

## POS 辅助图像定位

程庆敏<sup>1</sup>, 付思瑞<sup>2</sup>

(1. 中国航空工业集团公司洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471000;

2. 中石化洛阳工程有限公司, 河南 洛阳 471000)

**摘要:** 介绍了海监取证系统的应用背景, 结合国内外的发展现状, 借鉴 POS 辅助图像定位技术在航测领域上的应用, 绘制大比例尺的地形图进行了目标定位。海监机载取证系统, 通过集成双轴伺服稳定平台、高精度 POS 系统、高清摄像机等设备, 配备相应处理软件, 同时具备侦察目标及高精度定位能力。初步试验结果显示, 当试验高度为 40 m 时, 目标实时定位精度小于 0.26 m。

**关键词:** 光电传感器; 图像处理; 定位; 比例尺; 成像

**中图分类号:** TP722.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2015)05-0077-03

## POS-Aided Image Location

CHENG Qing-min<sup>1</sup>, FU Si-rui<sup>2</sup>

(1. Luoyang Institute of Electro-Optical Equipment, AVIC, Luoyang 471000, China;

2. Luoyang Petrochemical Engineering Corporation, SINOPEC, Luoyang 471000, China)

**Abstract:** Application background of the evidence collection system for maritime surveillance is introduced. In combination with its development status both at home and abroad and by reference to the application of POS-aided image location in aerial survey. Large scale topographic map was drawn for target locating. By integration of such equipment as the biaxial servo stabilized platform, high-accuracy Position & Orientation System (POS) and HD video camera, and equipped with corresponding processing software, the airborne evidence collection system for maritime surveillance has the ability of both target reconnaissance and localization with high precision. Preliminary experimental results show that the accuracy of real-time target locating is better than 0.26 m when the flying height is 40 m.

**Key words:** electro-optical sensor; image processing; location; scale; imaging

### 0 引言

我国拥有广阔海域, 随着海洋资源开发与活动的增多, 海上执法需求必然增多, 未来执法船只上的直升机大多将装备机载光电跟踪取证系统<sup>[1]</sup>。

2009年, 某海监机载光电取证吊舱交付使用, 其搭载了制冷型红外热像仪和高清可见光摄像机, 能昼夜不间断地对海上目标进行监视、取证, 但并不能对海上目标进行定位。

美国 FLIR 公司研制的 Ultra Force 350-HD 型光电吊舱, 搭载了分辨率为 640×512 的制冷型红外热像仪和 1920×1080 的高清摄像机以及定位定向系统<sup>[2]</sup> (Posi-

tion & Orientation System, POS), 能实现海上目标的精确定位<sup>[3]</sup>。

目标定位分为激光测距仪主动定位和图像处理被动定位两种方式, POS 辅助图像定位技术是一种新型的图像处理被动定位方式, 可以使海监机载光电取证吊舱独立对观测场景中的目标进行无源定位。

### 1 POS 系统

POS 系统集成 DGPS 技术和惯性导航系统 (INS) 技术于一体, 可以获取移动物体的空间位置和三维姿态信息, POS 系统主要包括 GPS 接收机和惯性测量装置 (IMU) 两部分。

### 2 POS 系统在航空测绘中的应用

高清可见光传感器和 POS 系统固联在一起, 航空对地拍摄的每一张影像, 都由 POS 系统的 GPS 提供图

像的精确位置信息,IMU 提供图像的精确空间姿态信息,前后两张影像具有一定的重叠度,将两张影像的 IMU, DGPS 数据和图像联合处理,可获得重叠度区域所有目标的经纬度信息,然后绘制出高精度、大比例尺的地形图<sup>[4]</sup>。

### 3 POS 辅助图像定位技术在海监吊舱中的应用

#### 3.1 总体设计

海监吊舱采用两轴四框构型,具有两轴稳定功能,整体为球形,使系统具有更好的气动外形。内部装有摄像机组件、POS 组件、控制组件、存储组件、定位解算组件、GPS 组件。外形及组成如图 1 所示。

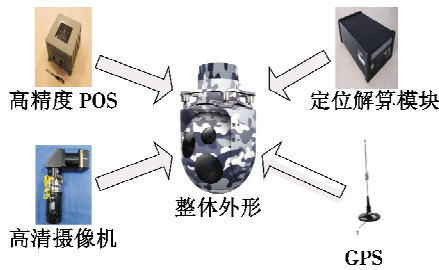


图 1 外形及组成图

Fig. 1 Appearance & composition

#### 3.2 性能指标

高精度光纤 POS 指标如下:航向精度小于 $0.015^\circ$ ,俯仰姿态精度小于 $0.005^\circ$ ,横滚姿态精度小于 $0.015^\circ$ ,经纬度位置精度小于 $0.02$  m。

