文章编号:1671-8860(2010)04-0427-05 **文献标志码**:A

大旋角影像的绝对定向方法研究

张永军[1] 胡丙华[1] 张剑清[1]

(1 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路 129 号,430079)

摘 要:针对近景摄影测量中影像与地面坐标系间存在大旋转角的问题,在分析现有绝对定向算法的基础上,提出了一种适合大旋转角影像的绝对定向方法,采用奇异矩阵分解获取较准确的角元素初值,并结合最小二乘平差进行粗差剔除和绝对定向精确参数解算。试验表明,本算法计算简单、收敛速度快,具有很好的实用价值。

关键词:绝对定向;大旋角;奇异值分解;数据探测法

中图法分类号:P237.9;P234.1

随着数字摄影测量理论和技术的发展,利用航空(航天)影像进行摄影测量处理已经获得了极大成功和广泛应用,而低空和地面近景摄影测量的研究相对较少[1]。随着高分辨率数字相机的出现以及广泛应用,选择数字相机作为近距离摄影测量和遥感设备是数字时代的必然趋势,以数字相机为主要获取手段的近景摄影测量也成为研究的热点。为了完整覆盖被摄目标,近景摄影往往需要进行大倾角摄影和交向摄影,影像的 3 个外方位角元素在地面坐标系下均呈现大值,而不像传统航空摄影测量一样俯仰和横滚角往往较小。影像坐标系与地面控制点坐标系之间存在很大的旋角,传统航空摄影测量中研究的小旋转角影像绝对定向方法不再适用。为解决传统绝对定向方法在实际应用中存在的不足,目前已提出了许多改进的绝对定向方法,如基于单位四元数的绝对定向直接解法[2],铅垂线辅助城区航空影像的绝对定向方法[3],基于直线特征的自动绝对定向方法[4],无人机航空像片绝对定向非迭代解算方法[5]等。本文提出采用矩阵奇异值分解的方法获取大旋偏角影像的绝对定向角元素初值,结合严密绝对定向模型进行最小二乘平差,以便获取稳定可靠的绝对定向参数。

1 基本原理

1.1 绝对定向的一般模型

设$(\Delta X,\Delta Y,\Delta Z)$为辅助坐标系的原点在绝对坐标系下的坐标;$\boldsymbol{R}$ 为由辅助坐标系到绝对坐标系的旋转变换矩阵;λ 为绝对坐标系中的单位长度相对于辅助坐标系的单位长度的比例常数;(X_{tp},Y_{tp},Z_{tp})、(X_p,Y_p,Z_p)分别为物点在绝对坐标系和辅助坐标系下的坐标;$(X_{tpi},Y_{tpi},Z_{tpi})$、$(X_{pi},Y_{pi},Z_{pi})$分别为特征点(也称控制点)在绝对坐标系和辅助坐标系下的坐标,其中 n 为特征点个数,$i=1,2,\cdots,n$。根据坐标相似变换,则有[6,7]:

$$\begin{bmatrix} X_{tp} \\ Y_{tp} \\ Z_{tp} \end{bmatrix} = \lambda \boldsymbol{R} \begin{bmatrix} X_p \\ Y_p \\ Z_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{bmatrix} \tag{1}$$

绝对定向的目的就是要确定$(\Delta X,\Delta Y,\Delta Z)$、$\lambda$ 和构成旋转矩阵 $\boldsymbol{R}$ 的 3 个角元素 Φ、Ω、K。

1.2 矩阵奇异值分解

奇异值分解(singular value decomposition,SVD)是矩阵理论中一种重要的矩阵分解方法,它在统计分析、最优化问题、信号处理和图像处理等方面都具有重要的应用[8-11]。

