

文章编号: 1672-8785(2011)10-0027-03

基于 Hough 变换的红外序列图像 点目标跟踪方法

李晓冰 赵满庆 张宏艺

(92941 部队, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘 要: 针对红外序列图像中点目标成像质量较差、跟踪困难等问题, 利用 Hough 变换算法的抗噪性, 并根据测量图像的具体特点, 对算法的计算量进行了优化。通过将三维空间 Hough 变换降为二维, 提出了一种基于 Hough 变换的红外序列图像点目标跟踪方法。实验结果表明, 该方法对部分缺损及大小变化的目标都能够实现稳定跟踪, 提高了红外目标跟踪的稳定性。

关键词: 红外图像; Hough 变换; 目标跟踪; 点目标

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2011.10.005

Hough Transform-based Method for Tracking Point Target in Infrared Sequence Images

LI Xiao-bing, ZHAO Man-qing, ZHANG Hong-yi

(92941 Unit, Huludao 125000, China)

Abstract: To overcome the problem that the point target in infrared sequence images is more difficult to be imaged and tracked, the Hough transform algorithm is optimized in computational complexity according to the features of the infrared sequence images. The three dimensional space of the Hough transform is reduced to two dimensional space and a Hough transform-based method for tracking the point target in infrared sequence images is proposed. The experimental result shows that since the method can track the targets whichever have partial defects and size variation stably. Its stability in tracking infrared targets is improved.

Key words: infrared image; Hough transform; target tracking; point target

0 引言

由于红外图像中目标与背景的灰度值相差较小, 该图像不像普通图像那样具有丰富的层次, 而且通常其动态范围大、对比度低, 信噪比也比普通图像的低^[1,2]。也就是说, 在红外图像中, 背景占据了较大的显示动态范围, 而目标占用的动态范围很小^[3]。尤其是当目标距离较远

或者成像条件较差时, 目标往往呈现圆点状, 而且圆内存在许多断点, 遮挡和缺损较多, 其边缘梯度变化也很小, 对目标识别造成困难。由于具有较强的抗噪声能力和对不连续的边界曲线不敏感, Hough 变换已经成为用于求解圆心坐标参数的最有效和最有用的方法之一^[4]。该方法受噪声和曲线间断的影响较小, 因此在图像噪声较大时仍然可以对目标进行检测。但是其计

收稿日期: 2011-08-19

作者简介: 李晓冰 (1967-), 男, 河北南宫人, 高级工程师, 工学硕士, 主要研究方向为光学测量与图像处理。

算量较大,尤其是当参数空间大于二维时,问题会变得更为严重。因此,必须利用先验信息进行优化处理。

针对上述问题,本文利用序列图像相邻帧目标变化缓慢的特点对 Hough 变换进行优化,将三维空间变换降为二维空间变换,并提出一种基于 Hough 变换的序列红外图像点目标跟踪方法,提高了红外目标跟踪的稳定性。

1 用 Hough 变换检测圆目标的原理及其局限性

Hough 变换是一种利用图像全局特征并将边缘像素连接起来组成区域封闭边界的方法。其原理是利用图像空间与参数空间的对应关系,将图像空间中具有一定关系的像素进行聚类,然后利用某一解析形式将其转换到参数空间,并通过在参数空间中进行简单的累加统计来完成检测任务。当参数空间不超过二维时,该方法具有理想效果。但在参数空间大于二维时,变换过程的时间消耗和所需的存储空间会使得该变换仅在理论上可行,而应用几乎不可能实现。这时需要利用被检测图像的先验知识来设法降低参数空间的维数,以减少变换过程的时间与空间开销。

基于广义 Hough 变换的圆形目标检测的圆方程可以表示为

$$(x-a)^2 + (y-b)^2 = r^2 \quad (1)$$

对应于图像空间,在参数空间中,以 (x, y) 为圆心, r 为半径的圆方程为

$$(a-x)^2 + (b-y)^2 = r^2 \quad (2)$$

式(2)中有3个参数 (a, b, r) , 所以需要在参数空间中建立一个三维累加数组 $A(a, b, r)$ 。由此可见, Hough 变换是将输入图像中圆边界上的点映射到三维参数空间中的锥面上去的。在检测过程中,对于参数空间中的每一个点 (a, b, r) , 考虑图像中的每一个边界像素点 (x, y) , 代入圆方程。若 $(x-a)^2 + (y-b)^2 - r^2 \leq \varepsilon$ 成立,则将相

应的累加器加1(其中 ε 为设置的误差范围),最后选出峰值 (a_0, b_0, r_0) 。该值即为图像平面的圆心坐标及圆的半径。

如果在参数空间 $A(a, b, r)$ 中将 r 定为递增变量,即从零开始递增至图像平面的可容纳上限(可以通过先验知识确定 r 的变化范围 R),则对整个图像平面上的 N 个点进行计算的总耗时为(忽略在累加器中所进行的累加及存储时间)

$$N \times \sum_{r=1}^R 2rt = N \times R \times (R+1) \times t \quad (3)$$

累加器的存储空间约为 $R \times m \times n$ 字节(m 和 n 分别为图像的高度和宽度,单字节存储)。由此可见,该计算的开销相当大。

2 目标检测方法

从上面的分析中可以看出,尽可能减少参与 Hough 变换的点数和降低积累阵列的维数是提高 Hough 变换效率的关键。目前红外传感器的摄影频率一般都在每秒 100 帧以上,因此在序列红外图像中,相邻帧图像中的目标变化并不大,导致目标的半径和位置变化都不大。基于此原理可对 Hough 变换进行优化,使相邻帧图像中目标的半径保持不变,从而将三维空间 Hough 变换降为二维。此外,为了保持目标跟踪的稳定性,可以适当增加目标的检测误差值。

