

文章编号:1004-4213(2011)07-1112-5

基于单目图像和方向的测距系统及性能分析

王 荻, 王 洁, 付 小 宁

(西安电子科技大学 机电工程学院, 西安 710071)

摘 要:针对非合作大目标的被动测距问题,介绍了一种基于单目图像序列和成像方向的测距系统,并进行了性能分析.这种测距系统的特点是无需初始距离导引,它对目标距离的估计借助于专门的定位方程,方程由目标特征线度、摄像机的空间坐标、目标在采样时刻对相机的方位角和俯仰角决定.其中,方位角和俯仰角通过光电经纬仪获得,摄像机的空间坐标通过 GPS 获得,目标特征线度通过相邻帧图像匹配得到.分析表明,该系统的性能主要取决于特征线度的准确度,其他测量误差如目标的方位角、俯仰角和摄像机的空间坐标对其影响较小.目标特征线度选取时,在相邻帧目标图像匹配点中,筛选出三个具有较大极限的尺度不变特征变换关键点,构造三角形及其外接圆,在外接圆上取经过三角形重心且平行或垂直于尺度不变特征变换主方向的弦线作为特征线度,这种特征线度对目标旋转不敏感.实验结果表明这种测距方法能够实现非合作大目标的被动测距.

关键词:被动测距;性能分析;尺度不变特征变换;P3P;图像序列;单目

中图分类号: TN39; TN219

文献标识码: A

doi: 10.3788/gzxb20114007.1112

0 引言

与作为成像参量的方向信息相比,图像本身则提供了更为丰富而精细的目标信息.业已证明,对空中的远距离运动物体,已不适宜采用聚焦法或离焦法进行被动测距^[1].适用的被动测距体制大致可分为双(多)目视觉体制、准单目体制和单目视觉体制等三种^[1-3].受机动性要求及安装空间的限制,适宜搭载于空间高速运动平台如飞机、导弹上的距离估计装备不能采用双目体制或准单目体制,故基于单目体制的被动测距较前两者更有实用价值和理论研究意义.但是,鉴于单目图像缺乏体视信息,因而在具体操作方面存在许多问题^[4-6].

在基于单目成像被动测距方面,文献[7]提出了一种基于图像序列中的目标特征线度、结合初始距离导引的单站被动测距技术方案.但是,该方案采用递推算法,目标的丢失则意味着测距被迫终止.其后,文献[8]提出了一种不需要目标初始距离导引的测距方案,进行了测距算法研究,并给出了实验结果.基于单目图像和方向的被动测距系统已经初步在基于 DM6437 的 DSP 系统中得到实现,本文对测距原理和性能做了简要介绍并进行了性能分析.

1 测距模型和算法

1.1 测距模型

取地理坐标系^[9]为主坐标系 $oxyz$,以北、西、上三方向分别对应 x 、 y 、 z 轴正向,并且认为摄像机及其所在的测量平台的状态(指在地理坐标系中的高低角、方位角、径向距离以及速度、加速度和姿态等信息)可通过观测获得.相应的飞机测量平台坐标系记为 $O-XYZ$,以飞机前进方向为 Y 轴、右翼方向为 X 轴、以垂直机翼平面向上方向为 Z 轴组成右手坐标系.图 1 是机载平台坐标系和地理坐标系的

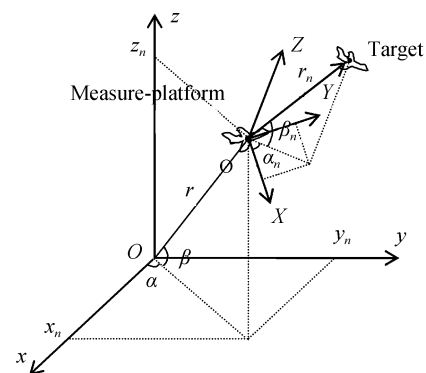


图 1 地理坐标系中的机载测量平台
Fig. 1 The airborne measurement-platform in geography coordinate

基金项目:国家自然科学基金(No. 60872136)资助

第一作者:王荻(1987-),男,硕士研究生,主要研究方向为目标跟踪与定位. Email: wangdistudent@163.com

导师(通讯作者):付小宁(1964-),男,副教授,博士,主要研究方向为目标跟踪与定位. Email: xning_fu@163.com

收稿日期:2010-06-20;修回日期:2010-10-22

关系.

