

## 基于局部交叉熵的图像匹配跟踪算法

江和平, 沈振康

(国防科技大学 ATR 实验室, 湖南 长沙 410073)

**摘要:**交叉熵值的大小反映了模板图像与实时图像之间的信息量差异大小,从平均意义上来表征模板图像与实时图像之间的信息量差异量。为了解决机载成像光电吊舱系统中的图像辐射失真和几何失真问题,提出了基于局部交叉熵的图像匹配跟踪算法。由于交叉熵值最小准则有利于信息量丰富的图像匹配,因此该算法不仅具有抗噪能力,而且具有良好的抗辐射失真和抗几何失真的能力。仿真试验表明:在辐射失真情况下,该算法具有稳健的匹配跟踪能力,适应能力强,是一种很实用的匹配跟踪算法。

**关键词:**图像匹配; 交叉熵; 图像跟踪

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1007-2276(2005)06-0729-04

## Image matching tracking algorithm based on local cross-entropy

JIANG He-ping, SHEN Zhen-kang

(ATR Laboratory, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

**Abstract:** The cross-entropy value illuminates the information difference between the template image and the real-time image on the average. In this paper, aiming at solving the problem of the radiation distortion and geometry distortion in the system of the photoelectric pod, the image matching tracking algorithm based on cross-entropy is proposed. Since the cross-entropy minimum rule is propitious to image matching with abundant information, the algorithm mentioned is provided with the very good anti-noise properties, and the capability of resisting radiation distortion and geometry distortion. The results of simulation experiment show that this algorithm has steady matching tracking ability and well adaptability when radiation distortion happens. So it is a practical algorithm.

**Key words:** Image matching; Cross-entropy; Image tracking

### 0 引言

利用红外 CCD 成像传感器实现目标成像匹配跟踪是精确制导武器及机载成像光电吊舱系统研究的

关键技术,由于实际战场环境极其复杂,而且随着战场伪装、隐身技术的发展,对目标成像匹配跟踪系统的研究提出了更高的要求。所谓的图像匹配跟踪就是把同一传感器在不同时间段从同一场景中拍摄的两

收稿日期: 2005-03-14; 修订日期: 2005-04-29

作者简介: 江和平(1965-),男,湖南衡阳人,博士生,主要从事图像处理、自动目标识别及跟踪等方面的研究。

幅图像在空间上进行匹配定位,以确定出图像中目标的运动过程。随着科学技术的发展,图像匹配跟踪技术已成为近代信息处理领域中一项极为重要的技术,并广泛应用于现代航天、军事、医学等各个领域。

在图像匹配跟踪系统中,匹配算法的研究至关重要。由于模板图与实时图的拍摄时间与条件的变化,同时由于成像设备的限制和导弹尾焰的影响,模板图与实时图之间不仅存在着严重的灰度差异,而且还存在着相当的几何形变。通过对实时图进行灰度校正和几何校正,可在很大程度上改善这种情况,但在模板图和实时图之间仍存在着一定的灰度失真和几何形变;另外,模板图本身也存在着一定的噪声干扰。因此匹配算法不仅应该具有计算量小、易于硬件实现的特点,还必须要有良好的抗噪能力和抗灰度失真及抗几何形变的能力。

图像匹配可分为 3 个层次:基于灰度相关的匹配、基于特征的图像匹配和基于解释的图像匹配。基于灰度的图像匹配研究了近 20 年,这是一种对共轭图像逐像元以一定大小的窗口的灰度阵列按某种或几种相似性度量顺次进行搜索匹配的方法。这种匹配一旦进入信息贫乏区域,或共轭图像之间存在较大比例尺差异或扭曲的区域,匹配难免失败。基于特征的图像匹配需要进行特征的提取,而特征提取可能引进新的几何误差,并需要额外的计算时间。而基于解释的图像匹配需要建立在图片自动判读的专家系统之上,至今的研究尚未取得突破性的进展。

本文将信息熵<sup>[1,2]</sup>的概念引入到图像匹配中<sup>[3,4]</sup>,定义了图像局部交叉熵,并由此提出了基于局部交叉熵的图像匹配跟踪算法。该算法反映了模板图像与实时图像之间的信息量差异大小,从平均意义上来表征模板图像与实时图像之间的信息量差异一个量,因而交叉熵值最小准则有利于辐射失真图像,试验表明:交叉熵具有辐射失真不变的性质。

