文章编号:1001-5078(2011)11-1205-06　　·光电技术与系统·

车载移动立体测量系统检校及精度分析

郭　波[1],屈孝志[1],黄先锋[1],张　帆[1],李　琴[2]
(1. 武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室,湖北 武汉 430079;2. 武汉滨湖电子有限公司,湖北 武汉 430079)

摘　要:车载移动立体测量系统可以用于快速、准确的高精度数据采集和三维建模。针对车载移动立体测量检校问题,设计了一套高精度的车载移动立体测量系统检校方法,建立了检校的数学模型,并进行了试验,分析了检校前后车载移动立体测量系统的测量精度差异。实验证明,本文研究的车载移动立体测量系统检校方法能有效地提高系统测量精度。

关键词:车载移动测量系统;立体测量;检校;精度分析
中图分类号:TH74　　**文献标识码:**A　　**DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2011.11.007

Calibration and accuracy analysis of vehicle-borne mobile 3D measurement system

GUO Bo[1], QU Xiao-zhi[1], HUANG Xian-feng[1], ZHANG Fan[1], LI Qin[2]
(1. State Key Laboratory for Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing, Wuhan 430079, China;
2. Wuhan Binhu Electronics(civil) Co., Ltd, Wuhan 430079, China)

Abstract: Vehicle-borne mobile 3D measurement system can be used for rapid and accurate data acquisition and three-dimensional modeling. In order to solve the calibration problem of vehicle-borne mobile 3D measurement, a high-precision vehicle-borne mobile 3D measurement system calibration method is designed and a mathematical model of overall calibration is built. Then, experiments are carried out and analysis of the measurement accuracy of the 3D measurement system before and after calibration is made. Test proves that the calibration method of vehicle-borne mobile 3D measurement system proposed in this paper can effectively improve the precision of the system.

Key words: vehicle-borne mobile measurement system; 3D measurement; calibration; accuracy analysis

1　引　言

车载移动立体测量系统是一种集成多传感器用于公路测量、城市建模等应用的新型快速测量设备,近年来得到快速发展,其主要组成有:POS 系统、控制计算机、距离测量仪(DMI)、测量传感器(激光扫描仪、数字相机)等。图 1 为系统整体结构及组成部分坐标系统关系图。POS 系统实时对载体定位定姿;基于传感器在载体系统中的已知位置及姿态,系统实时获取传感器在地心地固坐标系或切平面坐标系中的位置及姿态;此时就可以用传感器对目标进行测量[1]。

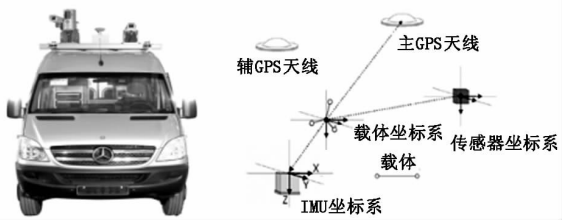

图 1　车载移动立体测量系统示意图及坐标系统
Fig. 1　the chart and coordinate system of vehicle-borne mobile 3D measurement system

基金项目:国家"973"项目(No. 2011CB707001);国家自然科学基金项目(No. 41001308;No. 41071291)资助。
作者简介:郭　波(1984 -),男,在读博士生,研究方向为摄影测量与遥感。E-mail:guobo.lidar@gmail.com
收稿日期:2011-04-11;**修订日期:**2011-05-11

车载移动立体测量系统是一套高度集成的系统,各测量器件相对位置及姿态需要精确确定。由于为了满足某些测量目的,车载系统中的传感器姿态及位置需要适时调整,传感器参数的偏差会严重影响系统测量精度。本文在分析车载移动立体测量系统整体原理的基础上,建立了整体检校的数学模型,提出了一套高精度的车载移动立体测量系统相机参数、相机在载体坐标系中的位置及姿态的检校方法,其他种类的传感器的参数检校与此类似;进行了现场实验,并统计分析了检校前后车载系统测量精度差异。试验证明,本论文提出的车载移动立体测量系统检校方法能有效提高系统的实时测量精度。

