

基于线特征计算像片外方位元素的理论与方法

孟庆堂^{1,2}, 徐琳^{1,2}

(1. 信息工程大学 测绘学院 河南 郑州 450052; 2. 61512 部队 北京 100088)

The Theory and Method to Figure out Exterior Orientation Elements Based on Linear Feature

MENG Qingtang, XU Lin

摘要: 依据空间直线在航摄像片上的投影仍然是直线这一前提, 结合共线条件方程, 通过线性化, 推导基于线特征计算像片外方位元素的误差方程, 并且给出计算过程。最后通过试验验证基于线特征计算像片外方位元素的理论与方法的可行性和可靠性。

关键词: 线特征; 外方位元素; 空间后方交会

一、引言

摄影测量学中的单像空间后方交会来源于测量学中的后方交会, 而在测量学中的后方交会中, 均采用精确的点。目前在摄影测量作业中, 一般都要有若干精确的控制点作为计算依据, 而在影像上和地面上找到精确的点都是一件难以实现的工作。相比之下, 在影像上和地面上找到精确的线和面则更容易实现。虽然可以用影像分割的方法来提取面元素, 但是面元素比线元素要复杂得多, 用简单的兴趣算子往往不能很好地提取到理想的面元素, 而线元素, 特别是直线的提取要相对简单得多^[1]。所以, 本文从线特征着手, 研究利用线特征计算像片外方位元素的理论和方法。

当前, 有一些学者在研究利用线元素和面元素进行摄影测量参数的解算, 如利用线特征进行相对定向和绝对定向^[2], 对零件的尺寸进行检测^[3], 对摄影测量的圆和圆角矩形进行三维重建^[4]等。同时, 张祖勋院士提出了广义点的概念^[5], 而广义点不是真正的控制点, 可以是线段, 也可以是面。

在当前可以获取的数据中, 往往能够很容易地获取精确的 GIS 三维坐标数据和遥感图像数据。同时, 由于 GIS 数据具有属性特征, 从而可以提取出一些特征线段; 而在遥感图像中, 利用兴趣算子也可以提取出一些线段。对这两种数据源进行匹配处理, 就能实现线段的匹配, 然后再把这两种匹配完成的数据作为初始数据, 就可以自动进行像片外方位元素的解算。

二、线特征计算外方位元素的理论和方法

由飞机或卫星拍摄的数字影像, 在摄影测量作业中可以很容易地获取像片上对应地物的框标坐标, 然后经过内方位元素改正得到相应地物的像坐标, 而地物的 GIS 地面三维坐标也是可以从其中获取的。

图 1 为以 O 为原点的像坐标系, 假设坐标系中有一条直线, 直线上有两个像点 A 、 B ; 又假设地面上有一条直线, 直线上两个点 C 、 D , 由于空间直线在航摄像片上的投影仍然是直线, 可以假设两条直线对应, 但点与点不一定对应。

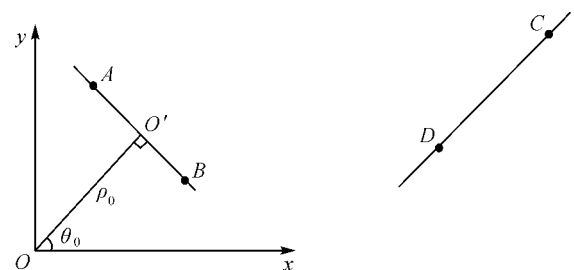


图 1 线特征计算外方位元素的示意图

在图 1 中, 过点 O 作直线 AB 的垂线交直线 AB 于点 O' , OO' 即直线 AB 到原点 O 的距离 ρ_0 , 它和以 x 轴为正方向, 逆时针旋转到 OO' 的角度 θ_0 ($0 \leq \theta_0 < 2\pi$) 满足以下关系式^[6]

$$\rho_0 = x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0 \quad (1)$$

式中 (x, y) 是线段的任意一个点。

ρ_0 和 θ_0 分别满足如下关系

$$\rho_0 = \frac{|x_i y_{i+1} - y_i x_{i+1}|}{\sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}} \quad (2)$$

$$\theta_0 = -\arctan\left(\frac{x_{i+1} - x_i}{y_{i+1} - y_i}\right) \quad \text{其中 } y_{i+1} - y_i \neq 0 \quad (3)$$

