

文章编号:1001-1595(2011)05-0604-06

POS 数据的上下视差误差源检测及误差补偿回归模型

张永军¹,熊金鑫¹,熊小东¹,邓继伟²

1. 武汉大学 遥感信息工程学院,湖北 武汉 430079; 2. 铁道第三勘察设计院集团有限公司,天津 300251

Main Error Source of Vertical Parallax and Compensation Regression Model of POS Data

ZHANG Yongjun¹, XIONG Jinxin¹, XIONG Xiaodong¹, DENG Jiwei²

1. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430049, China; 2. The Third Railway Survey and Design Institute Group Corporation, Tianjin 300251, China

Abstract: Main reason of the existence of systematic error of POS data is analyzed. Error equation of POS-based relative orientation is deduced. Regression model to compensate the systematic error of POS is established. Three sets of aerial images in different scales with POS data are used for experiments. Experimental results show that the systematic error of angular elements in POS data is the main error source which causes large vertical parallax. Compared with original POS data, the POS data corrected by the proposed regression model can significantly decrease vertical parallax. Accuracy of geo-referencing is considerably improved without block adjustment. Satisfying experimental results verify the correctness and feasibility of the proposed regression model.

Key words: POS; vertical parallax; relative orientation; main error source; regression model

摘 要:分析 POS 数据存在系统误差的主要原因,推导基于 POS 的立体像对相对定向模型,建立 POS 系统误差回归补偿模型。三个不同比例尺测区试验数据的结果表明:POS 系统提供的外方位元素中角元素误差是引起模型上下视差的主要误差源;利用回归补偿模型对 POS 数据进行改正后模型上下视差明显减小;在无需区域网平差的情况下,直接通过相对定向消除 POS 系统误差,定位精度有较大提高,从而证明该补偿模型的正确性与可行性。

关键词:POS; 上下视差; 相对定向; 主要误差源; 回归模型

中图分类号:P231

文献标识码:A

基金项目:国家自然科学基金(41071233);国家科技支撑计划(2011BAH12B05);国家 863 计划(2009AA121403);教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-07-0645)

1 引 言

快速而且正确地恢复摄影时刻像片的空间方位是航空摄影测量的关键技术之一。长期以来,这一目标是通过空中三角测量方法借助大量的地面控制点间接实现。随着传感器技术、空间定位技术和计算机技术的发展,航空摄影测量理论越来越严密、方法越来越先进^[1]、所需地面控制点越来越少,正朝着无地面控制的方向发展^[2]。

20 世纪 70 年代以后,美国研制成功了新一代卫星无线电导航系统——全球定位系统(GPS),由于它能进行高动态精密三维定位,并可用于在航空摄影的同时确定像片的外方位元素,从而引起了摄影测量界的极大兴趣和普遍关注^[3]。在 20 世纪末出现的定位定向系统(position and orientation system, POS)集差分 GPS 技

术和惯性导航(INS)技术于一体,可在航空摄影时获取航摄像片的 6 个外方位元素^[4],直接用于航空摄影测量影像的定向^[5]。已有试验表明,利用 POS 系统获取的像片外方位元素可以直接制作数字正射影像图^[6],而对地形测图而言由于 POS 系统误差尤其是视准轴误差的存在^[7],直接将 POS 提供的像片外方位元素用于安置元素测图^[8]会产生作业人员无法忍受的模型上下视差。

本文根据基于 POS 的相对定向原理,利用实际影像检测 POS 数据中造成模型上下视差的主要误差源。通过对试验结果进行统计分析,建立系统误差回归补偿模型,在无需区域网平差的情况下,直接通过相对定向消除 POS 系统误差,使得模型上下视差明显减小,定位精度有较大提高。

2 POS 系统误差存在的原因及其分析

根据 POS 的机理及特点,其系统误差主要由

以下几个原因造成:

(1) 视准轴误差^[9]:POS 与航摄仪连接时,需要将 IMU 固联在航摄仪上,由于安装工艺上的原因,IMU 与航摄仪的轴系不可能完全平行,一般来说,两坐标轴系之间总存在着一个小的角度偏差(小于 3°);

(2) 累积漂移误差^[9]:在飞行过程中,由于运动加速度的存在,会形成作用在 POS 上的惯性干扰力矩,使 POS 获取数据时产生进动(即漂移),从而引起测量误差,即漂移误差,通常 IMU 漂移误差对目标定位精度的影响比 GPS 漂移误差更大;

