

文章编号: 1672-8785(2006)09-0016-04

# 低信噪比红外成像制导跟踪算法研究

霍义华<sup>1,2</sup>, 黄自力<sup>2</sup>, 高升久<sup>2</sup>

(1. 四川大学, 四川成都 610065; 2. 西南技术物理研究所, 四川成都 610041)

**摘 要:** 根据红外图像成像的特点, 对低信噪比红外图像进行了分析, 提出了基于背景抑制的预处理方法; 总结了在不同的作战环境和要求下红外成像制导常用跟踪算法的相关跟踪和对比度跟踪, 并对这两种算法的适用范围及跟踪效果作了对比。

**关键词:** 低信噪比; 红外成像; 预处理; 跟踪算法

**中图分类号:** TP751 **文献标识码:** A

## Research on Infrared Image Guidance Tracking Algorithms Under Low SNR

HUO Yi-hua<sup>1,2</sup>, HUANG Zi-li<sup>2</sup>, GAO Sheng-jiu<sup>2</sup>

(1. Sichuan university, chengdu 610065, China;

2. South west institute of technological physics, chengdu 610041, China)

**Abstract:** The infrared images of low signal-to-noise ratio (SNR) are analyzed according to the characteristics of infrared images. A preprocessing method based on background suppression is proposed. The contrast tracking algorithm and the correlative tracking algorithm usually used for infrared image guidance under different combat environment and requests are summarized. Finally, the applications and tracking effectiveness of these two algorithms are compared.

**Key words:** low signal-to-noise ratio; infrared image; preprocessing; tracking algorithm

### 1 引言

随着精确制导武器的发展, 红外成像制导在精确打击方面的优势更加突出。红外成像制导精度高, 隐蔽性好, 抗干扰能力和全天候工作能力强; 能提供昼夜二维图像信息; 具有在低信噪比和复杂背景条件下捕获、跟踪和识别目标的能力, 特别适用于攻击地面固定目标如机场跑道、机库、指挥中心、发电厂、桥梁、港中停泊的舰船以及雷达天线等。而红外成像信噪比的高低, 决定了红外成像制导的不同算法。

### 2 低信噪比红外图像的特点

凡是绝对温度大于零度的物体都会产生热

辐射。自然界中实际景物的温度均高于绝对零度, 因此自然界中的任何物体都会产生热辐射, 同时也会吸收由外界其他物体产生的红外辐射。物体具有多少辐射能量, 这可以利用它自身温度的大小来衡量。所以红外图像的强度主要由以下因素确定: 物体的几何形状和关系结构; 被摄物体表面的反射特性(反射率); 光线照射方向、方式和强度以及物体自身的红外特性等。红外图像中的像素一般由目标像素、背景像素和噪声像素三部分组成。

#### 2.1 目标像素

在低信噪比条件下, 红外图像中的目标像素是图像中的孤立亮斑, 为图像中的高频部分,

**收稿日期:** 2006-03-27

**作者简介:** 霍义华(19 —), 女, 四川大学图像图形所研究生, 主要从事数字图像处理、图像跟踪、图像和视频系统等方面的研究。

且与背景不相关。目标像素在其空间频域的表现为: 具有高频信息, 空间分布具有规律性, 帧间分布具有相关性, 仅有很小的帧间变化。

## 2.2 噪声像素

噪声像素的空间频域形式表现为类似点目标的高频特性, 空间分布是随机的, 帧间分布不具相关性。红外成像系统中的探测器是系统噪声的主要来源, 是影响红外图像质量的主要因素。

## 2.3 背景像素

背景像素一般具有较好的相关性, 占据了场景图像空间频域的低频段, 同时由于场景和传感器内部的热分布不均匀, 背景像素体现的图像是一个非随机的平稳过程, 另外同质区的边缘处也具备高频分量。

## 3 低信噪比红外图像的预处理

由于红外景物的对比度低以及低信噪比情况下红外图像中目标本身具有远距离、强杂波等特点, 在红外成像跟踪系统对目标进行跟踪之前, 首先应对红外图像进行噪声去除、背景抑制和图像增强等预处理工作, 以提高图像的信噪比和抑制噪声。如果没有经过处理, 那么来自焦平面阵列的绝大多数数据将是无用的杂波和不需要的数据。图像预处理技术是低信噪比红外成像制导跟踪的一个重要环节。根据红外图像背景和噪声的特点, 可行的预处理方法有以下几种:

### 3.1 行均值相减法

红外图像是热辐射图像, 对温度极为敏感。其温度场是非线性分布的, 但同一行的温度差很小, 并且相邻行间有很强的相关性。将红外图像的像素灰度减去上一行或同一行的灰度均值, 可有效地抑制大气温度场的非线性分布、大的云团和大部分地物。

