

文章编号: 1001-1595(2010)02-0156-06

POS 辅助航带间航摄影像的自动转点

袁修孝, 明 洋

武汉大学 遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079

POS-supported Matching Method for Aerial Images between Neighboring Strips

YUAN Xiuxiao, MING Yang

School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

Abstract: This paper proposes a novel image matching method for the aerial images between strips by using the exterior orientation parameters obtained via a position and orientation system (POS). Firstly, all images within a strip are matched on the pyramid images to obtain the precise image coordinates of image tie points. Secondly, the approximate positions of these tie points between neighboring strips are predicted through the image exterior orientation parameters obtained via the POS. Thirdly, the image geometric distortions to be matched window in neighboring strip are corrected, and the corresponding points are directly searched on original images under the epipolar geometrically constrained condition. Finally, least squares image matching methods is performed in order to refine the image matching results to the sub-pixel order accuracy. Experiments have shown that POS-supported image matching method not only simplifies the procedure of image matching and increases the level of automation, but also improves the image matching success rate by 34.0% and save the CPU consuming time by 76.7% compared with the conventional image tie point transfer method between neighboring strips.

Key words: aerial images; position and orientation system(POS); image matching; matching success rate; matching efficiency

摘 要: 提出一种利用 POS 提供的影像定向参数辅助区域航空摄影测量中航带间影像自动转点方法。首先, 对航带内影像采用金字塔影像匹配策略寻求同名像点, 以获得航向间影像连接点的精确像片坐标; 然后利用 POS 提供的影像定向参数预测航带间的影像连接点。再通过对相邻航线间待匹配窗口影像的几何变形改正, 在由 POS 数据辅助建立的核线几何条件约束下, 直接在原始影像上找寻同名像点; 最后经最小二乘匹配使影像匹配结果达到子像素级精度。试验表明, 将 POS 数据引入航带间的影像自动转点中, 不但可以简化影像匹配过程、提高自动化水平, 而且较常规影像匹配方法可以提高航带间自动转点的成功率 34.0%, 并节省 76.7% 的 CPU 耗时。

关键词: 航摄影像; POS 系统; 影像匹配; 匹配成功率; 匹配效率

中图分类号: P231

文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金(40771176); 国家创新研究群体科学基金(40721001)

1 引 言

随着 POS (position and orientation system) 系统在航空遥感中的日益广泛应用, 直接用其在拍摄影像的同时测定 6 个影像外方位元素, 被认为是当今摄影测量的重大进展之一^[1-2]。近年来, 对 POS 数据的应用研究主要集中在对地目标定位和重构立体模型的上下视差分析上。Heipke 等的研究表明, 利用 POS 系统测定的影像定向参数可以满足制作数字正射影像图的要求, 但据其重构的立体模型会存在较大的上下视差, 影响人眼的立体观察, 尤其难以满足大比例尺地形测图的高程精度要求^[3]。袁修孝等建立了直接利用 POS 提供的影

像定向参数进行直接对地目标定位和重构立体模型上下视差的精度估算严密公式^[4-6], 从理论上论证了 Heipke 等的试验结论。总而言之, 直接利用 POS 提供的影像定向参数进行摄影测量精度较低, 为了获取高精度的影像定向参数, 仍然需要对区域航空摄影影像实施空中三角测量^[7-8]。

就解析空中三角测量而言, 连接点的获取一直是最耗时、最繁琐的工作。特别是在森林、沙漠、农田等地区, 由于其影像纹理具有很强的重复性, 给自动影像量测尤其是航带间影像的自动转点带来了很大困难。文献[9]提出构建自由航带网的方法, 即先将航摄影像构成自由航带网, 再利用人工选取的若干个航带偏移点建立相邻航带间

的近似空间变换关系。这种方法通过模型坐标归化来实现航带间连接点的预测。虽与影像视差变化无关,但当航线较长时,点位预测精度明显降低。有学者曾预言引入 POS 数据将有助于提高空中三角测量自动转点的效率和可靠性^[9-11],但时至今日,依然未曾见到相关的文献报道。有鉴于此,本文尝试研究一种简单易行的 POS 辅助航带间影像自动转点方案,以简化影像自动量测的工艺流程、提高影像匹配的成功率和效率。