(3) GPS 失锁和周跳:高精度 GPS 卫星导航定位一般是用载波相位测量实现的。而载波相位测量只能测量相位中不足一整周的小数部分,整周部分的连续变化值由多普勒计数得到,飞机侧倾转弯、信号遮挡、信噪比低以及接收机故障等都会引起整周计数突变,称为失周或失锁,也称为周跳。

(4) 由像片畸变、地球曲率、大气折光差等引起的误差。

3 基于 POS 的立体像对相对定向

基于 POS 的立体像对相对定向以经典摄影测量理论为基础^[10],将传统连续像对相对定向与单独像对相对定向相结合,以 POS 提供的外方位元素作为初值,以左影像的角运动、右影像的直线运动和角运动实现相对定向,其通用误差方程如式(1)所示。由于每个立体像对最多具有 5 个独立的相对定向元素,因此一般在 $(\varphi_1, \kappa_1, B_Y, B_Z, \varphi_2, \omega_2, \kappa_2)$ 中选择 5 个元素作为定向元素。本文为检测 POS 数据中造成模型上下视差的主要误差源,采用固定元素法,即在基于 POS 的立体像对相对定向的通用模型中固定某些相对定向元素,使其不参与平差迭代,只对其他定向元素进行迭代改正。因此固定 φ_1, κ_1 ,对 $B_Y, B_Z, \varphi_2, \omega_2, \kappa_2$ 进行迭代求解即为基于 POS 的连续法相对定向;固定 B_Y, B_Z ,对 $\varphi_1, \kappa_1, \varphi_2, \omega_2, \kappa_2$ 进行迭代求解即为基于 POS 的单独像对相对定向。根据式(1)对相对定向元素进行迭代求解,当改正数小于给定限值时结束迭代。

$$v_q = \frac{X_1 Y_2}{Z_1} N' d\varphi_1 + X_1 N' d\kappa_1 - \frac{X_2 Y_2}{Z_2} N' d\varphi_2 - \left(Z_2 + \frac{Y_2^2}{Z_2} \right) N' d\omega_2 + X_2 N' d\kappa_2 + B_X d\mu -$$

$$\frac{Y_2}{Z_2} B_X d\nu - q \tag{1}$$

4 POS 系统误差模型的建立及回归分析

文献[11]的研究表明,POS 在定位测姿时会产生随航摄飞行时间 t 呈线性关系的系统误差。在建立误差补偿模型时,假设 POS 系统误差 y 与飞行时间 t 之间的关系为线性关系,即

$$y = a_0 + a_1 t + \varepsilon \tag{2}$$

式(2)代表 y 与 t 的线性回归模型, a_0, a_1 为未知的回归参数; ε 为随机误差项。假定 t 是一个非随机变量,且没有测量误差,通过最小二乘法寻找最优估计量,使得随机误差项 ε 的平方和达到最小,从而获得回归参数 a_0, a_1 。

为检验以上线性回归模型是否真实,应从两个方面进行检验:① 线性关系检验,即检验自变量和因变量之间的关系能否用一个线性模型表示;② 回归参数检验,即当线性关系检验通过以后,进一步检验每一个自变量对因变量的影响程度是否显著。

相关系数 R^2 、检验统计量 F_0, F_0 对应的概率 P 分别是用于检验回归模型正确性的指标和检验参数,其中相关系数 R^2 按下式得到

$$R^2 = 1 - \frac{\mathbf{y}^T \mathbf{y} - (\mathbf{A}t)^T \mathbf{y}}{\mathbf{y}^T \mathbf{y} - n\bar{y}^2} \tag{3}$$

式中, \mathbf{y} 为实测数据向量, $\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_j$ 为 \mathbf{y} 向量平均值。 R^2 值越接近于 1,则回归得到的线性模型正确性越高。检验统计量 F_0 的定义为

$$F_0 = \frac{((\mathbf{A}t)^T \mathbf{y} - n\bar{y}^2)/k}{(\mathbf{y}^T \mathbf{y} - (\mathbf{A}t)^T \mathbf{y})/(n - k - 1)} \sim F(1, n - m - 1) \tag{4}$$

k 为未知数个数; F_0 是服从 $F(1, n - m - 1)$ 统计检验量,用于检验得到回归变量 t 对 \mathbf{y} 的影响是否显著。通常 F_0 越大,变量 t 越显著,回归模型的正确性越高。

