

基于仿生双目的无人旋翼机自主着陆方法

张丽薇, 谢少荣, 罗 均, 王 涛

(上海大学机械电子工程与自动化学院, 上海 200072)

摘 要: 基于仿生双目理论提出一种仿双眼异向运动的变视轴夹角双目视觉系统, 通过对实时采集的目标图像的处理, 研究其双目摄像机夹角的在线自标定, 实现获取无人旋翼机的实时高度信息。实验结果表明, 该方法获得的光轴夹角信息相对误差小于 5%, 能准确控制双目摄像机的转动, 避免由于双目视觉盲区所造成的着陆误差, 系统所标定出的旋翼机高度信息也为其安全着陆提供了有力保障。

关键词: 无人旋翼机; 仿生视觉; 自主着陆; 摄像机标定

Method of Unmanned Helicopter Autonomous Landing Based on Binocular Stereo

ZHANG Li-wei, XIE Shao-rong, LUO Jun, WANG Tao

(School of Mechatronics Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

【Abstract】 Based on the binocular stereo vision theory, a binocular vision system is presented, whose axis angle can be changed real time. Through dealing with real-time acquisition of the target image, the axis angle of stereo vision sensor can be calibrated, and the real-time height of unmanned helicopter can be achieved. Experimental results show that the calibration error of the axis angle is less than 5%. It can control stereo vision sensor rotate accurately, avoid the landing error caused by the blind spot of the binocular vision, and provide the security for the unmanned helicopter autonomous landing.

【Key words】 unmanned helicopter; binocular vision; autonomous landing; camera calibration

1 概述

近年来, 随着无人机应用领域的不断扩大, 对于如何实现无人机的自主着陆成为世界各国的研究热点。而利用机载的双目视觉系统的引导方法已成为这一方面研究的首选, 它不仅实现对降落目标的精准定位, 还可以精确计算出无人机实时的高度信息, 为自主着陆提供保障。

美国加州大学伯克利分校(UC Berkeley)、美国南加州大学(USC)、加州理工学院(California Institute of Technology)等都在开展这方面的研究, 主要是利用特殊形状的着陆平台来降低图像处理的难度。2006年, 日本 Chiba 大学使用机载双目视觉来获得精确的高度信息。但这一传统双目视觉系统的光轴夹角都是固定的, 具有较大的盲区, 使得在近距离时视觉系统不能及时获得深度信息, 造成着陆误差。

针对这一问题, 本文提出了一种仿双眼异向运动的变视轴夹角双目视觉系统, 并重点研究了双摄像机夹角在线自标定的方法, 以实现获取无人旋翼机的实时高度信息, 有效地解决了双目系统的盲区问题, 提高了无人旋翼机的着陆精度。

2 基于仿生双目的无人机自主着陆原理

2.1 无人机自主着陆模型

图 1 为仿双眼异向运动的变视轴夹角双目视觉系统模型, 根据摄像机的摆放方式, 建立双目视觉系统立体测量模型, 如图 2 所示。假设 2 个摄像机的光轴在空间会聚一点 C , O_L 和 O_R 分别是 2 个摄像机的光心, 其光轴与 Z 轴夹角为 θ 。两摄像机有相等的焦距 f , 粗黑线表示 2 个像平面, 世界坐标系 XYZ 的原点 O 与左摄像机光心 O_L 重合, 坐标系 $X_L Y_L Z_L$ 和 $X_R Y_R Z_R$ 分别是左右两摄像机坐标系, 摄像机光心之间的距

离称为基线 B 。由此, 左右 2 个摄像机坐标系相对于世界坐标系的旋转矩阵 R_L 和 R_R 分别为^[1]:

$$R_L = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, R_R = \begin{bmatrix} \cos(-\theta) & \sin(-\theta) & 0 \\ -\sin(-\theta) & \cos(-\theta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

