou@sgg.whu.edu.cn

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, No. 41304007; Chinese Universities Scientific Fund, No. 121103; Surveying and Mapping Basic Research Program of National Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, No. 11-02-02.