5 试验结果与分析

5.1 试验影像概述

为了验证本文所述算法的可行性,利用三组实际航空摄影影像数据进行试验,试验影像的资料参数如表 1 所示。三组试验数据都利用数字摄影测量处理平台 DPGrid 进行了自动转点与量测,并人工立体量测了全部地面控制点的像平面坐标。

表 1 三个试验区航空摄影数据参数描述

Tab. 1 Image data description of three test areas

试验	影像类型	辅助定向数据	航摄仪主距/mm	影像高宽/像素	像素大小/mm	摄影比例尺	航向重叠	旁向重叠	航线/条	像片/张	地面控制点数	加密点数
试验 1	数码	POS	120.0	13 824×7 680	0.012	1:78 000	60%	34%	5	300	15	114 504
试验 2	数码	POS	120.0	13 824×7 680	0.012	1:72 000	60%	34%	9	320	22	107 812
试验 3	数码	POS	105.2	11 500×7 500	0.009	1:83 000	67%	43%	4	108	13	64 488

5.2 POS 数据引起立体模型上下视差的主要误差源检测

在检测 POS 数据恢复立体模型存在上下视差的主要误差源时,首先需要确定主要误差来源于线元素还是角元素。利用 POS 提供的外方位元素计算立体模型的上下视差;并根据基于 POS 的单独像对相对定向,改正 φ_1 、 κ_1 、 φ_2 、 ω_2 、 κ_2 五个角元素,计算相对定向后模型的上下视差;之后采

用基于 POS 的连续法相对定向,左片外方位元素初值采用单独像对相对定向改正后的值,右片仍以 POS 作为初值,以保证在计算模型上下视差时具有可比性。三种方法恢复立体模型后,统计三组试验数据中每个模型的上下视差中误差,并按航带统计上下视差中误差的最大值、最小值及平均值,统计结果如表 2 所示。

表 2 三种不同方法计算立体模型的上下视差结果对比

Tab. 2 Comparison among vertical parallaxes of stereo models reconstructed with different methods

试验数据	航带	POS 原始数据恢复立体模型后上下视差的中误差			基于 POS 的单独像对相对定向后模型上下视差的中误差			基于 POS 的连续法相对定向后模型上下视差的中误差		
		最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值
		试验 1	航带 1	0.348 1	0.208 6	0.272 7	0.004 8	0.002 8	0.003 4	0.004 8
	航带 2	0.301 5	0.249 7	0.248 4	0.005 2	0.003 0	0.003 7	0.005 1	0.002 9	0.003 6
	航带 3	0.323 3	0.234 8	0.278 1	0.005 0	0.002 9	0.003 5	0.004 9	0.002 9	0.003 4
	航带 4	0.313 4	0.234 9	0.273 7	0.003 9	0.002 8	0.003 4	0.003 8	0.002 7	0.003 3
	航带 5	0.310 4	0.161 2	0.274 3	0.004 4	0.002 8	0.003 4	0.004 2	0.002 3	0.003 3
试验 2	航带 1	0.016 5	0.005 0	0.009 4	0.005 0	0.003 1	0.004 0	0.004 9	0.003 0	0.003 7
	航带 2	0.011 9	0.004 3	0.007 4	0.006 3	0.003 0	0.004 1	0.006 1	0.003 0	0.004 0
	航带 3	0.020 1	0.004 5	0.010 4	0.006 3	0.002 9	0.004 3	0.006 2	0.002 7	0.004 2
	航带 4	0.024 9	0.004 1	0.010 0	0.006 8	0.002 3	0.004 3	0.006 7	0.002 5	0.004 2
	航带 5	0.100 7	0.004 1	0.012 3	0.007 2	0.002 5	0.004 3	0.007 2	0.002 4	0.004 2
	航带 6	0.019 1	0.003 6	0.008 5	0.006 3	0.002 8	0.004 3	0.006 2	0.002 7	0.004 2
	航带 7	0.017 1	0.004 1	0.008 7	0.006 3	0.003 2	0.004 4	0.006 3	0.003 2	0.004 3
	航带 8	0.014 5	0.003 9	0.007 3	0.008 7	0.003 2	0.004 9	0.008 6	0.003 1	0.004 7
	航带 9	0.019 4	0.004 3	0.008 9	0.006 1	0.003 0	0.004 4	0.006 0	0.003 0	0.004 3
试验 3	航带 1	0.040 7	0.003 1	0.015 1	0.001 8	0.001 2	0.001 4	0.001 7	0.001 1	0.001 3
	航带 2	0.038 4	0.004 3	0.017 3	0.001 7	0.001 2	0.001 4	0.001 6	0.001 2	0.001 3
	航带 3	0.053 2	0.003 2	0.020 3	0.001 7	0.001 1	0.001 4	0.001 5	0.001 1	0.001 2
	航带 4	0.041 8	0.002 7	0.023 7	0.002 2	0.001 1	0.001 4	0.002 0	0.001 1	0.001 3