在第 n 时刻,设运动目标在机载动测量平台坐标系 $O\text{-}XYZ$ 中的球坐标为 (r_n, α_n, β_n) ,而其坐标原点 O 在地理坐标系 $o\text{-}xyz$ 中的坐标为 $O(x_n, y_n, z_n)$.那么,同一时刻位于测量平台上的相机到目标的视线 OT 在地理坐标系 $o\text{-}xyz$ 中的方向矢量 (l_n, m_n, n_n) 可表示为

$$\begin{pmatrix} l_n \\ m_n \\ n_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_{11}'' & t_{12}'' & t_{13}'' \\ t_{21}'' & t_{22}'' & t_{23}'' \\ t_{31}'' & t_{32}'' & t_{33}'' \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos \alpha_n \cos \beta_n \\ \sin \alpha_n \cos \beta_n \\ \sin \beta_n \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中, $\begin{pmatrix} t_{11}'' & t_{12}'' & t_{13}'' \\ t_{21}'' & t_{22}'' & t_{23}'' \\ t_{31}'' & t_{32}'' & t_{33}'' \end{pmatrix}$ 是 X, Y, Z 轴在 $o\text{-}xyz$ 坐标系

中方向余弦矩阵的转置^[7].

设目标在相邻两个采样时刻对摄像机镜头旋转不发生变化的一维尺度为 x_0 ,该尺度的投影即特征线度.考虑目标和观测平台均运动的一般情况:以 T, S 区分目标飞机和摄像机,下标 $n, n+1$ 代表任意相邻观察时刻,可得图 2 所示的基于特征线度的递推测距模型.图 2 中, $T_n, T_{n+1}, S_n, S_{n+1}$ 为时刻 $n, n+1$ 之间目标或平台的航迹, r_n, r_{n+1} 为观察时刻上目标与摄像机之间的距离, φ_n, φ_{n+1} 则表示观察时刻上观测器视轴与目标航迹的夹角.

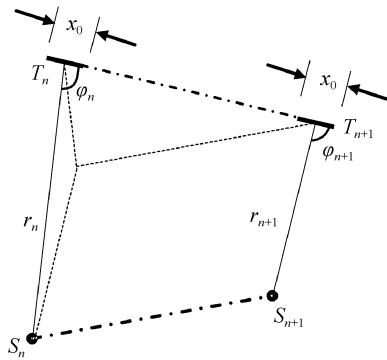


图 2 基于特征线度的递推测距模型

Fig. 2 The recursively ranging mode based on characteristic linearity

假定第 $n, n+1$ 时刻光学系统的焦距分别为 f_n, f_{n+1} ,目标在相机焦平面上的特征线度尺寸分别为 L_n, L_{n+1} ,则根据几何成像原理有

$$\frac{r_{n+1}}{r_n} = \frac{f_{n+1}}{f_n} \frac{L_n}{L_{n+1}} \frac{\sin \varphi_{n+1}}{\sin \varphi_n} \quad (2)$$

1.2 测距算法

在式(2)的基础上,文献[7]推导如下递推(被动)测距公式

$$C_4 r_{n+1}^4 + C_3 r_{n+1}^3 + C_2 r_{n+1}^2 + C_1 r_{n+1} + C_0 = 0 \quad (3)$$

