

# 无人直升机自主着舰的目标定位视觉算法

乌兰巴根<sup>1</sup>,胡继忠<sup>1</sup>,徐元铭<sup>2</sup>

WULAN Ba-gen<sup>1</sup>,HU Ji-zhong<sup>1</sup>,XU Yuan-ming<sup>2</sup>

1.北京航空航天大学 航空科学与工程学院 轻机室,北京 100083

2.北京航空航天大学 航空科学与工程学院 飞机所,北京 100083

School of Aeronautics Science and Engineering,Beihang University,Beijing 100083,China

E-mail:wlbq@ase.buaa.edu.cn

WULAN Ba -gen,HU Ji -zhong,XU Yuan -ming,Visually -guided autonomous helicopter landing on deck.Computer Engineering and Applications,2007,43(34):243-245.

**Abstract:** A machine vision system has been developed for solution scheme for automatic landing of an unmanned helicopter on deck.For recognition known object,the system first captures the image,and then threshold,median filter,segment and label the helipad in image,final the system calculates the Affine Moment Invariants(AMI).When the error of the distance of AMI and standard value from database is about 10%,the system finds the helipad.In experimentation,the estimate error of the helipad center is small 3 pixels each axis and the estimate error of the azimuth is small 9 degree.

**Key words:** unmanned helicopter;automatic landing;affine moment invariants;machine vision

**摘 要:**根据无人直升机自主着舰的任务特点,构造了用于无人直升机自主着舰的视觉系统,选用仿射不变矩作为该视觉系统目标识别的特征和信息提取的手段,仿真实验表明,开发的算法能够在纵摇角小于 $15^\circ$ 的情况下正确的识别出目标,对目标中心位置的估计偏差在每个坐标轴向小于3个像素,方位角估计偏差小于 $9^\circ$ 。整套算法的鲁棒性和实时性满足无人直升机自主着舰的需求。

**关键词:**无人直升机;自主着舰;仿射不变矩;机器视觉

**文章编号:**1002-8331(2007)34-0243-03 **文献标识码:**A **中图分类号:**TP217.3

无人直升机因其特有的优点而受到世界范围内的科研工作者的关注。在无人直升机的使用中一个突出的问题就是如何实现安全回收,常规由操纵人员遥控降落的方式受到天气、能见度等多种因素的限制,导致事故率较高。所以实现无人直升机自主回收十分必要。在无人直升机自主着陆的研究中,一直比较活跃的领域是基于机器视觉技术的无人直升机自主着陆,例如文献[3]。近来,科研人员在无人直升机自主着舰的研究中也开始关注机器视觉技术。例如文献[5]。本文根据无人直升机在着舰阶段的工作特点,构建了一套以机器视觉技术为基础的自主着舰系统,并设计了相应的算法。仿真实验表明,本文提出的算法满足无人直升机自主着舰的要求。

## 1 自主着舰视觉系统模型

自主着舰视觉系统的结构模型如图1所示。在视觉系统中,采用了单目视觉的方法,用激光测距仪作为高度表。船体的运动姿态由放置在船上的传感器提供。

视觉系统的工作流程如图2所示,当无人直升机返航到达母舰上空的一定区域内时,自主着舰视觉系统在接收到母舰的命令后开始工作,进入搜索模式。机上的机器视觉系统开始获取飞行区域的图像,视觉计算机在获得的图像中搜寻代表飞行

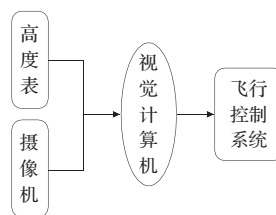


图1 视觉系统模型

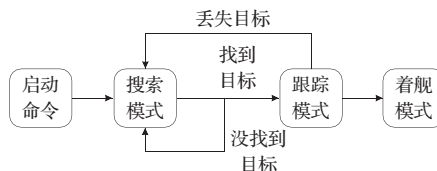


图2 视觉系统工作流程

甲板的特征图案。在识别出特征图案后,进入跟踪模式,利用特征图案的信息,求解出无人直升机相对于母舰飞行甲板的距离和方位信息,根据这些信息指挥无人直升机飞临甲板上空悬停,进入着舰模式。此后无人直升机开始分阶段的下降高度,在最后一次悬停时,当母舰的甲板处于水平及下沉状态,无人直升机完成着舰。并由固定装置固定在甲板上。