从表 2 的数据可以看出,利用 POS 提供的外方位元素计算立体模型的上下视差时,试验 1 中 5 条航带的上下视差中误差平均值约为 22 个像素;试验 2 中 9 条航带的上下视差中误差平均值约 1 个像素;试验 3 中 4 条航带的上下视差中误差平均值在 2 个像素以内。经过单独像对相对定向后,试验 1 中 5 条航带的上下视差中误差平均值约为 0.3 个像素;试验 2 中 9 条航带的上下视

差中误差平均值也为 0.3 个像素左右;试验 3 中 4 条航带的上下视差在 0.2 个像素以内。而经过连续法相对定向后,模型上下视差与单独像对相对定向试验基本一致。由于两种相对定向方法左片外方位元素一致,单独像对相对定向对右片的线元素与角元素均进行改正,而连续法相对定向只对右片角元素进行改正。该试验结果说明 POS 数据中线元素对模型的上下视差影响很小,其主

要误差源在角元素中。

上述试验已经确定 POS 中造成模型上下视差的主要误差源自角元素,根据基于 POS 的连续法相对定向原理,在固定左片方位元素的基础上,分别固定右片的三个角元素、固定 φ 、固定 ω 、固定 κ ,求解其余相对定向元素,计算对应的模型上下视差并与基于 POS 连续法相对定向结果计算的模型上下视差进行比较,统计结果如图 1 所示。

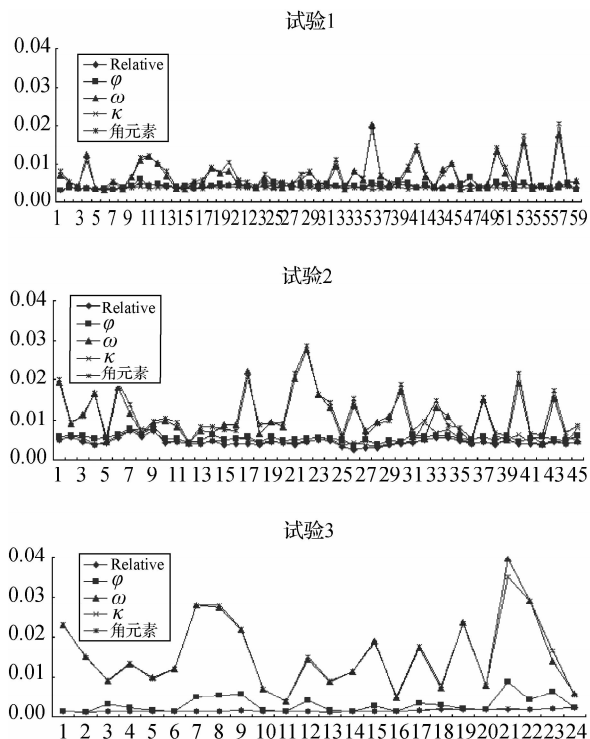


图 1 三组试验数据上下视差统计结果对比

Fig.1 Comparison among vertical parallaxes of three data sets

图 1 的三组试验数据当固定模型右片三个角元素时,在迭代过程中只是对线元素进行改正,而角元素的误差不改正;在固定 ω 时,在迭代过程中对线元素及 φ 及 κ 角进行改正, ω 角的误差不改正。但从上图可以看出,这两种方式下计算出的模型上下视差非常接近。而固定 φ 与 κ ,其结果与步骤一中连续像对相对定向的上下视差非常接近。从而说明在 POS 数据中,角元素中包含的误差主要集中于 ω 角,也就是说 ω 角是造成模型上下视差的主要误差源。

