

文章编号 1674-2915(2009)06-0477-05

应用角点匹配实现目标跟踪

罗刚^{1,2}, 张云峰²

(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:角点特征是图像的一个重要局部特征,因其具有计算量小、匹配简单以及旋转、平移、缩放不变的性质,而在图像配准与匹配、目标识别、运动分析、目标跟踪等应用领域都起着非常重要的作用。本文提出了一种新的基于角点特征的向量匹配方法,该方法利用 Harris 算子检测出目标角点,通过角点的矩特征形成目标的特征向量,最后通过对序列图像的目标特征向量进行匹配来实现目标跟踪。此算法在一般情况下能匹配 80% 以上角点,在遮挡情况下仍能正确匹配 70% 左右,处理速度达到 20 frames/s,满足了实时要求。实验结果证明此方法可有效地抵御目标的变形和遮挡情况。

关键词:图像处理;角点匹配;矩特征;目标跟踪

中图分类号:TP391 **文献标识码:**A

Target tracking using corner matching

LUO Gang^{1,2}, ZHANG Yun-feng²

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;*

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)*

Abstract: The corner feature is the important feature of an image. The corner feature needs small calculated amount and can be matched easily. Moreover, the corner feature can keep the invariance after being rotated, translated or scaled. Therefore, it plays an important role in the application fields such as image registration and matching, object recognition, motion analysis and target tracking. A new method of vector matching based on the corner feature is presented in this paper. Firstly, a Harris operator is used to extract the corners of a target, and then the feature vector of the target comes out from the moment feature of corners. Finally, the match feature vector in the sequence images can be used to track the target. Using this method, more than 80% of corners in the normal condition and 70% of corners in the shelter conditions can be matched. Processing speed can achieve 20 frames/s to meet the real-time requirements. Experiment result shows that this method can effectively resist the deformation of the target, shelter and so on.

Key words: image processing; corner matching; moment feature; target tracking

1 引言

图像匹配是遥感图像处理、目标识别、图像重建、机器人视觉等领域中的关键技术之一。目前它的一个主要研究方法是基于图像特征点(例如角点、边缘点)的匹配,而这种方法中图像特征点的检测至关重要。角点作为图像主要特征点是指目标轮廓线上曲率的局部极大点,对掌握目标的轮廓特征具有约束作用。一旦找到了目标的轮廓特征点也就大致掌握了目标的轮廓走向和大致形状,这一点对于匹配算法十分有效。角点对应于图像中信息含量高的位置,相对于原图像而言,使用角点进行匹配计算能够大大减少计算量,在图像匹配中有良好的应用价值^[1]。

使用角点检测算子可以从图像中提取角点,从而得到图像的点特征。常见的角点检测算子包括 Moravec 算子、Harris 算子^[2,7]、Susan 算子^[3]等等。Moravec 算子通过计算各像素沿不同方向的平均灰度变化选取最小值作为对应像素点的角点响应函数(即兴趣值),定义在一定范围内具有最大角点响应的像素为角点。Harris 算子则首先通过高斯窗口对原图像卷积给出自相关矩阵 M ,通过矩阵 M 的行列式和迹求得原图像中对应点的兴趣值,当它的值超过给定阈值时,认为该图像点是所求角点。Susan 算子通过计算圆形模板中各点与核心点的相似度得到核值相似区 USAN (Univalued Segment Assimilating Nucleus),如果 USAN 小于某阈值,则认为核心点为角点。

为了计算点特征的相似和相关性,目前广泛采用点特征描述子方法。这个描述子必须能保证在一幅图像中计算得到,而且能够在另一幅图像中找到对应的点特征描述子。例如目前应用最广泛的 SIFT^[6]跟踪算法使用 DOG 算子检测图像角点并对各角点建立一个包含领域信息和方向特征的 128 维向量以进行匹配进而达到跟踪效果。但这种方法计算量很大,无法达到实时效果。本文的跟踪匹配方法采用 Harris 算子提取出目标的角点,利用图像的矩特征^[4]描述其角点并进行目标匹配计算,在实际应用中效果良好。

2 基于角点的目标匹配跟踪

2.1 角点算子选择

实验证明 Moravec 计算的显著优点就是实现简单快速。由于只运用了 4 个方向实现局部相关,所以算子的响应是各向异性的,进而算子在抑制噪声方面效果不佳。Susan 算子无需梯度运算,保证了算法的效率;具有积分特性,在抗噪和计算速度方面有较大的改进。存在的缺点是:相似比较函数计算复杂;图像中不同区域处目标与背景的对比程度不一样,取固定阈值不符合实际情况。Harris 算子是一种比较有效的点特征提取算法,它只用到了灰度的一阶差分以及滤波,所以即使存在图像的旋转、灰度的变化、噪声影响和视觉变换,对角点的提取也是比较稳定的,具有较高的稳定性及鲁棒性,操作简单。上述 3 种角点提取算子的实验比较表明,Harris 算子在角点提取方面具有抗干扰能力强、计算简单、提取角点稳定等优点,因此,本文的后续试验均是以 Harris 算子为角点提取算子进行的。

