

检测图像角点自适应确定跟踪模板的方法

王德胜¹, 吴钟建¹, 姚秀娟¹, 金代中¹, 卢宏超²

(1.西南技术物理研究所, 四川 成都 610041; 2. 驻209所军代室, 四川 成都 610041)

摘要: 基于区域的跟踪方法, 其跟踪模板的大小和位置对跟踪结果的影响十分显著, 本文通过分析模板视觉显著性特征, 提出采用 AGAST 快速角点检测方法, 计算角点间相对距离, 分析角点位置分布来自适应确定模板大小和位置, 从而提高相关匹配跟踪算法的适应能力。仿真试验结果表明, 该方法确定的模板能较好的包含目标显著性视觉特征, 并且具有计算速度快, 稳健性高, 能有效提高采用区域模板匹配方法的跟踪性能。

关键词: 视觉特征; 角点检测; 自适应模板; 图像跟踪

中图分类号: TN911

文献标志码: A

文章编号: 1001-8891(2017)07-0638-04

Method for Detecting Image Corners Using Adaptive Determining Tracking Template

WANG Desheng¹, WU Zhongjian¹, YAO Xiujuan¹, JIN Daizhong¹, LU Hongchao²

(1. Southwest Institute of Technical Physics, Chengdu 610041, China;

2. Military Representative Office of PLA in 209th Institute, Chengdu 610041, China)

Abstract: A tracking method based on region, is significantly affected by the size and position of the tracking template. Through the analysis of the template vision, which is a significant feature of the tracking template, the AGAST fast corner detection method is used, which calculates the angle between the relative distances and analyzes the angle point distribution to determine the template size and position. The simulation and test results show that this method can determine the template that contains the target with better significant visual features, has fast calculation speed with high robustness, and can effectively improve the tracking performance of the region template matching method.

Key words: vision feature, corner point detection, adaptive template, image tracking

0 引言

基于区域的相关模板匹配跟踪算法以其具有计算量较小、易于工程实现、可实时处理、能适应于各类复杂地面及战场环境等优良特性而被大量地应用于“射前锁定、发射后不用管”等图像制导跟踪技术中。相关模板匹配跟踪算法是将包含目标的模板图像在实时图像上以固定值位移, 根据相关函数计算模板图像和实时图像间的相似程度, 相关函数取得最大值的位置就是目标位置。相关跟踪因无需对目标图像进行分割, 而只是在原始图像数据上进行运算, 从而保留了图像的全部信息^[1]。

相关匹配跟踪其模板图像的大小选择对相关跟踪性能的影响很大, 文献[2]分析了影响匹配算子统计

特性的各种因素; 并得出了重要结论: 模板图像的尺寸愈大, 图像的信噪比 SNR 愈高, 匹配算子的各项统计性能就愈好; 但是没有给出确定模板尺寸具体的方法; 文献[3]针对装甲目标图像进行了模板图像尺寸及其比例选择的大量仿真, 得到了合理的固定模板图像尺寸和比例, 文献[4]采用拓展模板(固定模板+近况模板)的方法确定模板, 固定模板保持追踪目标最初的图像特征, 防止错误的追踪结果在模板更新时引入错误的特征, 进而导致识别目标偏移。近况模板记录目标的最新跟踪结果, 避免由于点模板的大量使用而造成遮挡的误识别, 但是文中并没有解决模板累积误差问题; 文献[5]提出了采用支持向量机和机器学习的方法来更新模板, 文献[6]提出了检测颜色特征或纹理特征确定模板, 这2类方法计算复杂, 耗时多, 在

收稿日期: 2016-11-03; 修订日期: 2017-07-04.

作者简介: 王德胜(1979-), 男, 安徽省合肥市人, 高工, 硕士, 主要研究工作是图像制导、目标检测与跟踪。E-mail: wdshyxj@163.com.