2 基本思想

如图 1 所示,首先,采用常规影像匹配方法完成航带内影像间的自动转点,以获取同名像点的精确像片坐标;然后,利用 POS 提供的影像外方位元素按照前方交会原理计算所有连接点的地面坐标,并根据共线条件方程将其反投影到相邻航线中的待匹配影像上,以预测连接点在相邻航线上的位置;随后,在原始影像上对待匹配窗口影像进行几何形变改正,并在依据 POS 数据建立的核线几何约束条件下匹配同名点;最后,通过最小二乘影像匹配获得子像素级精度的影像匹配结果。

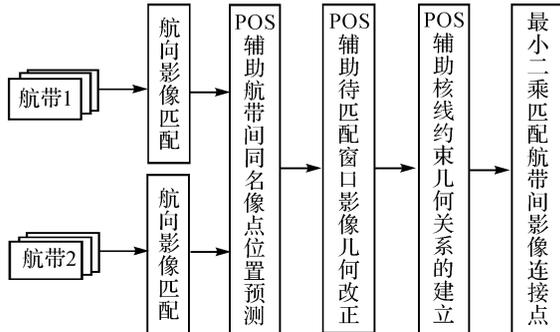


图 1 POS 辅助航带间影像自动转点流程图

Fig. 1 Workflow of POS-supported image matching between neighboring strips

2.1 航向影像匹配

一般说来,航向影像匹配是依次对航线内具有一定重叠度的相邻两张影像进行的。本文将相邻的 3 张影像作为一个匹配单元,对航线首末两张影像分别处理成缺失左影像和右影像。这是因为,对于摄影测量区域网平差,航向连接点一般取三度重叠区域内的影像点,仅在航线首尾部分保留二度重叠点;另一方面,就航向影像匹配而言,这样处理不仅可以在影像匹配过程中顾及核线几何约束关系,而且可以通过立体模型的左右视差发现误匹配点。与传统的两张影像匹配方法相

比,可以保证影像匹配航向连接点的可靠性。

航向影像匹配采用由粗到精的金字塔影像匹配策略,首先在最高层金字塔影像上确定影像间的初始视差。以此估算中央影像与相邻影像的三度重叠区域;然后将重叠区域内的各层金字塔影像均匀划分为固定大小的格网,并在每个格网内采用 F^L_{rstner} 算子提取特征点;最后在预测得到的同名像点概略位置上采用带核线几何约束条件的相关系数法寻找相邻两张影像上的同名像点^[12]。当一层金字塔影像匹配完成以后,采用具有选权迭代法粗差检测功能的带模型连接条件的相对定向方法剔除误匹配点,以保证匹配结果的可靠性^[13]。经过逐层金字塔影像匹配,最终在原始影像上使用双片最小二乘匹配方法来精化匹配结果,使其达到子像素级的影像匹配精度。

2.2 POS 辅助航带间同名像点位置预测

在完成航带内影像的匹配转点后,经前方交会可以得到每个像点的物方 3 维坐标。利用 POS 提供的影像外方位元素,按照共线条件方程可以将其反投影到相邻航线的待匹配影像上,由此预测得到同名像点的概略位置,从而避免常规自动影像转点中需人工量测航带间的偏移点、构建自由航带网以及航带间的空间相似变换等操作,简化了航带间影像转点的复杂度。由于使用的 POS 影像外方位元素具有很高的精度,预测的点位一般比较准确,通常可以在 10 个像素范围内。

2.3 POS 辅助待匹配窗口影像的几何变形改正

此种处理旨在消除影像几何变形对影像匹配结果的影响。这里需要利用 POS 提供的影像外方位元素和必要的地面高程信息,而高程值可由航向匹配的同名像点前方交会得到。具体步骤如下:

1. 利用航向匹配结果和 POS 提供的影像外方位元素,经前方交会得到像点 p 的物方坐标 (X_p, Y_p, Z_p) 。
2. 在物方坐标空间取一高程为 Z_p 的小面元 Γ_p , 将连接点所在影像(如航线 i 第 k 张影像)上匹配窗口 ξ 的 4 个角点投影到面元 Γ_p , 得到 4 个角点对应的物空间坐标,再依据共线条件方程将其分别投影到待匹配影像(如航线 $i+1$ 第 j 张影像)上,得到四边形 ξ_1 。
3. 采用仿射变换模型描述影像的几何形变,并利用上述两个四边形 ξ 和 ξ_1 的 4 个角点解算出 6 个仿射变换参数。
4. 利用仿射变换参数,将 $i+1$ 航线的第 j 张

影像中的四边形 ξ 重采样为新的影像窗口 ξ' 。当对窗口 ξ' 与窗口 ξ 实施影像匹配时, 就可以部分消除影像几何变形对影像匹配结果的影响。

试验表明, 以上处理可以消除由于影像拍摄角度不同而引起的影像几何变形。特别是当两影像的姿态角相差较大时, 改善还是非常明显。

2.4 POS 辅助建立核线几何约束条件

传统影像匹配中, 为了建立核线几何约束方程, 必须事先匹配出一定数量且分布均匀的同名像点来进行立体影像的相对定向。当利用 POS 获得 6 个影像外方位元素以后, 可由共面条件直接建立核线几何约束方程。设基准影像上某一待匹配点为 $p(x_p, y_p)$, 基准影像和搜索影像的外方位元素分别为 $(X_{S1}, Y_{S1}, Z_{S1}, \Phi_1, \omega_1, K_1)$ 和 $(X_{S2}, Y_{S2}, Z_{S2}, \Phi_2, \omega_2, K_2)$, 航摄影主距为 f , 令搜索影像上与 p 点对应的核线上一点为 $q(x, y)$, 则在搜索影像的像空间坐标系下可建立如下共面条件方程

$$\begin{vmatrix} b_x & b_y & b_z \\ x_1 & y_1 & z_1 \\ x & y & -f \end{vmatrix} = 0 \quad (1)$$

式中, $\begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} = R_2^T \begin{bmatrix} X_{S2} - X_{S1} \\ Y_{S2} - Y_{S1} \\ Z_{S2} - Z_{S1} \end{bmatrix}$ 为摄影基线在搜索影像

的像空间坐标系中的三个分量; $\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = R_1^T R_1 \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ -f \end{bmatrix}$ 。

其中, R_1, R_2 分别是由基准影像和搜索影像的外方位角元素构成的正交变换矩阵。

将式(1)展开, 可得到 q 点所在核线的几何方程

$$y = \frac{A}{B}x + \frac{C}{B}f \quad (2)$$

式中, $A = z_1 b_y - y_1 b_z$; $B = z_1 b_x - x_1 b_z$; $C = x_1 b_y - y_1 b_x$ 。

现有研究表明, 直接利用 POS 提供的影像定向参数重建立体模型的上下视差为 2~3 个像素^[5-6]。为此, 本文将影像匹配时沿核线搜索的范围设置为上下 3 个像素。

3 试验及其结果分析

3.1 试验设计

试验影像选用 2005 年 1 月拍摄的某地区框幅式数字化航摄影像。共覆盖有 10 条测图航线和 2 条构架航线, 每条航线大约 30 张影像, 共 377 张影像, 区域总面积约 300 km², 主要为城区和山区。平均摄影比例尺约为 1:3000, 测图航线影像航向重叠 65%、旁向重叠 30%, 构架航线影像航向重叠 80%。航空摄影时, 在 Leica RG-30 航摄影仪上加装了加拿大 Applanix 公司的 POS AV 510 系统, 以便直接获取影像的定向参数。为了获得所有影像的高精度外方位元素, 本文选取一小块影像质量较好的区域作为检校场, 对 POS 系统误差进行了检校和改正。

为了验证 POS 辅助航带间影像自动转点的效果, 这里选取两种覆盖不同地物的航带间影像对进行了试验, 每一种地物挑选了 3 组影像, 如图 2 所示。上排影像为连接点(由航向到影像转点所得)所在的基准影像, 下排影像为下一条航线中与之对应的待匹配搜索影像。从图 2 可以看出, 影像均位于诸如农田和森林这些纹理重复性很强的区域, 是公认的影像匹配困难区。

