

文章编号: 1001-1595(2011)02-0194-06

基于多种同名特征的相对定向方法研究

张永军, 胡丙华, 张剑清

武汉大学 遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079

Relative Orientation Based on Multiple Conjugate Features

ZHANG Yongjun, HU Binghua, ZHANG Jianqing

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

Abstract To resolve the current problems of relative orientation caused by lacking of obvious feature points in applications of industrial and architectural photography, a new method of relative orientation based on multiple conjugate features is proposed based on the theory of generalized point photogrammetry. The models of independent and dependent relative orientation using conjugate lines and circular curves are addressed respectively. Experimental results show that the proposed approach is feasible in practice. It can get reliable results even in the case of relative orientation with conjugate lines, circular curves and a few points.

Key words: conjugate feature; straight line; circular curves; independent relative orientation; dependent relative orientation

摘 要: 为了解决低空摄影测量、建筑摄影测量等领域中缺乏明显特征点给相对定向带来的难题, 基于广义点摄影测量原理, 提出利用多种同名影像特征进行相对定向的方法。详细论述基于同名直线和圆曲线进行独立法相对定向和连续法相对定向的数学模型。大量实际数据的试验结果表明, 该方法切实可行, 能够获得稳定的相对定向结果。

关键词: 同名特征; 直线; 圆曲线; 独立相对定向; 连续相对定向

中图分类号: P237 文献标识码: A

基金项目: 国家自然科学基金(41071233, 40671157); 国家 863 计划(2009AA121403); 中央高校基本科研业务费专项资金(4081001)

基于广义点的摄影测量将传统摄影测量中处理的物理意义上的点扩展到数学意义上的点, 把摄影测量中的所有特征都归结为“点”, 以适合共线或共面方程^[1-2]。传统的相对定向方法只是针对物理意义上的特征点, 通过同名像点的共面条件实现; 而对于建筑物、工业零件等物体, 其上大量存在的是直线、曲线等, 此时传统的相对定向方法无法适用^[3-4]; 另外, 在摄影测量中构建单航带自由网的过程中, 基于同名点的传统相对定向方法构建单航带自由网时, 由于偶然误差的不断累积, 航带方位元素尤其是 Z_s 及 φ 很容易弯曲变形, 而利用直线、曲线等信息进行相对定向时, 由于直线、曲线等具有几何拓扑性和更强的几何约束, 有可能大大减弱航带的弯曲程度。为了克服传统相对定向方法存在的不足, 近几年出现了基于线特征的相对定向方法^[5-12] 及基于广义点的相对定向方法^[13], 并成功应用于城市三维建模、工业摄影测量和飞机飞行姿态的测定等领域中^[14]。但是, 现有方法进行相对定向时需要引入较多的

附加参数, 计算量大, 有时会出现未知参数多于观测方程的情况。本文提出基于多种同名特征的相对定向方法, 其中同名特征在本文中主要指同名点、同名直线和同名圆曲线。

1 同名直线与同名点联合的相对定向

1.1 基本原理

若有立体像对中同名直线段 ab, cd , 其中 a, c, b, d 不要求互为同名点, S_1, S_2 为摄影中心(如图 1), 则 S_1, a, b 三点共面 P_1 , 令其法向量为 $n_1(A, B, C)$; S_2, c, d 三点共面 P_2 , 其法向量为 $n_2(A', B', C')$ 。由于两直线段是地面上同一直线段 l 的成像, 因此平面 P_1, P_2 的延展面必相交, 根据两平面相交理论, 可计算得到交线的方向向量为 $n(BC' - B'C, A'C - AC', AB' - A'B)$, 且交线的方向向量即为该地面直线的方向向量, 从而有以下等量关系:

若 l 是水平直线, 则 Z 方向的分量

$$AB' - A'B = 0 \quad (1)$$

若 l 是垂直线, 则 X 和 Y 方向上的分量

$$\left. \begin{aligned} BC' - B'C &= 0 \\ A'C - AC' &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

