

LiDAR 室内检校模型粗差探测可靠性研究

张 亮, 沈泉飞

(江苏省基础地理信息中心, 江苏 南京 210000)

摘 要 基于机载 LiDAR 技术的测绘系统必需对其进行标定和校正, 优化导航定位、定姿系统的测绘精度。冗余的观测数据不仅可以评估系统监测粗差的能力, 还可以分析未检测粗差对导航结果的影响, 评价结果的可靠程度。本文基于内、外可靠度理论, 进行抗差检校模型的质量控制, 实例分析表明该理论能有效衡量抗差模型对粗差的识别效果。

关键词 粗差探测 可靠性 室内检校 LiDAR

中图分类号: P236

文献标识码: A

文章编号: 1672- 4097(2011)04- 0015- 03

1 前 言

基于机载 LIDAR 技术的测绘系统中, 数字导航、成像和测高传感器获取的地球局部区域数据集是非常关键的数据, 它用于获取图像、高程的传感器系统自身误差和其安装误差对测绘精度有很大的影响。因此, 必需对其进行标定和校正, 优化基于导航定位、定姿系统的测绘精度。室内检校场和地面成像/测量检校场是对成像/测量传感器的自身误差实施标定, 而空中成像/测量检校场则可同时对传感器的安装误差和定位误差进行校准^[1-4]。在室内检校过程中, 需要精确测量检校场点位坐标和像点坐标, 需要分析粗差探测与排除的可靠性程度, 本文中通过内外可靠性对粗差探测与排除的可靠程度进行研究。

2 可靠性度量理论

2.1 内部可靠性

内部可靠性是指统计检验中以一定的检验功效所能发现的观测值粗差的大小, 具体通过可发现粗差的下界值(MDB, Minimal Detectable Bias)度量。根据导航卫星分布的几何结构, 由误差方程系数矩阵, 及观测值的权矩阵 P , 利用式 $Q_v = A(A^T P A)^{-1}(A^T P) - I$ 求出改正数的协因数阵(残差敏感矩阵) Q_v 。对于给定的置信水平及相关观测值, 可发现粗差的下界值表示为:

$$\nabla_{0.5i} = \frac{\delta_0}{\sqrt{e_i^T P Q_v P e_i}} \quad (1)$$

其中 e_i 是单元向量, 如果第 i 个元素为 1, 则表明对第 i 个观测值进行检验。 δ_0 是采用 ω 检验进行粗差检验的非中心化参数, 由下式给出:

$$\delta_0 = N_{1-\alpha/2}(0, 1) + N_{1-\beta}(0, 1) \quad (2)$$

其中, α_0 显著性水平, β_0 为检验功效。本文取

$\alpha_0 = 0.01, \beta_0 = 0.2$ 。

2.2 外部可靠性

导航定位的外部可靠性是指不可发现的模型误差对平差结果的影响, 通过研究 MDB 对参数估计的影响进行评价。即某观测值的下界值粗差对参数评估带来的偏差。可由下式给出:

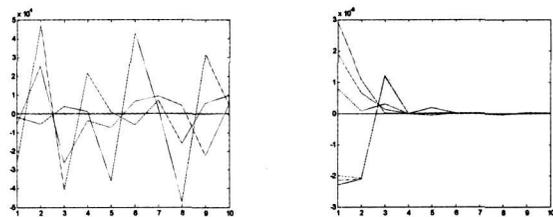
$$\nabla_0 \hat{x} = Q_x A^T P e_i \nabla_{0.5i} \quad (3)$$

其中 Q_x , 未知参数的验后协方差, 其余变量意义同上式。

3 实例数据分析

3.1 定性分析

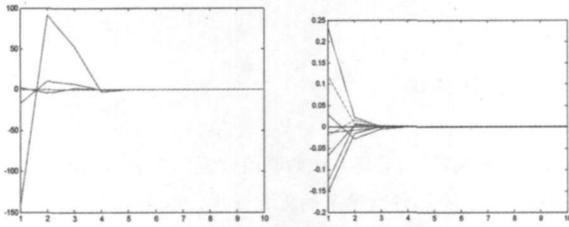
根据方程可知, 总共有 12 个参数: 以像主点为原点的像点坐标 x, y , 相应地面点坐标 X, Y, Z , 像片主距 f 及外方位元素 $X_s, Y_s, Z_s, \varphi, \omega, \kappa$ 。像点坐标、相应的地面点坐标和像片主距已知, 待求的是 6 个外方位元素。每组像点坐标和相应的地面点坐标可以列 2 个方程组, 故原则上只需 3 组数据利用最小二乘即可解求外方位元素, 但缺少约束条件, 得到的解具有不稳定性, 是不可靠的(如图 1 所示)。从图 1 中可以看出, 虽然残差在迭代 6 次后逐渐趋于稳定, 但对于待求参数的解来看, 即使迭代 10 次得到的解也不稳定, 不能作为最终结果。