图像制导领域应用还有障碍。

归纳起来，现有各方法在某些情况下都可以部分解决模板自适应问题，但是对于图像制导目标跟踪无法同时实现以下几个目的：①计算速度快，满足图像导引头产品的实时性要求；②能适应图像导引头不断逼近目标产生的图像膨胀、旋转、变形等变化；③能适应跟踪过程中图像局部光照变化等干扰影响。

针对这个问题，本文通过分析跟踪位置图像内容，提出了一种采用快速特征角点检测，根据特征角点的分布情况来自适应确定模板大小和位置，从而提高相关匹配跟踪算法的适应能力。该方法区别于一般的角点跟踪方法在于，一般的角点检测跟踪方法是需要检测目标自身的角点，通过目标角点的匹配来确定位置，例如王向军等人^[7]将目标特征角点用于空中目标跟踪和识别。

1 采用角点自适应确定跟踪模板

1.1 模板内容分析

模板图像内容首先是人在原始图像关注和聚焦的区域，其图像内容一般具备视觉关注显著特征。视觉关注显著特征包括亮度对比度、目标形状、图像边缘和角点等，相对图像中的平坦区域和边缘区域，角点是一种特殊的边界点，它具有2个关键特征：即角点不仅位于图像中物体的边缘上，而且是边缘上曲率较大的点，如图1所示。

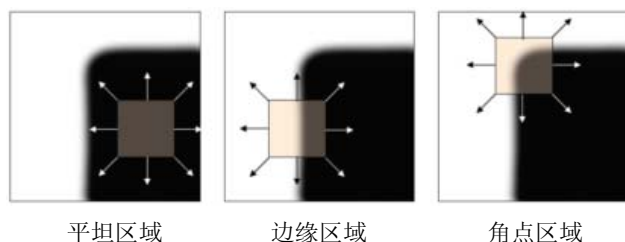


图1 图像不同位置点特征

Fig.1 The characteristics of different positions in the image

不同视觉关注显著特征其相关匹配结果不同，分别选取图2中平坦区域、边缘区域和含有角点区域3个场景作为图像匹配模板，采用常用的误差平方和算法（Sum of Squared Differences，简称SSD算法）测试匹配效果^[8]，计算方法见公式(1)：

$$D(i, j) \approx \sum_{s=1}^M \sum_{t=1}^N [S(i+s-1, j+t-1) - T(s, t)]^2 \quad (1)$$

式中： $D(i, j)$ 表示原始图像 S 坐标 (i, j) 处的SSD相关结果； $T(s, t)$ 表示模板图像 T 坐标 (s, t) 的灰度。

匹配结果如图2右边相关曲面图所示，可以看出，在角点区域，相关曲面具有很好的单峰特性，模板匹配结果具有唯一性，匹配结果准确；而直线边缘位置

呈现“带状”波峰，难以确定匹配的正确位置。所以我们选择图像模板，其内容应尽量包含适当的角点位置。

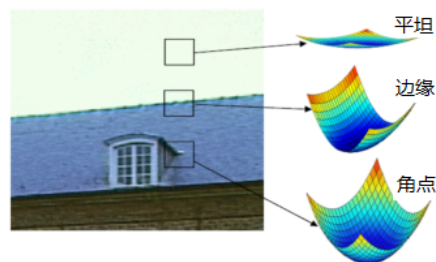


图2 相关模板匹配（左：原始图像；右：相关匹配结果）

Fig.2 Correlation template matching (left: RAW; right: result)

1.2 角点检测方法

角点检测的方法很多，其中具有代表性的算法是Harris算法与FAST算法。

Harris角点检测是一种基于图像灰度的一阶导数矩阵检测方法。检测器的主要思想是局部自相似性/自相关性，即在某个局部窗口内图像块与在各个方向微小移动后的窗口内图像块的相似性。在像素点的邻域内，导数矩阵描述了数据信号的变化情况。假设在像素点邻域内任意方向上移动块区域，若强度发生了剧烈变化，则变化处的像素点为角点。

基于加速分割测试的FAST算法可以快速地提取出角点特征。该算法判断一个候选点 p 是否为角点，依据的是在一个以像素点 p 为圆心，半径为3个像素的离散化Bresenham圆周上，在给定阈值 t 的条件下，如果在圆周上有 n 个连续的像素灰度值大于 $I(p)+t$ 或小于 $I(p)-t$ ，则该点为角点^[9]。