5.3 POS 数据系统误差补偿模型

将三组试验测区相对定向后的 POS 数据与原始 POS 数据进行对比,计算出 POS 观测值的三个外方位角元素(φ 、 ω 、 κ)的误差。对三组试验

的 POS 观测值中三个外方位角元素误差与时间 t 进行线性回归分析,得到如图 2 的统计结果。可以看出 φ 和 κ 角的系统误差未呈现出线性关系,而 ω 的系统误差线性关系比较明显。

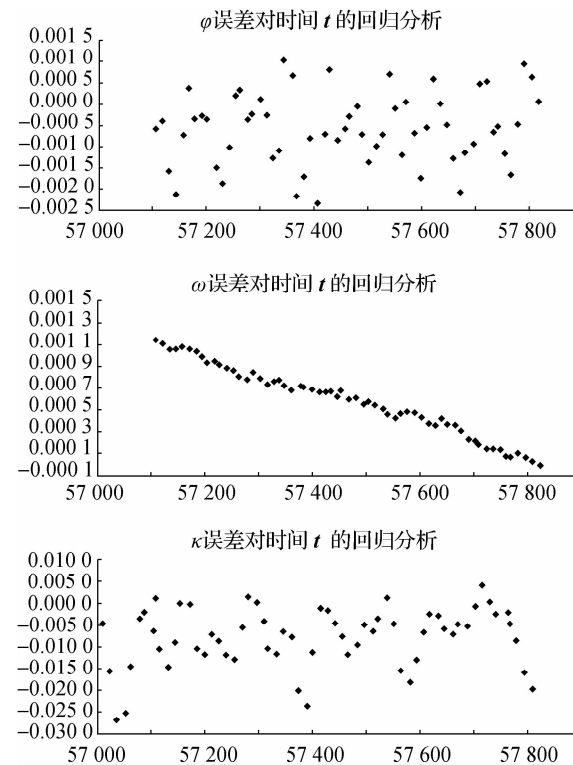


图 2 POS 角元素观测值误差对时间 t 的回归分析
Fig.2 Regression analysis between observation error of angel element of POS data and flying time

通过 POS 观测值中 φ 、 ω 、 κ 误差回归分析结果对整个测区建立误差补偿模型,如表 3 所示。按照表 3 中回归模型分别对三个角元素进行改正,用改正后的 POS 数据计算模型上下视差,将所得对应结果分别与相对定向后、原始 POS 数据求得的结果进行比较,如图 3 所示。

表 3 POS 观测值中 φ 、 ω 、 κ 误差回归分析结果表
Tab.3 Regression analysis of observation error of φ , ω and κ

回归分析结果	回归模型 y	相关系数 R^2	检验统计量 F_0	F_0 对应的 p
φ	$y_\varphi = -0.0861 + x_t \times 1.51 \times 10^{-6}$	0.014 0	0.826 1	0.367 1
ω	$y_\omega = -0.0275 + x_t \times 4.68 \times 10^{-7}$	0.981 0	3 077.500 0	0.000 0
κ	$y_\kappa = -0.459 + x_t \times 7.857 \times 10^{-6}$	0.057 0	3.523 3	0.065 5

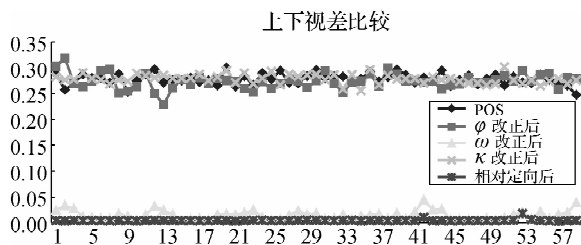


图3 各角元素补偿改正后求得的模型上下视差比较图
Fig. 3 Comparison among vertical parallaxes of POS data corrected by angle regression model

从上述图表结果可以看出, φ 和 κ 角与时间 t 无明显回归关系, 各时间 t 的误差点离散地分布在回归直线附近, 且利用相应回归模型改正后,

表4 原始 POS 数据和改正后的 POS 数据前方交会结果

Tab. 4 Comparison between results of forward intersection with original and rectified POS data m