在式(3)中

$$C_4 = H[1 - (l_{n+1}l_n + m_{n+1}m_n + n_{n+1}n_n)^2] \quad (4)$$

$$C_3 = 2H\{l_{n+1}(x_{n+1} - x_n) + m_{n+1}(y_{n+1} - y_n) + n_{n+1}(z_{n+1} - z_n) - (l_{n+1}l_n + m_{n+1}m_n + n_{n+1}n_n)[l_n(x_{n+1} - x_n) + m_n(y_{n+1} - y_n) + n_n(z_{n+1} - z_n)]\} \quad (5)$$

$$C_2 = H\{(x_{n+1} - x_n)^2 + (y_{n+1} - y_n)^2 + (z_{n+1} - z_n)^2 + [l_n(x_{n+1} - x_n) + m_n(y_{n+1} - y_n) + n_n(z_{n+1} - z_n)]^2\} \quad (6)$$

$$C_1 = 0 \quad (7)$$

$$C_0 = k_2 r_n^2 + k_1 r_n + k_0 \quad (8)$$

$$H = \left(\frac{f_n}{f_{n+1}}\right)^2 \left(\frac{L_{n+1}}{L_n}\right)^2 \frac{1}{r_n^2} \quad (9)$$

式(8)中

$$k_2 = (l_{n+1}l_n + m_{n+1}m_n + n_{n+1}n_n)^2 - 1 \quad (10)$$

$$k_1 = 2\{l_n(x_{n+1} - x_n) + m_n(y_{n+1} - y_n) + n_n(z_{n+1} - z_n) - (l_{n+1}l_n + m_{n+1}m_n + n_{n+1}n_n)[l_{n+1}(x_{n+1} - x_n) + m_{n+1}(y_{n+1} - y_n) + n_{n+1}(z_{n+1} - z_n)]\} \quad (11)$$

$$k_0 = [l_{n+1}(x_{n+1} - x_n) + m_{n+1}(y_{n+1} - y_n) + n_{n+1}(z_{n+1} - z_n)]^2 - (x_{n+1} - x_n)^2 - (y_{n+1} - y_n)^2 - (z_{n+1} - z_n)^2 \quad (12)$$

文献[1]证明了递推测距方程(3)具有唯一的工程上有意义的实数解.并且,通过大量的仿真试验研究了在实际测量过程中该方程无解的条件,结果表明只要相邻两次测量中 L_{n+1}/L_n 的比值不超过特定值,则方程(3)恒可解.另外,还证明了 r_n 的初值的误差对 r_{n+1} 的解的影响较小.

对式(3)的测距方程,从(如雷达等给出的)初始距离信息 r_0 出发,则可递推求解出以后诸采样时刻目标与摄像机之间的相对距离 r_n .

确定特征线度的长度可用特征线度的 2 个端点匹配的方法实现.文献[10]则研究了在 4 点匹配的情况下,目标运动参数的估计方法.换言之,在文献[7]的基础上增加 2 个匹配点,便可采用文献[10]的方法,求出相邻时刻目标与相机的径向距离之差

$$\Delta = r_{n+1} - r_n \quad (13)$$

将式(13)带入式(3),可得到式(14)的非线性方程

$$D_4 r_n^4 + D_3 r_n^3 + D_2 r_n^2 + D_1 r_n + D_0 = 0 \quad (14)$$

式中

$$D_4 = C_4 \quad (15)$$

$$D_3 = 4C_4 \Delta + C_3 \quad (16)$$

$$D_2 = 6C_4 \Delta^2 + 3C_3 \Delta + C_2 + k_2 \quad (17)$$

$$D_1 = 4C_4 \Delta^3 + 3C_3 \Delta^2 + 2C_2 \Delta + C_1 + k_1 \quad (18)$$

$$D_0 = C_4 \Delta^4 + C_3 \Delta^3 + C_2 \Delta^2 + C_1 \Delta + k_0 \quad (19)$$

式(14)实质是关于 r_n 的一元四次方程,求解该非线性方程,即可得到前一时刻目标与摄像机的距

离 r_n , 当前时刻目标与摄像机的距离 $r_{n+1} = r_n + \Delta$ 随之求得. 至此, 可以实现无需初始条件的单站被动测距.

2 测距系统性能及特征线度选取

2.1 测距系统性能

根据式(14)~(19), 式(14)决定的目标距离估方程的测距误差取决于目标的特征线度误差、观测平台坐标误差、目标方位角和俯仰角的测量误差、目标相对位移 Δ 的估计误差等四方面的因素.

2.1.1 观测平台自身坐标误差的影响

为了简化分析过程, 以观测平台的移动方向作为 x 方向, 这样处理相当于做了坐标系的旋转, 仍不失一般性.