在图1中,地面点 $C(X_i, Y_i, Z_i)$ 和 $D(X_{i+1}, Y_{i+1}, Z_{i+1})$ 组成的GIS直线与像坐标系下点 $A(x_i, y_i)$ 和点 $B(x_{i+1}, y_{i+1})$ 组成的直线对应(但 A 不一定对应 C 或 D , B 也不一定对应 C 或 D)。由于地面坐标与像坐标满足的关系是共线条件方程,所以 (x, y) 与地面坐标 (X, Y, Z) 存在如下关系^[7]

$$x = -f \frac{a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \quad (4)$$

$$y = -f \frac{a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s)}{a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s)} \quad (5)$$

式中 (X, Y, Z) 是GIS数据中一直线上地面点的物方坐标; $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$ 是物方空间坐标系与像空系之间的旋转参数; (X_s, Y_s, Z_s) 是摄站在物方空间坐标系的坐标; f 是相机主距。

设

$$\bar{X} = a_1(X - X_s) + b_1(Y - Y_s) + c_1(Z - Z_s) \quad (6)$$

$$\bar{Y} = a_2(X - X_s) + b_2(Y - Y_s) + c_2(Z - Z_s) \quad (7)$$

$$\bar{Z} = a_3(X - X_s) + b_3(Y - Y_s) + c_3(Z - Z_s) \quad (8)$$

那么式(6)~式(8)可以用下式来表示

$$\left. \begin{aligned} x &= -f \frac{\bar{X}}{\bar{Z}} \\ y &= -f \frac{\bar{Y}}{\bar{Z}} \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

将式(9)代入到式(1),经整理得到下式

$$-\rho_0 = f \frac{\bar{X}}{\bar{Z}} \cos \theta_0 + f \frac{\bar{Y}}{\bar{Z}} \sin \theta_0 \quad (10)$$

$$\text{令 } -\rho_0 = f \frac{\bar{X}}{\bar{Z}} \cos \theta_0 + f \frac{\bar{Y}}{\bar{Z}} \sin \theta_0 = M \quad (11)$$

假设外方位元素 $X_s, Y_s, Z_s, \varphi, \omega, \kappa$ 的初值为 $X_s^0, Y_s^0, Z_s^0, \varphi^0, \omega^0, \kappa^0$,则可以将外方位元素的初值计算代入式(11)得到

$$M_{\text{计}} = f \frac{\bar{X}}{\bar{Z}} \cos \theta_0 + f \frac{\bar{Y}}{\bar{Z}} \sin \theta_0 \quad (12)$$

由于 $M_{\text{计}}$ 是由外方位元素的近似值计算得到,所以 $M_{\text{计}} - M$ 的大小与外方位元素初值的近似程度有关,设

$$F(X_s, Y_s, Z_s, \varphi, \omega, \kappa) = f \frac{\bar{X}}{\bar{Z}} \cos \theta_0 + f \frac{\bar{Y}}{\bar{Z}} \sin \theta_0 \quad (13)$$

假设外方位元素的改正数为 $dX_s, dY_s, dZ_s, d\varphi, d\omega, d\kappa$,则可以用泰勒公式将 $M_{\text{计}} - M$ 表示为

$$M - M_{\text{计}} = \frac{\partial F}{\partial X_s} dX_s + \frac{\partial F}{\partial Y_s} dY_s + \frac{\partial F}{\partial Z_s} dZ_s + \frac{\partial F}{\partial \varphi} d\varphi +$$

$$\frac{\partial F}{\partial \omega} d\omega + \frac{\partial F}{\partial \kappa} d\kappa \quad (14)$$