高清摄像机指标如下:分辨率为 $1920 \times 1080$ ;焦距为 $17 \sim 340$  mm;像幅为 $10.56$  mm $\times$  $5.94$  mm。

#### 3.3 软件设计

图 2 所示为图像定位软件包组成。

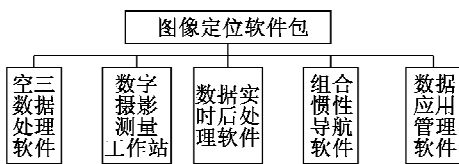


图 2 软件组成

Fig. 2 Auxiliary software

光电吊舱的图像定位技术在很大程度上依赖数据处理平台的支持。在数据处理平台上,集成 POS 数据处理软件、POS 辅助空三平差标校软件、影像快速自动建模软件以及空地一体数据应用平台,满足用户对数据获取、数据处理、数据提取、数据应用、数据管理的一系列需求。

### 4 GPS/IMU 组合导航模型与系统误差检校

直接地理参考定位本质上就是传统空中三角测量

的方法,传统的航摄影像外方位元素由地面控制点给出,在实际应用中难以实现;而由于传感器设备精度的提高,可以直接由 POS 系统提供航摄影像外方位元素,进而可以直接进行空中三角测量,省去了传统方法布设控制点的过程<sup>[5]</sup>。直接地理定位的优势是不需要对整个测区量测连接点和控制点,直接地理定位的精度主要由 POS 系统提供的位置姿态误差以及 POS/光学载荷标校误差决定。

#### 4.1 GPS/IMU 组合导航误差模型

考虑标度系数、安装误差和 GPS 杆臂误差后的状态模型,再结合实际应用条件,建立了包含三轴位置误差、速度误差、姿态误差、三轴陀螺和加速度计标度系数误差、安装误差以及杆臂误差的 18 维 GPS/IMU 组合导航系统方程。惯性元器件的误差模型均假设服从一阶马尔可夫过程<sup>[6]</sup>。则 IMU 误差状态方程为

$$\dot{X}_i(t) = F_i(t) X_i(t) + G_i(t) W_i(t) \quad (1)$$

式中: $X_i(t) = [\delta\psi_E, \delta\psi_N, \delta\psi_U, \delta\nu_N, \delta\nu_E, \delta\nu_U, \delta L, \delta\lambda, \delta H,$

$\varepsilon_{bx}, \varepsilon_{by}, \varepsilon_{bz}, \varepsilon_{rx}, \varepsilon_{ry}, \varepsilon_{rz}, \nabla_x, \nabla_y, \nabla_z]^T$ ;  $W_i(t) = [W_{gx}, W_{gy},$

$W_{gz}, W_{bx}, W_{by}, W_{bz}, W_{ax}, W_{ay}, W_{az}]^T$ , 为系统噪声;  $G_i(t) =$

$\begin{bmatrix} C_b^m & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{9 \times 3} & 0_{9 \times 3} & 0_{9 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} \end{bmatrix}_{18 \times 9}$ , 为噪声驱动矩阵;  $F_i(t) =$

$\begin{bmatrix} F_N & F_S \\ 0_{9 \times 9} & F_M \end{bmatrix}_{18 \times 18}$ , 为状态转移矩阵,其中, $F_N$  各元素展开

为 $f_{1,2} = \omega_{ie} \sin L + \frac{V_E}{R_n + h} \tan L, f_{1,5} = -\frac{1}{R_M + h}, f_{1,3} =$

$-(\omega_{ie} \cos L + \frac{V_E}{R_n + h}), f_{2,1} = -(\omega_{ie} \sin L + \frac{V_E}{R_n + h} \tan L),$

$f_{2,3} = -\frac{V_N}{R_M + h}, f_{2,4} = \frac{1}{R_M + h}, f_{2,7} = -\omega_{ie} \sin L, f_{3,1} = -f_{1,3},$

$f_{3,2} = -f_{2,3}, f_{3,4} = f_{2,4} \tan L, f_{3,7} = \omega_{ie} \cos L + \frac{V_E}{R_n + h} \sec^2 L,$

$f_{4,2} = -f_u, f_{4,3} = f_u, f_{4,4} = \frac{V_E}{R_n + h} \tan L - \frac{V_u}{R_M + h}, f_{4,5} = f_{1,2} +$