将式(1)和式(2)分别用空间辅助坐标表示, 即

$$F = (Y_1Z_2 - Y_2Z_1)(X_4Z_3 - X_3Z_4) - (Y_3Z_4 - Y_4Z_3)(X_2Z_1 - X_1Z_2) = 0 \quad (3)$$

$$F = (X_2Z_1 - X_1Z_2)(X_3Y_4 - X_4Y_3) - (X_4Z_3 - X_3Z_4)(X_1Y_2 - X_2Y_1) = 0 \quad (4)$$

$$F = (Y_1Z_2 - Y_2Z_1)(X_3Y_4 - X_4Y_3) - (Y_3Z_4 - Y_4Z_3)(X_1Y_2 - X_2Y_1) = 0 \quad (5)$$

式中, (X_1, Y_1, Z_1) 、 (X_2, Y_2, Z_2) 为左影像上直线的端点的像空间辅助坐标; (X_3, Y_3, Z_3) 、 (X_4, Y_4, Z_4) 为右影像上对应同名直线的端点的像空间辅助坐标。

以该等量关系代替传统相对定向中的共面条件, 建立误差方程, 求解相对定向元素, 实现像对的相对定向。

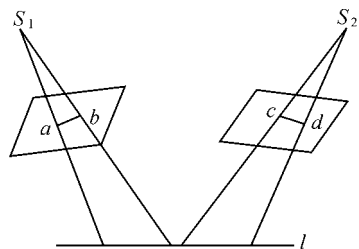


图 1 同名直线相对定向原理示意图

Fig. 1 Relative orientation by corresponding lines

1.2 单独像对的直线相对定向

单独像对相对定向是选用摄影基线为空间辅助坐标系的 X 轴, 此时相对定向元素为 φ_1 、 κ_1 、 φ_2 、 ω_2 、 κ_2 。

将式(3)、式(4)和式(5)分别按多元函数泰勒公式展开, 可得形如以下式(6)的等式

$$F = F_0 + \frac{\partial F}{\partial \varphi_1} d\varphi_1 + \frac{\partial F}{\partial \kappa_1} d\kappa_1 + \frac{\partial F}{\partial \varphi_2} d\varphi_2 + \frac{\partial F}{\partial \omega_2} d\omega_2 + \frac{\partial F}{\partial \kappa_2} d\kappa_2 = 0 \quad (6)$$

式中, F_0 是用相对定向元素的近似值分别代入对应式求得的 F 值, $d\varphi_1$ 、 $d\kappa_1$ 、 $d\varphi_2$ 、 $d\omega_2$ 、 $d\kappa_2$ 为相对定向待定参数的改正数。

将 $F_0 = 0$ 作为检验单独像对相对定向是否完成的标准, 从而列误差方程组进行相对定向的解算。

1.3 连续像对的直线相对定向

连续像对相对定向是假定左影像水平或其方

位元素已知, 此时相对定向元素为 φ 、 ω 、 κ 、 μ 、 ν 。假定左方影像的方位元素已知, 且角元素分别为 φ_0 、 ω_0 、 κ_0 , 则式(3)、式(4)和式(5)中 (X_1, Y_1, Z_1) 、 (X_2, Y_2, Z_2) 为常值, 而 (X_3, Y_3, Z_3) 、 (X_4, Y_4, Z_4) 为 φ 、 ω 、 κ 的函数, 与 μ 、 ν 无关, 从而将此三式分别按多元函数泰勒公式展开得

$$F = F_0 + \frac{\partial F}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial F}{\partial \omega} d\omega + \frac{\partial F}{\partial \kappa} d\kappa = 0 \quad (7)$$

F_0 是用相对定向元素的近似值分别求得的 F 值; $d\varphi$ 、 $d\omega$ 、 $d\kappa$ 为相对定向角元素的改正数。

由于误差方程中只含有角元素, 因此需要联合同名点来联合解算, 才能得到相对定向的 5 个参数。

依据同名点进行相对定向的误差方程为^[14]

$$v_q = - \frac{X_2 Y_2}{Z_2} N' d\varphi - (Z_2 + \frac{Y_2^2}{Z_2}) N' d\omega + X_2 N' d\kappa + B_x d\mu - \frac{Y_2}{Z_2} B_x d\nu - q \quad (8)$$