## 2 视觉算法

### 2.1 假设

无人直升机的机体坐标轴  $y$  垂直向下,  $x$  轴指向前。摄像机的光轴与无人直升机的坐标轴  $y$  重合, 图像的坐标轴与无人直升机机体的坐标轴平行, 且都采用右手坐标系。

### 2.2 图像处理算法

(1) 阈值分割: 由于存在各种无法预知的因素, 采集得到的图像中可能包含有噪声和一些模糊的元素, 同时为了减少计算的成本, 也需要把采集得到的彩色图像转换成二值图像。首先把彩色图像转换成灰度图, 这样可以减少色彩和饱和度的影响。转化公式如下:

$$Y=0.229*R+0.587*G+0.114*B$$

其中  $R, G, B$  为像素的红绿蓝颜色值。

阈值分割中的阈值选择是算法成败的关键。采用自适应的阈值分割技术, 算法根据图像的灰度直方图自动的选择最佳的阈值。阈值分割的效果如图 3(b) 所示。

(2) 中值滤波: 在阈值分割过的图像中, 可能存在噪声和边缘的锐化等不利信息, 为了保证以后计算的精度, 需要进行中值滤波。根据实际的需要并考虑计算成本, 在本实验中采用了  $7 \times 7$  的中值滤波。滤波效果如图 3(c) 所示。

(3) 分割和标定: 在中值滤波产生的图像中可能存在多个可能的目标的区域, 为提取特征目标, 首先要找到那些连续的目标区域, 即把图像分割成多个部分, 每个部分都只包含一个可能的目标。然后对这些部分中的目标区域进行标定, 统计各部分连续的目标区域大小。在这里连续定义为 8 连通邻域。对那些小于 300 像素或大于 5 500 像素的连通区域进行舍弃。其效果如图 3(d)。

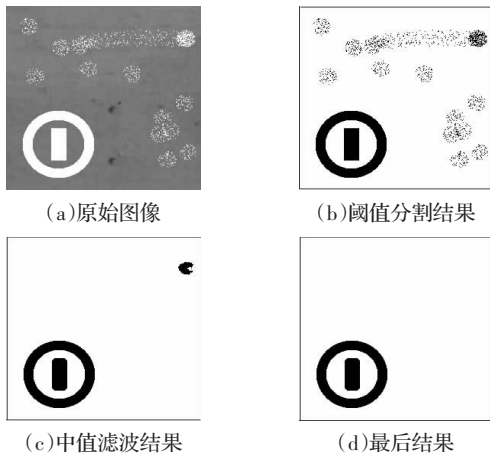


图3 图像处理结果

### 2.3 降落场识别

用于无人直升机自主着舰的降落场识别算法必须满足准确性、鲁棒性和实时性要求。同时提取的信息还必须满足无人直升机与降落场的相对距离、方位算法的准确性。

目标的识别可以采取的几何特征包括周长、面积、矩等, 这些特征在不同的条件下能够很好地完成目标的识别。在无人直升机自主着舰的过程中, 由于甲板和无人直升机的运动, 使得拍摄得到的目标图像可能存在变形, 为此特征的选择必须能够除去运动和噪声的影响。

一个二维连续函数  $f(x, y)$  的  $(p+q)$  阶矩定义如下:

$$m_{pq} = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} x^p y^q f(x, y) dx dy$$