1.2.1 矩阵奇异值分解的定义

设矩阵 $\boldsymbol{A}\in \boldsymbol{R}_{m\times n}$,则存在正交矩阵 $\boldsymbol{U}=[u_1,u_2,\cdots,u_m]\in \boldsymbol{R}_{m\times m}$ 及正交矩阵 $\boldsymbol{V}=[v_1,v_2,\cdots,v_n]\in R_{n\times n}$,满足:

$$\boldsymbol{U}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{A}\boldsymbol{V} = \begin{bmatrix} \Sigma & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} = \boldsymbol{S} \tag{2}$$

式中,$\sum=\mathrm{diag}(\sigma_1,\sigma_2,\cdots,\sigma_p)$;$p=\min(m,n)$。由于 $\boldsymbol{U}$、$\boldsymbol{V}$ 都是正交矩阵,于是有:

收稿日期:2010-01-20。

项目来源:国家自然科学基金资助项目(40671157);国家新世纪优秀人才支持计划资助项目(NCET-07-0645)。

$$\boldsymbol{A}=\boldsymbol{USV}^{\mathrm{T}} \tag{3}$$

式中，u_i、v_i 为对应于奇异值 σ_i 的左、右奇异向量、$\boldsymbol{S}$ 为 $\boldsymbol{A}$ 的奇异值矩阵。

式(3)是矩阵的奇异值分解模型，其中 $\boldsymbol{U}$ 是由矩阵 $\boldsymbol{AA}^{\mathrm{T}}$ 对应于其非零特征值的相互正交的单位特征向量所构成的矩阵，$\boldsymbol{V}$ 是由矩阵 $\boldsymbol{A}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{A}$ 对应于其非零特征值的相互正交的单位特征向量所构成的矩阵，$\boldsymbol{S}$ 是由矩阵 $\boldsymbol{R}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{R}$ 的特征值开方所构成的对角矩阵[12]。

1.2.2 矩阵奇异值分解的性质[10]

性质1 奇异值分解的扰动稳定性

设矩阵 $\boldsymbol{A}\in R_{m\times n}$，$\delta\boldsymbol{A}$ 是 $\boldsymbol{A}$ 的一个扰动，定义 $\boldsymbol{A}'=\boldsymbol{A}+\delta\boldsymbol{A}$，$\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{A}'$ 的奇异值分解分别为 $\boldsymbol{A}=\boldsymbol{USV}^{\mathrm{T}}$；$\boldsymbol{A}'=\boldsymbol{U}'\boldsymbol{S}'\boldsymbol{V}'^{\mathrm{T}}$，设矩阵 $\boldsymbol{A}$ 和 $\boldsymbol{A}'$ 按奇异值递减排序的第 i 个奇异值分别为 $s(i)$ 和 $s'(i)$，则有：

$$|s(i)-s'(i)|\leqslant\|\delta\boldsymbol{A}\|_2 \tag{4}$$

这表明如果矩阵扰动很小，则对应奇异值变化也很小，整个奇异值矩阵 $\boldsymbol{S}$ 和 $\boldsymbol{S}'$ 变化也很小。

性质2 矩阵奇异值二次分解不变性

设矩阵 $\boldsymbol{A}=\boldsymbol{USV}^{\mathrm{T}}$，对 $\boldsymbol{S}$ 再次进行奇异值分解，可得：

$$\boldsymbol{S}=\boldsymbol{U}_s\boldsymbol{S}_s\boldsymbol{V}_s^{\mathrm{T}} \tag{5}$$

性质3 矩阵旋转奇异值不变性

矩阵旋转相当于左乘一个正交矩阵 $\boldsymbol{P}$，显然 $\boldsymbol{PA}$ 的奇异值与 $\boldsymbol{A}$ 的奇异值相同。