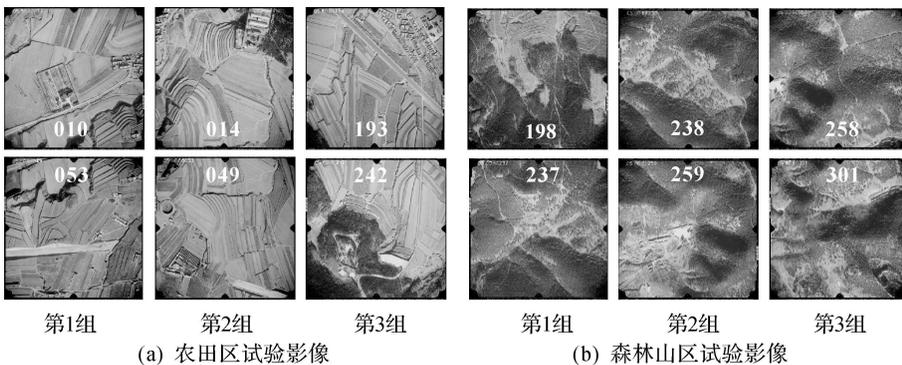


图 2 重复纹理区试验影像

Fig. 2 Empirical images of repetitive texture

3.2 结果分析

由于 POS 辅助航带间连接点的位置预测精

度相当高, 与真实位置在 x 和 y 方向上仅差 3~4 个像素, 最大误差不超过 10 个像素, 本文直接在

原始影像上开辟搜索窗口进行影像匹配。其中, 匹配窗口取 13×13 像素, 搜索窗口设置为 35×35 像素, 相关系数阈值设为 0.55。影像匹配过程中, 仅对搜索窗口中满足核线几何约束条件的像素点计算相关系数。同时, 为了检验 POS 辅助航

带间影像匹配的效率和成功率, 亦对试验影像构建了 2 层金字塔影像, 取用相同的匹配参数, 对相同的连接点按常规自动转点方法进行了试验。两种方法的影像匹配结果一并载于表 1。

表 1 两种匹配方法的对比试验结果

Tab. 1 Comparison of the results obtained by using two kinds of matching methods

试验影像对	待转点数	POS 辅助影像转点方法			常规影像转点方法		
		金字塔层数	正确匹配点数 / 匹配成功率	CPU 耗时 / s	金字塔层数	正确匹配点数 / 匹配成功率	CPU 耗时 / s
010—053	376	0	290 / 77.1%	4.6	2	182 / 48.4%	12.6
农田区 014—049	296	0	203 / 68.6%	3.2	2	130 / 43.9%	9.2
193—242	589	0	484 / 82.1%	7.1	2	304 / 51.6%	19.1
198—237	214	0	90 / 42.1%	2.9	2	26 / 12.1%	5.0
森林区 238—259	224	0	63 / 28.1%	3.2	2	0 / 0.0%	4.9
258—301	97	0	44 / 45.3%	1.4	2	11 / 11.3%	2.7

分析表 1 的试验结果可以看出:

1. 本文中的 6 组试验影像对, 由于其覆盖区域为农田或者森林, 影像纹理重复性很强, 导致常规影像转点方法成功率不是很高。对于农田区, 3 组试验影像匹配成功率只有 43.9%~51.6%; 对于森林区, 258—301 和 198—237 两组影像的匹配成功率仅为 11.3% 和 12.1%, 并且影像对 238—259 根本匹配不出同名像点。采用 POS 辅助航带间影像匹配策略后, 最佳的影像匹配成功率达到了 82.1%, 且所有影像的匹配成功率均有了 24.7%~34.0% 的不同程度提高。森林地区影像的匹配成功率提高幅度最大, 由 11.3% 提高到了 45.3% (258—301 影像对), 高达 34.0%。这说明, 采用 POS 辅助影像匹配方法可以自动转出更多的航带间连接点, 有效提高影像的匹配成功率。