$\omega_{ie} \sin L, f_{4,6} = f_{1,3} - \omega_{ie} \cos L, f_{5,1} = f_u, f_{5,3} = -f_E, f_{5,4} =$

$f_{1,2} + \omega_{ie} \sin L, f_{5,5} = -\frac{V_U}{R_M + h}, f_{5,6} = f_{2,3}, f_{5,7} = -(2\omega_{ie} \cos L +$

$\frac{V_E}{R_n + h} \sec^2 L) V_E, f_{6,1} = -f_N, f_{6,2} = f_E, f_{6,4} = 2\omega_{ie} \cos L +$

$\frac{V_E}{R_n + h}, f_{6,5} = \frac{2V_U}{R_M + h}, f_{6,7} = -2\omega_{ie} V_E \sin L, f_{7,5} = \frac{1}{R_M + h},$

$f_{8,4} = \frac{\sec L}{R_M + h}, f_{8,7} = \frac{V_E}{R_n + h} \sec L \tan L, f_{9,6} = 1, f_{i,j} = 0 (i =$

$$l, 2, \dots, 9, j = 1, 2, \dots, 9), F_S = \begin{bmatrix} C_b^n & C_b^n & \mathbf{0}_{3 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & C_b^n \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} \end{bmatrix}_{9 \times 9},$$

$$F_M = \text{diag}[0, 0, 0, -1/T_{gx}, -1/T_{gy}, -1/T_{gz}, -1/T_{ax}, -1/T_{ay}, -1/T_{az}].$$

### 4.2 高精度 POS 辅助空中三角测量误差模型

系统集成时, GPS (BD) 天线、IMU 与高清摄像机投影中心存在着偏心分量, IMU 轴线与航摄仪轴线存在着偏心角, 采用空三方法<sup>[7]</sup> 计算出每张像片的外方位元素, 含投影中心的位置和姿态角  $(\varphi, \omega, \kappa)$ 。

传统自检校区域网光束法空中三角测量的共线方程数学模型为

$$\begin{cases} x' + v_x = (x'_0 + d_{x'_0}) - (f + d_f) \cdot \\ \frac{a_1(X - X_S) + b_1(Y - Y_S) + c_1(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)} + dx' \\ y' + v_y = (y'_0 + d_{y'_0}) - (f + d_f) \cdot \\ \frac{a_2(X - X_S) + b_2(Y - Y_S) + c_2(Z - Z_S)}{a_3(X - X_S) + b_3(Y - Y_S) + c_3(Z - Z_S)} + dy' \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $x', v_x, y', v_y$  为像点像平面坐标和相应改正数;  $X, Y, Z$  为物点在地面坐标系中的物方空间坐标值;  $X_S, Y_S, Z_S$  为像片外方位线元素, 即高清摄像机投影中心地面坐标系中的空间坐标值;  $a_i, b_i, c_i (i = 1, 2, 3)$  为像方空间坐标系相对于物空间坐标系的旋转矩阵的各元素, 是像片外方位角元素  $\varphi, \omega, \kappa$  的函数;  $x'_0, y'_0, f$  为高清摄像机的内方位元素, 分别代表像主点像平面坐标以及标称焦距;  $d_{x'_0}, y'_0, d_f$  为高清摄像机内方位元素的改正数;  $dx', dy'$  为附加参数的影响。

以 POS 系统获取的外方位元素数据为初始值, 作为带权观测值参与摄影测量区域网平差, 考虑到 POS 测得外方位元素与摄站外方位元素转换, 上述公式可以表述为

$$\begin{cases} x' + v_x = f(X, Y, Z, X_S, Y_S, Z_S, \varphi, \omega, \kappa, x'_0, d_{x'_0}, f, d_f, dx') \\ y' + v_y = f(X, Y, Z, X_S, Y_S, Z_S, \varphi, \omega, \kappa, y'_0, d_{y'_0}, f, d_f, dy') \end{cases} \quad (3)$$

式中, 代入 POS 位置测量值为  $\begin{bmatrix} X_{IMU} \\ Y_{IMU} \\ Z_{IMU} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_{x_{IMU}} \\ v_{y_{IMU}} \\ v_{z_{IMU}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{bmatrix} +$

$R_c^{IMU}(\varphi, \omega, \kappa) \begin{bmatrix} U_c^{IMU} \\ V_c^{IMU} \\ W_c^{IMU} \end{bmatrix}$ , 代入 POS 姿态测  $\begin{bmatrix} r_{bj}^m \\ p_{bj}^m \\ \gamma_{bj}^m \end{bmatrix} +$

$$\begin{bmatrix} v_{roll,j} \\ v_{pitch,j} \\ v_{yaw,j} \end{bmatrix} = T \left[ D \{ R_c^m(\varphi_j, \omega_j, \kappa_j) \} R_c^b(d_{roll}, d_{pitch}, d_{yaw}) \right].$$

