

一种基于局部投影熵的图像匹配新算法

刘雅轩 苏秀琴 王 萍

(中国科学院西安光学精密机械研究所, 西安 710068)

摘要 将图像熵和投影特征的概念结合引入到图像匹配中, 定义了图像局部投影熵, 并提出一种基于局部投影熵的图像匹配方法. 基于局部投影熵的图像匹配方法具有较好的抗几何失真能力, 并且提高了抗噪能力和在强光照条件下的匹配能力. 结合采用分块、序贯检测及分层搜索等技术, 进一步减少了计算量, 实验结果表明这是一种简单而行之有效的图像匹配方法.

关键词 图像匹配; 局部投影熵; 分块匹配; 抗几何失真

中图分类号 TP391.4 **文献标识码** A

0 引言

根据已知图像模式从另一幅图像中寻找相同或相似图像模式的过程叫做图像匹配^[1]. 随着科学技术的发展, 图像匹配技术已成为近代信息处理领域中一项极为重要的技术, 其在现代航天、军事、医学等各个领域中的应用广泛, 其中一个重要的方面就是用于实时跟踪系统, 称之为相关跟踪. 由于相关匹配技术识别能力强, 受噪声干扰的影响较小, 能够在复杂的地面环境背景下精确的识别出目标, 从而使相关跟踪成为实时跟踪系统一个必不可少的跟踪模式.

模板匹配法是工程中常用的相关跟踪匹配算法, 其具有结构简单、易于实现的优点, 然而, 计算量大、对图像采集时的光照条件敏感以及抵抗几何失真性能较差是其固有的缺点. 目前已有多种匹配算法试图改进相关跟踪, 如: 基于方向小波特征的图像匹配相关算法^[2]、基于局部分形特征的图像匹配算法^[3]、基于主成分分析的相关匹配算法^[4]、基于不变矩特征的相关算法^[5]等, 但由于各自还存在着不同的问题, 如算法的复杂性, 计算量较大, 应用条件的范围限制等等, 目前都还难以有效地应用于实时工程系统中.

本文将信息熵的概念结合投影特征引入到图像匹配中, 定义了图像局部投影熵, 并由此提出一种基于局部投影熵差的相关匹配算法. 它不仅保持了抗灰度反转、计算简单等特点, 而且能够在一定程度上抗几何失真, 并在一定程度的强光照条件下, 也能得到很好的匹配结果, 具有很好的抗噪性. 经过大量匹配试验, 证明这是一种简单有效、可以用于实时跟踪系统的匹配算法.

1 图像的局部投影熵

1.1 图像的投影特征

投影变换是一种常见的线性变换, 对于大小为 $M \times N$ 的图像, 设其灰度函数为 $f(x, y)$, 且有 $f(x, y) \geq 0$, 则可定义长度为 M 的一维矩阵 U 为该图像的行投影特征, 长度为 N 的一维矩阵 V 为该图像的列投影特征, 其中

$$U[i] = \sum_{k=0}^{N-1} f(i, k) \quad 0 \leq i < M \quad (1)$$

$$V[j] = \sum_{k=0}^{M-1} f(k, j) \quad 0 \leq j < N \quad (2)$$

由投影特征的定义式可以看到, 若把 $M \times N$ 的图像看作是 $M \times N$ 个特征点的集合, 则通过投影变换, 将此特征集合映射到了一个 $M + N$ 个特征点的特征集合. 投影变换降低了特征维数, 改变了特征点的性质, 如直接用于图像匹配中, 一方面可能会在某些特定情况下降低匹配精度, 另一方面, 则会提高在一定程度上的实时图像扭曲情况下的匹配能力, 提高了在较强光照条件下的匹配能力, 更重要的是, 由于计算量的减小, 图像匹配的速度大为提高了.

