

文章编号 1004-924X(2009)11-2786-08

光电经纬仪单站空间余弦及多 站面面交汇的飞机姿态测量

赵立荣, 柳玉晗, 朱 玮, 曹永刚, 于晓波

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033)

摘要: 为了实现飞机姿态的测量, 提出用光电经纬仪单站空间余弦姿态测量方法及多站面面交汇测量方法来获得飞机姿态参数。经纬仪单站加距离信息测量飞机姿态时, 采用穷举法获得飞机轴线上的特征点, 利用空间的位置关系获得空间姿态参数; 经纬仪多站交汇方法获得飞机飞行姿态参数时, 首先采用 Hough 变换对二维平面图像拟合获得目标中轴线, 然后计算原点到目标的中轴线的垂直距离及原点到目标的中轴线的法线与 X 轴正向的夹角, 获得目标在二维平面的直线方程。目标图像的二维中轴线与摄影系统的光学中心唯一确定了一个空间平面, 采用面面交汇的方法, 获得空间中轴线, 得到飞机轴线的偏航角及俯仰角。实验结果表明, 单站测量目标姿态在距离 $< 6\ 000\ \text{m}$ 时, 姿态角测量误差 $< 1^\circ$; 多站测量目标姿态在交汇角为 $30 \sim 150^\circ$ 时, 姿态角测量误差 $< 0.6^\circ$ 。精度比对结果表明, 本文采用的数学模型正确、算法合理, 有效提取了飞机的姿态参数。

关键词: 光电经纬仪; 飞机姿态; Hough 变换; 面面交汇方法

中图分类号: V556; TP391.4 **文献标识码:** A

Measurement of aircraft attitude by spatial cosine relationship in single-station and planes to intersection in multi-station of electro-optical theodolite

ZHAO Li-rong, LIU Yu-han, ZHU Wei, CAO Yong-gang, YU Xiao-bo

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: In order to realize the aircraft attitude measurement, this paper presented measurement methods to obtain the aircraft attitude by using the spatial cosine relationship in the single-station theodolite and using the planes to intersection in the multi-station theodolite. When the single-station theodolite was introduced in a measured distance from the aircraft posture information, an exhaustive approach was used to access to the aircraft axis of the feature points and the location in the space was used to obtain space posture parameters. When the multi-station theodolite was introduced to get the information of the aircraft flight attitude by using the planes to intersection, a two-dimensional image was used to obtain the objective axis by Hough transform fitting algorithm. And then, the vertical dis-

收稿日期: 2009-08-31; 修订日期: 2009-09-18.

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划资助项目 (No. 2006AA703104)

tance of the origin to the central axis of a target and the angle between the central axis normal of the target and the X-axis were calculated to obtain the linear equation in the two-dimensional plane. The two-dimensional axis of target image and the camera system's optical center can only identify a space plane, then the planes to the intersection method was used to obtain the space axis and to get the aircraft yaw axis angle and pitch angle. Experimental results show that that of the single-station theodolite is less than 1° when its distance is less than 6 000 m and that of the multi-station theodolite is less than 0.6° when its intersection angle is between 30° and 150° . According to the test results of the precision comparing, it is concluded that the mathematical model is correct and the algorithm is reasonable in extracting effectively parameters of the aircraft's attitude.

Key words: electro-optical theodolite; aircraft attitude; Hough transform; planes to intersection method

1 引言

现代武器系统的发展对光电经纬仪在测量领域的应用提出了更高的要求,即除了传统的弹道测量外,还要对目标姿态参数进行测量。在三维空间中识别飞机时,飞机在空间的姿态具有随机性,从不同的视角去观察时,其目标图像各不相同,形状比较复杂。三维姿态参数是反映飞机飞行状态的重要参数,因此,利用经纬仪测量飞机的姿态参数有着重要的意义^[1-5]。

