

文章编号: 1003-501X(2007)06-0011-04

对数极坐标图像匹配在目标姿态测量中的应用

张 叶^{1,2}, 曲宏松^{1,2}, 赵 建¹, 王延杰¹

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;
2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 本文介绍了一种基于极坐标下图像匹配的方法实现帧与帧之间旋转角度的计算, 并可以得到目标轮廓保证可靠跟踪, 其坐标变换部分不同于传统的对数极坐标变换, 该方法并不进行对笛卡尔坐标系下图像的采样, 而是完全保留目标精确的边缘信息用以进行边缘形状匹配。匹配过程分为粗匹配和精匹配两步进行, 这种方法主要是利用了极坐标下目标轮廓旋转不变性来实现的。本文还提出了一种双目测量目标旋转角度系统, 通过该系统可以完成对空间中的目标在任一旋转平面上的旋转角度。实验证明, 该方法计算量小、简单实用、跟踪精度满足要求。
关键词: 目标跟踪; 目标姿态测量; 图像匹配; 目标识别

中图分类号: TP391

文献标识码: A

Log-polar image matching for moving target attitude detection

ZHANG Ye^{1,2}, QU Hong-song^{1,2}, ZHAO Jian¹, WANG Yan-jie¹

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;
2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: The target attitude extraction is an important task for moving target trackers, especially, the rotated targets recognition and tracking. A technique to calculate rotating angles and to utilize scaling value to ensure credibility tracking with contour of the target is introduced in the paper. In this method, the coordinate transformation is different from the traditional log-polar transform. The accurate contour is remained completely after the coordinate transformation. The matching process is divided into two steps; one is rough matching and the other is fine matching. And a binocular camera system is proposed in this paper. The experimental results show the tracking accuracy meets the system requirement with a small quantity of calculation.

Key words: Target tracking; Target attitude detection; Image matching; Target recognition

引 言

运动目标姿态测量技术是目标识别跟踪的一个重要组成部分, 对国防与民用工业有着重要作用。其中如何跟踪旋转目标以及如何识别出目标旋转角度是一个关键问题, 国内外提出了很多办法, 主要是寻找一些具有旋转缩放不变性的模型进行变换, 如应用不变矩^[2]的概念来进行目标识别, 一般都是提取目标旋转不变性的特性, 对于简单图像有很好的识别效果, 但是其计算量相对较大, 而且都有一些前提条件, 对目标的形状和特征点选择都有许多具体要求。目前解决目标的旋转问题的最好办法是建立极坐标模型进行分析^[3], 极坐标变换具有计算量小, 把旋转问题转换为平移问题的特点, 如何进行极坐标转换后图像的匹配问题称为旋转角度识别的关键, 需要保留目标边缘的高精度, 利用目标的轮廓不变性, 求出轮廓平移量。

收稿日期: 2006-08-07; 收到修改稿日期: 2007-03-20

基金项目: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所青年基金资助项目

作者简介: 张 叶(1981-), 女(汉族), 吉林长春人, 在读博士生, 主要研究工作是低层计算机视觉及其在目标识别与跟踪中的应用。

E-mail: zhang.leaflet@gmail.com

1 对数极坐标(极对数栅格法)

对数极坐标模型与人眼视网膜结构颇为相似,视网膜的中央凹处分辨率较高,随着中央凹处距离的不断增大,分辨率呈指数性越来越小,所以,当人眼注视的时候,所观察的事物非常清晰,而外围环境比较模糊。极对数栅格技术就是本着分辨率由高向低、由中间向四周的将直角坐标下的图像采样成极坐标下的图像,如图 1 中的(a)、(b)所示。图 1 中,(a)、(b)为对原图像进行栅格采样后进行对数极坐标变换,(c)为原图像上的点一一映射到对数极坐标中去,(c)图更多地保留了目标边缘,易于匹配。这种方法的好处是保留了感兴趣区域的主要特征而忽略其外围细节特征,常用于图像的压缩、目标识别^[4]。但对边缘信息的采样减小了对目标姿态测量的精度。

本文使用的对数极坐标模型对原始图像并不进行采样,而是将笛卡儿坐标系下的点一一对应到对数极坐标中,保留目标的真实轮廓,这样做的原因是因为由于直角坐标系中与中央距离越远的轮廓越可以被更多的点表示,所以转换到对数极坐标中,目标的轮廓有着较高的分辨率,而目标的中心分辨率较低,如图 1 中的(c)所示;所以当目标旋转时,变化的主要信息集中在目标的边缘,而中心的信息并不起决定性作用。