2 绝对定向元素的解求

在实现大旋角像片的绝对定向方法时，为方便计算，本文采用重心化的空间相似变换式(6)作为绝对定向的依据。该算法是一般线性算法和传统非线性迭代算法的有效综合，采用矩阵奇异值分解的方法来规范旋转矩阵，取代一般线性解法中利用罗德里格矩阵[13]来间接解求旋转矩阵 $\boldsymbol{R}$ 的策略。

$$\begin{bmatrix}\overline{X}_{tp}\\ \overline{Y}_{tp}\\ \overline{Z}_{tp}\end{bmatrix}=\lambda\boldsymbol{R}\begin{bmatrix}\overline{X}_{p}\\ \overline{Y}_{p}\\ \overline{Z}_{p}\end{bmatrix} \tag{6}$$

式中，$(\overline{X}_{tp},\overline{Y}_{tp},\overline{Z}_{tp})$、$(\overline{X}_{p},\overline{Y}_{p},\overline{Z}_{p})$ 为某个点在物方空间坐标系和空间辅助坐标系下的重心化坐标；λ 为比例尺参数；$\boldsymbol{R}$ 为旋转矩阵。

2.1 坐标重心化

坐标重心化是一种很常用的数据预处理方法，它不仅可以减少控制点坐标在计算过程中的有效位数，以保证计算的精度；还可以使法方程式的系数简化，个别项的数值变成0，部分未知数可以分开解求，从而提高计算速度。在绝对定向中一般采用重心化坐标以避免待定未知数 $\mathrm{d}\Delta X$、$\mathrm{d}\Delta Y$、$\mathrm{d}\Delta Z$ 的计算。

2.2 比例尺初值 λ_0 的解算

根据所有控制点在物方空间坐标系和空间辅助坐标系下的重心化坐标，计算模型比例尺参数 λ 的平均值，以此作为比例尺的初始值 λ_0，其求解公式如下：

$$\lambda=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\overline{X}_{tpi}^2+\overline{Y}_{tpi}^2+\overline{Z}_{tpi}^2)}{\sum_{i=1}^{n}(\overline{X}_{pi}^2+\overline{Y}_{pi}^2+\overline{Z}_{pi}^2)}} \tag{7}$$

式中，$(\overline{X}_{tpi},\overline{Y}_{tpi},\overline{Z}_{tpi})$、$(\overline{X}_{pi},\overline{Y}_{pi},\overline{Z}_{pi})$ 为每个像点在物方空间坐标系和空间辅助坐标系下的重心化；n 为像点数。

2.3 角元素的解算

以旋转矩阵的9个元素作为未知数，根据式(6)列线性方程组，解得旋转矩阵 R 的初值。由于旋转矩阵的正交性对矩阵元素来说是非线性约束，造成求解角元素很困难，且这种用欧拉角的形式来确定坐标系的旋转会引起数值解不稳定，特别是当像片旋角较大时，通过线性方程组解算得到的旋转矩阵 $\boldsymbol{R}$ 很可能不具有摄影测量学中定义的旋转矩阵的意义，因此，直接利用这个旋转矩阵来解算3个角元素是不可行的，必须采取一定的措施得到较规范的旋转矩阵。本文采用奇异矩阵分解的方法求解3个角元素。

1) 角元素 Φ、Ω、K 的初值解算。根据矩阵奇异值分解模型式(3)，以旋转矩阵 $\boldsymbol{R}$ 代替式中的矩阵 $\boldsymbol{A}$，进行 $\boldsymbol{R}$ 的奇异值分解，得到两个单位正交矩阵 $\boldsymbol{U}$、$\boldsymbol{V}$，根据这两个矩阵计算新的旋转矩阵 $\boldsymbol{R}$，

$$\boldsymbol{R}=\boldsymbol{UV} \tag{8}$$

若将旋转矩阵表示为：

$$\boldsymbol{R}=\begin{bmatrix}a_1 & a_2 & a_3\\ b_1 & b_2 & b_3\\ c_1 & c_2 & c_3\end{bmatrix} \tag{9}$$