在双目立体视觉常规标定方法中, 可以得到 2 个摄像机之间的几何关系 R, T , 表示为: $R = R_R R_L^{-1}$, $T = T_R = [B \ 0 \ 0]^T$ 。

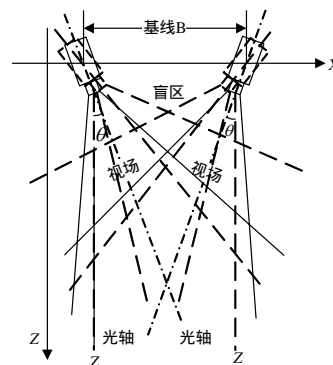


图 1 变视轴夹角的双目视觉系统模型

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2007AA04Z225); 国家自然科学基金资助项目(60605028)

作者简介: 张丽薇(1984-), 女, 硕士研究生, 主研方向: 机器仿生视觉, 图像处理; 谢少荣、罗 均, 教授、博士后、博士生导师; 王 涛, 实验员、硕士

收稿日期: 2010-03-12

E-mail: wealar@yahoo.cn

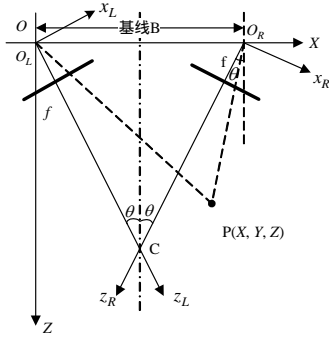


图2 双目立体视觉系统测量模型

2.2 双目立体视觉系统在线标定

假设摄像机的光学成像模型为针孔模型, 摄像机基本矩阵所定义的是基于 2 副图像上点的对应的基本几何约束关系^[2]。这个基本的几何约束关系表示如下:

$$U_R^T F U_L = 0 \quad (2)$$

式中, U_R 和 U_L 是空间点在左、右图像上对应的二维图像坐标, F 是基本矩阵, $F = A_R^{-T} S R A_L^{-1}$ (S 为反对称矩阵, 它由平移矢量所定义), 它实际上包括了双目立体视觉系统的所有参数, 即 2 个摄像机内部参数 A_L 、 A_R 和视觉系统的结构参数 R 、 T 。这表明基本矩阵只与视觉系统的参数有关, 与外部场景无光, 是双目立体视觉内在的一种约束关系。根据上文分析的模型, 可以得到下列关系式:

$$\begin{bmatrix} X_R \\ Y_R \\ 1 \end{bmatrix}^T A_R^{-T} \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -B \\ 0 & B & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} A_L^{-1} \begin{bmatrix} X_L \\ Y_L \\ 1 \end{bmatrix} = 0 \quad (3)$$

其中, 内部参数 A_L 、 A_R 及基线 B 可根据文献[3-4]求得。由式(3)可以看出, 如果要实时地获得 θ 角度, 只需要对同一场景的 2 幅图像进行匹配, 得到对应图像点对的坐标 (X_L, Y_L) 、 (X_R, Y_R) 。

2.3 特征点提取和匹配

基于本文实际情况, 采用尺度不变特征变换算法(Scale Invariant Feature Transform, SIFT)^[5-6], 它检测的点特征是图像的局部特征, 该特征对平移、旋转、尺度缩放、尺度变化保持不变性, 对视角变化、仿射变化、噪声也保持一定程度的稳定性。

(1)进行尺度空间极值检测, 建立图像的 DOG(Difference-Of-Gaussian)金字塔, 在 DOG 尺度空间中的 26 个领域中检测极值, $D(x, y, \sigma)$ 是 2 个相邻尺度图像之差, 即:

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma)) \times I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \quad (4)$$