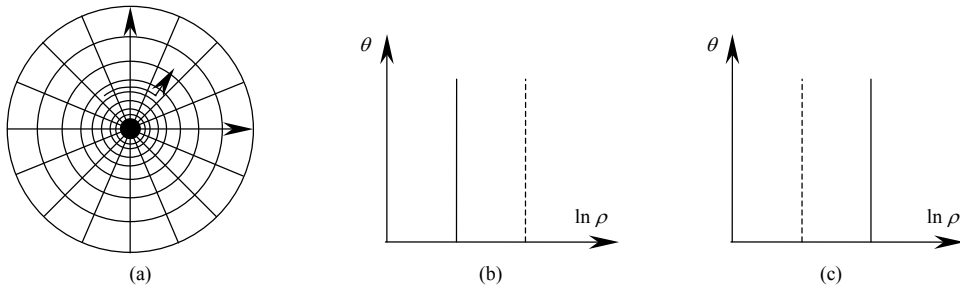


图 1 对数极坐标的两种变换

Fig.1 Two transformations of log-polar coordinate

2 运动目标姿态测量方法的研究

要建立笛卡儿坐标系下坐标 (x, y) 与对数极坐标系下坐标 (ρ, θ) 之间的关系,引用复数 z ,使得 $z=x+jy=\rho e^{j\theta}$,令 $\omega=\ln z$,对应复数 z 的实部与虚部,则得到对数极坐标与直角坐标间的对应关系,设对数极坐标为 (u, v) , (x_0, y_0) 为坐标圆点建立对数极坐标系模型,以第一象限为例,如式(1)所示:

$$\begin{aligned} u &= \ln \rho = \ln[\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}] \\ v &= \theta = \arctan[(y-y_0)/(x-x_0)] \end{aligned} \quad (1)$$

在运动目标姿态测量算法中,需要提取出目标的重心,本文使用局部最大的方法得到直方图的峰值和谷值的分布情况^[1],该方法速度快,主要解决多峰直方图的分割问题。选取阈值提取出目标所在的灰度范围,将图像二值化,应用重心公式提取出目标重心:

$$x_0 = \frac{\sum \sum x f(x, y)}{\sum \sum f(x, y)}, \quad y_0 = \frac{\sum \sum y f(x, y)}{\sum \sum f(x, y)} \quad (2)$$

由于目标在旋转和缩放时,最能代表目标姿态信息的不是目标中央区域的变化,而是边缘的转变,应用对数极坐标模型可以保留边缘丰富的信息而转化到对数极坐标下进行分析。以目标重心为原点建立直角坐标系,应用式(3)进行对数极坐标的转换,建立对数极坐标系模型 (u, v) :

$$\begin{aligned} u &= \ln \rho = M \ln[\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2} + 1] \\ v &= \theta = N[\arctan((y-y_0)/(x-x_0)) + n\pi] \end{aligned} \quad (3)$$

系数 M 、 N 为距离分辨率和角度分辨率常数,它们将对数极坐标适当放大,根据处理器的要求增加后续的匹配精度。坐标变换后可以得到以下性质:

通过直角坐标圆点的直线簇对应到对数极坐标上是垂直的直线,如图 2 所示。因此,计算直角坐标下

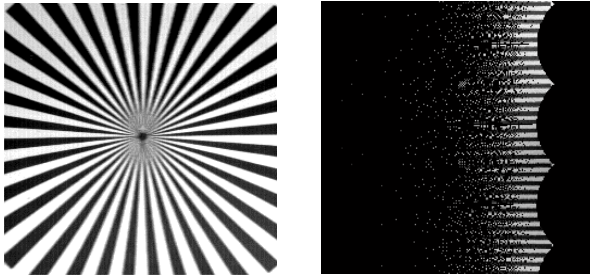


图 2 对数极坐标变换的性质，通过直角坐标原点的直线簇对应到对数极坐标上是水平的直线

Fig.2 Characteristic of log-polar mapping, lines through the center will be mapped into horizontal lines

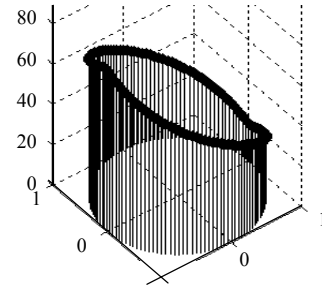


图 3 对数极坐标中提取的轮廓边缘进行首尾循环，用于进行平移量计算

Fig.3 End-around the contours in the log-polar image to calculate the transition

目标旋转角度的问题可以转化为计算对数极坐标模型下垂直方向上的平移问题，而目标的缩放问题可以转化为对数极坐标系模型下水平方向上的平移问题。

平移问题的解决一般情况下是应用互功率谱求取偏移量，公式如下：

$$\frac{F_1(u, v) F_2^*(u, v)}{|F_1(u, v) F_2^*(u, v)|} = e^{j(u x_0 + v y_0)} \quad (4)$$

