

一种新的前视红外成像相关跟踪算法

王涛 刘上乾 伍长奎

(西安电子科技大学技术物理系, 陕西, 西安, 710071)

摘要 针对瞄准吊舱中前视红外成像跟踪的工作状态, 提出了一种新的相关跟踪算法, 该算法采用一维直方图快速搜索和二维多级亚采样精确定位方案, 使算法具有实时性. 利用图像系列的相关性, 采用隔帧修正累积误差的方法, 有效地提高了系统的跟踪精度. 本文的实验结果与理论值相符.

关键词 相关匹配, 前视红外, 成像跟踪.

引言

在成像跟踪的多种算法中, 相关跟踪算法具有对图像质量要求不高、可在低信杂比条件下正常工作、能适应较复杂结构的目标和背景的场所、具有较强的局部抗干扰能力等优点. 因此, 相关跟踪算法在成像跟踪中有着其它算法难以取代的重要地位. 然而相关跟踪算法的计算量太大, 不便于实时实现, 并且存在跟踪积累误差, 可能导致因参考窗口的漂移而丢失目标. 虽然已研究了若干简化算法, 如SSDA法、变灰度级相关法等使算法的总运算量有所减小, 但仍不能满足现代兵器实时成像跟踪的要求.

本文针对瞄准吊舱的工作状态和战术要求, 为前视红外成像跟踪系统研制了一种新的快速相关精确跟踪算法. 该算法采用一维直方图快速搜索和二维多级亚采样精确定位方案, 有效地压缩了总运算量, 为算法的实时实现提供了条件; 同时还利用图像序列的相关性, 采用隔帧修正参考窗位置的方法; 对跟踪积累误差进行修正, 从而提高了系统的跟踪精度.

1 一维灰度直方图快速搜索算法

在跟踪初始阶段, 由于目标距离比较远, 此时跟踪状态相对比较稳定, 成像条件基本不变, 故可以认为实时摄取的图像系列中目标区域及周围的像素灰度分布特征基本保持不变, 也就是在若干帧内包含目标的参考图与匹配位置处的实时子图的灰度统计直方图特征极为相似. 据此, 我们设计了一维灰度直方图快速搜索算法, 筛选出相关匹配点. 该算法具体步骤如下:

(1) 计算参考图灰度直方图函数 $H_r(x)$, 灰度 x 取值范围为: $0 < x < 255$.

(2)在实时图像的搜索位置 (u, v) ,取与参考窗口同样大小的子图,求其直方图并且用 $H_{uv}(x)$ 表示.

(3)计算 $H_r(x)$ 与 $H_{uv}(x)$ 的相似性,简单地用一维 MAD 算法计算:

$$D_H(u, v) = \sum_{x=0}^{255} |H_r(x) - H_{uv}(x)|. \quad (1)$$

为提高相关搜索的可靠性,允许实时模式与参考模板之间有 ± 1 个灰阶的偏差,令 H_r 相对 H_{uv} 左右错开一个灰阶后进行减相关,即

$$D_H^{+1}(u, v) = \sum_{x=0}^{254} |H_r(x) - H_{uv}(x)|, \quad (2)$$

$$D_H^{-1}(u, v) = \sum_{x=0}^{255} |H_r(x) - H_{uv}(x)|, \quad (3)$$

选取式(1)、式(2)和式(3)中计算值的最小值作为该点的相关度量值,即

$$D_H(u, v) = \text{MIN}[D_H(u, v), D_H^{+1}(u, v), D_H^{-1}(u, v)]. \quad (4)$$

(4)改变 (u, v) ,即遍历相关搜索区域(为了提高速度,可以只取网格点处的子图),重复步骤(2)和(3)便可获得整个搜索区参考图与实时图像的直方图相关匹配量度曲面 $D_H(u, v)$.

(5)从 $D_H(u, v)$ 曲面上选择谷点对应的区域,作为进一步精确相关匹配的候选区域.为了提高可靠性,可以多选几个区域(即 $D_H(u, v)$ 的第2、第3最小值对应的位置)作为可能的候选区域.