对于数字图像, 矩可以表达成:

$$m_{pq} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} i^p j^q f(i, j)$$

具有平移不变性的中心矩定义如下:

$$\mu_{pq} = \sum_{i=-\infty}^{\infty} \sum_{j=-\infty}^{\infty} (i-x_c)^p (j-y_c)^q f(i, j)$$

其中  $x_c$  和  $y_c$  是区域重心的坐标, 由下式得到:

$$x_c = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad y_c = \frac{m_{01}}{m_{00}}$$

为了实现对目标的识别, 必须构造满足平移、旋转、缩放不变性质的特征矩, 在这方面有很多研究成果, 例如 Hu 矩。在着舰过程中, 由于甲板的运动使目标成像平面在摄像时可能不与摄像机的光轴垂直, 这使得 Hu 矩无法使用。分析可知, 根据针孔摄像机模型, 在目标平面倾斜时, 成像的变换近似的满足仿射变换。为此, 选择由 Flusser 和 T.Suk 提出的仿射不变矩 (AMI)。

前六阶 AMI 如下:

$$I_1 = \frac{1}{4} (\mu_{20}\mu_{02} - \mu_{11}^2)$$

$$I_2 = \frac{1}{10} (\mu_{30}\mu_{03}^2 - 6\mu_{30}\mu_{21}\mu_{12}\mu_{03} + 4\mu_{30}\mu_{12}^3 + 4\mu_{03}\mu_{21}^3 - 3\mu_{12}^2\mu_{21}^2)$$

$$I_3 = \frac{1}{7} (\mu_{20}(\mu_{21}\mu_{03} - \mu_{12}^2) - \mu_{11}(\mu_{30}\mu_{03} - \mu_{21}\mu_{12}) + \mu_{02}(\mu_{30}\mu_{12} - \mu_{21}^2))$$

$$I_4 = \frac{1}{11} (\mu_{20}\mu_{03}^3 - 6\mu_{20}\mu_{11}\mu_{12}\mu_{03} + 9\mu_{20}\mu_{02}\mu_{12}^2 + 12\mu_{20}\mu_{11}\mu_{21}\mu_{03} +$$

$$6\mu_{20}\mu_{11}\mu_{02}\mu_{30}\mu_{03} - 18\mu_{20}\mu_{11}\mu_{02}\mu_{21}\mu_{12} - 8\mu_{11}\mu_{30}\mu_{03} - 6\mu_{20}\mu_{02}\mu_{30}\mu_{12} + 9\mu_{20}\mu_{02}^2\mu_{21} + 12\mu_{11}\mu_{02}\mu_{30}\mu_{12} - 6\mu_{20}\mu_{02}\mu_{21}\mu_{03} - 6\mu_{11}\mu_{02}\mu_{30}\mu_{21} + \mu_{02}^3\mu_{30})$$

$$I_5 = \frac{1}{6} (\mu_{40}\mu_{04} - 4\mu_{31}\mu_{13} + 3\mu_{22}^2)$$

$$I_6 = \frac{1}{9} (\mu_{40}\mu_{04}\mu_{22} + 2\mu_{31}\mu_{22}\mu_{13} - \mu_{40}\mu_{13}^2 - \mu_{04}\mu_{31}^2 - \mu_{22}^3)$$

已经证明, 高阶仿射不变矩对形状的变化更加敏感, 同时对噪声也更加敏感。对于具有放射状对称的图案, 由于在  $p$  或  $q$  为奇数时,  $\mu_{pq} = 0$ , 可知此时  $I_2, I_3, I_4$  也为零, 所以它们不能够作为目标识别的特征。

对于已经处理过的采集图像, 计算  $I_1, I_5$  和  $I_6$ , 然后同数据库存储的标准数据进行对比, 采用三维欧氏距离度量, 当目标的特征在标准值的  $\pm 15\%$  的范围内时, 就认为正确的识别出了目标。

