

基于对数极坐标映射的目标跟踪方法

陈朝阳,丁明跃,周成平

(华中理工大学图像识别与人工智能研究所和图像信息处理与智能控制教育部重点实验室,湖北武汉 430074)

摘要: 在自动目标跟踪过程中,由于跟踪平台的抖动,较小的跟踪窗口往往不能满足系统稳定跟踪的要求.本文利用对数极坐标映射,提出了一个目标质心快速搜索方法,从而跟踪运动的目标.模拟实验表明:当选择较大的跟踪窗口时,仍具有较快的跟踪速度,从而使系统稳定跟踪的能力得到提高.

关键词: 自动目标跟踪;对数极坐标映射;质心搜索

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2001) 09-1173-03

A Target Tracking Method Based on Log-Polar Coordinate Mapping

CHEN Chao-yang, DING Ming-yue, ZHOU Cheng-ping

(State Key Laboratory for Image Processing and Intelligent Control, Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligent, HUST, Wuhan, Hubei 430074, China)

Abstract: In the process of ATT, the small tracing window often doesn't satisfy the demand of system reliability because the tracing platform is usually unstable. A fast searching approach of the center of gravity based on Log-polar Coordinate mapping is presented in this paper. The result of experiment shows that the tracking speed of system is still fast even the tracking window is bigger, and the stability of tracking system is greatly enhanced.

Key words: ATT; Log-Polar Coordinate mapping; searching the center of gravity

1 引言

在自动目标跟踪过程中,为了满足系统实时性的要求,跟踪窗口一般较小^[1].这样由于跟踪平台的扰动或目标与跟踪系统之间的快速相对运动,使得目标容易逃逸出跟踪窗口,造成系统死锁,跟踪失败.为了提高系统稳定跟踪的能力,克服平台自身抖动对跟踪过程的显著影响.可采用扩大跟踪窗口的方法.以容许目标具有较大的帧间动态范围.因此,应研究在较大跟踪窗口的情况下,目标快速搜索与定位方法.

研究表明,人眼视网膜对外界信息的获取是非均匀的,即在视网膜中心有一个高分辨率的“黄斑区”(fovea),而“黄斑区”外围的分辨率随着离中心距离的增大逐步降低,并且视网膜到条状表皮(Striate Cortex)的映射可以用对数极坐标映射来近似^[2-4].对数极坐标映射是一个保角映射,它对视场的取样是非均匀的,这样可降低相对特定目标而言冗余的信息(象素).同时,当坐标变换的原点与物体的质心重合时,映射具有比例和旋转不变性.这一特征可用于物体的识别过程^[5].本文在已知待跟踪目标对数极坐标映射模板或在跟踪初期已知目标中心位置并经对数极坐标映射得到模板的基础上,利用对数极坐标映射得到物体的几何信息,提出了一个快速计算序列图像中物体质心位置并进行目标识别的方法.采用一组具有平移、比例和旋转变化的二值图像序列进行实验验证.

本文第二部分介绍对数极坐标变换及其性质;第三部分

介绍序列图像中物体质心确定方法;第四部分介绍实验结果与分析;第五部分为结论.

2 对数极坐标映射及其性质

对数极坐标映射可以表示为:

$$\omega = \ln z \tag{1}$$

这里 ω 与 z 为复数:

$$z = x + iy = r(\cos\theta + i\sin\theta) = re^{i\theta} \tag{2}$$

$$\omega = u(z) + iw(z) \tag{3}$$

因此 z 空间坐标 (x, y) 映射成为 ω 空间坐标 (u, v) , 该映射可由以下的简化方程表示:

$$u(r, \theta) = \ln r \tag{4}$$

$$v(r, \theta) = \theta \tag{5}$$

可见该映射可将一个圆形区域(如视网膜图像)映射成一个矩形区域.当 z 空间图像发生比例 r_0 和旋转 θ_0 的变化时, ω 空间的坐标将产生平移,即

$$u(r, \theta) = \ln r_0 + \ln r \tag{6}$$

$$v(r, \theta) = \theta + \theta_0 \tag{7}$$

也就是说 z 空间图像的比例变化相当于 ω 空间图像的水平位移,空间图像的旋转变化相当于空间图像的垂直位移.这就是所谓的对数极坐标映射的2D不变性.但是,这种不变性只当坐标原点与物体质心重合时才成立,因此如何快速地确定质

收稿日期:2000-07-03;修回日期:2001-03-26
基金项目:教育部博士点基金(No.97048724)

心位置就显得很重要.下面介绍我们提出的基于对数极坐标映射的物体质心确定方法.