式(14)可以化为下式

$$\begin{aligned} & \frac{\partial F}{\partial X_s} dX_s + \frac{\partial F}{\partial Y_s} dY_s + \frac{\partial F}{\partial Z_s} dZ_s + \frac{\partial F}{\partial \varphi} d\varphi + \\ & \frac{\partial F}{\partial \omega} d\omega + \frac{\partial F}{\partial \kappa} d\kappa - (M - M_{\text{计}}) = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

式(15)就是用线特征计算像片外方位元素的一般形式,下面对各外方位元素进行偏微分。

设

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{\partial F}{\partial X_s} = \frac{f \cos \theta_0}{(Z)^2} \left(\frac{\partial \bar{X}}{\partial X_s} \bar{Z} - \frac{\partial \bar{Z}}{\partial X_s} \bar{X} \right) + \frac{f \sin \theta_0}{(Z)^2} \left(\frac{\partial \bar{Y}}{\partial X_s} \bar{Z} - \frac{\partial \bar{Z}}{\partial X_s} \bar{Y} \right) = \\ & \frac{f \cos \theta_0}{(Z)^2} (-a_1 \bar{Z} + a_3 \bar{X}) + \frac{f \sin \theta_0}{(Z)^2} (-a_2 \bar{Z} + a_3 \bar{Y}) = \\ & \frac{f \cos \theta_0}{Z} \left(-a_1 + a_3 \frac{\bar{X}}{\bar{Z}} \right) + \frac{f \sin \theta_0}{Z} \left(-a_2 + a_3 \frac{\bar{Y}}{\bar{Z}} \right) = \\ & -\frac{\cos \theta_0}{Z} (a_1 f + a_3 (x - x_0)) - \\ & \frac{\sin \theta_0}{Z} (a_2 f + a_3 (y - y_0)) \end{aligned} \quad (16)$$

按相仿的步骤还可得出

$$c_2 = \frac{\partial F}{\partial Y_s} = -\frac{\cos \theta_0}{Z} (b_1 f + b_3 x) - \frac{\sin \theta_0}{Z} (b_2 f + b_3 y)$$

$$c_3 = \frac{\partial F}{\partial Z_s} = -\frac{\cos \theta_0}{Z} (c_1 f + c_3 x) - \frac{\sin \theta_0}{Z} (c_2 f + c_3 y)$$

$$c_4 = \frac{\partial F}{\partial \varphi} =$$

$$-\cos \theta_0 \left[y \sin \omega - \left[\frac{x}{f} (x \cos \kappa - y \sin \kappa) + f \cos \kappa \right] \cos \omega \right] -$$

$$\sin \theta_0 \left[-x \sin \omega - \left[\frac{y}{f} (x \cos \kappa - y \sin \kappa) - f \sin \kappa \right] \cos \omega \right]$$

$$c_5 = \frac{\partial F}{\partial \omega} = -\cos \theta_0 \left[-f \sin \kappa - \frac{x}{f} (x \sin \kappa + y \cos \kappa) \right] -$$

$$\sin \theta_0 \left[-f \cos \kappa - \frac{y}{f} (x \sin \kappa + y \cos \kappa) \right]$$

$$c_6 = -\cos \theta_0 [+y] - \sin \theta_0 [-x] = -y \cos \theta_0 + x \sin \theta_0 \quad (17)$$

而物方空间坐标系与像空系之间的旋转参数 $a_1, a_2, a_3, b_1, b_2, b_3, c_1, c_2, c_3$ 与外方位角元素 φ, ω, κ 之间存在一定的数学关系,参见文献[6]。

由式(16)~式(17)可以组建误差方程

$$V = c_1 dX_s + c_2 dY_s + c_3 dZ_s + c_4 d\varphi + c_5 d\omega + c_6 d\kappa - (M - M_{\text{计}}) \quad (18)$$