1.2 基于图像投影特征的局部熵

自从香农将物理中熵的概念引入信息论以来, 熵已被广泛应用于信号处理、图像处理等各种领域^[6]. 通常熵在数字图像处理领域多用于图像的编码, 其定义如下: 设图像像素灰度集合为 $(\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M)$, 其对应的概率分别是 (P_1, P_2, \dots, P_M) , 则按信息论中信源信息熵的定义, 数字图像的熵 H 为

$$H = - \sum_{k=1}^M P_k \log P_k \quad (\text{bit}) \quad (3)$$

然而按此定义的图像熵, 可以说是数字图像一维直方图特征的一种, 由于其中的概率 P_k 与图像中景物的相对位置结构信息无关, 用于图像匹配时难免精度较低, 而容易失配. 为了将信息论中熵的概念用于图像匹配, 我们需要重新定义图像的熵^[7]:

对于大小为 $M \times N$ 的图像,不妨设其图像灰度函数为 $f(x, y)$, 且有 $f(x, y) \geq 0$, 则有

$$H_f = - \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} p_{ij} \log p_{ij} \quad (4)$$

$$p_{ij} = f(i, j) / \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} f(i, j) \quad (5)$$

称 H_f 为该图像的熵, 如果只是针对该图像的某一局部定义的熵, 则称其为局部熵^[8].

上述所定义的图像熵是基于图像二维灰度函数 $f(x, y)$ 而定义的, 由定义式可以看出, 图像局部熵反映了该局部的信息量的大小, 可以表征图像的局部性质, 并且, 如果图像的某一局部 (比较小的范围) 存在辐射失真 (此时的点扩展函数为脉冲函数的线性组合的情况下), 则局部熵不变^[9], 因而局部熵具有辐射失真不变的性质. 熵对一定程度的几何失真是不敏感的, 利用局部熵建立的匹配方法必然具有良好的抗几何失真能力.

虽然以图像熵来表征图像的局部特征用于匹配时有着其自身独特的优点, 然而其自身一些固有的缺点也影响着其应用于工程实际中. 一方面, 虽然熵的大小依赖的是整个的局部区域, 单个像素的灰度值对熵的影响很小, 并且熵的归一化处理也具有平滑噪声的作用, 所以局部熵对冲激性的噪声是不敏感的, 然而, 平稳噪声对于局部熵的影响较大, 其抗噪性有待提高; 另一方面, 其定义中的概率 P_{ij} 是单个像素灰度值与整个局部灰度值的比值, 因此, 当在较强光照条件下匹配暗小目标时, 往往由于 P_{ij} 的数值过小, 容易产生计算误差而导致失配. 此外, 单一采用图像熵作为特征模式进行匹配时, 其计算量比起传统的灰度相关法来说并无优势, 即使结合一些快速搜索算法可以比提高匹配速度, 但这不是一个解决问题的根本策略. 由此, 我们提出将前述的投影特征与图像熵相结合, 以期在保持着图像熵抗几何失真性较好的优点的同时, 能够在一定程度上解决提高抗噪性和在匹配算法本身的范畴内提高匹配速度的问题. 如前述定义, 图像投影特征为 $U[i]$ 和 $V[j]$, 则可定义图像的投影熵为

$$H_{RP} = - \sum_{i=0}^{M-1} p_i \log p_i \quad (6)$$

$$H_{CP} = - \sum_{j=0}^{N-1} p_j \log p_j \quad (7)$$

$$p_i = U[i] / \sum_{i=0}^{M-1} U[i] \quad (8)$$

$$p_j = V[j] / \sum_{j=0}^{N-1} V[j] \quad (9)$$

称 H_{RP} 为该图像的行投影熵, H_{CP} 为该图像的列投影熵. 同样, 如果只是针对该图像的某一局部定义的投影熵, 则称为局部投影熵 (LPE). 考虑到式 (6) 和式 (7) 中涉及对数运算, 计算量较大, 工程应用时较

为不便, 为此利用泰勒展开可得到如下的近似公式

$$H_{RP} \approx - \sum_{i=0}^{M-1} p_i (p_i - 1) \quad (10)$$

$$H_{CP} \approx - \sum_{j=0}^{N-1} p_j (p_j - 1) \quad (11)$$

式中的 p_i 和 p_j 仍如式 (8) 和式 (9) 中计算所得. 通过泰勒展开后得到的近似公式是比较简单的代数运算, 易于硬件实现.