式中, $q = N Y_1 - N' Y_2 - \mu B_x$, 其他参数意义见相应参考文献。

在点特征和直线特征联合相对定向时, 应合理设置不同特征观测值的权值, 以达到突出精度高的观测值和几何约束条件在解算中的作用。

2 同名圆曲线的相对定向

2.1 基本原理

如图 2 所示, a 、 b 、 c 、 d 分别为地面上明显圆形地物(如井盖等)上的任意点 A 、 B 、 C 、 D 对应的像点, 记其中 A 点在物空间坐标系下的坐标为 $(X_{p_1}, Y_{p_1}, Z_{p_1})$, C 点的坐标为 $(X_{p_2}, Y_{p_2}, Z_{p_2})$, 该圆的圆心 O 为 (X_0, Y_0, Z_0) , 圆半径为 R , 假设该圆水平, 则可令 $Z_{p_1} = Z_{p_2} = Z_0$, 且点 A 、 C 满足 $(X_{p_i} - X_0)^2 + (Y_{p_i} - Y_0)^2 = R^2, (i = 1, 2)$ (9)

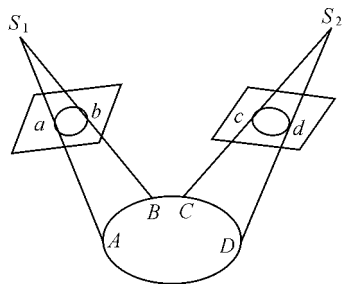


图 2 同名圆相对定向原理示意图

Fig. 2 Relative orientation by corresponding circles

以该等式关系为基础, 在左右影像间建立等量关系式, 进而列误差方程, 求解相对定向元素, 实现像对的相对定向。

设两个摄影中心的坐标分别为 $S_1(X_{S_1}, Y_{S_1}, Z_{S_1})$ 、 $S_2(X_{S_2}, Y_{S_2}, Z_{S_2})$, 则基线向量 $B(B_x, B_y, B_z) = (X_{S_2} - X_{S_1}, Y_{S_2} - Y_{S_1}, Z_{S_2} - Z_{S_1})$ (10)

记圆心在左右影像上对应像点的像空间辅助坐标分别为 (X_{01}, Y_{01}, Z_{01}) 、 (X_{02}, Y_{02}, Z_{02}) 、 N 、 N' 分别为左右影像的点投影系数, 由前方交会得圆心的物空间坐标 (X_0, Y_0, Z_p) 为

$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{B_x Z_{02} - B_z X_{02}}{X_{01} Z_{02} - Z_{01} X_{02}} \\ N' &= \frac{B_x Z_{01} - B_z X_{01}}{X_{01} Z_{02} - Z_{01} X_{02}} \\ X_0 &= X_{S_1} + B_x + N' X_{02} \\ Y_0 &= Y_{S_1} + \frac{1}{2}(N Y_{01} + N' Y_{02} + B_y) \\ Z_p &= Z_{S_1} + B_z + N' Z_{02} \end{aligned} \right\} (11)$$

由三点共线知

对于左影像圆上任一点 a 点满足

$$(X_1, Y_1, Z_1) = k(X_{p_1} - X_{S_1}, Y_{p_1} - Y_{S_1}, Z_{p_1} - Z_{S_1}) \quad (12)$$

式中, k 为像空间辅助坐标与物空间坐标之间的比例系数, 从而

$$\begin{aligned} X_{p_1} &= X_1(Z_p - Z_{S_1})/Z_1 + X_{S_1} \\ Y_{p_1} &= Y_1(Z_p - Z_{S_1})/Z_1 + Y_{S_1} \end{aligned} \quad (13)$$

将式(13)代入式(9)得等式

$$\begin{aligned} &(\frac{X_1}{Z_1}(Z_p - Z_{S_1}) + X_{S_1} - X_0)^2 + \\ &(\frac{Y_1}{Z_1}(Z_p - Z_{S_1}) + Y_{S_1} - Y_0)^2 - R^2 = 0 \end{aligned} \quad (14)$$