2 多级亚采样相关匹配算法

在对地面人造固定目标跟踪过程中,成像器相对于景物运动.从摄像平面看,整个场景作平移运动,若要估计这种运动,只需估计场景中一部分像素的运动即可.据此,设计多级亚采样模式.

2.1 亚采样模式结构

图1为4:1(像素)亚采样模式结构,其中斜纹方块为模式A像素,另外3种模式为B、C和D,分别由模式A像素的右边、下边和右下的像素构成.这4种亚采样在整个相关区域交替使用,比单调使用一种模式的效果更好.4种模式交替规则为:若在 (x, y) 位置上使用模式A,则在 $(x+2i, y+2j)$ (i, j 为整数)位置上也使用模式A,而模式B用于 $(x+2j, y+1+2j)$,模式C用于 $(x+1+2j, y+2j)$,模式D用于 $(x+1+2i, y+1+2j)$.同理,可以设计16:1和64:1亚采样模式.由此可构造多级亚采

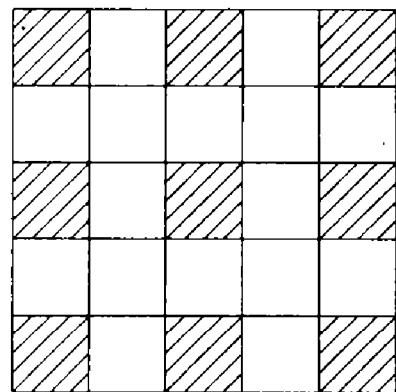


图1 4:1亚采样模式(斜纹像素组成模式A)
Fig.1 4:1 subsample pattern, (The pattern A is composed of oblique line pixels)

样模式. 多级亚采样积相关匹配快速算法的步骤为:

(1)对上述粗搜索算法筛选出来的一系列候选区域,在每个相关窗口内采用多级亚采样模式进行二维相关. 首先用高一级(64:1)亚采样模式,排除掉大部分非匹配点,剩下为新的候选点集,然后采用 16:1,4:1 亚采样模式进一步排除非匹配点.

(2)对剩下的少数几个候选点(一般为 4 个)采用 1:1 采样模式,即窗口内全部像素都参加相关运算.

(3)从上述计算出的几个相关系数中选择最大者所对应的位置作为匹配点.

相关跟踪参考图窗口尺寸的选择是在综合考虑目标-背景特征和相关匹配性能的基础上进行的. 在实验中,我们选择的参考尺寸为 64×64 .

参考图的更新,是根据相关跟踪的置信度参数来确定的. 若相关跟踪置信度低于某个阈值,表明当前图像不可靠,应继续使用原参考图进行相关,否则,就用匹配位置处的窗口图像更新参考图.

相关跟踪置信度参数是在分析相关匹配算法性能的基础上设计出来的,它是保证跟踪可靠性的一个重要参数. 若匹配峰值越大,且峰值与其它非匹配相关量度均值之差越大,则表明跟踪越可靠. 设前面相关匹配算法中的(4)产生了 $Q+1$ 个量度 $\psi(j)$,其中 $\psi(0)$ 为一个匹配点的量度,其余 Q 个为非匹配点,计算非匹配点度量的均值为:

$$\bar{\psi}(j) = \frac{1}{Q} \sum_{j=1}^Q \psi(j), \quad (5)$$

则跟踪置信度为

$$\text{confidence} = \psi(0) \cdot [\psi(0) - \bar{\psi}(j)]. \quad (6)$$

3 隔帧相关跟踪累积误差修正方案

由于相关跟踪的每一次匹配误差在一个像素以上,因此,若相关跟踪过程中误差积累起来,就很可能使参考窗口发生漂移而导致丢失目标的危险,为此,本文采用了一种隔帧修正积累误差的方案. 其基本思想是利用第 $(i-L)$ 帧图像的参考图来修正从 $(i-L)$ 帧到当前帧(第 i 帧)所产生的累积误差.