则由旋转矩阵各元素与3个角元素之间的余弦函数关系，可得如下关系式：

$$\Phi=-\arctan\left(\frac{a_3}{c_3}\right),\ \Omega=-\arcsin b_3,$$

$$K=\arctan\left(\frac{b_1}{b_2}\right) \tag{10}$$

将 $\boldsymbol{R}$ 的各元素新值代入式(10)进行计算，得出 Φ、Ω、K 的初始值 Φ_0、Ω_0、K_0。

2) 比例尺参数和角元素的精确值解算。在迭代解算过程中，由于比例尺在初始值的基础上

改变很小,而三个角元素的变动则可能很大,这势必会造成待定参数之间的相互影响,从而导致迭代次数偏多,甚至出现计算错误、迭代不收敛的情况,需要将比例尺参数和角元素参数分开解算。

首先以比例尺 λ 作为已知数,Φ、Ω、K 为未知数,按照式(6)列方程,对其进行线性化。之后采用多元函数的泰勒公式展开,分别从 X、Y、Z 方向上列误差方程组,再进行最小二乘迭代计算,得到比较准确的 Φ、Ω、K 值。然后,以 λ、Φ、Ω、K 为未知数按同样的方法列误差方程进行解算,此时这 4 个参数都很接近准确值。一般情况下,只需要进行少量迭代计算就能达到绝对定向的精度要求。

2.4 平移参数 ΔX、ΔY、ΔZ 的解算

设$(X_{tpg},Y_{tpg},Z_{tpg})$、$(X_{pg},Y_{pg},Z_{pg})$分别为控制点组在物方空间坐标系和空间辅助坐标系下的重心坐标,在求得比例尺和三个角元素的精确值后,直接计算平移参数 ΔX、ΔY、ΔZ:

$$\begin{bmatrix}\Delta X\\ \Delta Y\\ \Delta Z\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}X_{tpg}\\ Y_{tpg}\\ Z_{tpg}\end{bmatrix}-\lambda\boldsymbol{R}\begin{bmatrix}X_{pg}\\ Y_{pg}\\ Z_{pg}\end{bmatrix} \tag{11}$$

2.5 粗差探测和剔除

由于矩阵奇异值分解(SVD)只有抗轻微干扰的能力,对于起始数据中含有明显噪声即粗差点情况,该方法也不能得到理想的绝对定向结果,因此需要采取一定的措施消除或减弱粗差的影响。常用的粗差探测和定位方法有将粗差归入函数模型的粗差检测方法和将粗差归入随机模型的粗差定位方法[14]。

本文算法中通过连续使用一维的数据探测法来发现多个粗差,虽然最小二乘法使粗差有平摊的现象,造成数据探测中标准化残差最大的观测值很可能并不包含粗差,从而引起误判,但对于绝大多数网来说,粗差会反映到相应观测值的残差中[15]。因此,为避免由于粗差探测引起计算量很大,用数据探测法来剔除粗差是简便可行的。

需要说明的是,一旦某个控制点被作为粗差剔除,则数据的重心化坐标必须重新计算,以便消除粗差点带来的影响,获得更为合理的解算结果。

3 试验结果与分析

为了验证本文所述方法的正确性,利用由 176 幅实际航空数码影像(6 条航带,每条航带约 30 幅影像)构成的测区经过影像匹配及自由网构建获得的地面控制点模型坐标进行绝对定向试验计算,并与绝对定向的一般线性解法[16]和传统迭代方法的计算结果进行对比分析。控制点的地面坐标由差分 GPS 测量获得,点位精度约 0.04 m。由于航线较长,自由网平差获得的控制点模型坐标存在一定的变形,因此,预计绝对定向精度约 5 m。试验分四组进行,除第三组试验的控制点模型坐标为模拟数据外,其余试验均采用实际数据。第一组试验的控制点数为 4 个,直接采用控制点的模型坐标与地面坐标进行绝对定向。由于试验数据为航空影像,因此绝对定向的旋角较小,目的在于验证所提出的绝对定向方法是否适合解决旋角较小的绝对定向问题。第二组试验数据与第一组相同,但将控制点的模型坐标人为进行大角度旋转变换,目的在于验证所提出的绝对定向方法在控制点较少的情况下是否能解决大旋角绝对定向问题。第三组试验的控制点为 8 个,为了验证所提出的绝对定向方法的实际解算精度是否与理论精度吻合,并与其他各种方法的解算结果进行比较,本组试验的控制点模型坐标采用模拟数据。第四组试验的控制点数为 52 个,部分数据含有明显粗差,控制点的模型坐标人为进行大角度旋转变换,目的在于验证所提出的绝对定向方法的抗粗差性能。