其中： F_1 、 F_2 为图像的傅里叶变换， F_2^* 表示 F_2 的复共轭。由此看出，互功率谱的相位等价于图像间的相位差，通过对(4)式进行傅里叶逆变换，会在 (x_0, y_0) 处将形成一个脉冲函数，脉冲峰值位置即为两幅目标图像间的相对平移量 x_0 和 y_0 ，该峰值即为狄拉克峰值。但对于未采样而直接点对点一一对应过来的对数极坐标下图像具有图案不均匀性，不适合使用基于图像全局性质的互功率谱，于是本文利用已提出目标这一先验知识采取轮廓匹配的方法：

将对数极坐标下提取的轮廓边缘进行首尾循环，如图 3 所示。提取对数极坐标图像的边界，转化为一维的平移问题。由于光照，噪声等原因，前后两帧变换后的图像不能完全一致，于是首先求取指定个数的边界的和，来进行前后帧的对应，找到大概位置，如式(5)，其中 n_0 为噪声：

$$\sum edge_i(i) = \sum edge_j(j) + n_0 \quad (5)$$

然后进行细匹配，求取偏移值使得两幅图像差 ε 最小：

$$\varepsilon = [edge_i(i - d) - edge_j(i)] \quad (6)$$

3 双目角度测量

利用双目立体视觉对空间物体角度进行计算是一个重要课题。在电视跟踪过程中，目标可以看作时刻保持光轴附近，与靶面垂直，设目标在空间某平面 α 上具有一定的旋转角度 θ ，可以通过两个前面讲述的方法得到目标投影到各自靶面 α_1 与 α_2 上的旋转角度，设为 θ_1 和 θ_2 ，已知两个摄像机靶面的夹角 φ ，如图 4，通过平面间的投影关系计算推导可以得到以下方程，用以求出一般情况下目标在平面 α 上的旋转角度 θ ：

$$|\arccos \frac{\tan(\theta/2)}{\tan(\theta_1/2)} + \arccos \frac{\tan(\theta/2)}{\tan(\theta_2/2)}| = \pi - \varphi \quad (7)$$

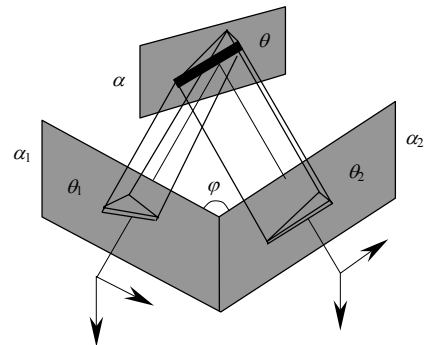


图 4 双目立体视觉系统计算目标空间旋转角度

Fig.4 Binocular camera system for angle computation

4 试验分析

试验对象为简单背景下运动目标图像，如图 5。应用重心跟踪算法，配合对数极坐标系模型计算运动目标的旋转角度，如图 6 所示，试验结果：以 256×256 大小的跟踪窗为例进行目标姿态测量，只保留详细

边缘，在 MATLAB 下和 VC++下分别进行仿真，处理时间小于 50ms，测量旋转角度的精度优于 1°，测量缩放大小的最小精度为 1.0305/0.9704，满足实时性和精度的要求。实验环境：CPU 主频为 2.8G 的台式机。



图 5 原始图像及旋转后目标位置的二值化图像
Fig.5 Original image and its binary tracking window



图 6 对数极坐标模型下的目标图像及对应的特征提取图像
Fig.6 Target log-polar image and the feature extracted image.

表 1 轮廓粗、细匹配方法误差对应表

Table 1 Corresponding table of matching errors through rough and fine method

Sequence number	Actual rotated angle	Rough matched	R-M error	Precious matched	P-M error
1	30	33.422	3.422	29.603	0.397
2	20	18.143	1.957	20.106	0.106
3	10	9.549	0.451	9.957	0.043
4	5	3.820	1.180	4.802	0.198

5 结 论

本文提供了一种实时建立对数极坐标的方法，在对数极坐标下，运动目标的边缘轮廓具有旋转、缩放、平移的不变性，试验发现，对数极坐标下处理目标旋转问题计算时间短，满足实时要求，计算精度高，达到了测量目的。该算法可以移植到浮点 DSP 上对目标姿态行实时检测。该算法可以通过双目测量得到目标在空间某平面上的旋转角度。

参考文献：

[1] ZHANG Ye ,WANG Yanjie. High Accuracy Real-time Automatic Thresholding for Centroid Tracker [J]. **SPIE** , 2006 ,**6027** :1-7.

