

# 一种新的相关跟踪算法的设计与实现

杨皓昀 张桂林

(华中科技大学图像识别与人工智能研究所

图像信息处理与智能控制国家教育部开放实验室, 湖北, 武汉, 430074)

TN215

**摘要** 提出了一种粗搜索结合精匹配定位的两级图像相关匹配算法, 该法利用目标中心信息的稳定性, 并结合图像序列间的相关不变性和目标的自相关性给出了一种新的置信度评估方法, 在存在复杂背景、类似目标、较强噪声和一定旋转及尺寸变化的情况下仍有较高的匹配精度和跟踪稳定性, 匹配速度也很快, 还描述了采用 CPLD 芯片与 DSP 处理器共同实现算法的方法。

**关键词** 相关匹配, 红外成像跟踪, 复杂可编程逻辑器件 (CPLD), DSP.

相关跟踪算法

## DESIGN AND REALIZATION OF A NEW CORRELATION TRACKER ALGORITHM

YANG Hao-Yun ZHANG Gui-Lin

(Institute for Pattern Recognition and Artificial Intelligence,

Laboratory of State Education Committee for Image Processing and Intelligent Control,

Huazhong University of Science and Technology, Wubai, Hubei 430074, China)

**Abstract** A two-stage image matching algorithm was developed, in which coarse searching and accurate location are combined. Taking the advantages of stability of the gray level and other information of the object's center, and the relative invariance of the series images and the self-relativity of the object, this method provides a new credibility evaluation method. This new matching algorithm performs perfectly in the condition of complicated background and false objects and high noise, certain rotation and size variance, and is very fast at the same time. Finally, this paper described the realization method of the matching algorithm by use of CPLD and DSP.

**Key words** correlation matching, IR image tracking, complexity programmable logic device (CPLD), DSP.

### 引言

在成像跟踪的多种算法中, 相关跟踪算法具有可在低信噪比条件下正常工作、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, 因此在成像跟踪中有着重要地位<sup>[1]</sup>.

本文针对无人侦察机红外成像跟踪系统的工作状态和战术要求, 提出一种新的快速相关跟踪算法, 该算法利用目标中心信息进行粗搜索定位来确定可能的匹配点, 再使用整个目标区域作模板进行完全相关, 从这些可能点中得到最佳匹配点, 大大减少了计算量. 同时还利用图像序列之间的相关性以及目标的自相关性, 确定了一种相关置信度和模板修正策略, 从而提高了系统的跟踪稳定性, 并研制了一个由 CPLD、DSP 芯片组成的灵活且不复杂的实时跟

踪处理系统.

### 1 两级相关匹配算法

当人工锁定目标后, 无人机将在目标上空盘旋飞行, 并逐渐降低高度, 无人机速度和高度都不高, 当有足够的帧速时, 目标帧间位移和尺寸都变化不大, 目标相对做旋转运动, 并可能被遮挡. 目标在红外图像中表现为高亮度区, 其图像面积变化一般从  $4 \times 4$  到  $28 \times 28$  像素. 目标帧间移动范围是  $\pm 16$  个像素, 因此设定搜索区大小为  $64 \times 64$ , 模板大小为  $32 \times 32$ . 由于相邻两帧红外目标的中心信息 (热度、角速度、尺寸面积) 变化很小, 因此在快速搜索定位时使用模板的中心信息, 如模板中心  $16+16$  大小的十字线为小模板在整个搜索区上进行匹配得到几个可能区配点. 在粗搜索定位选取匹配点时, 通过将相

关值  $Z(k, l)$  进行排序得到 5 个极小值, 以这 5 个值对应的点及其  $3 \cdot 3$  邻域共 45 个点作为精确定位的候选点, 并去掉重叠点, 再用整个模板 ( $32 \cdot 32$ ) 在这些候选点上进行精匹配, 从精匹配结果中得到最佳匹配点 (一般是最小值), 以这个点为基准调整传感器姿态使目标保持在视场中心. 实验中发现, 在粗搜索过程中, 对整个搜索区的点进行搜索 (即逐行逐列计算) 与将搜索区进行  $4:1$  亚采样 (隔行隔列取点) 后进行搜索的结果差别很小, 所以还可通过亚采样搜索来缩短计算时间. 匹配计算采用二维 MAD (平均绝对差法) 即:

$$Z_o(k, l) = \frac{1}{N} \sum_i \sum_j |B_{i,j} - A_{i+k, j+l}|, \quad (1)$$

式(1)中  $A$  为搜索区,  $B$  为模板.