Fast算法采用的是二叉树角点决策，在部分实时系统中，仍然存在着使用障碍，为了进一步加快算法的检测速度，Elmar Mair等人通过把FAST算法中三叉决策树改造为二叉树，并根据当前处理的图像信息动态，高效地分配决策树（最多只有一个像素延迟），因此，产生的算法速度更快，不通过训练也能达到保持一致的角反应，以及如同FAST算法一样的可重用性。改进后的算法称为自适应通用加速分割检测（AGAST）算法^[10-11]。

1.3 自适应模板选择方法

- 1) 在初始图像上人工选定跟踪位置，记为 (x, y) 。
- 2) 采用AGAST特征检测的方法检测角点^[11-12]：

①以待检测点 P 为中心，对半径为3个像素的Bresenham圆上的像素按顺时针方向从1到16的顺序对圆周像素点进行编号，如图3所示。

②如果在圆周上有 N 个连续的像素的亮度都比圆心像素的亮度 I_p 加上阈值 t 还要亮，或者比圆心像素的亮度减去阈值 t 还要暗，则圆心像素判断为角点。

③利用非极大值抑制进行角点特征的验证。

		16	1	2		
	15				3	
14						4
13			p			5
12						6
	11				7	
		10	9	8		

图3 半径等于3的Bresenham圆周像素编号

Fig.3 Bresenham Circle pixel number with radius equal 3

3) 特征点相对距离计算: 特征点坐标用 (x', y') 来表示, 分别计算每个特征点相对跟踪点的 x 方向和 y 方向距离:

$$\begin{cases} \Delta x_i = x - x_i \\ \Delta y_i = y - y_i \end{cases} \tag{2}$$

4) 角点位置分布统计: 如图4所示, 以跟踪点为中心, 设最小矩形窗模板长为 h_1 , 宽为 w_1 ; 最大矩形模板长度为 h_2 , 宽为 w_2 , 步进大小为 δ , 统计每一个矩形框内角点的数量, 矩形框内最小 x 坐标、最大 x 坐标、最小 y 坐标、最大 y 坐标, 分别记为 \min_x 、 \max_x 、 \min_y 、 \max_y ;

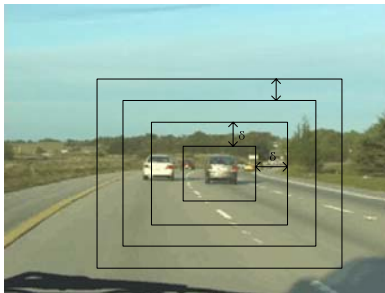


图4 角点搜索矩形范围

Fig.4 Corner point search rectangle

5) 模板大小确定: 设定模板内角点数量阈值为 t , 当第 i 个矩形窗口内的特征点数量为 N_i , 同时满足下列条件:

$$\begin{cases} N_{i-1} < t \\ N_i > t \end{cases} \tag{3}$$

则按以下方式确定模板长 H 和宽 W 分别按以下方式确定:

$$\begin{cases} H = \max_x - \min_x + c \\ W = \max_y - \min_y + c \end{cases} \tag{4}$$

式中: C 为常量, 取值范围为4~8之间。

6) 模板匹配: 根据步骤1)~5)确定的模板采用减相关算法完成匹配和跟踪。

2 试验结果及分析

本算法在PC机上,使用MATLAB软件编程实现; CPU性能为intel 酷睿 i5-4210, 主频 2.6 GHz。算法仿真软件实现时, 综合考虑算法性能和计算速度, 涉及到的各参数值分别为: 连续点 $N=9$, 阈值 $t=5$, 矩形框初始大小长 $h_1=16$, 宽 $w_1=16$, 步进大小 $\delta=2$ 。

测试数据为视觉跟踪网站公开的标准视频^[13]car序列和RedTeam序列图像, 部分图像如图5和图6所示, 图中细十字表示人工锁定的跟踪点, 黑色矩形框表示本文算法自适应确定的模板大小, 从图中可以看出, 自适应确定的模板大小较好的包含了目标显著特征区域。