式中 $L = M - M_{\text{计}}$

三、线特征计算外方位元素的过程

1. 读入原始数据

原始数据包括:影像的内方位元素,仿射变换

参数 影像上直线段特征(至少 3 条,且两两不能在一条直线上)的扫描坐标和对应线段的 GIS 地面坐标。

2. 确定外方位元素初值

(1) 确定摄站坐标的初值

摄站的平面坐标(X_S, Y_S)应由各 GIS 地面线段上点的平面坐标内插求得。若线段分布对称时,可取线段上点平面坐标的平均值作为摄影站平面位置的初值,摄影站的高度则可取相对航高。

(2) 确定外方位角元素的初值

一般情况下 $\varphi^0 = \omega^0 = \kappa^0 = 0$ 。

3. 组建误差方程式

组建误差方程式的步骤是:

1) 按照式(2)和式(3)计算出各条线段的 ρ_0 和 θ_0 ;

2) 按照角元素的初值,根据式(16)、式(17)构建系数矩阵;

3) 根据式(6)、式(7)、式(8)、式(12),计算 \bar{X} 、 \bar{Y} 、 \bar{Z} 和 $M_{\text{计}}$;

4) 按式(18)组成误差方程

$$A\Delta - L = V \quad (19)$$

式中 $A = [c_1 \ c_2 \ c_3 \ c_4 \ c_5 \ c_6]$; $\Delta^T = [dX_S \ dY_S \ dZ_S \ d\varphi \ d\omega \ d\kappa]$ 。

4. 构建法方程

按最小二乘原理,构建法方程为

$$A^T A \Delta - A^T L = 0 \quad (20)$$

5. 计算外方位元素的改正数

求解法方程,解外方位元素的改正数($dX_S, dY_S, dZ_S, d\varphi, d\omega, d\kappa$)得

$$\Delta = (A^T A)^{-1} A^T L \quad (21)$$

6. 修正像片外方位元素

按式(22)修正像片外方位元素

$$\left. \begin{aligned} X_S^{k+1} &= X_S^k + dX_S^{k+1} \\ Y_S^{k+1} &= Y_S^k + dY_S^{k+1} \\ Z_S^{k+1} &= Z_S^k + dZ_S^{k+1} \\ \varphi^{k+1} &= \varphi^k + d\varphi^{k+1} \\ \omega^{k+1} &= \omega^k + d\omega^{k+1} \\ \kappa^{k+1} &= \kappa^k + d\kappa^{k+1} \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

式中 k 为迭代次数。

重复步骤 3) ~ 步骤 6) 的计算,直至外方位元素改正数的绝对值小于限差为止。

四、试验结果

为了验证本文采用的利用线特征计算外方位元素理论和方法的可行性和可靠性,与控制点计算出的像片外方位元素进行了比较。取一张拍摄广东某地区的航摄照片,拍摄高度 1 800 m,像机主距 156 mm,照片满足 1:10 000 测图要求。在照片上找到 4 个分布比较均匀的点,计算出外方位元素,又在同样的像片上找到与 GIS 数据对应的 13 条线段(线段分布如图 2 所示),计算出像片外方位元素。计算结果如表 1 所示。

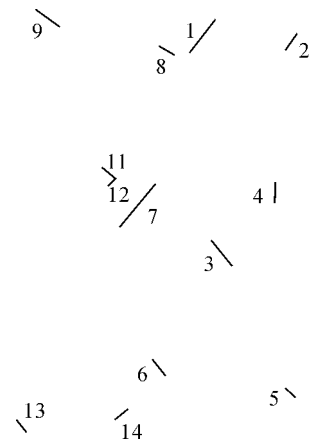


图 2 线特征在照片上的分布图

表 1 像片外方位元素的计算结果比对

参数	X_S	Y_S	Z_S	φ	ω	κ
4 个控制点	2 700.62	7 116.41	1 711.06	-0.024 607 2	0.008 256 17	0.012 294 1
特征线	2 697.84	7 118.33	1 710.92	-0.022 803 6	0.007 131 19	0.012 317 6