2 车载移动测量系统几何关系

在车载移动测量系统中,GPS/IMU 实时获取载体在 WGS-84 坐标系中的位置,同时获取 IMU 本体坐标系相对于导航坐标系的角度,即姿态角。使用传感器对目标进行实时测量时采用的坐标系是切平面直角坐标系,必须将外方位线、角元素转换至 WGS-84 坐标系中。

车载移动测量系统所涉及的坐标系有:地心地固坐标系、切平面坐标系、导航坐标系、载体坐标系、传感器坐标系、像空间坐标系。IMU 与载体之间一般采用刚性连接,具有固定的相对关系。载体坐标系定义为:坐标原点位于参考点,通常选为 IMU 质心,x 轴指向前进方向,y 轴垂直于 x 轴指向前进方向右侧,z轴垂直于x,y轴,指向车子下方。传感器坐标系定义为:坐标原点位于传感器中心,z 轴指向前进方向,y 轴指向传感器右侧,x 轴指向传感器上方[2]。

2.1 像片外方位角元素解求[2]

POS 系统直接获取的姿态角为 IMU 本体坐标系在导航坐标系中的侧滚、俯仰和偏航角;由于载体坐标系和 IMU 刚性相连,可以获取载体在导航坐标系中的航偏、俯仰、侧滚角(H_{veh},R_{veh},P_{veh})。计算像空间坐标系到切平面直角坐标系的旋转角(φ,ω,κ),需要通过一系列坐标旋转实现。具体旋转过程为:切平面直角坐标系→地心直角坐标系→导航坐标系→载体坐标系→传感器坐标系→像空间坐标系。此转换过程中,所有坐标系均为严格的笛卡尔直角坐标系,坐标系之间的关系均可以利用旋转矩阵严格表示。

切平面直角坐标系到地心直角坐标系的旋转矩阵为 R_e^m,地心直角坐标系到导航坐标系旋转矩阵为 R_n^e,导航坐标系到载体坐标系的旋转矩阵 R_b^n,载体坐标系到传感器坐标系的旋转矩阵为 R_c^b,传感器坐标系到像空间坐标系的旋转矩阵 R_i^c,则切平面坐标系与像空间坐标系之间的旋转矩阵为:

$$R_i^m = R_e^m \cdot R_n^e \cdot R_b^n \cdot R_i^c \tag{1}$$

载体坐标系到传感器坐标系的旋转矩阵 R_c^b 由载体坐标系到传感器坐标系的旋转角(H_s,R_s,P_s)构成:

$$R_c^b = \begin{pmatrix} \cos P_s \cos H_s & \sin R_s \sin P_s \cos H_s - \cos R_s \sin H_s & \cos R_s \sin P_s \cos H_s + \sin R_s \sin H_s \\ \cos P_s \sin H_s & \sin R_s \sin P_s \sin H_s + \cos R_s \cos H_s & \cos R_s \sin P_s \sin H_s - \sin R_s \cos H_s \\ -\sin P_s & \sin R_s \cos P_s & \cos R_s \cos P_s \end{pmatrix} \tag{2}$$

其他旋转矩阵的具体形式参见相关文献[2]。利用切平面坐标系与像空间坐标系之间的旋转矩阵,可以分离出像片在切平面坐标系中的外方位角元素[3]。

设 $R_i^m = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix}$,得出:$\begin{cases} \varphi = -\arctan(a_3/c_3) \\ \omega = -\mathrm{acrsin} b_3 \\ \kappa = \arctan(b_1/b_2) \end{cases}$

2.2 像片外方位线元素解求

POS 系统中直接测出的位置元素是参考点(载体坐标系的原点)在地心直角坐标系中的坐标,需要经过坐标变换计算像片在切平面直角坐标系中的外方位线元素。

设相机中心在载体坐标系中位置为(x_s,y_s,z_s),参考点的地心直角坐标为$(X_0,Y_0,Z_0)_e$,则相机中心在地心直角坐标系中的坐标为[2]:

$$\begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix}_e = R_n^e \cdot R_b^n \cdot \begin{pmatrix} x_s \\ y_s \\ z_s \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{pmatrix}_e \tag{3}$$