2 基于局部投影熵差的匹配算法

利用第一节中介绍的局部投影熵, 构造了基于局部投影熵差的图像匹配算法. 设基准模板图的大小为 $M \times M$, 实时采集图的大小为 $N \times N$, $N > M$, 且 M 和 N 为 2 的幂, 则进行图像匹配的基本步骤:

1) 将基准模板图划分为若干大小相同的子块;

2) 利用前面介绍的局部投影熵计算方法计算基准模板图各子块的局部投影熵, 并用几对有序数组分别依次保存各子块的行投影熵和列投影熵;

3) 粗匹配阶段: 为了提高匹配效率, 可采用以下的匹配策略: (1) 跳跃式的搜索: 通常的搜索算法一般采用在实时采集图上逐行扫描的方法, 这里在粗匹配阶段我们采用间隔扫描方式 (一般间隔 2 ~ 3 个象元); (2) 序贯检验方法: 通常的匹配方法往往采用实时采集图和基准模板图全部计算的方式, 这里我们采用序贯的检验方法, 具体说来就是一边进行子块匹配计算一边进行阈值检验, 以决定后续的子块计算是否还有必要继续的方法.

匹配过程如下: ①在参考图上以扫描点为中心 (或作为左上角坐标) 获得与基准模板图大小相等的候选匹配图, 在该候选匹配图上按基准模板图的分块方式进行分块; ②序贯计算实时采集图上选取的每一候选匹配图局部投影熵数组, 与基准模板图的局部投影熵数组对应相减, 再取绝对值累加得一熵差, 如果该差值大于某一阈值, 则停止计算下面的子块的投影熵而转向下次的匹配循环; ③投影熵差最小的候选匹配图为粗匹配阶段的匹配图;

4) 精匹配阶段: ①以粗匹配图的坐标为中心, 在实时图上分别向四周扩展 $3M/4$ 形成一个 $3M/2 \times 3M/2$ 的搜索范围; ②利用粗匹配阶段的方法进行逐象元的匹配, 此时获得的匹配结果为最终的匹配结果.

3 算法仿真及实验结果

采用本文所述的方法在多组图像上进行了仿真实验, 实验中采用了工程中常用的相关匹配算法——灰度绝对差相关法, 与文中所述的基于局部投影熵的相关匹配算法作比较. 图 1 是实验中采用

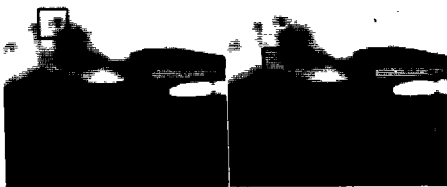
的基准图与实时图原型,图中左图为基准模板图,大小为 64×64 ,右图为实时图原型,大小为 512×512 ;图 2 中左右两图分别是在强光照条件和在存在球面几何失真的条件下得到的实时图;图 3 和图 4 中所示,则是两种算法对于图 2 的匹配结果. 由图 3、图 4 即可看出,在图 2 条件下,传统的灰度相关法明显失配,而采用本文所述的基于局部投影熵的相关算法,则能得到较好的匹配结果.