(a) 三组已知数据求解未知数 (b) 三组已知数据求解未知数残差值

图 1 三组已知数据求解未知数

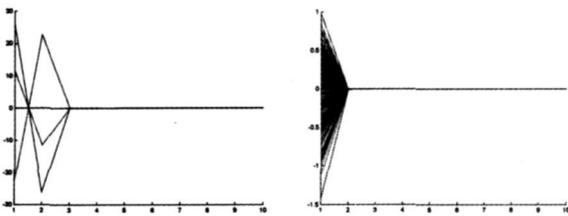
三组数据并不能得到稳定的解, 通常需要四组数据才能得到稳定的解(如图 2 所示), 在迭代四次以后得到稳定的未知数值。



(a) 已知数据求解未知数 (b) 已知数据求解未知数残差值

图 2 四组已知数据求解未知数

实验中随机抽取 144 组数据, 对未知数解情况进行研究, 结果如图 3 所示, 3 次迭代待定未知数的解达到稳定, 残差也趋于稳定。



(a) 已知数据求解未知数 (b) 已知数据求解未知数残差值

图 3 144 组已知数据求解未知数

通过对上述不同数据量得到的待定未知数来看, 虽然三组数据可以求解未知数值, 但是缺少约束条件, 使得到的解不稳定, 因此要想获得稳定可靠的解, 至少需要四组数据。

表 2 迭代次数结果对照表

	1	2	3	4	5	6	7
1	9.75E-01	1.84E-01	7.34E-01	3.97E-01	5.58E-01	1.63E-01	5.83E-02
2	-5.16E-03	1.99E-03	-3.07E-03	5.03E-05	-3.69E-03	-3.47E-03	-1.41E-04
3	2.97E-07	2.21E-07	3.61E-07	-2.40E-07	1.56E-07	-7.35E-08	2.62E-07
4	2.79E-07	1.79E-07	3.45E-07	-2.80E-07	1.42E-07	-1.09E-07	2.62E-07
5	2.79E-07	1.79E-07	3.45E-07	-2.80E-07	1.42E-07	-1.09E-07	2.62E-07
6	2.79E-07	1.79E-07	3.45E-07	-2.80E-07	1.42E-07	-1.09E-07	2.62E-07
7	2.79E-07	1.79E-07	3.45E-07	-2.80E-07	1.42E-07	-1.09E-07	2.62E-07
8	2.79E-07	1.79E-07	3.45E-07	-2.80E-07	1.42E-07	-1.09E-07	2.62E-07
9	2.79E-07	1.79E-07	3.45E-07	-2.80E-07	1.42E-07	-1.09E-07	2.62E-07
10	2.79E-07	1.79E-07	3.45E-07	-2.80E-07	1.42E-07	-1.09E-07	2.62E-07

3.4 可靠性实例分析

数据处理特别是粗差探测与排除需要对可靠性进行研究, 评价解算和排除粗差的可靠程度。文

3.2 定量分析

定性分析中, 确定虽然三组数据能够求解未知数, 但是不稳定、不可靠, 这是从视觉方面进行的研究。要确定上述结论的可靠性, 还要对各种情况进行定量分析。从表 1 可以看出, 3 组数据求解的结果相对于 4 组数据和 144 组数据具有很大的误差, 其可靠性较低。4 组数据相对于 3 组数据解算的未知数值精度提高了几个数量级, 而对 144 组数据得到结果几乎无差别。

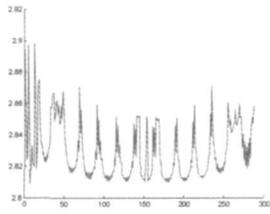
表 1 不同已知数据量求得未知数据对比

	3 组数据	4 组数据	144 组数据
X_s	-103404.64912	-100223.00000	-100223.00000
Y_s	106039.94345	101886.99980	101886.99999
Z_s	-111760.85601	-98178.00003	-98178.00000
φ	37.02572	-0.02910	-0.02910
ω	-9.23138	-0.06823	-0.06823
κ	-19.09500	0.06269	0.06269