## 1 图像的局部交叉熵

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、图像处理等领域。为了将香农在信息论中定义熵的概念应用于图像匹配,需要定义图像的熵。首先假定图像函数具有非负值,即 $f$

$(x,y)>0$ ,对于一幅  $M \times N$  大小的图像,定义为:

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

$$p_{ij} = f(i,j) / \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i,j) \quad (2)$$

并称其为该图像的熵。如果只对图像的某一局部定义熵,则称其为局部熵<sup>[3]</sup>。

由熵的定义可知,图像的局部熵反映了该局部所含有信息量的大小,因此局部熵可以描述图像的局部性质。另外,如果图像的某一局部(比较少的范围)存在辐射失真(此时的点扩展函数为脉冲函数的线性组合),则局部熵不变,因而局部熵具有辐射失真不变的性质。由于熵的大小依赖于整个局部区域,单个像素的灰度值对熵的影响很小, $p_{ij}$ 的归一化处理也具有平滑噪声的作用,局部熵对噪声不敏感。且从熵的定义也可以直接看出,熵对一定程度的几何失真是不敏感的,因此,利用熵建立的图像匹配方法具有良好的抗辐射失真和抗几何失真的能力。

交叉熵<sup>[5,6]</sup>是一种用来度量两个概率分布  $P = \{p_1, p_2, \dots, p_N\}$ ,  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_N\}$  之间信息量差异的量,其定义为:

$$D(P, Q) = \sum_{i=1}^N p_i \ln \frac{p_i}{q_i} \quad (3)$$

它的对称形式称为对称交叉熵,其定义为:

$$D(P:Q) = \sum_{i=1}^N p_i \ln \frac{p_i}{q_i} + \sum_{i=1}^N q_i \ln \frac{q_i}{p_i} = \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i + \sum_{i=1}^N q_i \ln q_i - \left( \sum_{i=1}^N p_i \ln q_i + \sum_{i=1}^N q_i \ln p_i \right) \quad (4)$$

交叉熵也称有向散度,它既可以看成是两个概率系统的信息量差异,也可以看成是采用  $P$  取代  $Q$  作为系统概率分布时,单个系统信息量变化的期望值,这时称  $P$  为后验分布,  $Q$  为先验分布。当  $P$  和  $Q$  分别同一系统的先验和后验时,可以用最小交叉熵来进行图像匹配。如果只对图像的某一局部计算交叉熵,则成为图像局部交叉熵。

在利用图像交叉熵来进行图像匹配时,  $P$  为模板

图像的概率分布,  $Q$  为实时图像的局部图像概率分布, 通过计算它们之间的图像交叉熵值来确定最佳匹配位置。由于交叉熵是一类下凸函数, 当  $P$  和  $Q$  完全一致时可取得最小的零值, 说明模板图像与实时图像之间的信息量差异最小。所以, 可以利用模板图像与实时图像之间的最小交叉熵准则来进行图像匹配。

## 2 基于交叉熵的图像匹配跟踪算法

由公式(1)定义的图像熵的计算涉及对数的计算, 计算量比较大, 为此利用泰勒级数展开式可得如下的近似公式:

$$H_f \approx - \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N p_{ij} (p_{ij} - 1) \quad (5)$$

同样, 对于公式(4)局部对称交叉熵也有:

$$D(P:Q) \approx \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M p_{ij} (p_{ij} - 1) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M q_{ij} (q_{ij} - 1) - \left( \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M p_{ij} (q_{ij} - 1) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M q_{ij} (p_{ij} - 1) \right) \quad (6)$$

由于机载成像光电吊舱系统的初始参考模板图像由人工在视场内指定, 而且在帧频为 50 Hz 的情况下, 每帧图像之间的目标位置变化比较少, 所以, 可以尽量减少搜索窗的大小, 使搜索窗能很好地覆盖目标。在实时情况下, 以搜索窗内的每一点为中心提取与模板图像同样大小的局部图像, 与参考模板图像进行局部对称交叉熵计算, 其运算占用相当多的时间, 为了进一步减少总的计算量, 对搜索窗内各像素点通过粗匹配和精匹配来减少搜索位置的数目。