### 3.2 利用低通滤波器的背景抑制法

该方法是利用平滑模板对原始图像进行低通滤波和提取图像中的低频成分的。可采用的平滑滤波的模板如表 1 所示。

用原始图像减去上述平滑结果, 所得到的图像中的高频成分, 而目标就在其中。此计算

方法虽然简单, 但经过预处理之后, 图像中的背景可得到最大限度的抑制, 剩下的便是背景中含有的少量高频信号和小目标。

### 3.3 利用高通滤波器的背景抑制法

由于高通滤波能有效地抑制低频成分, 让高频成分通过, 我们可以利用背景像素之间灰度的相关性及目标灰度与背景灰度的无关性, 在图像空间作高通模板的卷积或频域高通滤波来进行大面积的背景抑制, 同时保留目标和部分高亮度噪声。

高通滤波器在理论上对分离小目标具有很好的作用, 最合适的模板就是利用点扩展函数求出的模板。通过从光学的角度分析目标的轮廓, 可选择  $5 \times 5$  模板。可采用的模板记为  $H$ 。

表 1

1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1
1	1	1	1	1

表 2

-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	25	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1
-1	-1	-1	-1	-1

我们选用上面所示模板  $H$  对图像进行滤波。对于模板  $H$ , 其中心像素权值最大, 图像信号容易通过, 而周围权值较小, 图像信号不易通过。图像中的孤立亮斑, 即图像中的高频部分, 容易通过, 而有一定面积的背景则不易通过, 这样便可以较好地抑制背景。

## 4 低信噪比红外成像制导常用的跟踪算法

根据不同的作战环境、目标背景、信噪比, 选择的跟踪算法也不尽相同。而红外成像制导的精确度关键取决于红外成像跟踪系统的性能和跟踪算法。

### 4.1 相关跟踪

相关跟踪是将目标的基准图像在实时图像上以一定的偏移值位移, 根据相关度函数去判断目标在实时图像中的位置, 跟踪点就是两个图像匹配最好的位置, 即相关函数的峰值。

相关跟踪所用的样板图像可以是预先获取的灰度函数矩阵模板, 也可以是在前一时刻摄

取而被存储的包含目标的场景图像, 我们称之为参考图像或模板, 记为  $T$ 。在攻击固定目标时, 它通常采用预先摄取的目标红外图像作样板。在攻击机动目标时, 它通常以第  $k$  帧的图像为样板, 求其与第  $k+1$  帧图像的相关度, 借以提取目标的位移量, 并形成误差信号以控制伺服机构。

设模板  $T$  为一个  $M \times M$  的图像, 设搜索图  $S$  为一个  $N \times N$  图像 ( $M < N$ ),  $T$  在  $S$  上平移, 比较  $T$  和  $S(i,j)$  的内容。若两者一致, 则匹配点被找到。

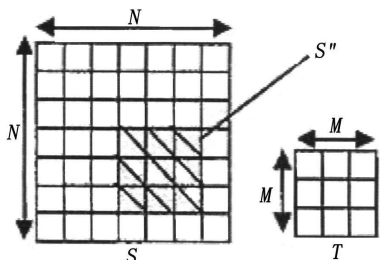


图 1 搜索图  $S$ 、参考图  $T$

常用的相关函数如下:

(1) 减法相关函数

$$R(i, j) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N |S^{i,j}(m, n) - T(m, n)| \quad (1)$$

(2) 乘法相关函数

$$R(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N T(m, n) \times S^{i,j}(m, n)}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{i,j}(m, n)]^2} \quad (2)$$

(3) 去均值归一化乘法相关函数

考虑到不同类型红外热像仪的直流电平的差异, 在实际的模板匹配中, 常采用去均值归一

化积相关匹配算法, 表示式为

$$R(i, j) = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{i,j}(m, n) - S] \times [T(m, n) - T]}{\sqrt{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [S^{i,j}(m, n) - S]^2 [T(m, n) - T]^2}} \quad (3)$$

式中,  $T(m, n)$  为模板,  $S^{i,j}(m, n)$  为子图,  $S$  为实时图像灰度均值,  $T$  为模板图像灰度均值。

相关跟踪对于地面固定目标, 如机场跑道、机库、指挥中心等建筑物进行跟踪特别有效。它也可用于对其它红外特征明显、运动不会太剧烈的地面机动目标如坦克、导弹发射车等进行有效跟踪。假目标的突然出现一般也很难对相关跟踪造成有效的干扰。