3 目标质心计算方法

在目标跟踪过程中,为了获得稳定输出,希望目标处于跟踪窗口的中心位置.因此必须确定目标的质心坐标.目标质心 (\bar{x}, \bar{y}) 可通过如下定义进行计算(假设目标区域由 S 表示):

$$\bar{x} = \frac{\sum_{(x,y) \in S} x \cdot I(x,y)}{\sum_{(x,y) \in S} I(x,y)}, \bar{y} = \frac{\sum_{(x,y) \in S} y \cdot I(x,y)}{\sum_{(x,y) \in S} I(x,y)}$$

其中 (x, y) 为图像上某象素的坐标 $I(x, y) = \begin{cases} 1, & (x, y) \in S \\ 0, & \text{others} \end{cases}$

但是利用定义计算质心位置是一件非常耗时的工作^[6].本文以已知物体的质心作为坐标原点,以水平方向为极坐标轴作对数极坐标映射.将映射后得到的图像作为该物体的识别匹配模板,并以此作为物体发生比例和旋转变化后确定新质心位置的依据,从而快速确定物体的质心位置.

图 1(a)所示为 z 空间正方形物体图像,图 1(b)为对应物体作对数极坐标映射后 ω 空间图像(即所谓模板),将图 1(b)作归一化处理,只保留物体外形信息,得到图 1(c).

如果物体在序列图像中只发生平移变化,物体质心的计算过程以如图 2 所示方形物体为例说明.设 O 点为物体的真实质心,对数极坐标模板是以 O 点为坐标原点、水平方向为极坐标轴变换得到.如果物体平移到新的位置,设点 $Q(a, b)$ 为物体在新位置的质心(下面的讨论中点 $Q(a, b)$ 在物体图像内,对点 $Q(a, b)$ 在物体图像外的情况,道理是一样的).我们以点 $Q(a, b)$ 为坐标原点、水平方向为极坐标轴,按与模板相同的分辨率进行变换,得到其对数极坐标图像 ω_2 .那么在平移后的物体图像上存在一条通过 Q 和真实质心(比如 O')的线段 CD (C, D 为线段与物体边界的交点),且在得到映射模板前的 (x, y) 坐标图像上一定存在一条通过质心的相同方位和长度的线段 AB 与 CD 对应,扫描 ω_1, ω_2 得到相等线段端点在 ω_1, ω_2 上的对应坐标分别为 $A(r_1, \theta_0), B(r_2, \theta_0 + \pi), C(r'_1, \theta_0), D(r'_2, \theta_0 + \pi)$.进而计算新的质心位置 $O'(x, y)$ 为:

$$x = a - (r'_1 - r_1) \cos \theta_0 \quad (8)$$

$$y = b - (r'_1 - r_1) \sin \theta_0 \quad (9)$$

由于在计算过程中会得到并不通过真实质心的相等线段,从而使计算得到 $O'(x, y)$ 的并不是真正的质心.因此,为了剔除其它并不通过质心的相等线段,可以对计算得到的质心 $O'(x, y)$ 进行验证:即真正的质心位置还应满足 $r_3 = r'_3$ (r_3 为通过点 O 与 AB 正交,点 O 与物体边界交点之间的距离线段; r'_3 为通过点 O' 与 CD 正交,点 O' 与物体边界交点之间的距离线段).这里令 $r'_1 - r_1 = l$,如果 $O'(x, y)$ 为质心,则在 ω_2 上一定存在一点 $E(r', \alpha_0)$ 满足:

$$r' = \sqrt{r_3^2 + l^2} \quad (10)$$

$$l = r' \cos(\theta_0 - \alpha_0) \quad (11)$$

否则 $O'(x, y)$ 不是真正质心,应继续进行比较搜索,直到找到真正质心为止.

若序列图像中目标不仅发生平移变化,还有比例和旋转变化.那么对应线段将不再具有相同的方位和长度,如图 2 所示.设 O 点为物体的质心,对数极坐标模板 ω_1 是以 O 点为坐标原点、水平方向为极轴方向变换得到.如果物体变化到新的位置,我们以点 $Q(a, b)$ 为坐标原点、水平方向为极轴方向,按与模板相同的分辨率进行变换,得到其对数极坐标图像 ω_2 .同理,在发生比例和旋转变化后的图像上一定存在一条通过质心的线段 CD ,其端点在 ω_2 上对应坐标为 $C(r'_1, \theta_0), D(r'_2, \theta_0 + \pi)$.由于物体图像发生了比例和旋转变化,那么在得到映射模板 ω_1 前的 (x, y) 坐标图像上一定存在一条通过质心的线段 AB ,它经同样的比例旋转变化后与 CD 对应,其端点在模板 ω_1 上对应坐标为 $A(r_1, \theta_1), B(r_2, \theta_1 + \pi)$.