根据公式(6), 构造基于交叉熵的图像匹配跟踪算法的基本步骤为:

(1) 计算模板图像的图像熵。

(2) 根据预先的规则确定实时图像内的搜索窗的大小和位置, 然后在搜索内得到与模板图大小相同的待匹配局部实时图。

(3) 粗匹配阶段。为了提高匹配速率, 采用网格搜索法, 搜索步长为 2。具体的匹配方法为: 在实时图的搜索窗内, 以扫描点为中心, 获得与模板图像同样大小的候选匹配图像, 计算它们的交叉熵值, 得到最

小交叉熵值的候选匹配图像的位置, 即为粗匹配阶段的匹配结果。假定搜索窗内尺寸为  $(2n+1) \times (2n+1)$ , 则逐点搜索需要计算  $4n^2+4n+1$  次交叉熵, 而采用网格搜索后只需  $n^2$  次就可以完成粗匹配。在粗匹配过程中得到最小交叉熵位置, 然后进入精匹配。

(4) 精匹配阶段。以粗匹配过程中得到最小交叉熵位置为中心, 在实时图上形成一个  $5 \times 5$  的搜索范围, 以粗匹配阶段的匹配方法进行逐像元的匹配, 得到最小交叉熵值的匹配图像的位置, 该位置即为最后的匹配点。

(5) 自适应模板图像更新。随着时间的推移, 所要跟踪的目标和目标所在的场景都发生了变化, 这时我们所要跟踪的目标点会发生误差, 严重情况下, 有可能丢失跟踪目标。为了保证跟踪的稳定性和正确性, 需要对模板进行自适应更新。自适应模板图像更新的方法是: 以步骤(4)所得到的匹配点为中心, 在当前帧实时图像中得到与模板图像同样大小的图像, 以此图像取代以前的模板图像。

最后, 重复上述步骤, 即可实现基于交叉熵的图像匹配跟踪算法。

基于交叉熵的图像匹配跟踪算法具有以下性质:

(1) 当模板图像与实时图像完全重合或最相似时, 其交叉熵值为零或为最小, 因而交叉熵值最小准则是合理的。

(2) 交叉熵值的大小反映了模板图像与实时图像之间的信息量差异大小, 从平均意义上来表征模板图像与实时图像之间的信息量差异量, 因而交叉熵值最小准则有利于信息量丰富的图像匹配, 特别是对辐射失真图像, 交叉熵具有辐射失真不变的性质。

(3) 由于交叉熵方法不用提取图像边缘、纹理特征, 而又包含了图像的边缘、纹理信息, 因此对于边缘、纹理特征缺乏的图像也具有较好的适用性, 这是基于边缘、纹理特征匹配方法所无法达到的。

(4) 由于交叉熵对一定程度的几何失真是不敏感的, 交叉熵具有一定抗几何失真的性质。在图像匹配中, 这一性质具有实际意义。

## 3 实验结果与分析

我们对同一地面复杂场景的序列图像采用基于

局部交叉熵的图像匹配跟踪算法和灰度相关匹配跟踪算法<sup>[7,8]</sup>进行仿真实验。图像序列从1007~1280帧,由于导弹尾焰的影响,会发生严重的辐射失真及导弹尾焰部分和全部遮挡目标,需要跟踪的目标会出现不同程度的消失和时隐时现。这时用灰度相关算法进行匹配跟踪,就会出现误配、失配或把目标跟丢的情况。而采用基于局部交叉熵的图像匹配跟踪算法进行匹配跟踪,则可以得到比较好的匹配跟踪结果。

上述两种算法都使用如下参数:图像搜索区域尺寸为 $61 \times 61$ ,图像模板尺寸为 $31 \times 31$ ,网格搜索法的粗匹配步长为2,精匹配邻域为 $5 \times 5$ 。这两种算法都是从图像序列1007帧开始,并对指定目标进行匹配跟踪,在匹配过程中,对模板图像进行自适应更新。图1(a)为开始时的第1007帧模板图像,(b)为第1046帧待匹配模板图像,模板图像随匹配结果和实时图像而变。由于导弹尾焰的影响,出现视场整体变亮,目标信噪比下降,如(c)、(d)所示的目标与周围的背景差异显著减少。(c)为基于局部交叉熵的图像匹配跟踪算法在第1046帧的匹配跟踪结果。(d)为灰度相关图像匹配跟踪算法在第1046帧的匹配跟踪结果。比较两种结果可以看出:在导弹尾焰的影响下,出现了严重的辐射失真,目标信噪比严重下降。本文提出的基于局部交叉熵的图像匹配跟踪算法仍能较好地跟踪目标,而灰度相关图像匹配跟踪算法却出现了丢失目标现象,表明交叉熵具有辐射失真不变的性质。