在飞机姿态测量中大多采用模型库的方式。文献[6]将小波不变矩用于三维飞机目标的识别,先采用 CCD 成像传感器拍摄不同姿态的二维飞机图像,建立完整的飞机图像模型库,然后提取这些二维图像的小波不变矩,用改进的 BP 神经网络为分类器进行三维飞机图像的识别;文献[7]利用广义点反馈迭代的最小二乘方法和模拟影像与真实影像匹配的目标姿态跟踪求解方案;文献[8]利用 Hu 不变矩和仿射不变矩提取目标的特征量,并建立了飞机红外图像的姿态库,这几种方法都需要建立模型库,操作比较复杂。

由于实际工作中采用经纬仪单站测量布站较灵活,所以单站进行姿态测量成为靶场测量的常用方法。本文提出了单站经纬仪在有距离信息时测姿态的方法,并推导了求解公式;同时也介绍了多站求取飞机空间中轴线的方法。通过分析飞机的测量数据,对两种方法的测量精度进行了比较。实际工作证明了经纬仪单站及多站飞机姿态的测量方法简单有效。

2 工作原理

本文分两部分介绍经纬仪单站数据获得飞机姿态及多站数据获得飞机姿态的方法,在实际工作中要首先判断是单站数据还是多站数据。单站获得飞机姿态参数,首先获得二维图像目标轴线上两个特征点的参数,在已知目标的实际尺寸及距离时,利用余弦定理,在空间推得两个特征点的空间坐标。多站获得飞机姿态时,分别求得两站飞机平面中轴线,利用面面交汇获得飞机空间中轴线,得到飞机的姿态参数。工作流程图如图 1 所示。

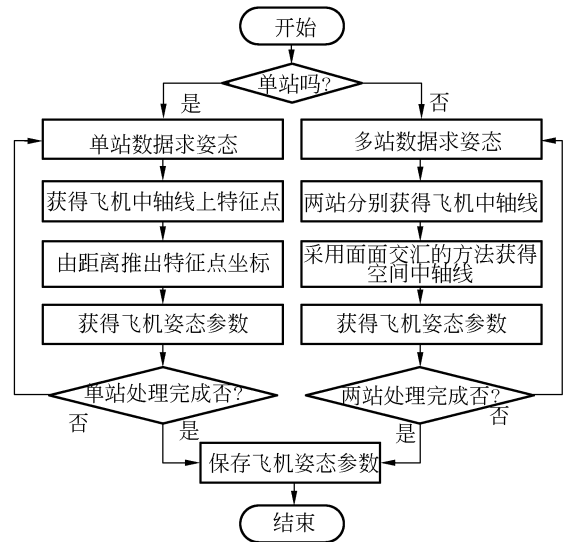


图 1 工作流程图

Fig. 1 Flowchart of job

2.1 单站求飞机姿态

2.1.1 单站确定空间目标的位置公式

经纬仪在单站有激光测距提供的距离信息情

况下,利用二维图像判读获得的脱靶量及编码器信息,得到特征点的 A 、 E 值,利用公式(1)获得特征点空中位置坐标。

$$\begin{cases} X = X_0 + R \cos A \cos E \\ Y = Y_0 + R \sin E \\ Z = Z_0 + R \sin A \cos E \end{cases}, \quad (1)$$

式中: (X_0, Y_0, Z_0) 为该测站在发射坐标系中的站址坐标; R 为经纬仪到目标的斜距; A 、 E 为目标的方位、高低角。

2.1.2 空间余弦法求特征点的坐标

利用穷举法搜索目标边缘点,过飞机图像的心形做直线,在该直线上寻找飞机图像的另一侧边缘点(灰度突变点),两侧边缘点经过形心的距离最长的线段对应的即为飞机图像轴线方向,两侧边缘点所在位置分别为机头位置 M_1 及机尾位置 M_2 。在单站图像上利用编码器值及目标脱靶量可获得 M_1 和 M_2 的方位角及高低角。如图 2 所示, M_1 、 M_2 方位角、高低角分别为 (A_1, E_1) 、 (A_2, E_2) , L 为已知飞机的头尾轴线长度, $L = M_1 M_2$, R_1 为经纬仪上激光测距所获得的距离信息, $OM_1 = R_1$, 计算 R_2 的值, $R_2 = OM_2$ 。设 $\alpha = \angle BM_1 M_2$, $BM_1 = P_1 P_2$ 。