把地心直角坐标系转换到切平面坐标系,可以获得像片在切平面直角坐标系中的外方位线元素:

$$\begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix}_m = R_e^m \cdot \left[\begin{pmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{pmatrix}_e - \begin{pmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{pmatrix}_e \right] \tag{4}$$

式中,$(X_p,Y_p,Z_p)_e$ 为切平面直角坐标系原点在地心直角坐标系中的坐标[4]。

3 车载系统传感器参数检校

立体相机是车载系统中常用的测量传感器,引起车载移动立体测量系统测量误差的因素有相机在

载体坐标系中的位置和姿态误差,同时还有像片内方位元素不准确,相机镜头畸变等。为了提高测量精度,需要对像片的内外方位元素、镜头畸变参数进行检校;并且用检校成果对相机在载体坐标系中的位置、姿态进行校正。激光扫描仪等其他传感器在载体坐标系中的位置及姿态参数检校方法可以参照立体相机在载体坐标系中的位置及姿态参数检校方法。

3.1　相机内外方位元素、镜头畸变参数检校

在近景大旋角摄影测量中,使用基于四元数附加参数条件的光束法平差对相机进行检校,可以取得比较稳定的计算结果。具体来说,就是利用单位四元数(q_1,q_2,q_3,q_4)代替欧拉角列出误差方程,具体的共线方程形式与传统方式并无大差异,共线方程线性化后的误差方程形式是[5-6]:

$$\nu_x=(x)-x+\frac{\partial x}{\partial X_s}\mathrm{d}X_s+\frac{\partial x}{\partial Y_s}\mathrm{d}Y_s+\frac{\partial x}{\partial Z_s}\mathrm{d}Z_s+\frac{\partial x}{\partial q_1}\mathrm{d}q_1+\frac{\partial x}{\partial q_2}\mathrm{d}q_2+\frac{\partial x}{\partial q_3}\mathrm{d}q_3+\frac{\partial x}{\partial q_4}\mathrm{d}q_4+$$
$$\frac{\partial x}{\partial f_s}\mathrm{d}f_s+\frac{\partial x}{\partial f_y}\mathrm{d}f_y+\frac{\partial x}{\partial x_0}\mathrm{d}x_0+\frac{\partial x}{\partial y_0}\mathrm{d}y_0+\frac{\partial x}{\partial K_1}\mathrm{d}K_1+\frac{\partial x}{\partial K_2}\mathrm{d}K_2+\frac{\partial x}{\partial P_1}\mathrm{d}P_1+\frac{\partial x}{\partial P_2}\mathrm{d}P_2$$
$$\nu_y=(y)-y+\frac{\partial y}{\partial X_s}\mathrm{d}X_s+\frac{\partial y}{\partial Y_s}\mathrm{d}Y_s+\frac{\partial y}{\partial Z_s}\mathrm{d}Z_s+\frac{\partial y}{\partial q_1}\mathrm{d}q_1+\frac{\partial y}{\partial q_2}\mathrm{d}q_2+\frac{\partial y}{\partial q_3}\mathrm{d}q_3+\frac{\partial y}{\partial q_4}\mathrm{d}q_4+$$
$$\frac{\partial y}{\partial f_s}\mathrm{d}f_s+\frac{\partial y}{\partial f_y}\mathrm{d}f_y+\frac{\partial y}{\partial x_0}\mathrm{d}x_0+\frac{\partial y}{\partial y_0}\mathrm{d}y_0+\frac{\partial y}{\partial K_1}\mathrm{d}K_1+\frac{\partial y}{\partial K_2}\mathrm{d}K_2+\frac{\partial y}{\partial P_1}\mathrm{d}P_1+\frac{\partial y}{\partial P_2}\mathrm{d}P_2$$

式中,x,y 是观测值;$(x),(y)$是近似值。其中 x_0,y_0,f_x,f_y 为内方位元素;k_1,k_2,p_1,p_2 是镜头畸变参数;X_s,Y_s,Z_s 是外方位线元素。通过迭代平差计算,可以精确解求相机的内、外方位元素,镜头畸变参数。

3.2　相机在载体坐标系中位置、姿态校正

用精确的已知点通过第 3.1 节中原理解求得到的像片的外方位元素可以达到很高的精度,以此为基准数据对相机在载体坐标系中的位置、姿态进行校正。检校流程如图 2 所示。