式中:  $X_{IMU}, Y_{IMU}, Z_{IMU}$  以及  $V_{x_{IMU}}, V_{y_{IMU}}, V_{z_{IMU}}$  为 IMU 中心在

地面坐标系中物方空间坐标及改正数;  $r_{bj}^m, p_{bj}^m, \gamma_{bj}^m$  以及  $v_{roll,j}, v_{pitch,j}, v_{yaw,j}$  为载体坐标系与地面坐标系间旋转矩阵元素及改正数;  $R_c^m(\varphi, \omega, \kappa)$  为相机坐标系与地面坐标系间的旋转矩阵;  $D$  为  $(\varphi, \omega, \kappa)$  到  $(r, p, \gamma)$  转换的旋转矩阵,  $r, p, \gamma$  为载体坐标系中的载体坐标值;  $T$  为从旋转矩阵中提取单个角度的变换;  $U_c^{IMU}, V_c^{IMU}, W_c^{IMU}$  为 IMU 到高清摄像机间的偏心分量;  $R_c^b(d_{roll}, d_{pitch}, d_{yaw})$  为从相机坐标系到载体坐标系偏心角转换旋转矩阵。

姿态数据存在常值偏差和  $X_{drift}, Y_{drift}, Z_{drift}, \varphi_{drift}, \omega_{drift}, \kappa_{drift}$  等漂移误差, 标校后的相机主点仍存在误差  $((t - t_0)$  为补偿的线元素偏差)。因此, POS 辅助空三平差基于如下模型<sup>[8]</sup>

$$X_S = X_S + dX_{drift} + (t - t_0) \cdot bX_{drift} \quad (4)$$

$$Y_S = Y_S + dY_{drift} + (t - t_0) \cdot bY_{drift} \quad (5)$$

$$Z_S = Z_S + dZ_{drift} + (t - t_0) \cdot bZ_{drift} \quad (6)$$

$$\varphi = \varphi + d\varphi_{drift} + (t - t_0) \cdot b\varphi_{drift} \quad (7)$$

$$\omega = \omega + d\omega_{drift} + (t - t_0) \cdot b\omega_{drift} \quad (8)$$

$$\kappa = \kappa + d\kappa_{drift} + (t - t_0) \cdot b\kappa_{drift} \quad (9)$$

### 4.3 试验结果

试验在塔吊试验场进行, 试验场布置如图 3 所示。两个塔楼由距离地面 40 m 的钢丝连接, 光电吊舱在钢丝绳上做往复运动。地面有两个永久性 GPS 基准站和 99 个控制点。设定焦距为 17 mm, 高清摄像机正射影像单幅画面覆盖范围为 24.8 m × 14 m。试验场区域选取 99 个控制点, 并进行坐标量测。

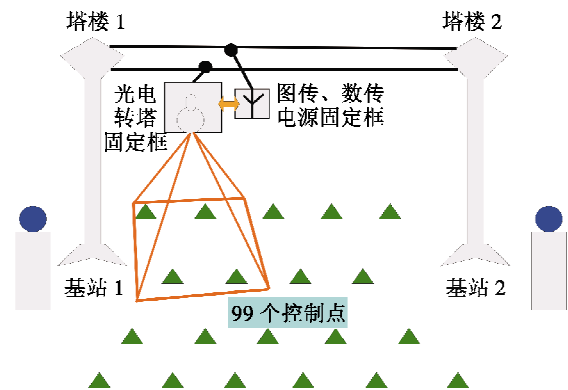


图 3 试验场布置图

Fig. 3 Experimental site layout

直接对地定位, 精度统计情况如表 1 所示。

表 1 精度统计情况

Table 1 Accuracy statistics & analysis

	中误差/m	残差平均值/m	最大残差/m
XIAN80 平面坐标 X/m	0.078	-0.156	0.178
XIAN80 平面坐标 Y/m	0.067	-0.138	-0.157
平面误差/m	0.074	0.211	0.205
高程误差/m	0.045	0.234	0.254

(下转 102 页)