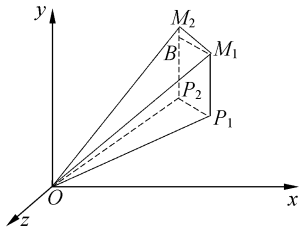


图 2 特征点空间位置

Fig. 2 Space position of character dot

利用余弦定理在三角形 $\triangle OP_1 P_2$ 中计算。

$$\begin{aligned} (L \cos \alpha)^2 &= (R_1 \cos E_1)^2 + (R_2 \cos E_2)^2 - \\ &2 \times (R_1 \cos E_1) \times (R_2 \cos E_2) \times \cos(A_1 - A_2). \end{aligned} \quad (2)$$

在三角形 $\triangle OM_2 P_2$ 中,

$$R_1 \sin E_1 + L \sin \alpha = R_2 \sin E_2. \quad (3)$$

由式(2)、(3)求得 R_2 的一元二次方程为:

$$\begin{aligned} R_2^2 - 2R_1 (\cos E_1 \cos E_2 \cos(A_1 - A_2) + \\ \sin E_1 \sin E_2) R_2 + R_1^2 - L^2 = 0. \end{aligned} \quad (4)$$

由式(4)解得:

$$R_2 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}, \quad (5)$$

其中: $a = 1$, $b = -2R_1 (\cos E_1 \cos E_2 \cos(A_1 - A_2) + \sin E_1 \sin E_2)$, $c = R_1^2 - L^2$ 。

由公式(5)可获得 R_2 , 当 R_2 已知时, 利用公式(1)可获得特征点 M_2 的坐标值。

2.1.3 单站具有距离信息的目标姿态计算

单站目标位置计算公式如式(1)所示。通过获得飞机的特征点的位置, 来求飞机轴线方程。

飞机轴线上两个特征点坐标分别为 (x_1, y_1, z_1) , (x_2, y_2, z_2) 。

其空间中轴线的姿态角为:

方位角:

$$\Psi = \arctan((z_2 - z_1) / (x_2 - x_1)), \quad (6)$$

俯仰角:

$$\Phi = \arctan((y_2 - y_1) / \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}). \quad (7)$$

2.2 多站图像确定空间目标的三维姿态

根据摄像测量设备拍摄目标的数字图像, 应用数字图像处理技术可以确定所拍摄目标图像的二维中轴线, 这种中轴线可以看作是目标空间中轴线的投影。这个目标图像的二维中轴线与摄影系统的光学中心唯一确定了一个空间平面, 目标的空间中轴线必然在这个平面上。对于多台摄像测量设备(多于两台)来说, 目标的空间中轴线也必然在各个摄影测量设备的二维中轴线与光学中心所确定的平面上, 或者说目标的空间中轴线必然是这些平面的公交线。如果各个摄像测量设备所拍摄的目标图像的二维中轴线已确定, 那么目标的空间中轴线就可以确定, 它就是这些平面的交线, 从而得到空间飞行目标的三维飞行姿态参数俯仰角和偏航角, 这是面面交会的测量原理, 其示意图见图 3。图中 O_1, O_2 分别是两个相机的光