第一组试验数据的解算结果对比如表 1 所示,可以看出,对于像片旋角较小的立体模型,本文推导的大旋角像片的绝对定向方法与传统非线性迭代解法相比较,其定向精度和速度方面都有所提高,而一般线性解法虽然不需要迭代,计算速度快,但定向精度较低,很难满足实际应用要求。

第二组试验数据是在第一组试验数据的基础上按 $\Phi=30°$,$\Omega=60°$,$K=90°$旋转后生成的像片旋角较大的立体模型,用该测试数据进行绝对定向,其解算结果如表 2 所示。由表 2 可以看出,经传统非线性迭代解法虽然能收敛,但得出的比例尺为负值,这与实际是相违背的,因此在像片旋角较大时不能直接解求绝对定向的七个元素,比例尺参数受其他参数的影响很大,一起解算很难得出正确结果;而本文提出的大旋角像片的绝对定向方法可以正确收敛,分析表 1 和表 2 中用该方法进行绝对定向的解算结果,进行还原计算,可以得出,本文提出的绝对定向方法能解决大旋角绝对定向问题,且其定向效果很理想。

第三组试验数据的解算结果对比如表 3 所示,可以看出,对于像片旋角较大的立体模型,绝对定向的传统非线性迭代解法不收敛,一般线性解法结果很差;而本文提出的大旋角像片的绝对

定向方法比及一般线性解与最小二乘法结合的解法，虽然计算时间略长，但其绝对定向精度高，而且迭代计算次数少，说明该算法相较于以往一些典型绝对定向算法都有一定的改善。

第四组数据共包括52个控制点，在进行大旋角绝对定向测试时，选择在4个控制点的坐标分量上加上或减去一定的粗差，其中第1号点的X_{tp}减50 m、第3号点的Y_{tp}加40 m、第38号点的X_{tp}减60 m、第52号点的Y_{tp}加50 m的粗差，以此含粗差的数据进行绝对定向，并与无粗差情况下的解算结果进行对比，试验结果如表4所示。由表4可以看出，尽管试验数据中包含约10～15倍中误差的3个粗差观测值，本文提出的大旋角像片的绝对定向方法仍然能够快速收敛；进行粗差剔除后获得的解算结果与不含粗差时完全一致；而不进行粗差剔除时的单位权中误差明显较大，与误差统计理论一致。

表1 小旋角像片的绝对定向结果对照表(4个控制点)

Tab.1 Comparison of Absolute Orientation Results with Small Rotation Angles(4 GCPs)

绝对定向方法	初值	绝对定向角元素和比例因子的计算值				单位权中误差/m	迭代次数	计算时间/ms
本文大旋角像片绝对定向	无	$\lambda=13.459\ 115$	$\triangle X=4\ 942.392$ $\Phi=0.014\ 247$	$\triangle Y=3\ 047.324$ $\Omega=-0.008\ 129$	$\triangle Z=1\ 109.792$ $K=-0.009\ 091$	4.898	5	0.191
一般线性解法	无	$\lambda=13.459\ 177$	$\triangle X=4\ 940.569$ $\Phi=0.026\ 413$	$\triangle Y=3\ 074.714$ $\Omega=-0.015\ 267$	$\triangle Z=1\ 069.118$ $K=-0.016\ 890$	28.003	0	0.035
传统非线性迭代解法	$\lambda=1,\Phi=0$ $\Omega=0,\Omega=0$	$\lambda=13.459\ 115$	$\triangle X=4\ 942.392$ $\Phi=0.014\ 247$	$\triangle Y=3\ 047.323$ $\Omega=-0.008\ 129$	$\triangle Z=1\ 109.793$ $K=-0.009\ 091$	5.744	4	0.324