2. 本文所有试验是在 Intel Pentium (R) 4 CPU/2.6 GHz/768 MB 内存的台式计算机上完成的。从统计的 CPU 耗时上看, POS 辅助影像匹配方法较常规影像匹配方法有明显的减少。前者较后者, 对于农田区的 3 组试验影像, 分别从 12.6 s、9.2 s 和 19.1 s 减少为 4.6 s、3.2 s 和 7.1 s; 对于森林地区的 3 组试验影像, 分别从 5.0 s、4.9 s 和 2.7 s 减少为 2.9 s、3.2 s 和 1.4 s。此外, 从表 1 还可以看出, POS 辅助影像匹配方法自动转出的同名像点要多得多, 若按单个像点匹配所消耗的平均 CPU 时间计算, 其实际匹配效率比常规方法提高了 76.7%。究其原因主要在于: 一是 POS 辅助影像预测能提供更准确的点位, 明显减少了影像匹配搜索的时间; 二是在影像

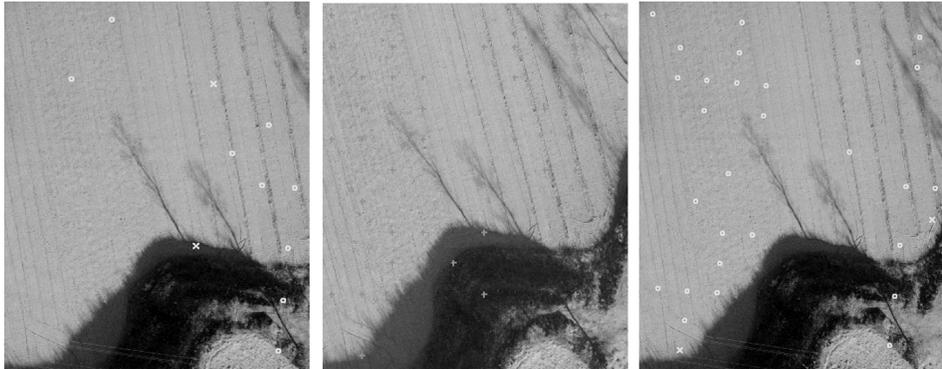
匹配过程中引入了 POS 辅助建立的核线约束几何条件, 将搜索空间由 2 维变为 1 维, 且限制在沿核线上下 3 个像素的一个非常狭窄的条带内, 进一步缩减了影像匹配所消耗的 CPU 时间。这里需要特别说明的是, 表 1 所统计的时间仅为影像匹配所消耗的 CPU 时间, 不包含常规方法中人工选取航带间偏移点、构建自由航带网等所花费的 CPU 时间。总体看来, POS 辅助影像匹配方法较常规影像匹配方法有高得多的匹配效率。

3. 分析农田试验区影像发现, 影像纹理比较丰富, 但重复性很高。尽管常规方法的影像匹配成功率可超过 40%, 然而采用 POS 辅助影像匹配策略后, 第一、二、三组试验影像的航带间自动转点成功率分别达到了 77.1%、66.8% 和 82.1%, 平均成功率高达 75.3%, 影像匹配成功率有了显著的提高。图 3 比较显示了 014~049 影像对的局部匹配结果, 其中“○”为正确匹配点, “×”为被剔除的误匹配点(图 4 同)。从图中可以清楚地看出, 常规的航带间影像自动转点方法匹配出的同名像点是非常稀疏的, 而 POS 辅助航带间影像自动转点方法, 除了落入阴影中的 3 个特征点外, 绝大部分点均可成功地匹配出来, 误匹配点非常少。

在常规影像匹配方法中, 若增加一层金字塔影像, 即进一步扩大影像的搜索范围, 重新对三组试验影像进行自动转点。试验还发现, 第一组影像的匹配点从 182 个下降到 156 个; 第二组影像的匹配点从 130 个下降到 117 个; 第三组影像的匹配点从 304 个下降到 247 个。这就验证了由于重复纹理所引起的多对一匹配现象是与影像搜索范围密切

相关的,是导致这类影像难以匹配的主要原因。为此,本文减少了一层金字塔影像,即减少影像的搜索范围,重新对这3组影像进行自动转点。试验又发现,第一组影像的匹配点下降到85个,而第二、三组影像匹配均告失败。这主要是采用构建自由