经实验得到了某段跟踪过程相关值曲线如图 1, 可认为在图像帧速足够高的前提下, 在一个不长的时间间隔中目标变化是较缓慢的. 图中实线是正常跟踪段, 虚线是非正常跟踪段 (未套中预定目标), 上部的虚线一般产生于当目标变化很大 (如噪声、遮挡、尺寸变化等等) 的情况, 下部虚线一般是 MAD 算法造成的 (比如有其它类似目标产生了假谷值), 据此定义相关置信度为

$$C_0 = \frac{\sum_{i=1}^n |x_0 - x_i|}{\sum_{i=1}^n x_i}, \quad (2)$$

$$C_1 = \frac{\sum_{i=1}^p x' / \sum_{i=1}^p |x^0 - x^i|}, \quad (3)$$

式(2)中  $C_0$  是帧内相关置信度,  $x_0$  是当前帧内得到的相关最小值,  $x_i$  是同一帧内依次比  $x_0$  大的相关值. 若  $C_0$  大于阈值  $T_0$ , 则认为  $x_0$  是本帧内的最佳相关匹配值, 反之认为目标已丢失. 再根据帧间目标的相关性定义了帧间相关置信度  $C_1$ , 式(3)中  $x^0$  是当前帧内符合帧内置信度要求的最佳相关匹配值,  $x^i$  是前几帧的最佳相关匹配值,  $C_1$  若大于阈值  $T_1$ ,

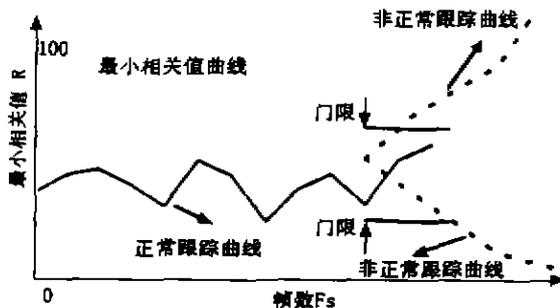


图 1 某段时间内的相关值曲线  
Fig. 1 Correlation curve in a period of time

说明  $x^0$  的帧间置信度高, 认可这个结果, 反之则认为目标发生了较大的变化. 在这里  $\rho$  不能太大, 令  $\rho = 5$ . 通过定义这两个相关置信度, 较好地解决了单个目标跟踪的稳定性问题.

对误跟踪预定目标附近的相似目标的情况, 这是因为此相似目标使匹配产生了能更好地满足以上定义的置信度的相关谷值. 参考文献[2]阐述了一种辨别相关匹配中的同类目标的方法. 其思想是目标模板的自相关曲面与它和下一帧此目标的互相关曲面有最大的拟合性, 而与它和相似目标的相关曲面的拟合性较小. 具体方法如下: 用目标模板的中心模板在本帧的目标中心附近进行匹配, 得到一个  $7 \cdot 7$  大小的自相关曲面  $q$ , 当下一帧由粗搜索得到互相关曲面后, 从中取出候选点的相关曲面  $h$  (大小也是  $7 \times 7$ ), 对自相关曲面  $q$  进行拟合分析. 对此定义拟合置信度为

$$C_2 = \left[ \sum_{i=1}^{49} w_i (q_i - h_i)^2 \right]^{1/2}, \quad (4)$$

式(4)中  $W_i$  是权系数, 权值在相关曲面中心最大, 并随远离中心而减小. 若某候选点相关曲面的拟合度是所有候选区域中最小的, 并且有  $C_2 < T_2$ , 则可认为区域中的目标就是指定目标. 分析拟合置信度前, 要把粗匹配得到的候选点进行最小距离分类, 确定可能目标数. 若所有候选点都归为一类, 则不必进行拟合度分析. 拟合置信度计算可采用以下简化算式:

$$C'_2 = \sum_{i=1}^{49} w_i |q_i - h_i|. \quad (5)$$

当判断目标被遮挡时, 系统需保持原模板继续在搜索区内匹配, 直到找到目标或用线性预测法估计目标在后继帧的可能位置. 以  $X$  方向为例说明. 估计公式为

$$x = a_0 + a_1 t, \quad (6)$$

式中  $t$  是帧数. 用最小二乘误差逼近可得到以下系数式(7) (计算过程略),  $Y$  方向也有同样的形式.

$$\begin{aligned} a_0 &= \left[ \sum_{k=1}^N t_k^2 \sum_{k=1}^N x(t_k) - \sum_{k=1}^N t_k \sum_{k=1}^N x(t_k) t_k \right] / D, \\ a_1 &= \left[ \sum_{k=1}^N t_k \sum_{k=1}^N x(t_k) + \sum_{k=1}^N x(t_k) t_k \right] / D, \\ D &= N \sum_{k=1}^N t_k^2 - \left( \sum_{k=1}^N t_k \right)^2. \end{aligned} \quad (7)$$

目标丢失时, 跟踪窗定位在预测点上, 继续用旧模板在它周围搜索匹配. 若在规定的帧数内没找到目标, 则系统放弃预测跟踪, 转为人工搜索选定, 也可在观察到目标丢失时就重新进行人工搜索设定.

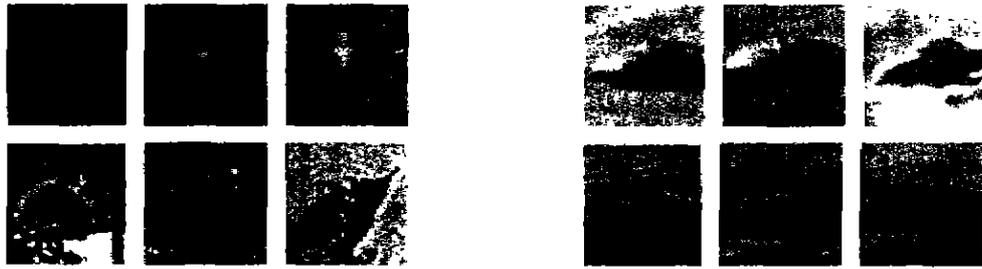


图 2 跟踪仿真实验结果  
Fig. 2 Result of tracking emulation test

## 2 模板修正策略

由于无人机和目标之间的相对运动与环境变化的影响,目标特征随时变化,若不修正模板就会使跟踪窗逐渐漂移而丢失目标,因此要根据相关置信度适当地修正模板.置信度低表明当前图像不可靠,应继续使用旧模板进行相关,否则用当前最佳匹配位置处的窗口图像更新模板.

## 3 仿真实验结果

利用 CPU 为赛扬 333,64MPAM 的微机,用 C + Builder 编程环境实现模拟跟踪系统进行了模拟实验,图 2 给出 4 个序列的部分跟踪结果,目标经过尺寸变化、旋转和遮挡仍得到了较为满意的结果.实验中可达到 10~16 帧/s 的处理速度.

## 4 算法的硬件实现

通常成像跟踪器中算法可用 DSP 实现,但实现

复杂算法对 DSP 芯片处理速度和能力的要求很高,我们采用 Lattice 公司的 CPLD 来分担 DSP 的部分计算工作和系统控制任务.