同理, 对于右影像圆上任一点 c 可得等式

$$\begin{aligned} &(\frac{X_2}{Z_2}(Z_p - Z_{S_2}) + X_{S_2} - X_0)^2 + \\ &(\frac{Y_2}{Z_2}(Z_p - Z_{S_2}) + Y_{S_2} - Y_0)^2 - R^2 = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

将式(14)和式(15)联立, 以消去未知参数 R , 得

$$\begin{aligned} F &= (\frac{X_2}{Z_2}(Z_p - Z_{S_2}) + X_{S_2} - X_0)^2 + \\ &(\frac{Y_2}{Z_2}(Z_p - Z_{S_2}) + Y_{S_2} - Y_0)^2 - \\ &(\frac{X_1}{Z_1}(Z_p - Z_{S_1}) + X_{S_1} - X_0)^2 - \\ &(\frac{Y_1}{Z_1}(Z_p - Z_{S_1}) + Y_{S_1} - Y_0)^2 = 0 \end{aligned} \quad (16)$$

式中, (X_1, Y_1, Z_1) 、 (X_2, Y_2, Z_2) 为 a 、 c 两点的像空间辅助坐标。

2.2 单独像对的圆曲线相对定向

根据单独像对相对定向原理, 可得

$$B(B_x, B_y, B_z) = (X_{S_2} - X_{S_1}, 0, 0) \quad (17)$$

假定左摄影中心的坐标分量都为 0, 则式(11)可变为

$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{B_x Z_{02}}{X_{01} Z_{02} - Z_{01} X_{02}} \\ N' &= \frac{B_x Z_{01}}{X_{01} Z_{02} - Z_{01} X_{02}} \\ X_0 &= B_x + N' X_{02} \\ Y_0 &= \frac{1}{2}(N Y_{01} + N' Y_{02}) \\ Z_p &= N' Z_{02} \end{aligned} \right\} (18)$$

相应地, 式(16)可变为

$$\begin{aligned} F &= (\frac{X_2}{Z_2} Z_p + B_x - X_0)^2 + (\frac{Y_2}{Z_2} Z_p - Y_0)^2 - \\ &(\frac{X_1}{Z_1} Z_p - X_0)^2 - (\frac{Y_1}{Z_1} Z_p - Y_0)^2 = 0 \end{aligned} \quad (19)$$

根据式(18)中 X_0 、 Y_0 、 Z_p 与相对定向元素的关系, 对式(19)化简并按多元函数泰勒公式展开有

$$\begin{aligned} F &= F_0 + \frac{\partial F}{\partial \varphi_1} d\varphi_1 + \frac{\partial F}{\partial \kappa_1} d\kappa_1 + \frac{\partial F}{\partial \varphi_2} d\varphi_2 + \\ &\frac{\partial F}{\partial \omega_2} d\omega_2 + \frac{\partial F}{\partial \kappa_2} d\kappa_2 = 0 \end{aligned} \quad (20)$$

式中, 参数 F_0 、 $d\varphi_1$ 、 $d\kappa_1$ 、 $d\varphi_2$ 、 $d\omega_2$ 、 $d\kappa_2$ 意义同上。

2.3 连续像对的圆曲线相对定向

根据连续法相对定向原理, 此时相对定向元素为 φ 、 ω 、 κ 、 μ 、 ν 。将基线分量 B_y 、 B_z 用相对定向元素 μ 、 ν 表示, 即

$$B(B_x, B_y, B_z) = (X_{S_2} - X_{S_1}, \mu B_x, \nu B_x) \quad (21)$$

从而, 式(11)可变为

$$\left. \begin{aligned} N &= \frac{B_x (Z_{02} - \nu X_{02})}{X_{01} Z_{02} - Z_{01} X_{02}} \\ N' &= \frac{B_x (Z_{01} - \nu X_{01})}{X_{01} Z_{02} - Z_{01} X_{02}} \\ X_0 &= X_{S_1} + B_x + N' X_{02} \\ Y_0 &= Y_{S_1} + \frac{1}{2}(N Y_{01} + N' Y_{02} + \mu B_x) \\ Z_p &= Z_{S_1} + \nu B_x + N' Z_{02} \end{aligned} \right\} (22)$$