试验数据	控制点数	利用 POS 元数据进行前方交会						Omega 角误差补偿模型改正后的 POS 数据进行前方交会					
		最大残差		最小残差		中误差		最大残差		最小残差		中误差	
		平面	高程	平面	高程	平面	高程	平面	高程	平面	高程	平面	高程
试验一测区	15	4.102	7.137	0.313	3.422	3.285	5.781	3.667	5.384	0.369	1.249	1.981	1.899
试验二测区	22	3.225	3.548	0.033	1.231	2.264	3.010	2.414	2.873	0.625	0.864	1.005	1.472
试验三测区	13	1.237	4.133	0.351	2.863	1.018	2.985	1.320	2.476	0.466	0.931	0.643	1.021

6 结论

本文对 POS 数据引起模型上下视差的主要误差源进行了检测, 成功建立了误差补偿模型, 并证明了该模型的正确性与可行性。利用 1:78 000、1:72 000 和 1:83 000 三种摄影比例尺的航空摄影影像进行试验的结果表明:

(1) POS 系统提供的影像外方位元素中, 线元素误差对模型的上下视差影响较小, ω 角误差是造成模型上下视差的主要误差源。

(2) 建立了角元素的误差补偿模型, 通过回归分析及控制点前方交会试验证明 ω 角误差补偿模型可以很好地对 ω 角进行改正, 消除其系统误差。

(3) POS 数据 ω 角系统误差改正后, 无需区域网平差即可满足 1:10 000 比例尺正射影像制作的精度要求; 但由于其他元素的误差没有改正, 因此改正结果不能完全满足 1:10 000 比例尺立体测图精度的要求。作者进行过试验验证, 基于上述三组数据进行 POS 辅助的无控制点区域网平差后获得的方位元素均可完全满足立体测图精度要求。

模型上下视差无明显减小。而 ω 角误差与时间 t 成明显线性回归关系, 其相关系数 R^2 非常接近于 1, 检验统计量 F_0 也很大, 利用该回归模型改正后, 模型上下视差明显减小。

将三组试验区的控制点作为检查点, 分别利用原始 POS 数据、 ω 角误差补偿模型改正后的 POS 数据进行前方交会, 表 4 列出了所有控制点在消除平移误差后前方交会结果与外业测量坐标的较差。可以看出, 改正后的 POS 数据前方交会获得的检查点平面精度和高程精度分别提高了 0.5~1.0 倍和 1.0~2.0 倍, 完全满足 1:10 000 比例尺正射影像制作的要求。

正是由于 POS 系统提供的像片外方位元素在用于实际航测地形测图生产时会产生作业人员无法忍受的模型上下视差, 因此 POS 数据只能用于制作数字正射影像图, 而无法用于地形测图。本文研究一种行之有效的模型上下视差消除方法, 提高了 POS 数据的定位精度, 对于充分发挥 POS 系统的作用并更好地服务于困难地区的基础地理信息获取有一定意义。

参考文献:

- [1] ACKERMANN F. Practical Experience with GPS-supported Aerial Triangulation [J]. Photogrammetric Record, 1994, 16(84):861-874.
- [2] YUAN Xiuxiao. POS-supported Bundle Block Adjustment [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2008 37(3): 342-348. (袁修孝. POS 辅助光束法区域网平差[J]. 测绘学报, 2008, 37(3): 342-348.)
- [3] YUAN Xiuxiao, LI Deren. Some Investigation for GPS-supported Aerotriangulation [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1997, 26 (1):14-19. (袁修孝, 李德仁. GPS 辅助空中三角测量的若干探讨[J]. 测绘学报, 1997, 26(1):14-19.)
- [4] YUAN Xiuxiao. Analysis of Y-parallax of Stereo Model Reconstructed Using Elements of Exterior Orientation Determined by Position and Orientation System [J].

- Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2007, 32(10): 856-859. (袁修孝. POS数据用于立体模型恢复时的上下视差分析[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2007, 32(10): 856-859.)
- [5] GREENING T, SCHICKLER W, THORPE A. The Proper Use of Directly Observed Orientation Data: Aerial Triangulation is Not Obsolete[C]// Proceedings of 2000 ASPRS Annual Conference. Washington DC: ASPRS, 2000.
- [6] GRUEN A, BAER S. Aerial Mobile Mapping—Georeferencing without GPS/INS [C]// Proceedings of the 3rd International Symposium on Mobile Mapping Technology. Cairo: [s. n.], 2001.
- [7] JACOBSEN K, WEGMANN H. Dependencies and Problems of Direct Sensor Orientation[C]// Proceedings of the OEEPE Workshop on Integrated Sensor Orientation. Hannover: [s. n.], 2001.
- [8] CRAMER M, STALLMAN D. System Calibration for Direct Georeferencing[J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 2002, 34: 79-84.
- [9] HONKAVAARA E. Calibration Field Structures for GPS/IMU/Camera-system Calibration [J]. The Photogrammetric Journal of Finland, 2003, 18(2): 3-15.
- [10] WANG Zhizhuo. Principles of Photogrammetry [M]. Beijing: Surveying and Mapping Press, 1990. (王之卓. 摄影测量原理[M]. 北京: 测绘出版社, 1990.)
- [11] ACKERMANN F. GPS for Photogrammetry [C]// Proceedings of Tutorial on Mathematical Aspects of Data Analysis. [S. l.]: ISPRS, 1991: 17-70.

(责任编辑:雷秀丽)

收稿日期: 2010-06-28

修回日期: 2010-12-25

第一作者简介: 张永军(1975—),男,博士,教授,博士生导师,主要从事数字摄影测量与遥感、计算机视觉方面的研究。

First author: ZHANG Yongjun (1975—), male, PhD, professor, PhD supervisor, majors in digital photogrammetry and remote sensing, computer vision.

E-mail: zhangyj@whu.edu.cn

(上接第591页)

- [11] CAO Rong, WANG Ying, LI Xianglin. An Adaptive DFT Domain Digital Watermarking Scheme [J]. Computer Engineering and Applications, 2006(10): 77-78. (曹荣, 王颖, 李象霖. 一种自适应的DFT域数字水印算法[J]. 计算机工程与应用, 2006(10): 77-78.)
- [12] ZHANG Xiaoyun, ZHU Qingsheng, ZENG Lingqiu. Algorithm of Document Skew Detection Based on Straight-line Fitting[J]. Application Research of Computers, 2005(6): 251-253. (张晓芸, 朱庆生, 曾令秋. 基于直线拟合的文本倾斜检测算法[J]. 计算机应用研究, 2005(6): 251-253.)
- [13] JAIN A. Fundamentals of Digital Image Processing [M]. New York: Prentice-Hall, 1989.
- [14] YE Zetian. Frequency Spectrum Zone Images and Their Applications [J]. Remote Sensing of Environment, 1993, 8(2): 139-146. (叶泽田. 频谱段图像及其应用的探讨[J]. 环境遥感, 1993, 8(2): 139-146.)
- [15] GONZALEZ R C, WOODS R E. Digital Image Processing [M]. Second Edition. New York: Prentice Hall, 2002.
- [16] BALLARD D, BROWN C. Computer Vision [M]. New York: Prentice-Hall, 1982.
- [17] YE Zetian. Frequency Spectrum Zone Images and Their Applications [J]. Remote Sensing of Environment, 1993, 8(2): 139-146. (叶泽田. 频谱段图像及其应用的探讨[J]. 环境遥感, 1993, 8(2): 139-146.)
- [18] YU Zhenming, MAO Shiyi, GAO Fei. Image Fusion via Localized Fourier Transform [J]. Signal Processing, 2004, 20(3): 227-230. (玉振明, 毛士艺, 高飞. 用局部傅里叶变换进行图像融合[J]. 信号处理, 2004, 20(3): 227-230.)
- [19] HUANG Qihong, LIU Zhao. Image Edge Feature Extraction Based on Independent Component Analysis [J]. Infrared, 2006, 27(5): 13-16. (黄启宏, 刘钊. 基于独立分量分析的图像边缘特征提取[J]. 红外, 2006, 27(5): 13-16.)

(责任编辑:丛树平)

收稿日期: 2010-09-06

修回日期: 2010-11-16

第一作者简介: 吴桂平(1980—),男,博士生,研究方向为高分辨率遥感影像处理。

First author: WU Guiping (1980—), male, PhD candidate, majors in high-resolution remote sensing image processing.

E-mail: csuwgp@126.com