图 3 是相关跟踪电路框图,图中虚线包括的搜索区地址产生电路、模板地址产生电路、内部时钟发生和分配电路、相关运算电路等部分由 CPLD 来实现.相关运算中的减法(求绝对差)使用查找表法(LUT)实现.粗精匹配中的模板地址变换(产生中心十字模板或矩形模板地址)是由模板地址产生电路中的地址映射实现的,可通过选择地址映射方式来实现各种各样的模板,如十字形、米字形、矩形或圆形的模板.一般相关计算中的求极值即使用 DSP 实现也是非常耗时的,我们利用 VHDL 语言容易地在 CPLD 内实现一个同步的排序(求最小 5 个值)电路.搜索区地址产生器是双 64 计数器,模板地址产生器是双 32 计数器加上地址映射电路.搜索区图像的采集由 CPLD 自动进行,当成像器扫描所需区域时,CPLD 自动启动采集,将经过预处理的搜索区图

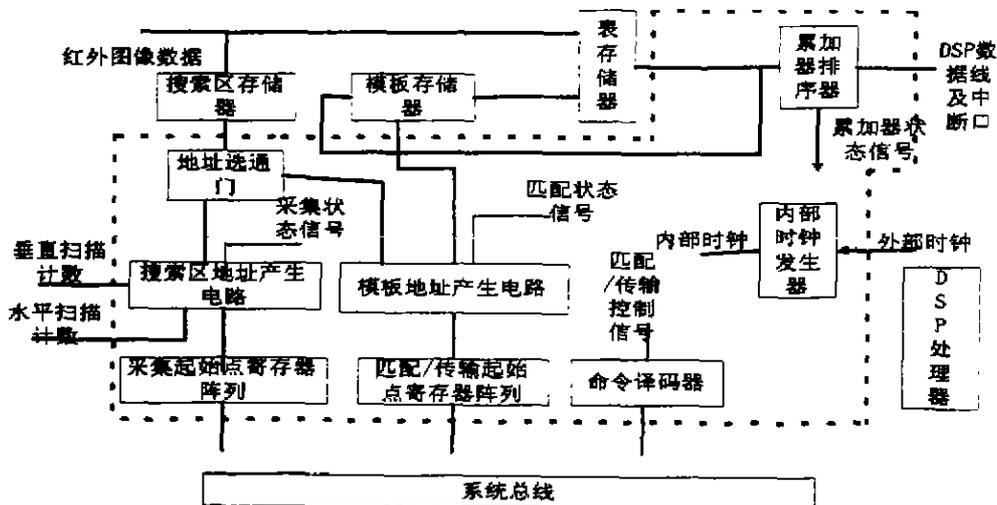


图 3 相关跟踪模块原理图  
Fig. 3 Schematic diagram of correlation tracker module

像取出,采集结束后通知 DSP 可以取模板或进行相关计算。

模块中的大部分命令的译码和逻辑控制电路也被综合在 CPLD 里,当 DSP 发出匹配/传输模板启动命令后,由 CPLD 自动完成接后的相关计算。

模块中 DSP 处理器负责对相关运算结果的分析处理和相关过程的控制,并通过系统总线与主控制模块进行通讯,粗匹配运算结束时,DSP 将候选点的坐标算出并滤掉重复点,然后作拟合度分析,再让 CPLD 进行精匹配运算,最后 DSP 将精匹配结果进行相关置信度分析,得到最终的定位结论,若修正模板,还要启动 CPLD 作模板修正和修正后的模板的自相关计算,通常候选点的精匹配计算时间较长,因此在精匹配过程中采用中断方式,每次精匹配结束 CPLD 就触发 DSP 的中断,通知 DSP 要进行下

个位置的精匹配,未被触发中断时,DSP 可进行与精匹配无关的处理,如线性预测系数的计算和预测点的计算等。当 DSP 得出定位结论后,将定位信息传给主控模块,由主控模块调整机载摄像机姿态。

综上,我们采用 DSP 和 CPLD 芯片相结合构造了一个有效的图像相关跟踪模块,其特点是结构简单,性能价格比较高,处理速度足够快,能满足系统技术要求,可以对复杂地面目标进行稳定跟踪。

#### REFERENCES

- [1]JIANG Peng-Yue, Analysis of target tracking algorithms, *Fire Control & Command Control* (江捧岳,图像跟踪算法分析,火力与指挥控制),1998,23(2): 17—23
- [2]Montera Dennis A, Rogers Steven K, Ruck Dennis W, et al. Object tracking through adaptive correlation,*Optical Engineering*, 1994,33(1): 294—301