表2 大旋角像片的绝对定向结果对照表(4个控制点)

Tab.2 Comparison of Absolute Orientation Results with Large Rotation Angles(4 GCPs)

绝对定向方法	初值	绝对定向角元素和比例因子的计算值				单位权中误差/m	迭代次数	计算时间/ms
本文大旋角像片绝对定向	无	$\lambda=13.459\ 116$	$\triangle X=4\ 942.391$ $\Phi=-1.026\ 189$	$\triangle Y=3\ 047.324$ $\Omega=0.527\ 368$	$\triangle Z=1\ 109.791$ $K=-1.584\ 203$	4.898	5	0.225
传统非线性迭代解法	$\lambda=1,\Phi=0$ $\Omega=0,K=0$	$\lambda=-13.459\ 11$	$\triangle X=4\ 948.008$ $\Phi=1.044\ 491$	$\triangle Y=3\ 036.009$ $\Omega=0.536\ 683$	$\triangle Z=-129.743$ $K=1.575\ 609$	6.047	11	0.768

表3 大旋角像片的绝对定向结果对照表(8个控制点)

Tab.3 Comparison of Absolute Orientation Results with Large Rotation Angles(8 GCPs)

绝对定向方法	初值	绝对定向角元素和比例因子的计算值				单位权中误差/m	迭代次数	计算时间/ms
本文大旋角像片绝对定向	无	$\lambda=11.955\ 131$	$\triangle X=4\ 967.524$ $\Phi=-1.150\ 891$	$\triangle Y=3\ 030.492$ $\Omega=0.618\ 539$	$\triangle Z=1\ 122.098$ $K=-1.447\ 465$	0.043	2	0.197
一般线性解法	无	$\lambda=11.955\ 132$	$\triangle X=4\ 507.963$ $\Phi=-0.964\ 132$	$\triangle Y=2\ 689.939$ $\Omega=1.179\ 078$	$\triangle Z=908.107$ $K=-0.688\ 504$	71.859	0	0.039
一般线性解法+最小二乘解法	无	$\lambda=11.955\ 131$	$\triangle X=4\ 967.524$ $\Phi=-1.150\ 891$	$\triangle Y=3\ 030.492$ $\Omega=0.618\ 539$	$\triangle Z=1\ 122.097$ $K=-1.447\ 465$	0.046	5	0.177
传统非线性迭代解法	$\lambda=1,\Phi=0$ $\Omega=0,K=0$	不收敛						

表4 无粗差和含粗差数据的绝对定向结果对照表(52个控制点)

Tab.4 Comparison of Absolute Orientation Results without and with Gross Error(52 GCPs)

绝对定向方法	实际参与解算的控制点数	绝对定向角元素和比例因子的计算值				单位权中误差/m	迭代次数	计算时间/ms
无粗差	52	$\lambda=13.369\ 238$	$\triangle X=4\ 933.155$ $\Phi=-1.106\ 145$	$\triangle Y=3\ 036.496$ $\Omega=0.613\ 450$	$\triangle Z=1\ 106.469$ $K=-1.455\ 168$	3.723	3	0.902
含粗差(剔除粗差)	48	$\lambda=13.372\ 500$	$\triangle X=4\ 931.753$ $\Phi=-1.105\ 933$	$\triangle Y=3\ 036.819$ $\Omega=0.613\ 330$	$\triangle Z=1\ 106.222$ $K=-1.455\ 421$	3.789	5	1.418
含粗差(不剔除粗差)	52	$\lambda=13.365\ 655$	$\triangle X=4\ 934.433$ $\Phi=-1.105\ 551$	$\triangle Y=3\ 045.920$ $\Omega=0.615\ 243$	$\triangle Z=1\ 106.327$ $K=-1.456\ 188$	8.296	3	0.917