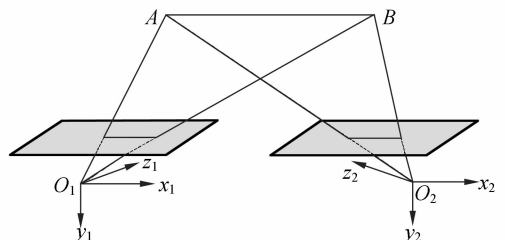


图 3 交汇原理

Fig. 3 Principle of intersection

学中心,线段 AB 是目标的空间中轴线,它是平面 ABO_1 和平面 ABO_2 的交线。

2.2.1 目标二维中轴线的提取

Hough 变换工作原理:对于空间中的任意一点 (x_0, y_0) ,利用变换 $r = x \cos \theta + y \sin \theta$ 将其变换为参数空间 (θ, r) 中的一条曲线 $r = x_0 \cos \theta + y_0 \sin \theta$ 。对位于同一条直线 L 上的 n 点逐点进行上述变换,则在参数空间 (θ, r) 中对应地得到 n 条曲线。这 n 条曲线必定经过同一点 (θ_0, r_0) , θ_0, r_0 为确定该直线极坐标方程的参数,找到参数空间中的 (θ_0, r_0) 点即可解得直线^[9]。

飞机所成的图像是对称的圆锥体。对图像进行二值化处理后,采用 Hough 变换,再拟合获得相对平行的边缘直线,如图 8 所示即为 Hough 变换结果。根据这两条直线求出的中心线,就是目标图像的二维中轴线。

飞机图像的二维中轴线的直线方程为

$$X \cdot \cos \alpha + Y \cdot \sin \alpha - P = 0, \quad (8)$$

式中:

α 为直线的法线与 X 轴的夹角,取值为 $0^\circ \sim 360^\circ$; P 为直线到原点的距离,详见图 4 所示。

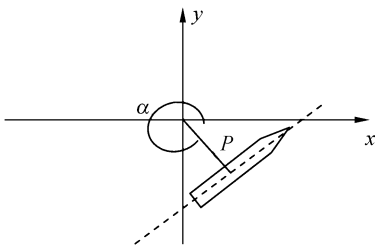


图 4 二维中轴线

Fig. 4 Middle axis line of plane

2.2.2 面面交汇测量目标的空间中轴线

目标图像的二维中轴线与光学系统中心可以唯一确定一个空间平面。由于相机为物方无穷远,焦面就是投影面像面,若光学系统的焦距为 f ,建立以光学系统中心为原点的空间坐标系,其 X, Y 轴分别与像平面 X, Y 轴平行, Z 轴为光轴,称其为相机的投影坐标系^[10]。在相机的投影坐标系下,子弹图像的二维中轴线与光学系统中心确定的这个空间平面的平面方程为:

$$X \cdot \cos \alpha + Y \cdot \sin \alpha - \frac{P}{f} \cdot Z = 0. \quad (9)$$

如果各个摄像测量设备所拍摄目标图像的二维中轴线已确定,那么目标的空间中轴线就是各

个摄像测量设备的二维中轴线与光学中心所确定平面的交线。在交汇前,需要将各个摄像测量设备投影坐标系下的平面方程转换为同一的全局空间坐标系下的平面方程。

相机的投影坐标系如前所述,其原点为光学系统中心, Z 轴为光轴, X, Y 轴分别与像平面 X, Y 轴平行(而像平面的 X 轴与水平面平行)。在全局的空间目标坐标系中,可以测试各个相机的中心位置(相机高度),以及相机光轴的方位角和俯仰角,由光轴的方位角和俯仰角,可求出光轴(即 Z 轴)在全局空间目标坐标系中的方向余弦。根据相机中心位置和相机焦距 f 以及光轴的方向余弦,可以确定投影坐标系原点在全局空间目标坐标系中的位置。光轴与投影面垂直,投影坐标系像面坐标的 X 轴又与水平面平行,根据光轴(即 Z 轴)的方向余弦和 X, Y 轴的设置,又可以确定 X 轴和 Y 轴的方向余弦。因而,投影坐标系与全局空间目标坐标系之间可进行坐标变换^[11]。