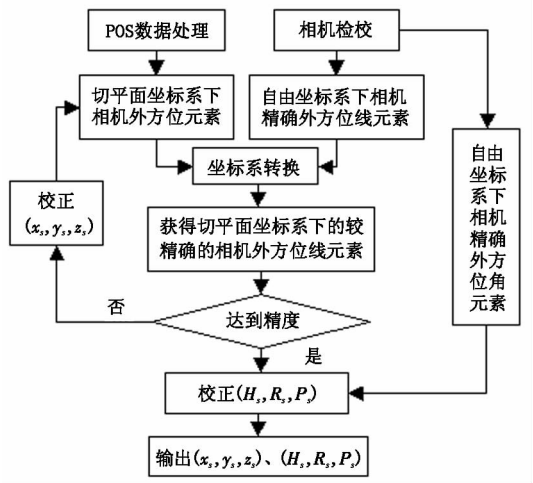

图 2　检校流程图

Fig. 2　calibration flow diagram

图中(x_s,y_s,z_s)为相机中心在载体坐标系中位置,(P_s,R_s,H_s)为相机在载体坐标系中的姿态,具体计算步骤见第 3.2.1 节及第 3.2.2 节。

3.2.1　相机在载体坐标系中的位置校正

(1)两坐标系的转换关系确定

用 POS 数据计算得到的像片外方位线元素在切平面坐标系下;用相机检校方式获得的像片外方位线元素在自由坐标系下;两坐标系的转换关系为:

$$\begin{pmatrix}X_s\\Y_s\\Z_s\end{pmatrix}_m=\lambda R_f^m\begin{pmatrix}X_F\\Y_F\\Z_F\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}X_0\\Y_0\\Z_0\end{pmatrix}\tag{5}$$

式中,$(X_s,Y_s,Z_s)_m$ 为像片在切平面坐标系下的外方位线元素;(X_F,Y_F,Z_F)为像片在自由坐标系下的外方位线元素;(X_0,Y_0,Z_0)为自由坐标系的原点在切平面坐标系下的坐标。当有冗余观测时,可以列多个方程,利用平差方法解求两坐标系的转换关系,提高精度。

(2)相机中心在载体坐标系中位置的确定

当已知$(X_s,Y_s,Z_s)_m$,可以根据公式(3)和公式(4)推导出相机中心在载体坐标系中的位置:

$$\begin{pmatrix}x_s\\y_s\\z_s\end{pmatrix}=(R_b^n)^{\mathrm{T}}\cdot(R_n^e)^{\mathrm{T}}\cdot$$
$$\left[(R_e^m)^{\mathrm{T}}\cdot\begin{pmatrix}X_s\\Y_s\\Z_s\end{pmatrix}_m-\begin{pmatrix}X_0\\Y_0\\Z_0\end{pmatrix}_e+\begin{pmatrix}X_p\\Y_p\\Z_p\end{pmatrix}_e\right]\tag{6}$$

由于相机中心在在载体坐标系中的位置(x_s,y_s,z_s)值有误差,用公式计算得到的像片在切平面坐标系下的外方位线元素初始值$(Y_s^0,Y_s^0,Z_s^0)_m$ 也存在误差。首先,用平差解求得到$(Y_s^0,Y_s^0,Z_s^0)_m$ 与$(X_F$,$Y_F,Z_F)$的转换关系:λ',$(R_F^{\mathrm{T}})'$,(X'_0,Y'_0,Z'_0)。接下来用精确的(X_F,Y_F,Z_F)和上面求的转换关系求得转换后的切平面坐标系下外方位元素$(X'_s,Y'_s$,$Z'_s)_m$:

$$\begin{pmatrix}X'_s\\Y'_s\\Z'_s\end{pmatrix}_m=\lambda'(R_F^{\mathrm{T}})'\begin{pmatrix}X_F\\Y_F\\Z_F\end{pmatrix}+\begin{pmatrix}X'_0\\Y'_0\\Z'_0\end{pmatrix}$$