根据式(10)、式(21)和式(22)中各参数与相对定向元素的关系, 对式(16)化简并按多元函数泰勒公式展开有

$$\begin{aligned} F &= F_0 + \frac{\partial F}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial F}{\partial \omega} d\omega + \frac{\partial F}{\partial \kappa} d\kappa + \frac{\partial F}{\partial \mu} d\mu + \frac{\partial F}{\partial \nu} d\nu = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

式中, F_0 是相对定向元素的近似值代入式(16)求

得的 F 值; $d\varphi$ 、 $d\omega$ 、 $d\kappa$ 、 $d\mu$ 、 $d\nu$ 为相对定向的定向元素改正数。

由于不同的圆对应的参数 (X_0, Y_0, Z_p) 不同, 为避免产生过多的附加参数, 本文通过前方交会计算使得 (X_0, Y_0, Z_p) 都由圆心像点的空间辅助坐标和相对定向元素的关系式表示, 从而减小计算量。

3 试验结果与分析

为了验证本文所提出的算法的正确性和实用性, 利用 VC++ 编写了测试程序并对多个模型数据进行了试验, 对比分析所提出的基于多种同名特征的相对定向方法的优缺点。试验数据为一组低空影像数据, 影像的大小为 $3\ 000 \times 4\ 500$ 像素, 镜头焦距为 $24.335\ 5\ \text{mm}$, 像素大小为 $0.008\ \text{mm}$ 。根据影像特征及试验数据的要求, 选择不同的立体像对进行传统相对定向和基于多特征的相对定向试验, 且各相对定向参数的初值设为零。

3.1 直线相对定向

在立体像对中选取若干条同名直线和同名点作为测试数据, 进行相对定向, 输入数据包括同名

直线的两端点和同名点的像平面坐标。在选取数据时尽量使得直线和点均匀分布在像对重叠区域, 保证相对定向结果的可靠性。

3.1.1 试验 1——独立像对相对定向试验

以模型中选取的 3 条同名水平直线、3 条同名垂直线与 10 个同名点作为测试数据。理论上仅利用同名直线也可进行相对定向, 不过为保证定向的精度和可靠性, 一般需要联合同名点进行相对定向。四组数据的独立相对定向试验结果如表 1 左半部分所示(其中试验数据 (sp, cz, pt) 依次表示同名水平直线数、垂直直线数和同名点数, 整体中误差代表整体精度指标与单位权中误差的乘积, 为了中误差较小的数值能够表示清楚, 试验中除单位权中误差外所有数据均取至小数点后 6 位)。

3.1.2 试验 2——连续像对相对定向试验

以同一立体像对中的 3 条同名水平直线、3 条同名垂直线与 10 个同名点作为试验数据, 且已知该立体像对中左影像的方位角元素 φ_0 、 ω_0 、 κ_0 分别为 $0.006\ 330$ 、 $-0.094\ 454$ 、 $0.284\ 277$, 相对定向结果如表 1 右半部分所示。