图 1 基准图与实时图
Fig. 1 Norm image and real-time image



图 2 强光照条件下和存在球面几何失真时的实时图
Fig. 2 The real-time images in high light and in sphere geometrical distortion



(a)The matching based LPE (b)The template matching
图 3 两种算法在强光照条件下的匹配结果
Fig. 3 The matching result in high light condition



(a)The matching based LPE (b)The template matching
图 4 两种算法在存在球面几何失真时的匹配结果
Fig. 4 The matching result in sphere geometrical distortion condition

4 结论

实验结果表明,当实时图像中的目标与基准图

相比存在一定程度的几何变形时,或是实时图像存在一定程度的强光条件时,采用传统的灰度相关算法或是边缘相关算法均不能正确的匹配,而采用基于局部投影熵的相关匹配算法,则可正确匹配,这说明这种基于图像局部投影熵的相关匹配算法在克服几何失真和抗噪性上有着良好的效果. 并且该算法从结构上分析并行性较好,有利于工程实现中的并行编程,采用高速 DSP 器件即可完全满足实时跟踪匹配的要求.

参考文献

- 1 沈庭芝,方子文. 数字图像处理及模式识别. 北京:北京理工大学出版社,1998. 150 ~ 151
Shen T Z, Fang Z W. Digital Image Processing and Pattern Recognition. Beijing: The Press of Beijing Institute of Technology, 1998. 150 ~ 151
- 2 周杰,彭嘉雄,丁明跃. 基于小波特征的图像匹配方法. 模式识别与人工智能,1996,9(2):125 ~ 129
Zhou J, Peng J X, Ding M Y. PR&AI, 1996, 9(2):125 ~ 129
- 3 田金文,杨磊,柳健,等. 基于局部分形特征的快速图像匹配方法. 华中理工大学学报,1996,24(2):12 ~ 14
Tian J W, Yang L, Liu J, et al. J Huazhong Univ of Sci & Tech, 1996, 24(2):12 ~ 14
- 4 蒋明,张桂林,胡若澜,等. 基于主成分分析的图像匹配方法研究. 红外与激光工程,2000,29(4):17 ~ 21
Jiang M, Zhang G L, Hu R L, et al. Infrared and Laser Engineering, 2000, 29(4):17 ~ 21
- 5 丘江,杨静,刘波. 基于矩和小波变换的目标图像识别. 光子学报,2001,30(7):836 ~ 840
Qiu J, Yang J, Liu B. Acta Photonica Sinica, 2001, 30(7):836 ~ 840
- 6 夏良正. 数字图像处理. 南京:东南大学出版社,1999. 127 ~ 128
Xia L Z. Digital Image Processing. Nanjing: The Press of Southeast University, 1999. 127 ~ 128
- 7 Pal N. Object-background segmentation using new definitions of entropy. IEEE Proc Pt E, 1989, 136(4):284 ~ 295
- 8 田金文,苏康,柳健. 基于局部熵差的图像匹配方法——算法及计算机仿真. 宇航学报,1999,20(1):28 ~ 32
Tian J W, Su K, Liu J. Journal of Astronautics, 1999, 20(1):28 ~ 32
- 9 Shiozaki A. Edge extraction using entropy operator. CVGIP Proc, 1986, 36:1 ~ 9

Image Matching Based on Local Projection Entropy

Liu Yaxuan, Su Xiuqin, Wang Ping

Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy Sciences, Xi'an 710068

Received date: 2003-03-04

Abstract The information entropy that has been introduced to image matching is combined with the projection features and a image local projection entropy is defined. An image matching method based on the local projection entropy is proposed. This image matching method has very good anti-geometrical distortion properties, and the anti-noise capability is raised and good matching result can be got in high light conditions. In additional, some techniques are adopted: dividing image to some blocks, series testing and multi-resolution searching techniques. These techniques have led to the raising computing effect. Experimental results show that this algorithm can work effectively.

Keywords Image matching; Local projection entropy; Image blocking matching; Anti-geometrical distortion

Liu Yaxuan was born in 1978. He received his B. S. degree in Xi'an Jiaotong University in 2000. Now he is a M. S. candidate on digital imaging processing techniques in Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, Chinese Academy of Sciences. His current research interest is image matching and object tracking.