对式(14)求关于 x 的微分, 有

$$4D_4 r_{n+1}^3 dr_{n+1} + 3D_3 r_{n+1}^2 dr_{n+1} + \frac{\partial D_3}{\partial x} r_{n+1}^3 dx + 2D_2 r_{n+1} dr_{n+1} + \frac{\partial D_2}{\partial x} r_{n+1}^2 dx + \frac{\partial D_0}{\partial x} dx = 0 \quad (20)$$

式中 dx 表示 $x_{n+1} - x_n$ 的定位误差. dr_{n+1} 表示因 $x_{n+1} - x_n$ 的定位误差而产生目标定位误差.

经过整理, 可得

$$\frac{dr_{n+1}}{r_{n+1}} = \frac{\frac{\partial D_3}{\partial x} r_{n+1}^3 + \frac{\partial D_2}{\partial x} r_{n+1}^2 + \frac{\partial D_0}{\partial x}}{D_3 r_{n+1}^3 + 2D_2 r_{n+1}^2 + 4D_0} dx \approx \frac{\frac{\partial D_3}{\partial x} / \frac{\partial x}{D_3}}{D_3} dx \quad (21)$$

经过化简, 有

$$\left| \frac{dr_{n+1}}{r_{n+1}} \right| \leq \left| \frac{dx}{x_{n+1} - x_n - (r_{n+1} - \Delta) l_n} \right| \quad (22)$$

一般情况下, r_{n+1} 远大于应用 GPS 系统对观测站的定位误差. 故在实际应用中可以不考虑观测站自身的定位误差^[11].

2.1.2 相对位移 Δ 的估计误差的影响

对式(14)首项系数归一化, 得

$$r_{n+1}^4 + D_3' r_{n+1}^3 + D_2' r_{n+1}^2 + D_1' r_{n+1} + D_0' = 0 \quad (23)$$

式中, $D_3' = D_3/D_4$, $D_2' = D_2/D_4$, $D_1' = D_1/D_4$, $D_0' = D_0/D_4$. 代入式(15)~(19), 有

$$\left[4r_{n+1}^3 + \left(6\Delta + \frac{3C_3}{C_4} \right) r_{n+1}^2 + \left(12\Delta^2 + \frac{6C_3}{C_4} \Delta + \frac{2C_2}{C_4} \right) r_{n+1} + \left(16\Delta^3 + \frac{3C_3}{C_4} \Delta^2 + \frac{2C_2}{C_4} \Delta + C_1 \right) \right] \frac{\delta r_{n+1}}{\delta \Delta} = 0 \quad (24)$$

式(24)各项乘 r_{n+1} , 并联合式(14), 可得

$$\frac{\delta r_{n+1}}{r_{n+1}} \approx \frac{1}{2} \frac{\delta \Delta}{\Delta} \quad (25)$$

式(25)显示, 相对位移 Δ 的估计误差对距离估计的误差影响不明显.

2.1.3 目标方位角和俯仰角测量误差的影响

对式(14)求关于 $\alpha_n, \beta_n, \alpha_{n+1}, \beta_{n+1}$ 的微分, 并记

$$\frac{\delta \alpha_n}{\alpha_n} = \frac{\delta \alpha_{n+1}}{\alpha_{n+1}} = \frac{\delta \beta_n}{\beta_n} = \frac{\delta \beta_{n+1}}{\beta_{n+1}} = \frac{\delta \psi}{\psi} \quad (26)$$

通过复杂的推导过程, 有

$$\frac{\delta r_{n+1}}{r_{n+1}} \approx \pm \frac{1}{4} \frac{\delta \psi}{\psi} \quad (27)$$

因此, 可以认为目标方位角和俯仰角的测量误差对距离估计方程性能几乎不发生影响.