[2] Ming-Kuei HU. Visual Pattern Recognition by Moment Invariants [J]. **Information Theory, IEEE Transactions on** , 1962 ,**8**(2) : 179-187.

[3] BAILEY J G , MESSNER R A. Log-polar Mapping as a preprocessing stage for an image tracking system [J]. **Intelligent Robots and Computer Vision** , 1988(7) : 223-227.

[4] 张海燕，刘大昕，王东木. 目标识别的极指数栅格方法 [J]. 哈尔滨工程大学学报，2004，**25**(4)：491-494.
ZHANG Hai-yan , LIU Da-xin , WANG Dong-mu. Object recognition using polar-exponential grid technique [J]. **Journal of Harbin Engineering University** , 2004 , **25**(4) : 491-494.

[5] F. L. LIM , G. A. W. WEST , S. VENKATESH. Use of log polar space for foveation and feature recognition [J]. **IEE Proceedings- Vision, Image and Signal Processing** , 1997 , **144**(6) : 323-331.

(下转第 19 页)

4 结 论

卫星跟踪位置预测的误差空间估计方法结合了采用当前观测数据的运动学模型方法与采用历史观测数据的动力学模型方法，同时使用两类观测数据，利用历史观测数据用动力学模型方法进行离线预测，作一次估计；对一次估计误差进行二次估计，迭加到一次估计上，获得比上述两类方法更高的预测精度。

这种方法本质是将在卫星运动模型状态参数构成的状态空间中对卫星位置的估计转换为在动力学模型方法预测误差构成的误差空间中对预测误差进行估计。实验表明，文中方法得到的卫星位置预测精度比动力学模型方法和基于运动学模型的 Kalman 滤波方法高，并且该方法在跟踪过程中的计算量与基于运动学模型的 Kalman 滤波方法基本相同，可以实时应用。

参考文献：

- [1] 王宗友, 徐智勇. 单台光电经纬仪对目标跟踪稳定的研究[J]. 光电工程, 2003, **30**(2): 11-14.
WANG Zong-you, XU Zhi-yong. Study on stable tracking target with single photoelectric theodolite [J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2003, **30**(2): 11-14.
- [2] 胡国荣, 欧吉坤. 星载 GPS 低轨卫星几何法精密定轨研究[J]. 空间科学学报, 2000, **20**(1): 32-39.
HU Guo-rong, OU Ji-kun. The Theory Of GPS-based Geometric Orbit Determination For Low-earth satellites [J]. **Chinese Journal of Space Science**, 2000, **20**(1): 32-39.
- [3] 刘 林. 航天器轨道理论[M]. 北京: 国防工业出版社, 2000.
LIU Lin. **The Theory of Spacecraft Orbit** [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2000.
- [4] 郭尚来. 随机控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
GUO Shang-lai. **Random Control** [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1995.
- [5] 周宏仁, 敬忠良, 王培德. 机动目标跟踪[M]. 北京: 国防工业出版社, 1991.
ZHOU Hong-ren, JING Zhong-liang, WANG Pei-de. **Maneuver Target Tracking** [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1991.
- [6] 岑 明, 傅承毓, 钟代均, 等. 卫星跟踪中位置预测的序列匹配算法[J]. 光电工程, 2006, **33**(1): 24-27.
CEN Ming, FU Cheng-yu, ZHONG Dai-jun, et al. Sequential matching algorithm of position prediction for satellite tracking [J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2006, **33**(1): 24-27.

(上接第 14 页)

- [6] Rafael C. GONZALEZ. **Digital Image Processing** [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002: 34-71.
- [7] Young-Ho SON, Bum-Jae YOU, Sang-Rok OH, et al. Affine-Invariant Pattern Recognition using Momentums in Log-Polar Images [A]. **IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition** [C]. Seoul, Korea: IEEE, 2004: 797-804.
- [8] Jang-Sik KIM, You-Suk BAE, Sung-Il CHIEN. Hough Transform in Log-Polar Image Including Foveal and Peripheral Information [A]. **Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition** [C]. Cambridge, UK: IEEE, 2004, **2**: 60-63.
- [9] Kenneth R. CASTLEMAN. **Digital Image Processing** [M]. USA, New York: Prentice-Hall, 2002: 375-402.
- [10] Maria PETROU, Panagiota BOSDOGIANNI. **Image Processing -The Fundamentals** [M]. Chichester, UK: John Wiley & Sons, Ltd, 2005: 62-66.
- [11] David A. FORSYTH, Jean PONCE. **Computer Vision: A Modern Approach** [M]. USA, New York: Prentice-Hall, 2004: 182-211.