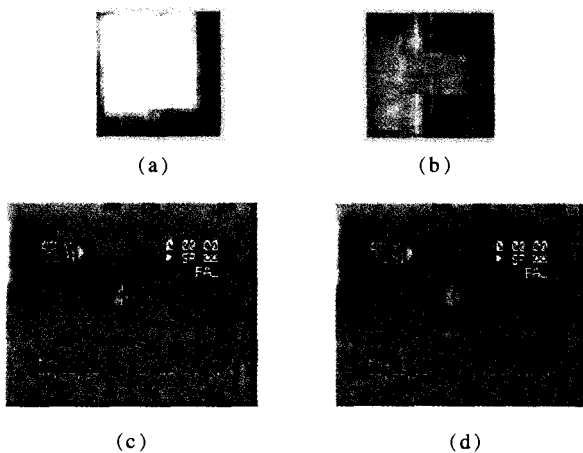


图1 基于局部交叉熵和灰度相关的图像匹配跟踪算法的仿真实验结果

Fig.1 Simulation experimental results of image matching tracking algorithm based on local cross-entropy and gray correlation

## 4 结论

本文提出了基于局部交叉熵的图像匹配跟踪算法,该算法以交叉熵值的大小反映了模板图像与实时图像之间的信息量差异大小,从平均意义上来表征模板图像与实时图像之间的信息量差异量,因而交叉熵值最小准则有利于信息量丰富的图像匹配,不仅具有抗噪能力,而且具有良好的抗辐射失真和抗几何失真的能力。在辐射失真情况下,比较基于局部交叉熵和灰度相关匹配跟踪算法的仿真试验结果,表明基于局部交叉熵的图像匹配跟踪算法具有稳健的匹配跟踪能力,适应能力强、稳健性好,是一种很实用的匹配跟踪算法。

## 参考文献:

- [1] FU Zu-yun. The Information Theory: Foundation Theory and Application[M]. Beijing: Publishing House Of Electronics Industry (傅祖芸. 信息论: 基础理论与应用. 北京: 电子工业出版社), 2001.
- [2] XIAO Zi-mei. Image Information Theory and Compress Coding Technology[M]. Guangzhou: Publishing House of Zhongshan University (肖自美. 图像信息理论与压缩编码技术. 广州: 中山大学出版社), 2000.
- [3] TIAN Jin-wen, SU Kang, LIU Jian. Image matching based on local entropy difference - algorithm and computer simulation[J]. Journal of Astronautics (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.
- [4] WANG Guang-jun, TIAN Jin-wen, LIU Jian. Infrared small objects detection based on local entropy method[J]. Infrared and Laser Engineering (王广君, 田金文, 柳健. 基于局部熵的红外图像小目标检测. 红外与激光工程), 2000, 29(4): 26-29.
- [5] ZHANG Yu-jin. Image Segmentation[M]. Beijing: Science Press (章毓晋. 图像分割. 北京: 科学出版社), 2001.
- [6] Brink A D, Pendock N E. Minimum cross-entropy threshold selection[J]. Pattern Recognition, 1996, 29(1): 179-188.
- [7] SUN Zhong-kang, SHEN Zhen-kang. Digital Image Processing and Application[M]. Beijing: Publishing House Of National Defence (孙仲康, 沈振康. 数字图像处理及其应用. 北京: 国防工业出版社), 1985.
- [8] YANG Yi-he, ZHOU Wei-zhen. The Guide Theory of Imaging Tracking Technique[M]. Xi'an: Publishing House of Xi'an University of Electronics Science and Technology (杨宜禾, 周维真. 成像跟踪技术导论. 西安: 西安电子科技大学出版社), 1992.