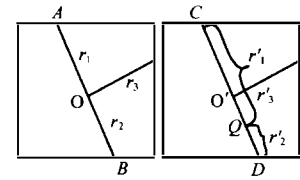


图 2 目标平移时质心计算示意图

令 $CD/AB = (r'_1 + r'_2)/(r_1 + r_2) = m, r_1/r_2 = n$
 则 $(r'_1 - l)/(r'_2 + l) = n$
 所以 $l = (r'_1 - nr'_2)/(n + 1)$ (12)
 新的质心位置 $O'(x, y)$ (图中质心点在第二象限)为:

$$x = a - l \cos \theta_0 \quad (13)$$

$$y = b - l \sin \theta_0 \quad (14)$$

为了验证 O' 为真正的质心.在 ω_1 上存在一条与 AB 线段垂直的线段 r_3 ,那么在变化后的图上存在一条与 r_3 对应的线段 $r'_3 = mr_3$.由此可得到 $r'_4 = \sqrt{l^2 + r_3^2}$.我们在

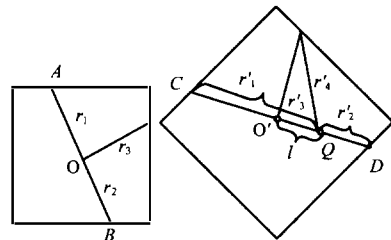


图 3 目标产生比例旋转变化时质心计算示意图

ω_2 找到距离为 r'_4 的点 $E(r'_4, \alpha_0)$,如果 $l = r'_4 \cos(\theta_0 - \alpha_0)$,则 $O'(x, y)$ 为所求的质心位置.否则 $O'(x, y)$ 不是真正质心位置,应继续搜索,直到找到真正质心为止.这时可得到比例变化因子为 m ,旋转变角度为 $\alpha_0 - \theta_0$.

4 实验结果与分析

在运动物体的序列图像中,图像将发生比例旋转变化.像机抖动与物体运动会使物体图像的质心坐标轨迹不一定是直线而是折线.为了验证本文所提方法对不同的序列图像物体质心跟踪性能,我们构造五个序列图像,每个序列幅图像,如图 4 所示.其中图 4(a)为只有平移的直线运动,图 4(b)为只有平移的折线运动,图 4(c)为存在旋转的直线运动,图 4(d)为存在比例变化的折线运动,图 4(e)为存在比例和旋转变化

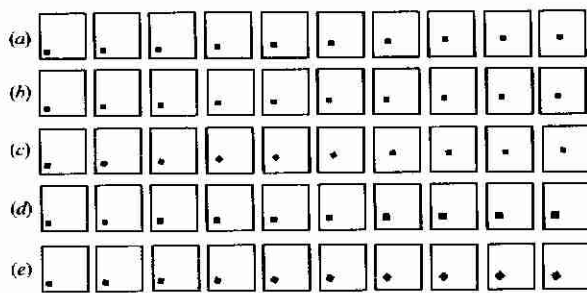


图 4 具有不同运动形式的五组序列图像

的折线运动.利用对数极坐标映射确定物体的质心,从而完成对序列图像中目标的跟踪.为了提高系统稳定跟踪的能力,这里选定较大的跟踪窗口 128×128 ,为了提高跟踪处理的速度,映射后窗口为 64×64 .每个序列图像中都将第一幅图像作为模板并假设已知其质心坐标.与图 4(a) - (e) 对应,跟踪结果对应于图 5(a) - (e).图中 x, y 坐标为像素坐标值,虚线表示序列图像中目标的实际质心像素坐标位置,实线表示跟踪处

理得到的质心像素坐标位置.从图中可以看出,当物体图像只有平移变化时跟踪结果最理想,当发生比例旋转变化时,质心跟踪误差有所增加,如果这种变化的同时出现图像的抖动,误差会加大,但仍能正确对物体进行跟踪.在跟踪过程中,对每一位置的目标还要进行识别,识别方法是通过确定的比例旋转变化参数对跟踪物体进行还原处理,然后与标准模板进行比较,计算相同坐标位置具有相同灰度值的像素个数,从而得到两个物体的相似成度.我们将相同灰度像素个数与图像像素总数之比称之为相似度.通过实验,整个跟踪过程图 5(a) 耗时约 0.6s,符合度均在 96% 以上;图 5(b) 耗时约 0.6s,符合度均在 96% 以上;图 5(c) 耗时约 1.1s,符合度均在 92% 以上;图 5(d) 耗时约 0.6s,符合度均在 95% 以上;图 5(e) 耗时约 1.1s,符合度均在 90% 以上.而文献[6]提出的采用街区距离模板跟踪物体质心的快速算法,确定一幅图像中物体的质心最快需 18 秒.图 6 示出图 5(e) 跟踪过程中得到的对数极坐标图像.