2.1.4 特征线度误差的影响

考虑到式(14)只有 $D_0' = D_0/D_4$ 含有目标特征线度的信息, 对式(14)求关于 L_n, L_{n+1} 的微分, 有

$$\frac{dD_0'}{dL} = \frac{\partial D_0'}{\partial L_n} + \frac{\partial D_0'}{\partial L_{n+1}} = 0 \quad (28)$$

记 $\delta L_n/L_n = \delta L_{n+1}/L_{n+1} = \delta L/L$, 通过复杂的推导过程, 可得

$$\frac{\delta r_{n+1}}{r_{n+1}} \approx - \frac{4r_{n+1} D_0' \frac{1}{L_n}}{r_{n+1}^4 - D_2' r_{n+1}^2 - 3D_0'} \approx - \frac{4}{3} \frac{\delta L}{L} \quad (29)$$

至此, 对照式(22)、(25)、(27)和(29), 易知目标线度误差对距离估计性能影响最大, 几乎决定了式(14)的测距性能. 因此, 高准确度的特征线度获取值得重点研究.

2.2 特征线度选取

在文献[1]及文献[12]的基础上, 文献[13]开展了基于尺度不变特性变换 (Scale Invariant Feature Transform, SIFT) 特征点导引的 P3P 图像匹配算法^[10], 在此基础上, 研究了单目图像序列中目标特征线度选取问题.

设在相邻图像帧内, 特征点 A, B, C 与 A', B', C' 确定为匹配点, 那么, 可以根据 A, B, C 或 A', B', C' 来确定特征线度, 如图 3. 其中: A, B, C 为匹配点对中组成三角形的三个顶点, 圆 O' 为三角形 ABC 的外接圆, O 为三角形 ABC 的重心. 假设 B 点方向 BM 为这三个点的 SIFT 特征主方向, 直线 DE 为过

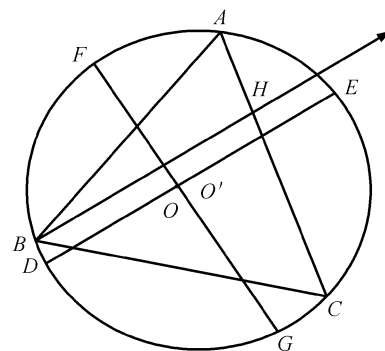


图 3 特征点 A, B, C 及特征线度
Fig. 3 Feature point A, B, C and the selecting characteristic linearity

重心 O 与主方向平行的弦, FG 为过重心与主方向相互垂直的外接圆的弦.

在图 3 中,可以选作特征线度的有线段 BH 、线段 BM 、线段 DE 、线段 FG . 图 4 显示了将图像旋转 1° 、 2° 、 3° 、 5° 、 7° 、 8° 后,背景图像关键点线度与目标图像关键点线度之差及缩放比例的关系. 实验中所使用的原图像是 256×256 像素的 8 位灰度 Lena 图像.

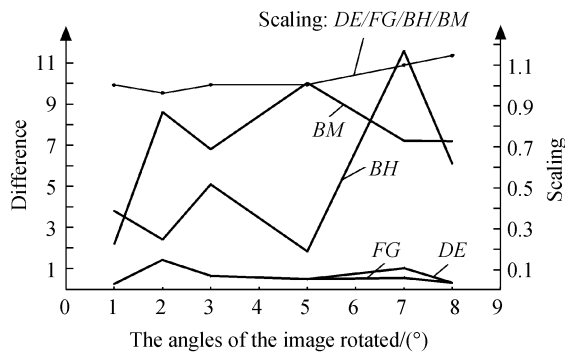


图 4 旋转角度与线度、缩放比例关系
Fig. 4 The linearity size and affine scaling for each characteristic linearity

从图 4 中可以看出,无论采用哪种线段做特征线度,缩放比例的计算值基本正确.但是,将线段 DE 或线段 FG 作为线度,背景图像与目标图像之间线度的差值基本小于 1.5;若将线段 BH 或线段 BM 做线度,差值不稳定,两者差值时大时小,差值总体而言要比用 DE 或 FG 做线度要大.所以将 DE 或 FG 作为特征线度是合理的.

3 实验结果及结论

为了验证基于式(14)的被动测距算法,进行了缩比模型^[1]实验研究.本文给出一个试验图像序列共计 8 帧目标图片、对应的测量数据及实验结果.实验拍摄的目标模型序列图像见图 5,各帧图像的拍摄条件及相应的测距结果分别见表 1.