此值同$(X_s^0, Y_s^0, Z_s^0)_m$相比为较精确值。然后，用公式(6)可以获得较精确的(x'_s, y'_s, z'_s)，当有多张像片时，取其平均值。再次用公式(4)计算得到像片在切平面坐标系下的外方位元素$(X''_s, Y''_s, Z''_s)_m$；获得较精确的值后再进行坐标转换、求得更精确的值(x''_s, y''_s, z''_s)。如此迭代求解，直到获得像片在切平面坐标系下精确的外方位线元素。迭代停止的条件为前后两次求得的(x_s^n, y_s^n, z_s^n)与$(x_s^{n+1}, y_s^{n+1}, z_s^{n+1})$差值在阈值范围内。

3.2.2 相机在载体坐标系中姿态校正

正确校正相机在载体坐标系中的位置后，就可以精确确定切平面坐标系与自由坐标系的转换关系。设某一时刻拍摄的影像的用相机检校方法获得的在自由坐标系下的外方位角元素为$\varphi_F, \omega_F, \kappa_F$，由此可以确定旋转矩阵$R_F$：

$$R_F = \begin{pmatrix} \cos\varphi_F\cos\kappa_F - \sin\varphi_F\sin\omega_F\sin\kappa_F & -\cos\varphi_F\sin\kappa_F - \sin\varphi_F\sin\omega_F\cos\kappa_F & -\sin\varphi_F\cos\omega_F \\ \cos\omega_F\sin\kappa_F & \cos\omega_F\cos\kappa_F & -\sin\omega_F \\ \sin\varphi_F\cos\kappa_F + \cos\varphi_F\sin\omega_F\sin\kappa_F & -\sin\varphi_F\sin\kappa_F + \cos\varphi_F\sin\omega_F\cos\kappa_F & \cos\varphi_F\cos\omega_F \end{pmatrix} \tag{7}$$

把此旋转矩阵转换到切平面坐标系下：

$$R_T = R_T^F R_F \tag{8}$$

得到像片在切平面坐标系下精确的旋转矩阵R_T后，现在要对传感器坐标系在载体坐标系中的旋转角度进行修正。

公式(1)中R_i^m为用POS数据计算得到的像片在切平面坐标系下的外方位角元素构成的旋转矩阵；用公式(8)计算得到的R_T取代R_i^m，可以推导出：

$$R_c^b = (R_b^n)^{\mathrm{T}} \cdot (R_n^e)^{\mathrm{T}} \cdot (R_e^m)^{\mathrm{T}} \cdot R_T \cdot (R_i^c)^{\mathrm{T}} \tag{9}$$

由R_c^b的定义式(2)，设$R_c^b = \begin{pmatrix} a_1 & a_2 & a_3 \\ b_1 & b_2 & b_3 \\ c_1 & c_2 & c_3 \end{pmatrix}$，得：

$$\begin{cases} P_s = -\arcsin c_1 \\ R_s = \mathrm{acrsin}(c_2/\cos P_s) \\ H_s = \arccos(a_1/\cos P_s) \end{cases}$$

4 实验与分析

4.1 实验环境

本文用布设试验场的方式对车载移动立体测量系统进行检定。试验场布设在一片开阔的的道路上，其中共布设了95个靶标点，靶标的坐标数据用高精度的测量方法精确测定。试验场如图3所示，靶标如图4所示。

图3 试验场图

Fig. 3 the picture of test field

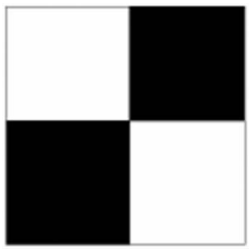

图4 靶标图案

Fig. 4 target pattern

4.2 传感器位置及姿态校正

车载移动立体测量系统POS数据提供了载体原点的坐标和载体的实时姿态。表1中列出了不同时刻的原始POS数据，B-Ori，L-Ori，H-Ori为载体原点在WGS－84坐标系中的坐标，单位为米；H-Veh，R-Veh，P-Veh为载体在导航坐标系中的实时姿态，单位为角度。