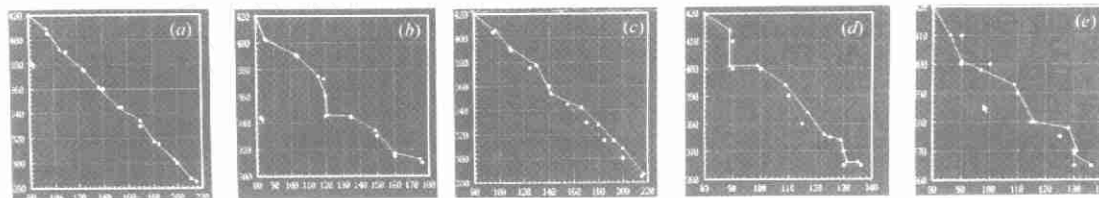


图 5 图 4 序列图像对应的跟踪结果



图 6 图 5(e) 跟踪过程对应的对数极坐标映射

在质心跟踪计算过程中,不需要知道物体图形.为简化作图和序列图像构造,我们采用简单的图形说明计算原理,对其它更复杂的图形同样适用.跟踪过程中存在的误差主要是由于映射误差引起的,如将 $z(x, y)$ 空间 128×128 窗口映射成 $\omega(u, v)$ 空间 64×64 的窗口,以窗口中心为变换原点,则 u 的分辨率为 $\ln 64 \cdot \sqrt{2} / 64 = 0.070398$, ω 空间 $u = 63$ 对应 z 空间约 6 个像素的距离, v 的分辨率为 $2\pi / 64 = 5.625^\circ$,这样就给距离计算带来误差.在本文的质心跟踪算法的模拟实验中,质心误差在水平和垂直方向都不超过 4 个像素.要进一步提高精度,可以提高映射变换的分辨率.

5 结论

利用对数极坐标映射,在选择较大跟踪窗口时仍具有较快的跟踪速度.由于跟踪窗口的扩大,可以大大提高系统稳定跟踪的能力,同时也能对帧间运动范围大的目标和快速机动目标进行跟踪.

参考文献:

[1] Gilbert A L, et al. A Real-time video tracking system [J]. IEEE PAMI, 1980, 2(1): 47 - 56.
 [2] Messner R A, et al. An image processing architecture for real time generation of scale and rotation invariant patterns [J]. CVGIP, 1985, 31: 50 - 66.

[3] Jain R, et al. Motion stereo using ego-motion complex logarithmic mapping [J]. IEEE PAMI, 1987, 9(3): 356 - 369.
 [4] Weiman C, et al. Logarithmic spiral grids for image processing and display [J]. Computer Graphics and Image Processing, 1979, 11: 197 - 226.
 [5] Massone L, et al. "Form-invariant" topological mapping strategy for 2D shape recognition [J]. CVGIP, 1985, 30: 169 - 188.
 [6] 宋克欧, 黄凤岗, 兰晓亭. 二值图像目标质心快速跟踪算法 [J]. 模式识别与人工智能, 1998, 11(2): 161 - 168.

作者简介:

陈朝阳 男. 1966 年 5 月出生于湖北, 华中科技大学图像所副教授. 1996 年电子科技大学获博士学位, 1997 年至 1999 年在华中科技大学图像所从事博士后研究工作. 主要研究兴趣为图像处理信息系统、目标识别与跟踪.

丁明跃 男. 1961 年 5 月出生于湖北, 华中科技大学图像所副所长, 教授, 博士生导师. 1991 年至 1993 年获德国洪堡研究基金在德国不伦瑞克工业大学机器人研究所从事博士后研究工作. 主要研究领域包括计算机视觉、路径规划、目标识别与跟踪等. 《电子学报》与《宇航学报》编委.

周成平 男. 1957 年 4 月出生于湖北. 华中科技大学图像所副教授. 1979 年毕业于西安交大计算数学专业. 1980 年至 1994 年在原航天工业部某研究所从事研究工作. 1995 年至今在华中科技大学图像所工作. 主要研究领域包括计算机视觉工业检测、路径规划、目标识别与跟踪等.