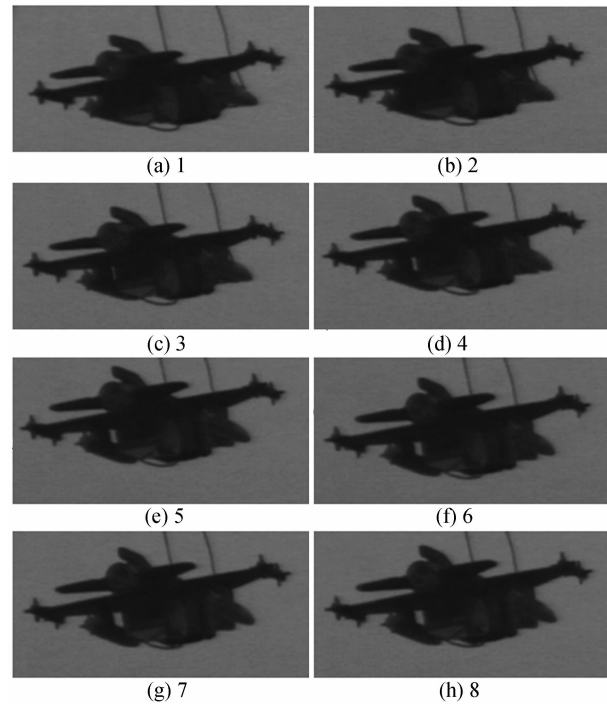


图 5 实验目标图像序列
Fig. 5 Target images sequence one for the experiment

表 1 测量数据集距离估计误差

Table 1 The detected data and the estimative distance

Frame	Camera position	Azimuth	Pitching	Distance measured	Distance estimated	Relative error/(%)
1	(0, -3, 0)	$179^\circ 35'$	$275^\circ 50.7'$	247		
2	(0, -6, 0)	$179^\circ 40'$	$275^\circ 50.7'$	246	244.12	0.76
3	(0, -9, 0)	$179^\circ 40'$	$275^\circ 50.7'$	245	239.35	2.31
4	(0, -12, 0)	$179^\circ 40'$	$275^\circ 50.7'$	244	237.24	2.77
5	(0, -15, 0)	$179^\circ 55'$	$275^\circ 50.7'$	243.5	250.50	2.87
6	(0, -18, 0)	$179^\circ 57'$	$275^\circ 50.7'$	242	242.59	0.25
7	(0, -21, 0)	$179^\circ 57'$	$275^\circ 50.7'$	241	240.27	0.30
8	(0, -24, 0)	$180^\circ 7.5'$	$275^\circ 50.7'$	242	242.76	0.31

表 1 中,各帧图像与图 5 中各帧图片相对应,目标方位角、俯仰角来自 75 型炮兵测地经纬仪.目标根据表 1,目标距离估计相对误差不超过 $\pm 3\%$,优于文献[6]的结果.大量实验证实了本文提出的测距方法能够实现对非合作大目标的被动测距.

4 结论

本文介绍了一种基于单目图像和方向的测距系统.这种被动测距系统利用 SIFT 导引的 P3P 算法

实现序列图像中相邻帧目标特征点的匹配,以获取相邻采样时刻上目标的线度特征、缩比关系;然后,通过特定的测距方程估计出目标与摄像系统的距离.文章分析了有关测量因素对目标距离估计准确度的影响,最后,探讨了作为主要影响因素的特征线度的选取问题.这种算法基于 DM6437 的 DSP 系统中得到实现.