从表 1 中可以看出,利用线特征计算外方位元素与利用控制点计算外方位元素得到的结果相似,

表 2 是两种方法的结果比对。在计算出像片外方位元素后,重新将线段加载到航摄像片上,进行对比。

表 2 两种方法计算出的结果比对

参数	ΔX_S	ΔY_S	ΔZ_S	$\Delta \varphi$	$\Delta \omega$	$\Delta \kappa$
结果比对	2.78	1.92	0.14	0.001 803 6	0.001 124 98	0.000 023 5

(下转第 31 页)

五、结束语

利用 CAD 的二次开发功能,自定义了矿图符号绘制的下拉菜单和图像控件菜单,使 CAD 软件的绘图功能与矿山测量制图相结合,大大提高了矿图绘制的效率和规范化,扩充了 CAD 在矿山测量制图中的应用。本次矿图符号库最大的创新点就在于引入了形定义符号,这在 CASS 当中是未曾应用的。它的实用性主要体现在以下两方面:

1) 界面友好,为用户提供了下拉式菜单,各种输入均以对话框形式进行。同时菜单或提示中均以煤矿地质和测量规范规程中通用术语命名,容易掌握,方便操作。矿图符号严格按照《煤矿地质测量图例》制作,符号颜色大小都与其保持高度一致。

2) 引入了形定义符号,相对于 CASS 中的块状符号其占用空间更小,冗余度更低,绘制速度更快。

而且自动实现了图层的切换、线状符号线型和线宽改变。

参考文献:

- [1] 周立吾,张国良,林家聪. 矿山测量学[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1987.
- [2] 中华人民共和国能源部. 煤矿地质测量图例[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1989.
- [3] 李健明. AutoCAD 12.0 应用与开发教程: 二, 二次开发工具及应用编程技术[M]. 北京: 学苑出版社, 1994.
- [4] 张帆,王成煌. AutoCAD VBA 二次开发教程[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [5] 张大长,潘庆林. AutoCAD 环境下地形图符号库的建立[J]. 南京建筑工程学院学报, 1996(4): 48-53.
- [6] 郭金运. 矿图符号库的开发和管理探讨[J]. 山东矿业学院学报, 1998, 17(1): 61-64.

(上接第7页)

图3是用控制点法计算结果叠加到影像上的效果。图4是线特征法计算结果叠加到影像上的效果(因为图幅太大,只显示第1条和第8条线的叠加效果)。



图3 控制点计算结果叠加在影像上的效果



图4 线特征计算结果叠加在影像上的效果

图3和图4表明两种方法计算出的外方位元素都能够满足精度需要,叠加到影像上的线段偏移量很小,用肉眼几乎无法察觉到两幅图像的区别。

五、结束语

利用线特征可以很好地计算出像片的外方位元素,而且精度可以满足需要。但在提取线段的同时,应该注意线段在像片上的分布情况应尽量分布均匀,而且线段的长度应该尽量长,以便减小计算结果误差。

参考文献:

- [1] 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): 7-9.
- [2] 张永军,张祖勋,张剑清. 基于序列图像的工业零件尺寸检测技术[J]. 上海交通大学学报, 2003, 37(9): 37-40.
- [3] 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): 36-39.
- [4] 张祖勋,张剑清. 广义点摄影测量及应用[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2005, 30(1): 1-5.
- [5] 殷硕文. 一种基于线特征的高分辨率遥感影像配准方法[J]. 测绘技术装备, 2007, 9(2): 3-5.
- [6] 张保明,龚志辉,郭海涛. 摄影测量学[M]. 北京: 测绘出版社, 2008.
- [7] 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.