

卫星激光测距望远镜指向误差研究^{* 1}朱程广^{1,2)} 周 勇^{1,2)} 李世鹏^{1,2)} 林 强^{1,2)}(1) 中国地震局地震研究所(地震大地测量重点实验室), 武汉 430071
(2) 中国地震局地壳应力研究所武汉科技创新基地, 武汉 430071

摘 要 基于长春 SLR 站和武汉流动 SLR 站的 6 组观测数据,研究了卫星激光测距指向误差的分布特性,提出用遗传算法将观测样本数据分组后利用转台模型建模。结果表明:高度误差和方位误差具有规律性;模型输出的指向误差的残差不一定符合正态分布;遗传算法能提高模型的精度。

关键词 指向误差;卫星激光测距;正态性检验;遗传算法;转台模型

中图分类号: P111.2 ; P228.5

文献标识码: A

RESEARCH OF POINTING ERROR OF SATELLITE LASER RANGING
TELESCOPEZhu Chengguang^{1,2)}, Zhou Yong^{1,2)}, Li Shipeng^{1,2)} and Lin Qiang^{1,2)}(1) Key Laboratory of Earthquake Geodesy, Institute of Seismology, CEA, Wuhan 430071
(2) Wuhan Base of Institute of Crustal Dynamics, CEA, Wuhan 430071

Abstract Aiming at the problem of the pointing error of satellite laser ranging, the six groups observation data from Changchun SLR station and Wuhan mobile SLR station are analyzed, and the distribution of pointing error is also studied, We propose a model which uses a mount model after dividing the observation data by the genetic algorithm. The result shows that the error distribution of elevation and azimuth angles has certain regularity, and the residual error does not necessarily meet the normal distribution, and the genetic algorithm can improve the accuracy of model.

Key words: pointing error; Satellite Laser Ranging(SLR); normality test; genetic algorithm; mount model

1 引言

随着国内各卫星激光测距站白天测距工作常规化,提高望远镜的指向精度对提高跟踪目标的捕获能力具有重要意义。由于指向误差的误差源具有偶然性和随机性,需周期性地观测恒星样本,对指向误差模型行进修正。基于此,本文根据国内部分激光测距站的恒星观测数据,研究其分布特性,提出用遗传算法将观测样本数据分组后利用转台模型建模。

研究表明,遗传算法可以提高模型的精度。

2 指向误差分布特性

为了研究人卫激光测距望远镜的指向误差分布情况,统计了长春 SLR 站和中国地震局地震研究所流动卫星激光测距站的恒星观测数据,其中两站的观测样本数据量都为 3 组^[1]。指向误差随方位角和高度角变化的趋势如图 1、2 所示,其中每一观测站选用一组数据绘制分布图。

* 收稿日期:2013-04-14

基金项目:中国地震局地震研究所所长基金(15201156086)

作者简介:朱程广,男,1986 年生,硕士,主要从事观测技术研究. E-mail: qhzcgc@163.com

从图 1、2 可以看出,方位误差和高度误差的分布呈现一定的规律性。对于长春 SLR 站和武汉流动 SLR 站,方位误差随高度角增加而增加,呈“坡型”分布;而高度误差随方位角变化呈“脊型”或者“S”型分布,并存在峰值点,即在某一方位角处,高度误差达到最大。

3 误差建模及输出残差的正态性检验

针对指向误差建模问题,往往关注的是如何建模以提高指向精度。为了建立稳定的模型,本文基于恒星观测样本研究模型输出的方位误差和高度误差与理论期望值的残差分布情况。常用的指向误差建模方法包括球谐函数模型、基本参数模型和转台模型。基本参数模型的各个参数物理意义明确,参数之间相关性小,模型比较稳定;球谐函数模型的各参数没有物理意义,模型不稳定,但适用于任何机架形式的望远镜;转台模型系数具有明确的物理意义,它是对基本参数模型的拓展,精度更高,逼近能力强于基本参数模型,但没有基本参数模型稳定^[2]。综合考虑,本文选用转台模型建立流动卫星激光测距望远镜的指向误差模型。