参考文献

[1] FU Xiao-ning. Research on infrared passive location

- technology from mono-station[D]. Xi'an: Xidian University, 2005.
- 付小宁. 红外单站被动定位技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2005.
- [2] FU Xiao-ning, LI Xi-an. Single observer passive location and achievement with photoelectric methods[J]. *Journal of Test and Measurement Technology*, 2002, **16**(1): 45-47.
- 付小宁, 李西安. 单站被动定位及其光电实现[J]. 测控技术学报, 2002, **16**(1): 45-47.
- [3] ZHAO Xun-jie, GAO Zhi-yun. Review of passive range sensing techniques[J]. *Optical Technique*, 2003, **29**(6): 652-656.
- 赵勋杰, 高稚允. 光电被动测距技术[J]. 光学技术, 2003, **29**(6): 652-656.
- [4] RAGHUVVEER R, SEUNGSIN L. A video processing approach for distance estimation [C]. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, Toulouse, France, 2006: 1192-1195.
- [5] LEPETIT V, FUA P. Monocular model based 3D tracking of rigid objects[M]. Hanover: Now Publishers Inc., 2005.
- [6] FU Xiao-Ning, LIU Shang-Qian, LI En-ke. A real time image sequence procession algorithm for target ranging[C]. *SPIE*, 2007, **6279**: 62793A.
- [7] FU Xiao-ning, LIU Shang-qian, SHEN Jian-hua. Research on passive location to battleplane proceeds from characteristic linearity [J]. *Journal of Electronic Measurement and Instrument*, 2005, **19**(4): 25-29.
- 付小宁, 刘上乾, 申建华. 借助特征线度的飞机被动定位研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2005, **19**(4): 25-29.
- [8] FU Xiao-ning, LIU Shang-qiang. Research on a novel ranging algorithm based on opto-electronic imaging through single lens [J]. *Opto-Electronic Engineerin*, 2007, **34**(5): 10-14.
- 付小宁, 刘上乾. 基于光电成像的单站被动测距[J]. 光电工程, 2007, **34**(5): 10-14.
- [9] FU Xiao-ning. On the baseline scheme for single observer passive ranging[J]. *Laser & Infrared*, 2001, **31**(6): 374 - 376.
- 付小宁, 关于基线单站被动测距[J]. 激光与红外, 2001, **31**(6): 374-376.
- [10] QIU Zhi-qiang, LU Hong-wei, YU Qi-feng. A comparison of algorithms for image-based 3-D motion estimation [J]. *Optical Technique*, 2004, **30**(1): 110-113.
- 邱志强, 陆宏伟, 于起峰. 基于图像的三维刚体运动估计算法比较[J]. 光学技术, 2004, **30**(1): 110-113.
- [11] WANG Jie. A kind of passive ranging technology research and its applicability[D]. Xi'an: Xidian University, 2010.
- 王洁. 一种光电被动定位技术适用性研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.
- [12] ZHU Fu-shuai. Research on the SIFT for image matching [D]. Xi'an: Xidian University, 2009.
- 祝付帅. SIFT 仿射不变特征应用于图像匹配[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2009.
- [13] WANG Di. Study on the characteristic linearity choice in image sequence with single lens [D]. Xi'an: Xidian University, 2010.
- 王荻. 单目图像序列中目标特征线度选取的研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2010.

A Passive Ranging System Based on Image Sequence From Single Lens and the Respective Imaging Direction along with Its Performance

WANG Di, WANG Jie, FU Xiao-ning

(School of Electromechanical Engineering, Xidian University, Xi'an 710071, China)

Abstract: Aiming at the passive ranging to a non-cooperate target, a system based on image sequence from single lens and the respective imaging direction is introduced with its performance. This ranging system does not need initial distance guiding. The distance from target to camera can be estimated by solving a special ranging equation, which is made from target's characteristic linearity, camera's coordinates in space, and the target's azimuth and pitching to the camera. Among these data, azimuth and pitching are obtained by an electro-optical altazimuth. Camera's coordinates come from a GPS, and the target's characteristic linearity will be from the image matching between adjacent frames in the image sequence. Analysis shows that the ranging error is mainly determined by the precision of the characteristic linearity, other influencing factors have less impact, which include the measurement error of the target's azimuth or pitch and the error of the camera's coordinates. Thus a linearity can be obtained by selecting three matched points in each adjacent frames. These three points have strong Scale Invariant Feature Transform characteristic, with the points a triangle and its circumcircle can be settled. The chord across barycenter of the triangle can be taken as the best characteristic linearity. The experimental result indicates that this ranging method can realize the passive ranging to a non-cooperate big target.

Key words: Passive ranging; Performance analysis; SIFT; P3P; Image sequence; Single lens