设修正参考图 S_{i-L} 和当前参考图 S_i 分别与实时图像相匹配的位置为 $[X_{M_i}^{(L)}, Y_{M_i}^{(L)}]$ 和 (X_{M_i}, Y_{M_i}) ,置信度分别为 $C_i^{(L)}$ 和 C_i . 当前帧 (i) 和前一帧 $(i-1)$ 和 $i-L$ 帧目标图像的位置误差分别为 $(\Delta X_i, \Delta Y_i)$ 和 $[\Delta X_i^{(L)}, \Delta Y_i^{(L)}]$,即

$$\begin{cases} \Delta X_i = X_{M_i} - X_{M_{i-1}}, \\ \Delta Y_i = Y_{M_i} - Y_{M_{i-1}}; \end{cases} \quad (7)$$

$$\begin{cases} \Delta X_i^{(L)} = X_{M_i}^{(L)} - X_{M_{i-L}}, \\ \Delta Y_i^{(L)} = Y_{M_i}^{(L)} - Y_{M_{i-L}}; \end{cases} \quad (8)$$

第 $i-L$ 帧到第 i 帧的累积位置误差为

幅图像上半部分是原图,下半部分是分割的结果.在原图中的高亮方框是进行标注以后所有可能的目标所处的区域.

参考文献

- 1 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,1991
- 2 谢维信. *工程模糊数学方法*,西安:西安电子科技大学出版社,1991
- 3 蔡元龙. *模式识别*,西安:西北电讯工程学院出版社,1986
- 4 裴继红. *海面舰船红外成像目标的实时识别与跟踪*,西安:西安电子科技大学硕士论文,1994
- 5 Mohanty N C. Image Enhancement and Recognition of Moving Ship in Cluttered Background, In: sponsored by IEEE C. Processings, Pattern Recognition and Image Peocessing, IEEE Computer Society Conference on (PRIP' 82), HELD June 14-17, 1982 in Las Vegas, NV; LC 82-80366, 82CH1761-6, PRIP, 1982, PP. 135-140
- 6 Strickland R N, Gerber M R. *Optical Engineering*, 1986, 25(8):995-1000
- 7 Mao Zuhua. *Optical Engineering*, 1988, 27(7):541-549
- 8 荆仁杰,叶秀清,徐胜荣,等. *计算机图像处理*,杭州:浙江大学出版社,1991
- 9 徐建华. *图像处理与分析*,北京:科学出版社,1992
- 10 汪培庄. *模糊集合论及其应用*,上海:上海科学技术出版社,1983
- 11 郭桂蓉,陈学敏. *系统工程与电子技术*, 1988, (1):23-33

STUDY OF FUZZY SEGMENTING ALGORITHM OF SHIP IMAGING TARGET BY FORWARD-LOOKING INFRARED TECHNIQUE

Pei Jihong Xie Weixin

(Department of Electronic Engineering, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Yang Yihe Liu Shangqian

(Department of Technicol Physics, Xidian University, Xi'an, Shaanxi 710071, China)

Abstract A new segmenting algorithm for forward-looking ship infrared imaging target is presented by analyzing infrared ship imaging characteristics. It segments targets with the adaptive threshold relaxation fuzzy segmenting technique. The method is emulated with a software using practical infrared ship images, and its reality and practicality proved.

Key words infrared ship imaging, feature membership function, fuzzy segmentation, adaptive threshold.

4 实验结果

本文利用实拍的前视红外图像录像对所提出的算法进行了模拟实验.

图 3 为实际图像的相关曲面图. 图 3(a)为一输入图像 MAD 二维相关曲面;图 3(b)为同一输入图像直方图一维 MAD 相关曲面,它是采用在网格点上进行一次直方图相关运算所获得的结果,其运算量比图 3(a)小得多,而且两图形状很相似,表明一维直方图相关运算的快速搜索方案是可行的.