- [7] 张伟,汪洪源,王治乐,等. 空间目标可见光散射特性建模方法研究[J]. 光子学报,2008,37(12):2462-2467. (ZHANG W, WANG H Y, WANG Z L, et al. Modeling method for visible scattering properties of space target[J]. Acta Photonica Sinica, 2008, 37(12):2462-2467.)
- [8] 吴英,杨玲,范剑英,等. 空间目标的可见光散射特性建模与仿真研究[J]. 哈尔滨理工大学学报,2009,14(2):82-85. (WU Y, YANG L, FAN J Y, et al. A method of modeling spatial object's visible-light scattering characteristic[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2009, 14(2):82-85.)
- [9] 蓝朝桢,李建胜,马赛金,等. 在轨目标天基光学观测可见性预报与分析[J]. 光电工程,2008,35(12):23-27. (LAN C Z, LI J S, MA S J, et al. Prediction and analysis of orbital target's visibility based on space-based optics observation[J]. Opto-Electronic Engineering, 2008, 35(12):23-27.)
- [10] 陈荣利,韩乐,车驰骋,等. 非自发光空间目标的可见光探测技术研究[J]. 光子学报,2005,34(9):1438-1440. (CHEN R L, HAN L, CHE C C, et al. Research on un-illuminant space target visual detection technique [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(9):1438-1440.)
- [11] 万敏,苏毅,杨锐,等. 提高白天观测星体信噪比的方法研究[J]. 强激光与粒子束,2003,15(12):1151-1154. (WAN M, SU Y, YANG R, et al. Improvement of signal to noise ratio in astronomical objects detection in daytime[J]. High Power Laser and Particle Beams, 2003, 15(12):1151-1154.)
- [12] NICODEMUS F E. Reflectance nomenclature and directional reflectance and emissivity [J]. Applied Optics, 1970, 9(6):1474-1475.
- [13] 孙成明,张伟,王治乐. 双向反射分布函数在空间目标可见光反射特性建模中的应用[J]. 光学技术,2008,34(5):750-753,757. (SUN C M, ZHANG W, WANG Z L. Application of BRDF for modeling on the visible reflection characteristics of spatial targets [J]. Optical Technique, 2008, 34(5):750-753, 757.)
- [14] DIETZ K L, RAMSEY B D, ALEXANDER C D, et al. Daytime aspect camera for balloon altitudes[J]. Optical Engineering, 2002, 41(10):2641-2651.

(上接第 79 页)

由表 1 统计情况可以看出,实时目标侦测精度小于 0.26 m。

## 5 结束语

借鉴航空测绘领域的技术<sup>[9]</sup>,将 POS 辅助图像定位技术应用于海监取证系统,可以大大增加海监取证系统的实用性,可独立对观测场景中的目标进行无源定位,实时获得目标的经纬度信息。

## 参 考 文 献

- [1] 娄树理,杨增胜,周晓东. 无人机光电侦察、监视技术研究[J]. 航天电子对抗,2007,23(2):28-30. (LOU S L, YANG Z S, ZHOU X D. UAV electro-optical reconnaissance and surveillance technology [J]. Aerospace Electronic Warfare, 2007, 23(2):28-30.)
- [2] 李德仁,王树根,周月琴. 摄影测量与遥感概论[M]. 北京:测绘出版社,2008. (LI D R, WANG S G, ZHOU Y Q. An introduction to photogrammetry and remote sensing[M]. Beijing: The Publishing House of Surveying and Mapping, 2008.)
- [3] 王春祥,李晓,盛庆伟. 航空摄影测量学[M]. 郑州:黄河水利出版社,2011. (WANG C X, LI X, SHENG Q W. Aero photogrammetry [M]. Zhengzhou: The Yellow River Conservancy Press, 2011.)
- [4] JUCIUS D, GRYBAS I, GRIGALIUNAS V, et al. UV imprint fabrication of polymeric scales for optical rotary encoders [J]. Optics & Laser Technology, 2014, 56:107-113.
- [5] AVITZOUR D. Stochastic simulation Bayesian approach to multi-target tracking [J]. IEEE Proceedings Radar Sonar and Navigation, 1995, 142(2):41-42.
- [6] ZUMBERGE J F, HEFLIN M B, JEFFERSON D C, et al. Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks [J]. Journal of Geophysical Research, 1997, 102(B3):5005-5017.
- [7] KOUBA J, HEROUX P. Precise point positioning using IGS orbit and clock products [J]. GPS Solutions, 2001, 5(2):12-28.
- [8] BARBER D B, REDDING J D, MCLAIN T W, et al. Vision-based target geo-location using a fixed-wing miniature air vehicle [J]. Journal of Intelligent and Robotic Systems, 2006, 47(4):361-382.
- [9] ZUMBERGE J F, WATKINS M M, WEBB F H. Characteristics and application of precise GPS clock solution every 30 seconds [J]. Journal of Navigation, 1998, 44(4):449-456.