参 考 文 献

[1] 张祖勋. 数字摄影测量的发展与展望 [J]. 地理信息世界, 2004, 2(3): 1-5

[2] 江刚武, 王净, 张锐. 基于单位四元数的绝对定向直接解法[J]. 测绘科学技术学报, 2007, 24(3): 193-195

[3] 张剑清, 张勇, 方芳. 铅垂线辅助城区航空影像的绝对定向[J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2007, 32(3): 197-200

[4] 张祖勋, 张宏伟, 张剑清. 基于直线特征的遥感影像自动绝对定向[J]. 中国图像图形学报, 2005, 10(2): 213-217

[5] 程超, 段连飞, 李金, 等. 无人机航空像片绝对定向非迭代解算方法研究[J]. 海洋测绘, 2008, 28(5): 49-52

[6] 张剑清, 潘励, 王树根. 摄影测量学 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003

[7] 王之卓. 摄影测量原理 [M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2007

[8] Liu Ruizhen, Tan Tieniu. SVD-Based Watermarking Scheme for Protecting Rightful Ownership [J]. IEEE Trans. on Multimedia, March 2002, 4(1): 121-128

[9] Lu X, Ou Jikun, Song S L, et al. Minimum Norm Method of Analyzing Ill-conditioned State of Design Matrix in Estimation of Parameters [J]. 中国有色金属学会会刊(英文版), 2003, 13(3): 724-728

[10] 李斌. 隐写术和数字水印技术中的矩阵奇异值分解方法 [D]. 上海:华东师范大学, 2007

[11] 叶松林. 矩阵奇异值分解及其应用研究 [J]. 勘察科学技术, 1996(5): 41-44

[12] 苏育才, 姜翠波, 张跃辉. 矩阵理论 [M]. 北京: 科学出版社, 2006

[13] 张钧, 柳健. 利用罗德里格矩阵确定三维表面重建中的绝对定向模型 [J]. 红外与激光工程, 1998, 27(4): 30-32

[14] 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

[15] 张正禄, 张松林, 罗年学, 等. 多维粗差定位与定值的算法研究及实现 [J]. 武汉大学学报·信息科学版, 2003, 28(4): 400-404

[16] 胡永胜, 李海鸿. 绝对定向的一种线性解法[J]. 武测科技, 1990(3): 16-21

第一作者简介:张永军,教授,博士生导师。现主要从事数字摄影测量与遥感、计算机视觉等方面的研究。
E-mail:zhangyj@whu.edu.cn

Absolute Orientation of Large Rotation Angle Images

ZHANG Yongjun[1]　*HU Binghua*[1]　*ZHANG Jianqing*[1]

(1　School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, 430079)

Abstract: Absolute orientation is one of the fundamental issues in Photogrammetry and Remote Sensing. It is also an important topic in computer vision and three-dimensional reconstruction. To overcome the problem of large rotation angles between model coordinates of images and the corresponding world coordinates in close range applications, a new method of absolute orientation which is suitable for large oblique angle image is proposed. Singular value decomposition of rotation matrix is used to obtain accurate initial values of the angular elements. Least squares adjustment with gross error detection is also performed to achieve precise results of absolute orientation. Experimental results show that the proposed algorithm is effective and has well potential in various absolute orientation applications.

Key words: absolute orientation; large rotation angle; singular value decomposition; data snooping

About the first author: ZHANG Yongjun, professor, Ph. D supervisor. He is mainly engaged in digital photogrammetry and remote sensing, computer vision. One of the representative results is the GPS/IMU supported bundle block adjustment system.
E-mail: E-mail:zhangyj@whu.edu.cn