### 2.4 距离和方位计算

距离计算的原理图如图 4 所示。图中所示为只考虑船体纵向运动的情况。其中  $\angle cde$  为船体纵摇角, 令其等于  $\beta$ 。依据图中所示的几何关系, 可以得到:

$$x_{heli} = |am| = \frac{hx_0}{f \cos(\beta) + x_0 \sin(\beta)}$$

其中:  $x_{heli}$  是降落场中心与无人直升机  $x$  轴向的距离,  $x_0$  是降落场中心在图像中的坐标,  $\beta$  为船体的纵摇角,  $f$  为摄像机的焦距,  $h$  为高度表测得无人直升机相对甲板的高度。

同理, 可以得到无人直升机与降落场中心的  $y$  轴距离, 如下:

$$y_{heli} = \frac{-hy_0}{f \cos(\beta) - y_0 \sin(\beta)} \quad y_0 < 0$$

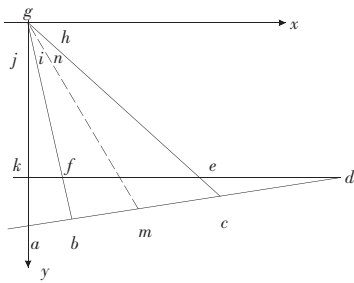


图4 距离计算示意图

$$y_{heli} = \frac{hy_0}{f \cos(\beta) + y_0 \sin(\beta)} \quad y_0 > 0$$

无人直升机的方位角定义为目标的中心矩主轴与无人直升机主轴之间的夹角,据此定义,可以得到方位角  $\theta$  为下式:

$$S(\theta) = \sum_{(i,j) \in \mathcal{R}} [(i-x_c) \cos(\theta) - (j-y_c) \sin(\theta)]^2$$

$\mathcal{R}$  为目标区域。

取最小值时的  $\theta$  值,解得:

$$\theta = \frac{1}{2} \arctan\left(\frac{2\mu_{11}}{\mu_{20} - \mu_{02}}\right)$$

### 3 仿真实验

为了验证视觉算法的可靠性,进行了仿真实验。仿真是在 P4 2.6 GHz 的计算机上进行的。实验中图像大小为 256×256,分别在缩放、平移、旋转、倾斜的条件下对视觉算法进行了实验,实验结果如表 1。

从中可以看出,仿射不变矩在识别目标上具有良好的可靠性和鲁棒性,在定义了合理的距离准则后,可以胜任无人直升机自主着舰的目标识别任务。视觉算法在估计目标的中心(由于目标的对称性,目标的重心及为中心)位置时精确到了两位小数位,可以提高位置计算精度,与实际图像比较,目标水平时中心坐标  $x, y$  的估计偏差在 3 个像素内,随着纵摇角增大,估计的偏差增大。方位角的估计在目标处于水平位置时具有较高的精度,偏差小于 9°,随着纵摇角增大,方位角的估计的偏差增大。当纵摇角为 15°时,方位角的估计偏差达到了 24.6°。在实际的使用中,由于采用格栅或鱼叉固定无人直升机,这些固定

表 1 仿真试验结果

纵摇角 $\beta$	高度 $h$	中心坐标 偏差/像素		方位角 /弧度	$I_1$	$I_5$	$I_6$
		$x_c$	$y_c$				
$\beta=0, h=h_0$		0.00	1.11	0	0.026 52	0.003 24	0.000 04
$\beta=0, h=0.5h_0$		2.50	0.29	0	0.026 16	0.003 16	0.000 03
$\beta=5^\circ, h=h_0$		2.49	1.14	-0.126 74	0.026 26	0.003 18	0.000 03
$\beta=0^\circ, h=h_0$ 旋转 45°		0.66	0.27	-0.631 95	0.026 85	0.003 30	0.000 04
$\beta=10^\circ, h=h_0$		4.30	0.93	-0.301 35	0.026 81	0.003 30	0.000 04
$\beta=0^\circ, h=h_0$ 旋转 75°		2.96	1.28	-1.340 53	0.027 40	0.003 44	0.000 04
$\beta=15^\circ, h=h_0$		7.46	0.82	-0.372 43	0.026 40	0.003 21	0.000 04
$\beta=0, h=2h_0$		2.82	1.84	-0.121 02	0.025 19	0.002 97	0.000 03
$h=2h_0$ , 任意旋转和倾斜		2.12	1.49	-0.068 37	0.031 13	0.004 32	0.000 05
$h=2h_0$ , 任意旋转和倾斜		2.61	3.81	-0.299 96	0.026 97	0.003 38	0.000 04