设相机投影坐标系的原点 O_1 在全局空间目标坐标系中的位置为 (O_{1x}, O_{1y}, O_{1z}) , 其坐标轴 X_1, Y_1, Z_1 的方向余弦分别为 $(L_x, L_y, L_z), (M_x, M_y, M_z), (N_x, N_y, N_z)$ 。根据投影点(像点)在投影面上的坐标 (X_1, Y_1, Z_1) , 即投影坐标系上的坐标 (X_1, Y_1, Z_1) , 进行坐标变换为:

$$\begin{cases} X = L_x X_1 + M_x Y_1 + N_x Z_1 + O_{1x} \\ Y = L_y X_1 + M_y Y_1 + N_y Z_1 + O_{1y} \\ Z = L_z X_1 + M_z Y_1 + N_z Z_1 + O_{1z} \end{cases}, \quad (10)$$

可以将相机投影坐标系下的平面方程转换成全局空间目标坐标系下的平面方程。

将各个摄影测量设备的投影坐标系下的平面方程转换成同一的全局空间坐标系下的平面方程以后,就可以交汇求出这些平面的交线,即求出目标的空间中轴线。

以两相机交会为例,假设转换后得到如下两个平面方程:

$$\begin{cases} a_1 \cdot X + b_1 \cdot Y + c_1 \cdot Z = 0 \\ a_2 \cdot X + b_2 \cdot Y + c_2 \cdot Z = 0 \end{cases}, \quad (11)$$

两平面交汇得到的交线的方向数为:

X 方向:

$$l = \begin{vmatrix} b_1 & c_1 \\ b_2 & c_2 \end{vmatrix}, \quad (12)$$

Y 方向:

$$m = \begin{vmatrix} c_1 & a_1 \\ c_2 & a_2 \end{vmatrix}, \quad (13)$$

Z 方向:

$$n = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix}. \quad (14)$$

两平面交汇,其二面角,即交汇角为:

$$\theta = \arccos\left(\frac{a_1 \cdot a_2 + b_1 \cdot b_2 + c_1 \cdot c_2}{\sqrt{(a_1^2 + b_1^2 + c_1^2) \cdot (a_2^2 + b_2^2 + c_2^2)}}\right), \quad (15)$$

其空间中轴线的姿态角为:

方位角:

$$\Psi = \arctan\left(\frac{n}{l}\right), \quad (16)$$

俯仰角:

$$\Phi = \arctan\left(\frac{m}{\sqrt{l^2 + n^2}}\right). \quad (17)$$

3 结果分析

本文在 VC++6.0 的编译环境下实现该算法。对 CCD 相机拍摄的飞机图像进行处理,CCD 相机分辨率为 $1\,024 \times 1\,024$,焦距为 380 mm。图 5 为 1 号经纬仪拍摄的飞机图像,图 6 为 2 号经纬仪拍摄的飞机图像。已知飞机的轴线长度为 14 m。



(a)第 1 帧 (b)第 2 帧 (c)第 3 帧
(a)Frame 1 (b)Frame 2 (c)Frame 3

图 5 1 号经纬仪拍摄的图像

Fig. 5 Images of electro-optical theodolite 1



(a)第 1 帧 (b)第 2 帧 (c)第 3 帧
(a)Frame 1 (b)Frame 2 (c)Frame 3

图 6 2 号经纬仪拍摄的图像

Fig. 6 Images of electro-optical theodolite 2

与其它高精度设备做精度比对试验,分析如下。

3.1 单站求飞机姿态结果分析

以 1 号经纬仪为例,单帧试验数据为表 1。

表 1 的数据为目标轴线上的两个特征点的方位角、高低角。表 2 为单站获得目标 1、2 的空间坐标值。

表 1 结果数据

Tab. 1 Result data (°)

图像帧数	目标次序	方位角 A	高低角 E
1	1	284.544	3.620
1	2	284.294	3.622

表 2 坐标值

Tab. 2 Coordinate

图像帧数	目标次序	X 坐标	Y 坐标	Z 坐标
1	1	-5 181.6	173.581	-2 187.9
1	2	-5 195.118	173.517	-2 188.967