一个点如果在 DOG 尺度空间本层以及上下 2 层的 26 个领域中是最大或最小值时, 就认为该点是图像在该尺度下的一个特征点。

(2)形成特征向量。这里考虑到实时性的问题, 采用了文献[7]为加速图像匹配的 SIFT 简化算法。以特征点为中心用圆形窗体统计 12 个梯度方向, 并将这些梯度方向归一化, 保证光照不变性。假设 D 是特征点的特征性向量, 即 $D = (d_1, d_2, \dots, d_{12})$, 归一化后得到:

$$D = \frac{D}{\sqrt{\sum_{i=1}^{12} d_i^2}} = (\bar{d}_1, \bar{d}_2, \dots, \bar{d}_{12}) \quad (5)$$

(3)查找最大的梯度方向统计量, 如果该统计量元素位于 12 维向量的头部则向量最终形成。

(4)特征匹配。当 2 幅图像的 SIFT 特征向量生成后, 就采用欧式距离作为图像中关键点的相似性判定度量, 当此距离小于某个阈值时就认为这 2 个点已匹配上。

2.4 实时高度信息获取

在任意时刻 i 中, 通过特征点的提取和匹配得到任意指定点 P 的匹配点, 获得它们对应的图像坐标 (X_{Li}, Y_{Li}) 和 (X_{Ri}, Y_{Ri}) , 再经过双目立体视觉系统的标定式, 得到 2 个摄像机的基本矩阵 P_{Li} 、 P_{Ri} , 利用下面的关系式可求出对应的空间三维坐标^[8]。

$$\begin{bmatrix} X_{Li} \\ Y_{Li} \\ 1 \end{bmatrix} = P_{Li} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix}, \quad \begin{bmatrix} X_{Ri} \\ Y_{Ri} \\ 1 \end{bmatrix} = P_{Ri} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \\ Z_i \end{bmatrix} \quad (6)$$

对方程组进行求解, 便可得到其指定点 P 在任意时刻 i 的空间坐标。其中, Z_i 即为所求的实时高度信息 H_i 。

3 实验及结果分析

双目视觉系统中的 2 个摄像机均选用 Canon VC-C50iR, 将其固定在模拟着陆平台上(图 3), 着陆目标如图 4 所示。经离线标定后得到其光心距离 B 为 385 mm, 初始光轴夹角 θ 为 5.4° , 且内部参数为:

$$A_R = A_L = \begin{bmatrix} 13.25 & -0.07 & -0.00143 \\ 0 & 7.8 & -0.003 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$



图3 模拟着陆平台

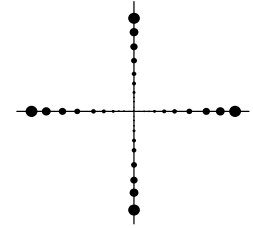


图4 着陆目标

着陆实验的初始高度设定为 3 m, 下降速度为 50 mm/s, 但在实际降落过程中, 直到高度下降到 2 m 时, 着陆目标的图像发生明显偏移, 开始控制摄像机夹角转动。此时, 对采集到的目标图像开始进行采样, 频率为 1 s/帧。标定后将双目摄像机转动的角度及其高度与实际值比较, 选取几个阶段对比, 结果如表 1 所示。

表1 标定结果与误差

序号/帧	实际高度/mm	标定高度/mm	高度相对误差/(%)	实际转角/(°)	标定转角/(°)	转角相对误差/(%)
1	2 000	1 956	2.20	5.40	5.23	3.15
4	1 800	1 767	1.83	7.20	6.85	4.86
10	1 500	1 458	2.80	8.33	7.94	4.68
16	1 200	1 172	2.33	9.45	8.98	4.97
20	1 000	976	2.40	11.70	11.25	3.85
24	800	777	2.88	13.95	13.54	2.94
28	600	586	2.33	19.35	18.97	1.96
30	500	491	1.80	22.50	22.12	1.69
32	400	394	1.50	26.66	26.23	1.61
34	300	296	1.34	32.06	31.58	1.50

实验结果表明, 本文所述的研究方法, 能够准确地获得摄像机的高度及其角度, 误差精度控制在 5%以内, 为控制旋翼无人机准确着陆提供了可靠的位置信息, 提高了其降落的安全性能。

(下转第 197 页)