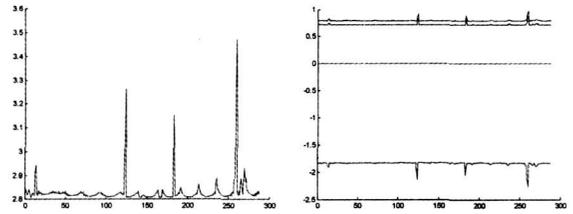
3.3 迭代次数优选

上面结果是通过 10 次迭代获得, 但从 4 组数据和 144 组数据的迭代结果图可以看出, 除了 3 组数据因缺少约束条件而没有收敛外, 其他两组数据在迭代 3 次后基本达到稳定。因此为了节省计算机内存和提高计算速度, 确定迭代 5 次为最终实验迭代次数。表 2 为 144 组数据迭代 10 次残差结果表, 从中可以看出, 3 次迭代基本能够满足精度要求。

中通过内外可靠性对粗差探测与排除的可靠程度进行研究, 比较分析加入粗差前后的可靠性程度, 如图 4 和图 5 所示。



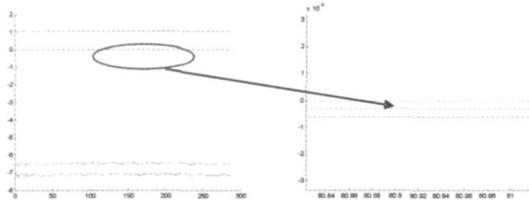
(a) 无粗差的内部可靠性



(c) 多粗差探测与排除的内部可靠性

(d) 多粗差探测与排除的外部可靠性

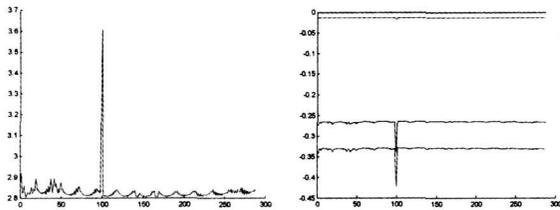
图5 粗差探测与排除的内外部可靠性



(b) 无粗差的外部可靠性

图4 无粗差的内外部可靠性

图4和图5可以看出,无粗差的内部可靠性类似随机误差的影响,出现一定的随机性,但也存在一定的规律,即围绕在一定值上下波动。外部可靠性的、和 Z_s 方向的外部可靠性近似一条直线,即为一常值。 X_s 和 Y_s 有微小的波动。内部可靠性的下界值越小越好,而存在粗差的情况下,粗差点处内部可靠性明显要大于无粗差的内部可靠性。



(a) 单粗差探测与排除的内部可靠性

(b) 单粗差探测与排除的外部可靠性

4 结论

机载 LiDAR 技术的测绘系统室内检校过程中,需要精确测量检校场点位坐标和像点坐标,需要分析粗差探测与排除的可靠性程度。本文基于内、外可靠度理论,提出抗差检校模型的质量控制理论,实例分析表明该理论能有效衡量抗差模型对粗差的识别效果。

参考文献

- 1 刘经南,张小红.激光扫描测高技术的发展与现状[J].武汉大学学报(信息科学版),2003,28(2):132-137.
- 2 刘志铭,方勇,张建慧等.非量测数码相机在砼管片变形检测中的应用[J].测绘通报.2001,(6):40-41.
- 3 于连庆,王秀春,李铁军.近景摄影测量在天线结构测量中的应用[C].海南:机械电子学学术会议论文集,2005.
- 4 李德仁,袁修孝.误差处理与可靠性理论[M].武汉:武汉大学出版社,2002.
- 5 周江文,黄幼才,杨元喜.抗差最小二乘法[M].武汉:华中理工大学出版社,1997.

Gross Error Detection Reliability Research of LiDAR Indoor Calibration Model

ZHANG Liang, SHEN Quan fei

(Foundational Geography Information Center of Jiangsu Province,
Nanjing Jiangsu 210013, China)

Abstract Airborne LiDAR technology-based mapping system must be calibrated and corrected to optimize the mapping accuracy of position and attitude determination system. Redundant observation datas can not only evaluate the capacity of detecting gross error, but can also analysis impact on the results of navigation without detecting gross errors and evaluate the reliability of results. In this paper, quality control of robust calibration models is researched based on internal and external reliability theory. The case analysis shows that the theory can effectively assess the recognition of gross errors by using robust model.

Key words gross error detection; reliability; indoor calibration; LiDAR