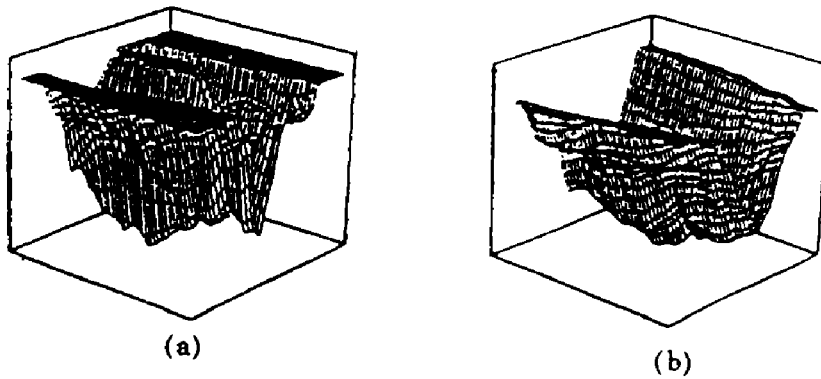


图 3 相关度量曲面图
 (a)二维 MAD 度量曲面 (b)直方图一维 MAD 度量曲面
 Fig. 3 Correlation measurement camber
 (a)two-dimensional MAD measurement camber
 (b)one-dimensional histogram MAD measurement camber

图 4 为多级亚采样快速相关精确定位图片. 左上角窗口内图像为参考图,在相隔0.5s后拍摄的第 2 幅图像(右下角)中寻找匹配位置,其中参考图窗口尺寸为 64×64 ,大窗口为搜索区域,左下角为直方图一维 MAD 相关粗搜索相关曲面图. 右上角图像中的十字叉位置即为精确相关匹配位置. 实验结果表明,尽管目标图像结构比较复杂,而且两幅图像之间有一定的透视角度变化,但本快速相关算法仍可对目标实现精确定位,表明算法是实用而且有效的.

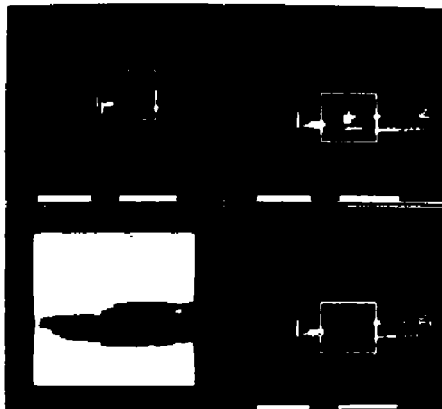


图 4 快速相关精确跟踪定位实验照片
 Fig. 4 Experimental photos of fast correlation and accurate tracking positioning

搜索区域,左下角为直方图一维 MAD 相关粗搜索相关曲面图. 右上角图像中的十字叉位置即为精确相关匹配位置. 实验结果表明,尽管目标图像结构比较复杂,而且两幅图像之间有一定的透视角度变化,但本快速相关算法仍可对目标实现精确定位,表明算法是实用而且有效的.

本文对相关跟踪累积误差修正效果在实验室进行了半实物的模拟例行实验,在不断改变跟踪目标的形状和运动状态的条件,下,试验相关跟踪算法的性能,结果表明,累积误差修正算法可减小相关跟踪过程中丢失目标的概率.

参考文献

- 1 Kuglin C D. *SIE*, 1981, **302**:99~107
- 2 Kashef B G. *SPIE*, 1983, **32**:222~239
- 3 Nandhakumarand N, Aggarwa J K. *IEEE trans on pattern Analysis and Maxhine Intellegence*, July, 1988, 469~881

A NOVEL FORWARD-LOOKING INFRARED IMAGERY CORRELATION TRACKING ALGORITHM

Wang Tao Liu Shangqian Wu Changluan

(*Technical Physics Department, XiDian University, Xi'an, shaanxi 710071, China*)

Abstract A novel correlation tracking algorithm towards the forward-looking infrared imagery tracking in the aiming cabin is presented. The algorithm adopts the project of one-dimensional-histogram quick-searching and two-dimensional multistage subsample accurate positioning, making real-time processing possible. It also effectively improves the system tracking precision by using accumulated error frame-jump correction based on correlation of the sequence images. Experimental results are in agreement with theories.

Key words correlative match, forward-looking infrared, imaging traking.