网方法预测点位初始位置的精度有限,采用一层金字塔影像时,正确匹配点大部分落在搜索范围之外。由于POS辅助的1维影像匹配方法大大减少了搜索区间,有效降低了纹理相似点的出现概率,从而使影像匹配成功率大幅度提高。



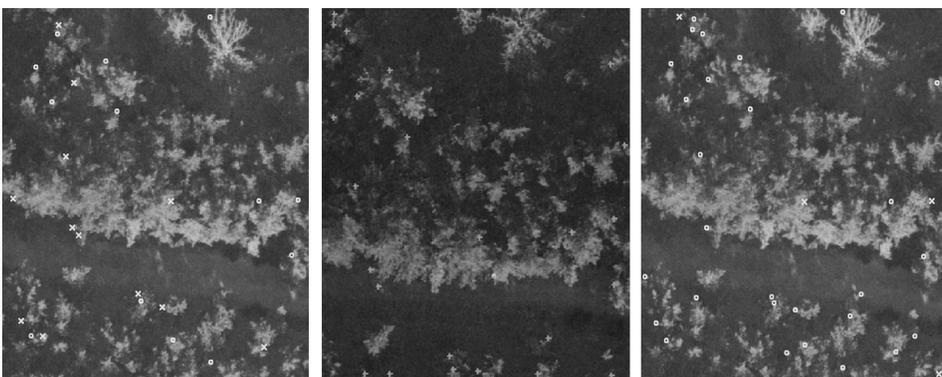
(a) 常规方法的匹配点 (b) 基准影像上的待转点 (c) POS辅助方法的匹配点

图3 农田区中014—049影像对自动转点的局部放大图

Fig. 3 Enlarged view of matching result on image pair 014—049

4. 从覆盖有大片森林的山区试验影像可以看出,由于受地形起伏大、树木遮挡严重和植被茂密等因素影响,这类影像一直被认为是最难匹配的。自动转点的成功率相当低,有时不得不人工量测。采用POS辅助影像匹配方法,平均匹配成功率达到了38.5%。与常规影像匹配方法相比,第一、二、三组试验影像的航带间自动转点成功率分别提高了30.0%、28.1%和34.0%。尤其是使常规影像匹配方法不能自动转点的238—259影像对也获得了28.1%的匹配成功率。这一影像匹配成功率相对于农田区试验影像有明显的降低,原因应归结为受山区地形和树木特性的影响。由于从不同角度拍摄高山上的树木时,树叶、枝干

之间的相互遮挡十分严重,加上树叶形状的相似性,使得同名像点无法辨认,在搜索影像中一般难以匹配出正确的同名像点,导致匹配成功率大幅度降低。图4放大显示198—237立体像对位于丛林中的局部区域的自动转点结果。从图中可以发现,常规方法仅能成功匹配出少数的几个点,大部分点为误匹配,最终被当作粗差点剔除了,而POS辅助影像匹配方法获得了较好的结果,不但匹配出的点数较多,而且保证了绝大部分点的成功匹配。这是因为利用POS数据可以比较准确地预测到待匹配点的位置,从而提高了影像匹配的成功率,又由于引入核线约束几何条件使影像匹配的结果更加可靠。



(a) 常规方法的匹配点 (b) 基准影像上的待转点 (c) POS辅助方法的匹配点

图4 森林区中198—237影像对自动转点的局部放大图

Fig. 4 Enlarged view of matching result on image pair 198—237

4 结束语

本文探索了利用 POS 获取的影像定向参数辅助航带间影像自动转点的策略,将 POS 数据引入到区域航空摄影测量航带间的影像匹配中,简化了构建自由航带网、人工选取航带间偏移点以及计算航带间空间相似变换参数等繁琐过程,只需进行前方交会获得航带间影像连接点的物方 3 维坐标并利用共线条件方程反投影到待匹配影像上,就可以实现航线间连接点的准确预测。试验表明,相对于常规影像匹配方法,采用 POS 辅助航带间影像匹配策略,航线间影像自动转点的成功率最大提高幅度可达 34.0%,不但能自动转出更多的同名像点,而且影像匹配所消耗的 CPU 时间明显降低了 76.7%。总体而言,本文提出的 POS 辅助航带间影像自动转点方法,不但可以大大简化区域航空摄影测量的作业过程、提高自动化水平,而且可以显著提高航带间影像匹配的成功率和可靠性,特别是在纹理重复和山区影像的匹配中具有良好性能。由于试验数据所限,对于沙漠、戈壁、高原荒漠区影像的普适性还有待进一步试验验证。