表 1 基于直线相对定向与传统相对定向结果对照表

Tab. 1 Comparison of relative orientation by lines and traditional method

试验数据 (sp, cz, pt)	独立法相对定向			连续法相对定向				
	参数解算结果	解算精度		迭代 次数	参数解算结果	解算精度		迭代 次数
	单位权 中误差	参数中误差	单位权 中误差			参数中误差		
(0, 0, 10)	$\varphi_1 = 0.028\ 568$	0.001 2	0.000 200	5	$\varphi = 0.047\ 072$	0.001 5	0.000 132	6
	$\kappa_1 = 0.181\ 296$		0.000 564		$\omega = -0.105\ 888$		0.000 088	
	$\varphi_2 = 0.067\ 659$		0.000 242		$\kappa = 0.268\ 811$		0.000 062	
	$\omega_2 = -0.015\ 613$		0.000 085		$\mu = 0.100\ 167$		0.000 587	
(3, 3, 10)	$\kappa_2 = 0.162\ 057$	0.001 1	0.000 555	5	$\nu = -0.032\ 009$	0.001 2	0.000 246	5
	$\varphi_1 = 0.028\ 573$		0.000 179		$\varphi = 0.047\ 071$		0.000 104	
	$\kappa_1 = 0.181\ 310$		0.000 505		$\omega = -0.105\ 890$		0.000 070	
	$\varphi_2 = 0.067\ 664$		0.000 216		$\kappa = 0.268\ 798$		0.000 049	
(3, 0, 4)	$\omega_2 = -0.015\ 611$	0.001 8	0.000 076	5	$\mu = 0.100\ 195$	0.001 8	0.000 464	5
	$\kappa_2 = 0.162\ 063$		0.000 496		$\nu = -0.032\ 015$		0.000 194	
	$\varphi_1 = 0.030\ 932$		0.002 516		$\varphi = 0.048\ 272$		0.000 790	
	$\kappa_1 = 0.181\ 749$		0.002 089		$\omega = -0.105\ 448$		0.000 391	
(3, 3, 4)	$\varphi_2 = 0.070\ 968$	0.001 4	0.003 577	5	$\kappa = 0.268\ 054$	0.002 1	0.000 347	5
	$\omega_2 = -0.015\ 386$		0.000 455		$\mu = 0.098\ 982$		0.002 078	
	$\kappa_2 = 0.161\ 852$		0.001 716		$\nu = -0.035\ 037$		0.001 703	
	$\varphi_1 = 0.030\ 907$		0.001 947		$\varphi = 0.048\ 086$		0.000 580	
(3, 3, 4)	$\kappa_1 = 0.181\ 741$	0.001 4	0.001 621	5	$\omega = -0.105\ 555$	0.002 1	0.000 306	5
	$\varphi_2 = 0.070\ 934$		0.002 769		$\kappa = 0.268\ 152$		0.000 273	
	$\omega_2 = -0.015\ 389$		0.000 353		$\mu = 0.099\ 473$		0.001 769	
	$\kappa_2 = 0.161\ 850$		0.001 333		$\nu = -0.034\ 650$		0.001 320	

表 1 中只有同名点时采用传统相对定向方法进行相对定向。从表 1 可以看出, 无论使用独立法相对定向还是连续法相对定向, 采用同名点和同名直线进行联合相对定向, 在保证解算速度的情况下, 提高了相对定向的稳定性和精度; 在同名点很少、无法利用传统相对定向进行正确定向解算时, 联合水平直线或垂直直线均能获得较理想的相对定向结果, 一定程度上解决了由于同名点不足而无法较准确进行相对定向的难题; 各种情况下的相对定向单位权中误差均优于 1/4 像素, 各未知数中误差也完全合理, 验证了算法的正确性。在直线精度满足要求时, 增加直线特征比点特征更易提高解算精度和可靠性。

3.2 曲线圆的相对定向

在一个立体模型中以左右影像上若干个同名圆

圆心的像点坐标和相应圆上任意 3~ 4 个点的像点坐标以及若干同名点的像点坐标为测试数据, 进行算法测试, 在选取数据时尽量满足直线和点均匀分布在整个影像对上, 以保证相对定向结果的可靠性。

3.2.1 独立像对相对定向试验

以立体模型中选取的 5 个同名圆和 9 个同名点的数据为试验数据, 进行独立像对相对定向, 试验分三组进行, 其相对定向结果如表 2 左半部分所示。

3.2.2 连续像对相对定向试验

以立体模型中 5 个同名圆和 9 个同名点的数据为试验数据, 进行连续像对相对定向, 试验也分三组进行, 已知左影像的方位角元素 φ_0 、 ω_0 、 K_0 , 其值分别为 0.011 419、- 0.039 956、0.286 259, 相对定向结果如表 2 右半部分所示(其中试验数据 (c, pt) 分别表示同名圆曲线数和同名点数)。

表 2 基于圆曲线的相对定向与传统相对定向结果对照表(独立法和连续法)

Tab. 2 Comparison of relative orientation by circular curves and traditional method (independent and dependent)