系统对无人直升机着舰时刻的方位角要求不高,可以容忍该视觉算法的方位角偏差。另外,在调整无人直升机的时候,可以只采用目标水平时的估计数据。

### 4 总结

本文提出的视觉算法能够在无人直升机自主着舰中正确的识别出降落场,对无人直升机相对于降落场的距离和方位角的估计满足无人直升机自主着舰的要求。在实验中,算法的处理速度为 10 Hz-12 Hz,满足实时性要求。可以胜任无人直升机自主着舰。(收稿日期:2007 年 6 月)

### 参考文献:

- [1] Zitová B, Flusser J. Landmark recognition using invariant features [J]. Pattern Recognition Letters, 1999(20): 541-547.
- [2] Flusser J, Suk T. Pattern recognition by affine moment invariants [J]. Pattern Recognition, 1993, 26(1): 167-174.
- [3] Saripalli S, Montgomery J F, Sukhatme G S. Visually-guided landing of an unmanned aerial vehicle [J]. IEEE Transactions on Robotics and Automation, 2003, 19(3): 371-381.
- [4] Sonka M. Image processing, analysis, and machine vision [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [5] Qiu Li-wei, Song Zi-shan, Shen Wei-qun. Computer vision scheme used for automate landing of unmanned helicopter on ship deck [J]. Acta Aeronautica et Astronautica Sinica, 2003, 24(4): 351-354.

(上接 219 页)

语音的短期和长期参数的结合使用,将可提高正常/病态语音的识别率。继续寻找长、短期特征参数的有效组合来表示病态噪音,用更精确的算法设计更好的码书和识别系统以得到更高的识别率;通过喉镜等工具严格挑选正常对照组和病态组的语音样本数据,这些是将继续进行的工作。

(收稿日期:2007 年 5 月)

### 参考文献:

- [1] 杨式麟. 噪音的声学检测 1-7 [J]. 听力学及言语疾病杂志, 2001-2003.
- [2] 刘加林, 刘世喜. 计算机噪音测试参数的特点及临床意义 [J]. 生物医学工程学杂志, 2006, 23(4): 919-922.
- [3] Huang N E, Shen Z, Long S R, et al. The empirical mode decomposition and Hilbert spectrum for nonlinear and nonstationary time series analysis [C] // Proc Roy Soc London A, 1998, 454: 903-995.

- [4] Rabiner L R, FELLOW, IEEE. A tutorial on Hidden markov models and selected applications in speech recognition [J]. Proceedings of the IEEE, 1989, 77(2).
- [5] 黄大吉. 希尔伯特-黄变换的端点延拓 [J]. 海洋学报, 2003, 25(1): 1-11.
- [6] Flandrin P, Gabriel Rilling G, Goncalves P. Empirical mode decomposition as a filter bank [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2004, 11(2): 112-114.
- [7] Wu Z, Huang N E. A study of the characteristics of white noise using the empirical mode decomposition method [J]. Proc R Soc London A, 2002.
- [8] 何强, 何英. MATLAB 扩展编程 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.
- [9] 郭志祥. 声图及其在喉科的临床应用 [M]. 上海: 上海医科大学出版社, 1991.
- [10] 杨行峻, 迟惠生. 语音信号数字处理 [M]. 北京: 电子工业出版社, 1995.