根据公式(6)、(7)获得空间的偏航角、俯仰角,真实值与测量值如表 3 所示。

表 3 单站结果比对数据

Tab. 3 Contrast data of single-station theodolite (°)

	偏航角	俯仰角
真实值	12.727	0.637
测量值	13.354	1.374

一组单站测量数据与真实数据的误差曲线如图 7 所示。

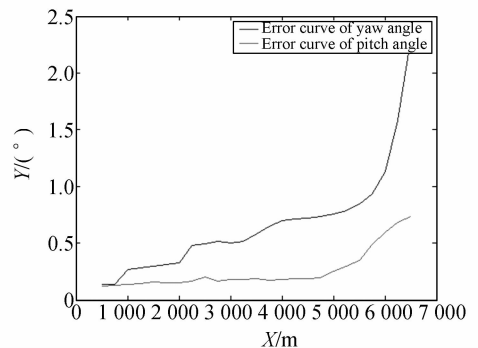


图 7 单站误差曲线

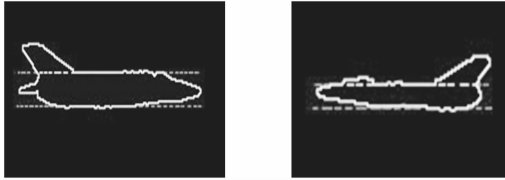
Fig. 7 Error curves of single-station theodolite

图 7 横坐标为目标到测站距离,单位为 m,纵轴为偏航角与俯仰角的真实值与测量值误差绝对

值,单位为(°)。从上图可看出,当距离值超过 6 000 m时,姿态角测量误差绝对值超过 1°;距离值 < 6 000 m时,姿态角测量误差绝对值 < 1°。

3.2 多站求飞机姿态结果分析

飞机图像进行 Hough 变换,边界点拟合成平行直线,然后获得中线。图 8 为 Hough 变换的结果。



(a)第 1 帧 (a)Frame 1
(b)第 2 帧 (b)Frame 2

图 8 Hough 变换后图像

Fig. 8 Images after Hough transform

以两个站为例,首先获得单站的平面方程参数。1 号经纬仪参数如表 3,分别为方位角、高低角、中轴线对于原点的法线与 X 轴夹角 α ,原点到中轴线的垂直距离 P 。2 号经纬仪参数如表 4。

表 3 1 号经纬仪平面方程参数

Tab. 3 Planar equation parameters of theodolite 1

参数	方位	高低	$\alpha(^{\circ})$	$P(\text{pixel})$	$F(\text{mm})$
值	284.48	3.64	89.54	11.68	382.2

表 4 2 号经纬仪平面方程参数

Tab. 4 Planar equation parameters of theodolite 2

方位	高低	$\alpha(^{\circ})$	$P(\text{pixel})$	$F(\text{mm})$
106.08	1.98	90.80	21.83	379.8

由表 3 和表 4 数据交汇,获得空间参数如表 5。

表 5 多站交汇结果比对数据

Tab. 5 Contrast data of multi-station theodolite (°)

	偏航角	俯仰角
真实值	12.727	0.637
测量值	13.055	0.964

多站交汇算法求姿态的误差与空间交汇角度有关系。图 9 横坐标为目标空间交汇角,单位为

(°),纵轴为真实值与测量值误差的绝对值,单位为(°)。从上图可看出,交汇角在 30~150°之间时,姿态角测量误差绝对值 < 0.6°。

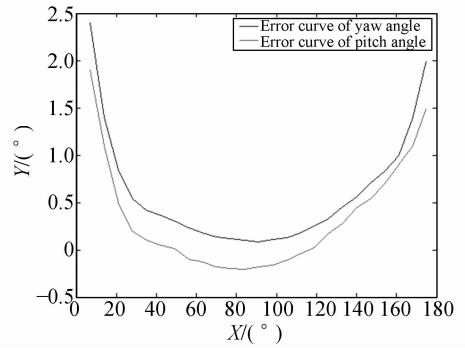


图 9 多站误差曲线

Fig. 9 Error curves of multi-station theodolite

3.3 另一组试验数据获得的飞机姿态结果

与其它高精度设备做了精度比对试验,结果如下:

3.3.1 单站数据

以 1 号经纬仪为例,单帧试验数据为表 6。

表 6 单站结果比对数据

Tab. 6 Contrast data of single station theodolite (°)

	偏航角	俯仰角
真实值	89.946	0.581
测量值	90.519	1.265

单站测量数据与真实数据的误差曲线如图 10 所示。

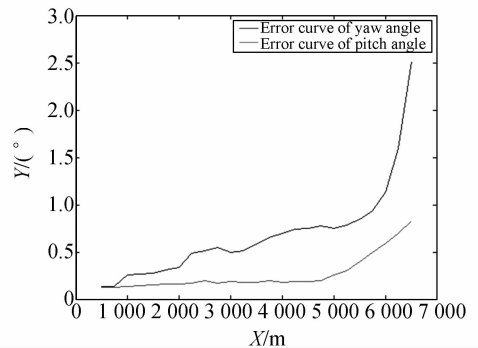


图 10 单站误差曲线

Fig. 10 Error curves of single-station theodolite

3.3.2 多站交汇

两站交汇,单帧试验数据为表 7。

表 7 多站交汇结果比对数据

Tab.7 Contrast data of multi-station theodolite (°)

	偏航角	俯仰角
真实值	89.946	0.581
测量值	90.362	0.877

多站测量数据与真实数据的误差曲线如图 11 所示。

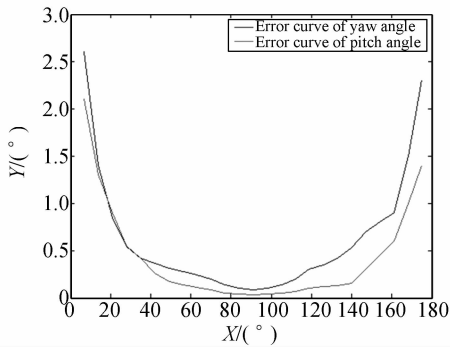


图 11 多站误差曲线

Fig. 11 Error curves of multi-station theodolite

参考文献:

- [1] 赵学颜,李迎春.靶场光学测量[M].北京:国防工业出版社,2001.
ZHAO X Y, LI Y C. *Optical Measure at Shooting Range*[M]. Beijing :National Defense Press, 2001. (in Chinese)
- [2] 朱玮,赵立荣,柳玉晗,等.光电经纬仪子母弹多目标提取方法[J].光学精密工程,2008,16(11):2140-2144.
ZHU W, ZHAO L R, LIU Y H ,et al.. The extraction method for missile bullets' multiple targets of opto-electronic theodolites [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008,16(11):2140-2144. (in Chinese)
- [3] 李文军,陈涛.光电跟踪系统噪声分析及其抑制[J].光学精密工程,2007,15(2):254-260.
LI W J, CHEN T . Analysis and restraining of random noise of optoelectronic tracking system [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2007, 15(2): 254-260. (in Chinese)
- [4] 王宏波,庄志宏,张清泰.基于动态红外图像的飞机姿态识别方法研究[J].红外与激光工程,2003,32(1):8-12.
WANG H B, ZHUANG ZH H, ZHANG Q T.