2.2 矩特征不变量

矩特征不变量主要是针对二维识别情况提出来的。人类很容易从图像中识别出特定的物体形状,但对于机器视觉来说却是一件难事。一方面,图像分割受到背景与物体之间的反差以及光源、遮挡等因素的影响,不易实现;另一方面,摄像机从不同的视角和距离获取的同一场景的图像是不同的,这样给形状的提取和识别带来很大困难。以下详细介绍矩不变量特征方法。

矩不变量是指物体图像经过平移、旋转以及比例变换仍然不变的矩特征量。设二维物体的图像用 $f(x, y)$ 表示,则 $(p+q)$ 阶矩定义为:

$$m_{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x, y),$$

$$\mu_{pq} = \sum_x \sum_y (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y), \quad (1)$$

其中 $\bar{x} = m_{10} / m_{00}$, $\bar{y} = m_{01} / m_{00}$, 零阶矩 $m_{00} = \sum_x \sum_y f(x, y)$ 。当 $f(x, y)$ 为物体密度时,零阶矩 m_{00} 是密度的总和,即物体的质量。一阶矩 $m_{10} = \sum_x \sum_y x f(x, y)$ 和 $m_{01} = \sum_x \sum_y y f(x, y)$ 分

别除以零阶矩 m_{00} 后所得的 $\bar{x} = m_{10}/m_{00}$ 和 $\bar{y} = m_{01}/m_{00}$ 是物体质量中心的坐标,或者直接表示的是区域灰度重心的坐标。

中心矩 μ_{pq} 代表区域 R 中灰度重心分布的度量。例如 μ_{20} 和 μ_{02} 分别表示 R 围绕通过灰度重心的垂直和水平轴线的惯性矩,若 $\mu_{20} > \mu_{02}$, 则可能是一个水平方向拉长的物体。 μ_{30} 和 μ_{03} 的幅值可

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02}, \\ \phi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2, \\ \phi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} + \eta_{03})^2, \\ \phi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2, \\ \phi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} - \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\ &\quad (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2], \\ \phi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}), \\ \phi_7 &= (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{12} + \eta_{03})^2] + \\ &\quad (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{03} + \eta_{12})^2 - (\eta_{12} + \eta_{03})^2]. \end{aligned} \quad (3)$$

在实际计算中,用上式计算形状的矩特征不变量时,其数值分布在 $10^0 \sim 10^{-12}$, 显然矩不变量特征值越小,对识别结果的贡献也越小^[4]。因此对上述 7 个矩不变量进行如下修正:

$$\begin{aligned} t_1 &= \varphi_1, t_2 = \varphi_2, t_3 = \sqrt[5]{\varphi_3^2}, t_4 = \sqrt[5]{\varphi_4^2}, \\ t_5 &= \sqrt[5]{\varphi_5^2}, t_6 = \sqrt[5]{\varphi_6^2}, t_7 = \sqrt[5]{\varphi_7^2}. \end{aligned} \quad (4)$$

用上述公式得到的矩特征不变量值分布大约在 $10^0 \sim 10^{-4}$ 。

2.3 基于角点的向量匹配

以上详述了角点提取算子以及矩特征不变量,以下讨论通过分析处理角点矩特征实现目标跟踪的过程。

对于序列图像,如果各图像中的角点可以比较,即能够找到不同图像中的不变角点,那么便可以通过计算目标角点的偏移量得知目标的偏移量从而实现目标跟踪。为使角点可比较,可引入矩特征来表示角点向量。矩特征具有良好的不变特性,因此,用其表示角点,不仅可以使角点向量化从而可以进行比较,而且角点向量也将有良好的不变特性。实验中可以发现角点的矩特征向量在图像旋转、缩放、平移时保持不变^[5]。同时由于目标的角点众多,即使目标被部分遮挡,仍然有大部分角点可以被匹配,因此,该方法对于目标被遮

以度量物体对于垂直和水平轴线的不对称性,如果是完全对称的形状,其值为零。 $(p+q)$ 规范化中心矩记作 η_{pq} , 定义:

$$\eta_{pq} = \mu_{pq}/\mu_{00}^r, \quad (2)$$

其中 $r = (p+q+2)/2$ 。

利用二阶和三阶规范化中心矩可以导出下面 7 个不变矩组:

挡的情况也有较好的效果。

在实际工作中,首先通过 Harris 算子提取出目标角点,然后计算角点的矩特征。矩特征是图像特征,因此计算角点的矩特征需要在该角点的邻域进行,一般选择 7×7 邻域。以计算得到的矩特征来建立角点向量,然后通过匹配角点向量得到各角点的偏移量,从而计算得出目标的偏移量。具体实现步骤如下:

(1) 用 Harris 算子提取各帧图像的角点,作为模板的第一帧图像只需要在选定的目标范围内计算,其余图像由于考虑到目标的运动特性则是在一个扩大了 10% 目标区域的范围内计算。

(2) 计算各角点 7×7 邻域的七阶矩建立角点的向量表示,得到一个七维向量。

(3) 寻找当前图像和模板图像的匹配角点对即当前图像角点中与模板中某个角点欧氏距离最小且小于设定阈值则认为这两点匹配。

(4) 计算匹配的角点的偏移量,求得所有偏移量均值即为目标的偏移量。

2.4 试验及结果

从序列图像中随机选取几帧跟踪效果如图 1 ~ 图 4 所示。

角点匹配的结果如表 1 所示。对结果进行分析可知,第 2 帧检测角点较少,但由于此时干扰不



图1 选定模板

Fig. 1 Choosing model



图4 通过遮挡物

Fig. 4 Tracking after shelter



图2 正常情况下跟踪效果

Fig. 2 Tracking in normal condition



图3 经过遮挡物

Fig. 3 Tracking in shelter condition

没有丢失。第4帧虽然产生很多干扰角点但是匹配的效果还是很好的。正常情况下能匹配80%左右的角点,即使有遮挡仍能匹配70%左右,效果不错。

表1 角点匹配结果数据表

Tab. 1 Corner matching results

图像	角点总数	匹配对数	未匹配对数	误匹配对数
第1帧 (模板帧)	30	-	-	-
第2帧	28	26	2	2
第3帧	30	25	5	2
第4帧	42	30	0	3

进一步将本文方法与基于角点检测进行目标跟踪的SIFT算法相比较。由于SIFT算法采用DOG算子检测角点并生成128维向量进行比较,因此速度很慢,处理速度一般在10 frames/s左右,不能适应实时要求。而本文算法处理速率能达到20 frames/s,基本满足实时要求。

3 结论

七阶矩对平移、旋转和缩放具有良好的适应性。用七阶矩将角点的向量化使角点保留不变特性,是一种较好的目标匹配算法。角点匹配方法能达到至少70%的匹配角点对数,处理速度能满足实时需要。但七阶矩需要一定的计算量,且七阶矩存在各阶量级差距较大(可以按角点归一化

强,效果很好。后两帧由于遮挡物的存在使角点提取受到影响。第3帧由于比较模糊,故虽然有背景干扰但角点却没有显著增加,但是目标仍然

处理)的问题,如何寻求角点更精准简洁的向量表示方法是进一步工作的重点。

参考文献:

- [1] 杨莉. 图像特征检测与运动目标分割算法的研究和实现[D]. 西安:西安电子科技大学,2003.
YANG L. Research and implementation on algorithm of image feature detection and moving objects segmentation[D]. Xi'an: Xidian University, 2003. (in Chinese)
- [2] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector[A]. Proceedings of 4th Alvey Vision Conference[C]. Manchester, UK, 1988, 189-192.
- [3] SMITH S M, BRADY M. SUSAN-a new approach to low level image processing[J]. *Int. J. Comput. Vision*, 1997, 23(1): 45-78.
- [4] HU M K. *Visual Pattern Recognition by Moment Invariant*[M]. IRE Trans Information Theory, 1962.
- [5] 刘进. 不变量特征的构造及在目标识别中的应用[D]. 武汉:华中科技大学, 2004.
LIU J. Construction of feature invariants and its application in object recognition[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2004. (in Chinese)
- [6] 赵辉. SIFT 特征匹配技术讲义[J]. 盐城工学院学报(自然科学版), 2007, 20(2): 1-5.
ZHAO H. SIFT features matching technology[J]. *J. Yancheng Institute Technology(Natural Science Edition)*, 2007, 20(2): 1-5. (in Chinese)
- [7] 魏志强, 黄磊, 纪筱鹏. 基于点特征的序列图像匹配方法研究[J]. 中国图象图形学报, 2009, 14(3): 525-529.
WEI ZH Q, HUANG L, JI X P. Research on sequence image matching based on point feature[J]. *J. Image and Graphics*, 2009, 14(3): 525-529. (in Chinese)
- [8] 邵泽明, 朱剑英. RSTC 不变矩图像特征点匹配新方法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版), 2008, 36(8): 37-40.
SHAO Z M, ZHU J Y. New matching method of image features based on moment invariants of RSTC[J]. *J. South China University Technology(Natural Science Edition)*, 2008, 36(8): 37-40. (in Chinese)

作者简介: 罗刚(1985—), 男, 湖北黄冈人, 硕士研究生, 主要从事数字图像处理与目标跟踪方面的研究。

E-mail: luogang@mail.ustc.edu.cn