参考文献:

[1] CRAMER M, STALLMANN D. On the Use of GPS/Inertial Exterior Orientation Parameters in Airborne Photogrammetry[EB/CD]. Proceedings of OEEPE Workshop Integrated Sensor Orientation. Hannover: [s. n.], 2001.

[2] HEIPKE C, JACOBSEN K, WEGMANN H. The OEEPE Test on Integrated Sensor Orientation—Analysis of Results [EB/CD]. Proceedings of OEEPE Workshop Integrated Sensor Orientation. Hannover: [s. n.], 2001.

[3] HEIPKE C, JACOBSEN K, WEGMANN H. The OEEPE Test on Integrated Sensor Orientation—Results of Phase I [C] // Proceedings of Photogrammetric Week. Stuttgart: [s. n.], 2001: 195-204.

[4] YUAN Xiuxiao, ZHANG Xueping. Theoretical Accuracy of Direct Georeferencing with Position and Orientation System in Aerial Photogrammetry[C] // Proceedings of The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Beijing: [s. n.], 2008, 37(B1): 617-622.

[5] YUAN Xiuxiao, FU Jianhong, Yan Peili, et al. 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, 付建红, 颜佩丽, 等. 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.)

- [6] YUAN Xiuxiao, WU Zhenli, JI Shunping. Theoretical Accuracy Effect on Vertical Parallax of Relativities between Exterior Orientation Elements Obtained via a POS[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2009, 34(8): 889-893. (袁修孝, 吴珍丽, 季顺平. POS 影像外方位元素相关性对模型上下视差理论精度的影响[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2009, 34(8): 889-893.)
- [7] GREENING T, SCHICKLER W, THORPE A. The Proper Use of Directly Observed Orientation Data: Aerial Triangulation is not Obsolete[EB/CD]. Proceedings of 2000 ASPRS Annual Conference. Washington: [s. n.], 2000.
- [8] Yuan Xiuxiao. A Novel Method of Systematic Error Compensation for a Position and Orientation System[J]. Progress in Natural Science, 2008, 18(8): 953-963.
- [9] ZHANG Yong. Vertical Lines Supported Tie Points Auto Extraction of Large Scale Aerial Triangulation over Urban Areas[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2008, 33(6): 556-559. (张勇. 铅垂线辅助的大比例尺城区空三自动转点[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2008, 33(6): 556-559.)
- [10] WALKER A S. Responses to Users: The Continuing Evolution of Commercial Digital Photogrammetry [J]. Photogrammetric Record, 1999, 16(93): 469-483.
- [11] KERSTEN T, REGENSDORF W. Digital Aerial Triangulation in Production—Experiences with Block Switzerland[EB/CD]. Photogrammetric Week '99. Heidelberg: Wichmann Verlag, 1999.
- [12] ZHANG Li. Automatic Digital Surface Model (DSM) Generation from Linear Array Images [D]. Zurich: ETH, 2005.
- [13] LI Deren, YUAN Xiuxiao. Error Processing and Reliability Theory[M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2002. (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.)

(责任编辑: 丛树平)

收稿日期: 2009-04-27

修回日期: 2009-07-20

第一作者简介: 袁修孝(1963—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事航空航天遥感高精度对地目标定位理论与方法、高分辨率卫星遥感影像几何处理等研究与教学工作。

First author: YUAN Xiuxiao(1963—), male, PhD, Professor, PhD supervisor, majors in research and teaching of theory and method for high precision airborne and spaceborne photogrammetric positioning and geometric processing of high-resolution satellite remote sensing imagery.

E-mail: yxxqxhyw@public.wh.hb.cn