2.1 图像二值化

先对图像进行预处理,然后利用边缘算子对原始图像进行边缘提取^[5,6],并通过二值化处理得到边缘图像。此时提取的并不仅仅是目标的边缘,有可能还包括目标内部的细节。此细节必然会参与 Hough 变换,这样就有可能影响累加器的值。因此,应当注意边缘算子的选择,而不应产生过多的细节。

2.2 取值范围的确定

为了将三维空间 Hough 变换降为二维,对变换过程中的 r 进行限制,使相邻帧图像的目标半径 r 保持不变。对于 a 和 b 的值,应当遵循模板匹配的原则,一般取上一帧图像目标区域的

两倍为好。设上帧图像目标定位点为 (x_1, y_1) , 目标半径为 r_1 , 则 a 和 b 的范围为

$$x_1 - r_1 \leq a \leq x_1 + r_1 \quad (4)$$

$$y_1 - r_1 \leq b \leq y_1 + r_1 \quad (5)$$

对于 r 的值, 一般由于相邻帧目标变化相对较小, 建议直接取上一帧图像的目标半径。这样就可将三维空间的 Hough 变换变为二维空间的变换, 从而大大降低计算量。

2.3 遍历搜索区域

首先, 构造累加器 $A(a, b, r)$, 并将累加器清零; 然后, 进行搜索区域的遍历。考虑到实际情况, 对于参数空间中的每一个点 (a, b) , 将图像中的每一个边界像素点 (x, y) 代入圆的方程。若

$$\left| (x-a)^2 + (y-b)^2 - r^2 \right| \leq \varepsilon \quad (6)$$

成立, 则相应的累加器

$$A(a, b, r) = A(a, b, r) + 1 \quad (7)$$

式中, ε 为设置的误差范围, 它决定了检测算法的稳定性。当 ε 过小时, 容易丢失目标; 当 ε 过大时, 容易将多条弧线误检为目标, 这种情况出现得较少。经过多次实验后可以确定, 当 ε 取 $r/3$ 时, 检测算法比较稳定。

由于目标半径 r 不变, 整个图像平面上的搜索区域为 $2r \times 2r$ 个点, 其计算总耗时为 $T = 2r \times 2r \times t$, 大大缩小了计算量。累加器的存储空间约为 $2r \times 2r$ 字节。由此可见, 本算法

的计算开销相当小。

2.4 目标定位

由累加器 $A(a, b, r)$ 的最大值可确定圆心坐标和半径。如果

$$A(x_0, t_0, r) = \max \left(\bigcup A(x, y, r) \right) \quad (8)$$

那么圆的中心坐标为 (x_0, y_0) , 半径为 r , 即搜索到目标的位置坐标为 (x_0, y_0) 。由于目标断裂甚至小部分的缺损都不会影响累加器 $A(a, b, r)$ 的最大值, 而且圆心位置不变, 不会出现一般模板匹配所产生的累计误差问题, 因此, 该方法具有较高的稳定性。

3 实验结果与分析

本文采用 100 帧 8 位灰度序列图像进行实验。图 1 所示为第 1、12、25 帧的跟踪结果, 其中, 第 12 帧图像中的目标有部分缺损, 第 25 帧图像中的目标明显变小。将第 1 帧图像中的目标坐标作为初始位置, 并将其目标半径作为半径 r 。由于图中目标较小, 为了便于显示, 检测到的圆都已经被放大到统一半径, 但圆心不变。

从图 1 中可以看出, 无论是目标有部分缺损的图像 (如图 1(b)), 还是目标区域变小的图像 (如图 1(c)), 本文算法都能实现稳定跟踪, 其检测到的圆心都在目标的中心, 而且整个 100 帧图像的总跟踪处理时间小于原标准算法的十分之一。实验结果表明, 本文算法能够克服目标部分缺损、断裂以及大小变化等不利因素, 提高了红外目标跟踪的效率和稳定性。

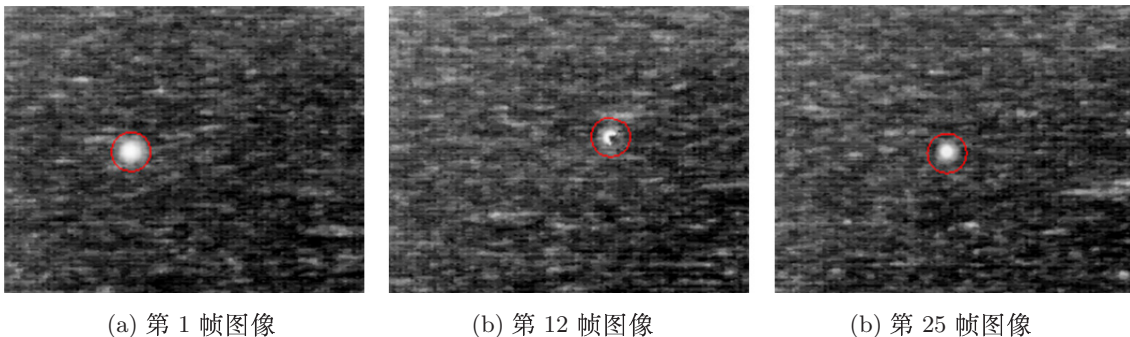


图 1 本文算法的跟踪结果

(下转第 34 页)