3.1 遗传算法分组

利用观测样本数据建模型时,先将样本分为检验集和训练集。常用的方法有两种:1)将样本按观测顺序存储,奇数(偶数)样本作为训练集,偶数(奇数)样本作为检验集;2)随机将样本分为检验集和训练集。遗传算法是代表问题可能潜在的解集的一个种群开始的,而一个种群则由经过基因编码的一定数目的个体组成。遗传算法是借鉴“适者生存,优胜劣汰”的遗传机制演化而来的随机化搜索方法,采用概率化的寻优方法自动获取和指导优化的搜索空间,广泛应用在组合优化、机器学习自适应控制等领域。在此,提出基于遗传算法分组选取训练集,然后利用检验集分析模型的性能。图 3 为目标函数随种群迭代次数变化的趋势。

3.2 正态性检验

为研究指向误差的残差的统计特性,对转台模型输出误差的残差序列进行有方向的正态性检验:偏度检验和峰度检验,以及无向的 W 检验。偏度检验的统计量 $B = \mu_3/\mu_2^{3/2}$,峰度检验的统计量: $F = \mu_4/\mu_2^2$,显著性水平 $\alpha = 0.05$, $\mu_i (i > 1)$ 为残差序列的 i 阶中心矩, W 检验的统计量为:

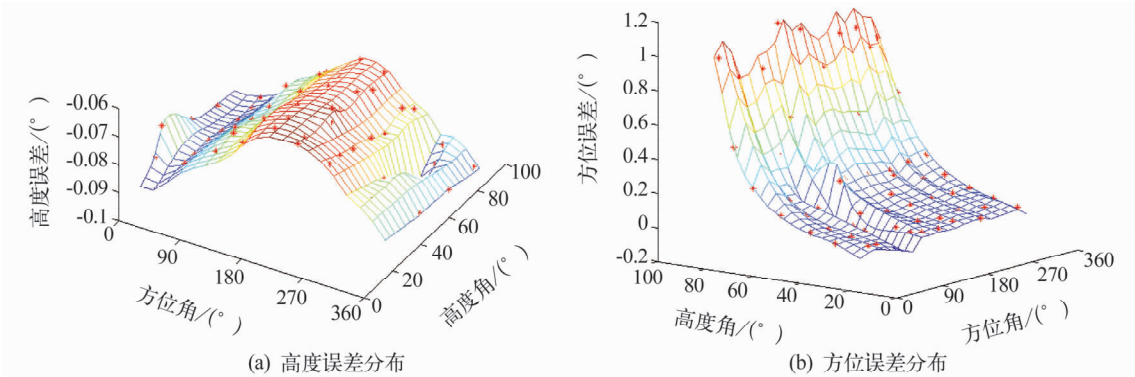


图 1 武汉流动 SLR 站观测数据
Fig. 1 Observation data of Wuhan mobile SLR station

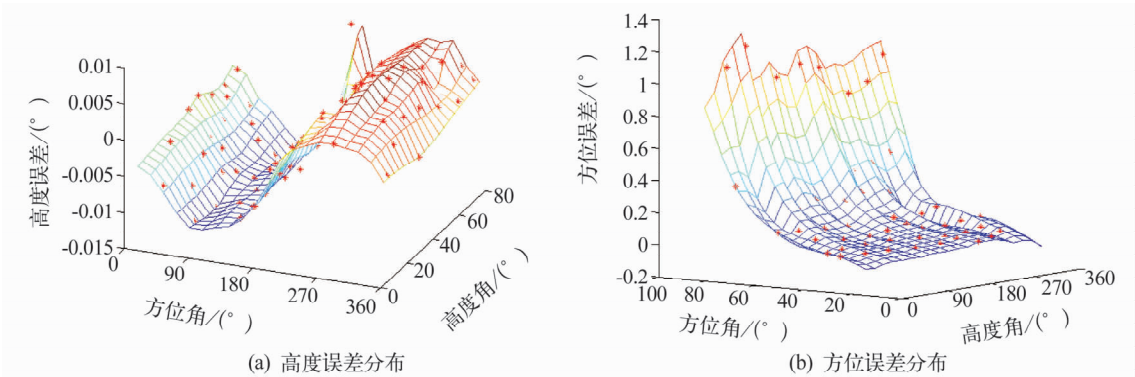


图 2 长春 SLR 站观测数据
Fig. 2 Observation data of Changchun SLR station

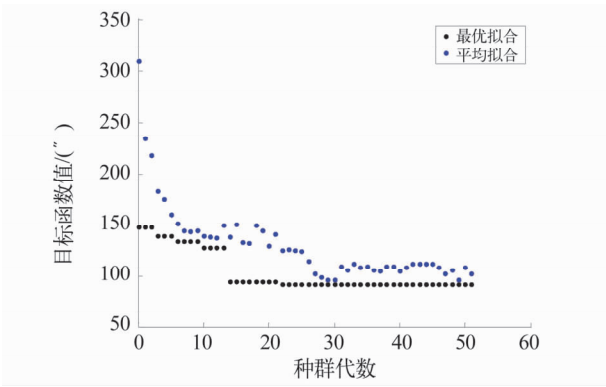


图3 遗传算法的迭代过程

Fig.3 Iterative process of genetic algorithm

$$W = \frac{\left[\sum_{l=1}^{\left[\frac{n}{2}\right]} a_l (y_{n+1-l} - y_l) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \quad 3 \leq n \leq 50$$

式中,序列 y_i 是残差序列按非降序列排列成的^[3,4]。

表 1、2 是利用峰度检验法和偏度检验法对残差的分布进行正态性检验,表 3 为通过 W 检验对残差的分布特性进行检验,表 4 是采用奇偶分组和遗传算法分组,利用转台模型建模后,望远镜指向精度的对比结果。综合有向和无向两种正态性检验方法可知,采用转台模型建立模型,检验集的高度误差和方位误差的残差不一定符合正态分布,且利用遗传算法可智能划分检验集和训练集,优化模型性能。

表 1 偏度检验结果

Tab.1 Skewness test results

组名		偏度检验				
		B_{α}	$B_{1-\alpha}$	计算结果	检验结果	
武汉 流动 站	I	方位	-0.81	0.81	-0.709 3	不接受假设
		高度	-0.81	0.81	-1.003 2	接受假设
	II	方位	-0.77	0.77	-0.078 8	不接受假设
		高度	-0.77	0.77	-0.020 7	不接受假设
	III	方位	-0.62	0.62	-2.601 9	接受假设
		高度	-0.62	0.62	-0.897 7	接受假设

表 2 峰度检验结果

Tab.2 Kurtosis test results

组名			峰度检验			
			F_{α}	$F_{1-\alpha}$	计算结果	检验结果
武汉流动站	I	方位	1.77	4.15	2.872 8	不接受假设
		高度	1.77	4.15	3.525 6	不接受假设
	II	方位	1.82	4.17	2.327 3	不接受假设
		高度	1.82	4.17	1.904 0	不接受假设
	III	方位	2.03	4.08	12.561 9	接受假设
		高度	2.03	4.08	3.129 0	不接受假设

表 3 W 检验结果

Tab.3 W test results

组名		W 检验			
		W_{α}	计算结果	检验结果	
武汉 流动 站	I	方位	0.892	0.929 3	接受假设
		高度	0.892	0.897 2	接受假设
	II	方位	0.908	0.985 0	接受假设
		高度	0.908	0.957 9	接受假设
	III	方位	0.934	0.776 7	不接受假设
		高度	0.934	0.916 5	不接受假设

表 4 不同分组方法建模后指向误差精度对比

Tab.4 Comparison of pointing error accuracy of different grouping method after modeling

组名		奇偶分组		遗传算法分组		
		精度 (")	检验 集个数	精度 (")	检验 集个数	
武汉 流动 站	I	方位	261.95	23	148.17	17
		高度	21.38	23	14.78	17
	II	方位	180.40	26	61.78	21
		高度	62.13	26	32.86	21
	III	方位	24.00	36	19.05	35
		高度	40.34	36	23.86	35

4 结论

通过对武汉流动 SLR 站和长春 SLR 站的的恒星观测数据进行分析,得出:

- 1)指向误差的分布具有一定的规律性:方位误差随着高度角增大而增大,呈“坡型”分布;高度误差随着方位角变化,呈“脊型”或“S 型”分布;
- 2)通过转台模型建模,模型输出的高度误差和方位误差的残差不一定符合正态分布;
- 3)利用遗传算法将观测样本分为训练集和检验集可以优化模型,提高模型的精度。

参 考 文 献

1 赵洁. 长春人卫站提高卫星激光测距望远镜指向精度的研究[D]. 长春理工大学,2005.

2 朱庆生,陈伟民,吴金虎. 卫星激光测距望远镜的指向修正[J]. 天文研究与技术,2011,1(3):268-271.

3 贾沛璋. 误差分析与数据处理[M]. 长沙:国防工业出版社,1992.

4 张晓祥,吴连大. 望远镜静态指向模型的基本参数[J]. 天文学报,2001,42(2):198-205.