4 结 论

本文对经纬仪单站加距离信息时获得飞机姿态及多站数据获得飞机姿态的方法进行了研究。通过分析飞机的测量数据,对两种方法的精度进行了比较。使用经纬仪单站加距离信息的空间余弦方法,当距离值 $<6\ 000\ \text{m}$ 时,姿态角测量误差绝对值 $<1^\circ$;使用多站经纬仪面面交汇的方法,交汇角在 $30\sim 150^\circ$ 之间时,姿态角测量误差绝对值 $<0.6^\circ$ 。实验结果表明,采用单站测量误差稍大,但测量布站灵活,可近距离布站,提高目标成像尺寸来提高姿态测量精度,在靶场测量领域很有意义。

- Study on recognition of aircraft status based On dynamic infrared images [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003,32(1):8-12. (in Chinese)
- [5] DUARTE R O, MARTINS-FIHO L S, KNOP G F T. A fault-tolerant attitude determination system based on COTS devices[J]. *IEEE computer society*, 2008,8(14):85-90.
- [6] 杨蕊红,潘泉,程咏梅.三维飞机目标识别的一种新方法[J].计算机仿真,2006,23(6):82-78.
YANG R H, PAN Q, CHENG Y M. A new method for identifying 3D aircraft targets[J]. *Computer Emulator*, 2006,23(6):82-78. (in Chinese)
- [7] 张祖勋,苏国中,张剑清,等.基于序列影像的飞机姿态跟踪测量方法研究[J].武汉大学学报(信息科学版),2004,29(4):287-281.
ZHAN Z X, SU G ZH, ZHANG J Q. Airplane pose measurement from image sequences [J]. *Geometrics and Information Science of Wuhan University* 2004,29(4):287-281. (in Chinese)
- [8] 赵芹,周涛,舒勤.飞机红外图像的目标识别及姿态判断[J].红外技术,2007,29(3):167-169.
ZHAO Q, ZHOU T, SHU Q. Recognition and pose estimation of airplane infrared image[J]. *Infrared Technology*, 2007,29(3):167-169. (in Chinese)
- [9] 周军妮,杨润玲,刘利.基于 Hough 拟合算法的对称

目标姿态新方法[J]. 视频技术应用与工程, 2007, 31(8):110-115.

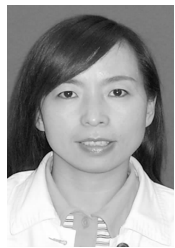
ZHOU J N, YANG R L, LIU L. Pose-measuring algorithm for symmetrical target based on hough transform & line fitting[J]. *Application & Project of Video Technologies*, 2007, 31(8):110-115. (in Chinese)

- [10] 杨云江, 罗淑英, 崔宗学. 一种光学经纬仪交汇定位的高精度算法[J]. 传感器与仪器仪表, 2007, 24(5):159-162.

YANG Y J, LUO S Y, CUI Z X. A high accuracy algorithm of optics theodolite cross location[J]. *Sensor and Instrument* 2007, 24(5):159-162. (in Chinese)

- [11] 刘岩俊, 王永新, 何昕, 等. 多目标轨迹分离方法研究[J]. 光学精密工程, 2008, 16(8):1478-1482.
LIU Y J, WANG Y X, HE X, et al.. Research of track recognition method for multiple targets[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(11):2140-2144. (in Chinese)

作者简介:



赵立荣(1971—),女,吉林桦甸人,副研究员,1992年于吉林工学院获学士学位,1999年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获硕士学位,主要从事视频判读、数据处理等方面的研究。E-mail: cczlr@21cn.com



柳玉晗(1979—),男,吉林舒兰人,助理研究员,2002年于北京理工大学获得学士学位,主要从事视频判读、数据处理等方面的研究。E-mail: liuyh0313@sohu.com



曹永刚(1972—),男,河北滦县人,副研究员,1996年于长春光机学院获得学士学位,主要从事光电测控设备总体及时统技术研究。E-mail: 20023003@163.com



于晓波(1966—),男,吉林长春人,副研究员,1987年、2001年于吉林工业大学分别获得学士、硕士学位,主要从事靶场测量军工项目的总体工作。E-mail: xbyu@yahoo.com

通讯作者:



朱 玮(1961—),男,吉林长春人,研究员,1984年于东北师范大学获得学士学位,1989年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事靶场测量军工项目的总体工作。E-mail: zw288515@sohu.com

(本栏目编辑:李树军)