试验数据 (<i>c, pt</i>)	独立法相对定向			连续法相对定向				
	参数解算结果	解算精度		迭代 次数	参数解算结果	解算精度		迭代 次数
	单位权 中误差	参数中误差			单位权 中误差	参数中误差		
(0, 9)	$\varphi_1 = -0.026\ 019$	0.0012	0.000 237	5	$\varphi = -0.000\ 108$	0.001 1	0.000 145	5
	$K_1 = 0.267\ 781$		0.000 608		$\omega = -0.070\ 919$		0.000 098	
	$\varphi_2 = -0.038\ 086$		0.000 211		$K = 0.235\ 705$		0.000 059	
	$\omega_2 = -0.030\ 752$		0.000 096		$\mu = 0.019\ 486$		0.000 617	
	$K_2 = 0.217\ 681$		0.000 601		$V = 0.036\ 702$		0.000 226	
(4, 9)	$\varphi_1 = -0.026\ 071$	0.0011	0.000 186	5	$\varphi = -0.000\ 157$	0.001 1	0.000 134	4
	$K_1 = 0.267\ 381$		0.000 489		$\omega = -0.070\ 941$		0.000 090	
	$\varphi_2 = -0.038\ 219$		0.000 161		$K = 0.235\ 753$		0.000 052	
	$\omega_2 = -0.030\ 814$		0.000 078		$\mu = 0.019\ 583$		0.000 560	
	$K_2 = 0.217\ 303$		0.000 485		$V = 0.036\ 777$		0.000 205	
(4, 9)	$\varphi_1 = -0.026\ 260$	0.0013	0.000 552	5	$\varphi = -0.000\ 226$	0.001 5	0.000 338	5
	$K_1 = 0.265\ 930$		0.001 164		$\omega = -0.070\ 842$		0.000 207	
	$\varphi_2 = -0.038\ 481$		0.000 353		$K = 0.235\ 871$		0.000 129	
	$\omega_2 = -0.031\ 035$		0.000 194		$\mu = 0.018\ 922$		0.001 249	
	$K_2 = 0.215\ 847$		0.001 201		$V = 0.036\ 783$		0.000 612	
(5, 0)	$\varphi_1 = -0.026\ 336$	0.0012	0.000 521	5	$\varphi = 0.000\ 674$	0.001 2	0.000 433	6
	$K_1 = 0.264\ 863$		0.001 198		$\omega = -0.071\ 299$		0.000 207	
	$\varphi_2 = -0.038\ 256$		0.000 331		$K = 0.235\ 989$		0.000 108	
	$\omega_2 = -0.031\ 213$		0.000 203		$\mu = 0.021\ 619$		0.001 241	
	$K_2 = 0.214\ 807$		0.001 210		$V = 0.036\ 989$		0.000 449	

由表 2 可以看出: 无论采用独立法相对定向思想还是连续法相对定向, 本文方法相对于传统的相对定向方法都有一定改进, 提高了相对定向结果的精度和可靠性, 且在同名点很少甚至没有的情况下, 也能获得理想的相对定向结果。可见

对于同名点数据选取困难的情况, 采用同名圆曲线能够最大限度地保证相对定向结果的合理性。各种情况下的相对定向单位权中误差均优于 1/5 像素, 各未知数中误差也完全合理, 验证了算法的正确性。一般情况下, 参与相对定向的多余观测

值越多,解算精度越高,可靠性越强,因此,在各观测值精度都满足要求时应采用尽量多的观测值。实际应用中对于同时存在直线和圆的立体像对,可以进行直线、圆曲线、同名点的联合相对定向。

4 结 论

详细讨论了基于多种同名特征的相对定向方法,并分别以同名直线和同名圆为例进行相对定向试验,验证了该方法的可行性和有效性。它解决了在同名像点难以获取或者缺乏的情况下的相对定向问题,同时保证了相对定向解算的精度和可靠性,相较于传统的相对定向方法有更强的优越性。充分利用水平和竖直条件作为相对定向的代价函数,因此相对定向结果可望有效控制由于偶然误差二次累积等原因造成的航带自由网扭曲变形,在相对定向结果经常不稳定的低空摄影测量中有较大的应用价值。但文中只讨论了水平直线、垂直直线、圆曲线三种特征,对于一般意义上的线特征尚未涉及,因此本方法适合对含有较多这三种特征的影像尤其是城镇高分辨率数码影像进行相对定向处理,对于含有大量倾斜直线和一般曲线特征的影像,尚有待进一步研究,以扩大方法的普适性。