表1 POS数据

时刻	B-Ori	L-Ori	H-Ori	H-Veh	R-Veh	P-Veh
1	30.491840	114.436977	38.599000	281.137	1.158	－1.098
2	30.491848	114.436925	38.546000	281.060	1.183	－1.167
3	30.491871	114.436772	38.402000	281.354	0.597	－0.830
4	30.491896	114.436618	38.266000	281.847	1.407	－1.030

用试验场中的靶标数据对相机进行检校，可以获得相机的内方位元素，镜头的畸变参数，还可以获得不同时刻像片的外方位元素。检校成果如表2～表5所示。

表 2　相机内方位元素

	f/像素	x_0/像素	y_0/像素
左相机	1762.638765	822.689234	583.252360
右相机	1750.094555	777.589266	573.861512

表 3　相机镜头畸变参数

	k_1	k_2	p_1	p_2
左相机	4.807487×10^{-8}	-1.124519×10^{-14}	-8.374598×10^{-8}	1.516645×10^{-8}
右相机	4.789489×10^{-8}	-9.478541×10^{-15}	8.650631×10^{-8}	4.258895×10^{-7}

表 4　左相机不同时刻像片外方位元素

时刻	X_s/m	Y_s/m	Z_s/m	φ/(°)	ω/(°)	κ/(°)
1	1241.307347	1002.763688	32.251731	-88.7739	-0.29513	89.36245
2	1236.311048	1002.718597	32.211353	-88.7039	-0.37363	89.34905
3	1221.353774	1002.556938	32.105826	-89.0319	-0.07861	89.9279
4	1206.374029	1002.651402	32.014625	-88.8326	0.41264	89.11465

表 5　右相机不同时刻像片外方位元素

时刻	X_s/m	Y_s/m	Z_s/m	φ/(°)	ω/(°)	κ/(°)
1	1241.360011	1003.896545	32.392617	-88.6110	22.72608	88.93594
2	1236.361543	1003.850301	32.351601	-88.5334	22.65126	88.8995
3	1221.417122	1003.686383	32.254362	-89.1236	22.94696	89.53233
4	1206.455652	1003.778093	32.149079	-88.5616	23.43982	88.63508

(1)传感器在载体坐标系中的位置确定

用上述原始数据根据第 3.2.1 节中原理对相机在载体坐标系中的位置进行校正。表 6 为校正前后左相机在载体坐标系中的坐标值;表中($x_{ls}^0, y_{ls}^0, z_{ls}^0$)为检校前的值、($x_{ls}, y_{ls}, z_{ls}$)为检校后的值。表 7 为检校前后右相机在载体坐标系中的坐标值;表中($x_{rs}^0, y_{rs}^0, z_{rs}^0$)为检校前的值、($x_{rs}, y_{rs}, z_{rs}$)为检校后的值。

表 6　左相机在载体坐标系中的坐标值

(单位:m)

x_{ls}^0	0.09434	y_{ls}^0	-0.44570	z_{ls}^0	-0.20575
x_{ls}	-0.09004	y_{ls}	-0.48061	z_{ls}	-0.35373

表 7　右相机在载体坐标系中的坐标值

(单位:m)

x_{rs}^0	-0.27710	xy_{rs}^0	0.62426	z_{rs}^0	-0.35373
x_{rs}	-0.12955	y_{rs}	0.65366	z_{rs}	-0.35990

分析数据可知,校正前后左右两相机在载体坐标系中的位置 x 方向差值最大,左相机达到了 18.4 cm,右相机达到了 14.8 cm。这对于后续的实时测量精度会造成一定的影响。

(2)传感器在载体坐标系中的姿态确定

用上述原始数据根据第 3.2.2 节中原理对相机在载体坐标系中的姿态进行校正。表 8 为校正前后左相机在载体坐标系中的姿态;表中($H_{ls}^0, R_{ls}^0, P_{ls}^0$)为检校前的值、($H_{ls}, R_{ls}, P_{ls}$)为检校后的值。表 9 为检校前后右相机在载体坐标系中的姿态。表中($H_{rs}^0, R_{rs}^0, P_{rs}^0$)为检校前的值、($H_{rs}, R_{rs}, P_{rs}$)为检校后的值。

表 8　左相机在载体坐标系中的姿态角

(单位:度)

H_{ls}^0	-0.25	R_{ls}^0	0	P_{ls}^0	0.5
H_{ls}	-1.0285	R_{ls}	-0.5296	P_{ls}	-0.3062