相关跟踪算法对图像质量要求不高, 而且无需对图像进行分割和特征提取处理, 只需在原始图像数据上进行运算。由于它对与选定的跟踪目标图像不相似的其它一切景物都不敏感, 可用来跟踪低信噪比和复杂背景条件下的红外目标。相关算法准确度较高, 适合对大量的连续视频图像进行自动处理。

相关跟踪利用了比较多的图像信息, 能更有效可靠地跟踪目标, 是用得较广的一种跟踪算法。但是由于运算量较大, 除了匹配点一点以外, 都是在非匹配点上做无用功。同时它还存在着跟踪积累误差, 这可能会导致因参考窗口的漂移而丢失目标。另外它对目标的大小和旋转变化较敏感, 目标的剧烈运动、目标方位、透视变化和强度干扰等因素常会严重影响相关跟踪方法的可靠性。



图 2 对低信噪比、复杂背景下红外目标的相关跟踪结果

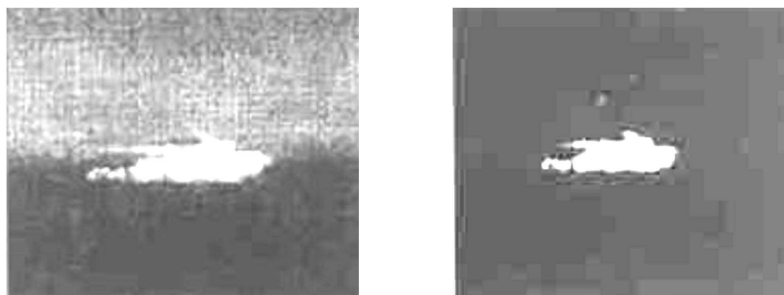


图 3 对比度跟踪时, 以适当的阈值分割红外图像得到的目标和背景

#### 4.2 对比度跟踪

对比度跟踪适合用于跟踪目标的红外图像强度和背景对比度较大的目标, 它的基本原理是首先在全视场的范围内根据合适的阈值分割目标和背景。阈值的大小随目标与背景之间的对比度高低而变化, 通过阈值分割将红外图像中的目标图像找出来。可以利用目标图像灰度分布的重心为跟踪点进行跟踪, 以减小跟踪点的随机误差。

在一个  $M \times N$  的视场窗口中, 目标的灰度重心位置可由式 (4) 求得。

$$\left\{ \begin{array}{l} x = \frac{\sum_{j=1}^N j \sum_{i=1}^M f(i, j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j)} \\ y = \frac{\sum_{i=1}^M i \sum_{j=1}^N f(i, j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N f(i, j)} \end{array} \right. \quad (4)$$

式中,  $f(i, j)$  是目标图像在  $(i, j)$  点的像元灰度值,  $M$  和  $N$  分别为视场窗口内的行、列方向的像元数。

由于计算重心的过程是个统计平均过程, 算出的跟踪点不是个别的最亮点位置, 而是图像中各个像元灰度加权平均的位置, 以重心为跟踪点, 可显著增强跟踪的抗干扰能力, 跟踪精度高, 稳定性好。

对比度跟踪对信噪比的要求比较高, 适合用于跟踪目标和背景有较大反差的情况, 并且

要求目标的灰度值比较均匀, 因而更适合用于跟踪空中和海上等背景比较单一的目标。另外对于地面的高温目标如坦克等也可以进行较好的跟踪。

对比度跟踪利用的图像信息不多, 计算简便, 稳定性、可靠性和精度都较高, 且不受物体大小和旋转变化的影响, 便于实时实现。但它通常不适合用于跟踪目标和背景比较复杂的场景, 具有无法克服的抗干扰能力弱的缺点。当假目标出现时, 容易造成跟踪目标的丢失。

#### 5 结束语

由于作战环境的不同, 同一种算法在不同的情况下会有不同的效果。算法的选择必须针对不同的应用环境。低信噪比红外成像制导跟踪算法由于具有广泛的应用前景, 已成为当前研究的热点问题。

#### 参考文献

- [1] 李吉成. 红外起伏背景条件下的小目标检测技术研究 [D]. 长沙: 国防科大工学, 1998, (1): 8-15.
- [2] 彭嘉雄, 等. 红外背景抑制与小目标分割检测 [J]. 电子学报, 1999, 27(12): 47-52.
- [3] 冷何英, 等. 基于 TMS320C6202 的实时多目标识别跟踪系统处理平台设计 [J]. 信号处理, 2002, 18(2): 155-158.
- [4] 张弘, 赵保军, 等. 一种快速实时的低信噪比红外斑点目标检测方法 [J]. 北京理工大学学报, 2001, 21(3): 378-381.
- [5] 朱海陵, 卢焕章. 低信噪比下两种点目标检测算法的研究 [J]. 红外与激光工程, 1999, (1): 5-71.