参考文献:

- [1] ZHANG Zuxun, ZHANG Jianqing. Generalized Point Photogrammetry and Its Application [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2005, 30(1): 1-5. (张祖勋, 张剑清. 广义点摄影测量及其应用[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2005, 30(1): 1-5.)
- [2] KANG Zhizhong, ZHANG Zuxun, YANG Fanlin. Relative Orientation and Epipolar Arrangement Based on Forward Moving Image Pairs along the Optical Axis [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2007, 36(1): 56-61. (康志忠, 张祖勋, 凡凡林. 基于沿主光轴方向摄影立体像对的相对定向与核线排列[J]. 测绘学报, 2007, 36(1): 56-61.)
- [3] ZHANG Yongjun. Reconstruction of Circles and Round Rectangles by Generalized Point Photogrammetry [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2008, 40(1): 136-140. (张永军. 基于广义点摄影测量的圆和圆角矩形三维重建[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2008, 40(1): 136-140.)
- [4] HE Qiao, ZHANG Baoming, GUO Haitao. The Method of Orientation Based on Generalized Point [J]. Journal of Zhengzhou Institute of Surveying and Mapping, 2006, 23(4): 296-298. (何乔, 张保明, 郭海涛. 基于广义点的定向方法[J]. 测绘科学技术学报, 2006, 23(4): 296-298.)
- [5] ZHANG Jianqing, ZHANG Hongwei, ZHANG Zuxun. Exterior

- Orientation for Remote Sensing Image with High Resolution by Linear Feature [C] // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 34. Istanbul: ISPRS, 2004: 1-4.
- [6] PETSA E, KARRAS G E. Constrained Line photogrammetric 3D Reconstruction from Stereopairs [C] // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 33. Amsterdam: ISPRS, 2000: 604-610.
- [7] HEUVEL F A V D. Exterior Orientation Using Coplanar Parallel Lines [C] // Proceedings of the 10th Scandinavian Conference on Image Analysis. Lappeenranta: [s. n.], 1997: 71-78.
- [8] HEUVEL F A V D. A Line photogrammetric Mathematical Model for the Reconstruction of Polyhedral Objects [C] // Proceedings of SPIE: 3641. San Jose: SPIE, 1999: 60-71.
- [9] SMIHT M J, PARK D W G. Towards a New Approach, for Absolute and Exterior Orientation [J]. Photogrammetric Record, 1999, 16(94): 617-623.
- [10] Youngran Lee. Pose Estimation of Line Cameras Using Linear Features [D]. Ohio: Ohio State University, 2002.
- [11] ZALMANSON G H. Hierarchical Recovery of Exterior Orientation from Parametric and Natural 3-D Curves [D]. Ohio: Ohio State University, 2000.
- [12] LIN H T. Autonomous Recovery of Exterior Orientation of Imagery Using Free-form Linear Feature [D]. Ohio: Ohio State University, 2002.
- [13] HE Qiao, ZHAO Yong, ZHANG Baoming, et al. Absolute Orientation and Relative Orientation Based on Generalized Point [J]. Hydrographic Surveying and Charting, 2006, 26(4): 24-26. (何乔, 赵泳, 张保明, 等. 基于广义点的相对定向和绝对定向[J]. 海洋测绘, 2006, 26(4): 24-26.)
- [14] ZHANG Zuxun, ZHANG Yongjun, ZHANG Jianqing. Photogrammetric Modelling of Linear Features with Generalized Point Photogrammetry [J]. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 2008, 74(9): 1119-1129.
- [15] ZHANG Jianqing, PAN Li, WANG Shugen. Digital Photogrammetry [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2006. (张剑清, 潘励, 王树根. 数字摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2006.)

(责任编辑: 丛树平)

收稿日期: 2009-05-14

修回日期: 2010-03-29

第一作者简介: 张永军(1975—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为数字摄影测量与遥感、计算机视觉等。

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