表 9　右相机在载体坐标系中的姿态角

(单位:度)

H_{rs}^0	23.89	R_{rs}^0	0	P_{rs}^0	0.8
H_{rs}	21.9935	R_{rs}	-0.1792	P_{rs}	0.0282

分析数据可知,右相机的 Heading 角和初始确定值偏差较大,达到了 1.9°,这会严重影响后续测量精度。

4.3　测量精度分析

系统检校成果的好坏需要通过实际测量值来检查。本文用经过校正的车载相机获取的图像对已知点进行测量,按统计分析[7]获取实际测量的误差大小。经过计算,最大误差:$|\Delta x|_{\max}=15.2$ cm,$|\Delta y|_{\max}=6.3$ cm,$|\Delta z|_{\max}=2.7$ cm;中误差:$\delta_x=10.3$ cm,$\delta_y=2.7$ cm,$\delta_z=2.1$ cm。

为了比较检校前后测量精度是否得到提高,本文用 Applanix 公司 T3D Analyst 软件对相同的已知

点用未经校正的车载相机获取的图像进行测量,最大误差:$|\Delta x|_{max}$ = 35.2 cm, $|\Delta y|_{max}$ = 12.9 cm, $|\Delta z|_{max}$ = 7.6 cm, 中误差:δ_x = 21.4 cm, δ_y = 5.8 cm, δ_z = 4.3 cm。可见车载相机经过校正后,测量精度会得到很大的提高。

5 总结与展望

本文针对车载移动立体测量整体检校问题,设计了一套高精度的车载移动立体测量系统检校方法,建立了整体检校的数学模型;实验证明本文提出的系统检校方法能有效的提高系统测量精度。为了提高检校精度,需要对影响检校精度的因素进行控制。影响检校精度的因素主要有:POS 原始数据精度,靶标点测量精度与分布情况等。车载移动立体测量系统的双目相机基线较短,为了获得高精度的测量结果,需要提出高精度的测量算法;不仅需要对左右或前后影像进行立体测量,还要加入多张影像联合测量。

参考文献:

[1] Cramer M, Stallmann D, Haala N. Direct georeferencing using GPS/Inertial exterior orientations for photogrammetric applications[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2000, 33(B3): 198 - 205.

[2] M B Umker, F J Heimes. New calibration and computing method for direct georeferencing of image and scanner data using the position and augular data of an hybrid inertial navigation system[C]//Integrated Sensor Orientation Test Report and Workshop Proceeding, OEEPE(European Organization for Experimental Photogrammetric Research) Officical Publication, 2002, 7(43): 197 - 211.

[3] Zhang Jianqing, Pan Li, Wang Shugen. Photogrammetry [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2003. (in Chinese)
张剑清,潘励,王树根. 摄影测量学[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.

[4] Kong Xiangyuan, Guo Jiming, Liu Zongquan. The basis of geodesy[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2001. (in Chinese)
孔祥元,郭际明,刘宗全. 大地测量学基础[M]. 武汉:武汉大学出版社,2001.

[5] Liu Jun, Wang Dongjiang, Zhang Yongsheng. Bundle adjustment of airborne three line array imagery based on unit queternion[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008, 37(4): 451 - 457. (in Chinese)
刘军,王冬红,张永生,等. 基于单位四元数的机载三线阵影像光束法平差[J]. 测绘学报,2008,37(4): 451 - 457.

[6] Wang Yong, Jiang Ting, Jiang Gangwu, et al. Space resection of single image based on the description of Unit quaternions[J]. Journal of Geomatics Science and Technology, 2007, 24(4): 133 - 135. (in Chinese)
王勇,姜挺,江刚武,等. 基于单位四元数描述的单像空间后方交会[J]. 测绘科学技术学报,2007,24(4): 133 - 135.

[7] The Survey Adjustment Research Group of Surveying and Mapping Institute in Wuhan University. The Basis of Theory and Measurement Error Adjustment[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2003. (in Chinese)
武汉大学测绘学院测量平差学科组. 误差理论与测量平差基础[M]. 武汉:武汉大学出版社,2003.