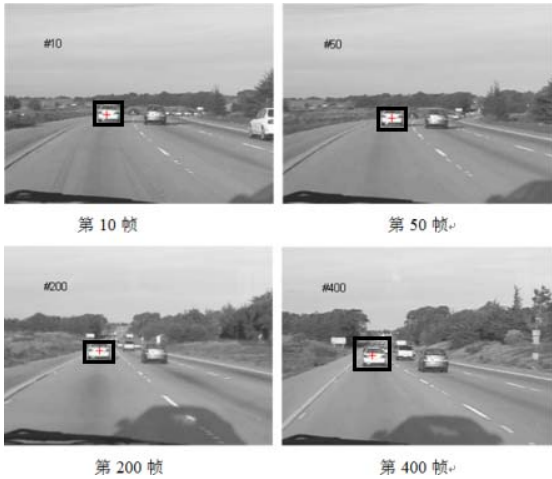


图5 Car序列图像模板检测结果

Fig.5 Car sequence image template detection results

从图6中还可以看出, 人工确定的跟踪点不在目标显著位置中心, 本文算法仍能自动将模板位置进行偏移, 使得模板包括了绝大部分目标显著特征区域, 非常有利于后续跟踪匹配。

采用拓展模板的跟踪方法和本文方法, 对上述RedTeam视频序列进行跟踪对比, 固定模板大小为 48×28 , 近况模板取最近5帧的结果, 对RedTeam序列图像进行跟踪, 初始跟踪点一致, 将二种方法在对应图像帧中的跟踪结果与标准目标位置的中心矩进行对比, 跟踪结果见图7。

定义跟踪目标区域与实际目标区域的交叠率^[5]为: 2区域之交的面积与2区域之并面积区域之比, 选取区域交叠率来决定每一帧的追踪结果是否可以接受, 对RedTeam序列图像计算结果见表1。

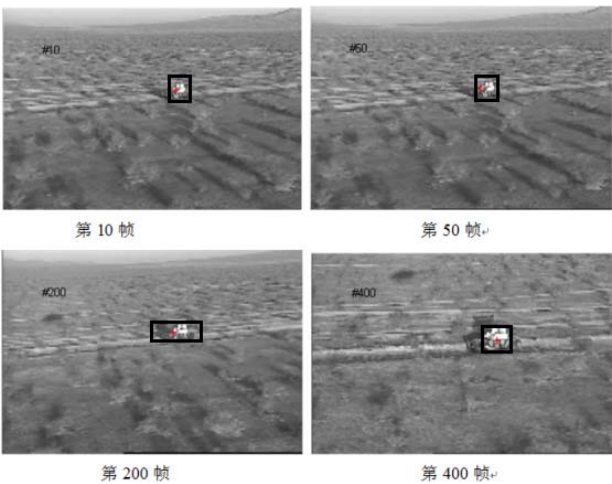


图6 RedTeam 图像序列自适应确定的模板

Fig.6 An adaptive template for RedTeam image sequence

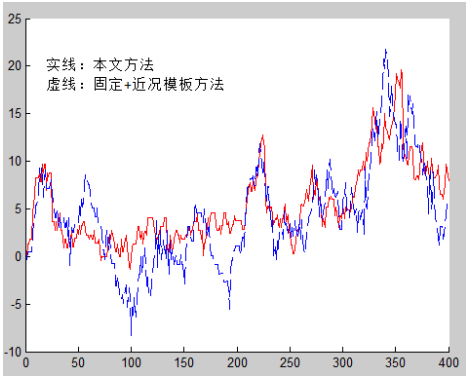
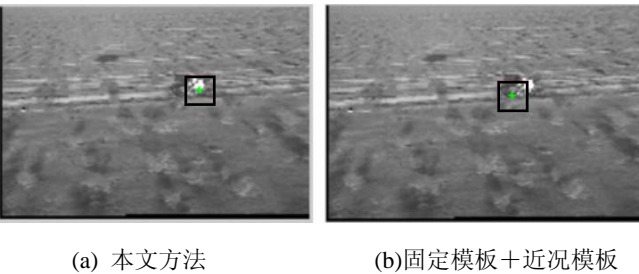


图7 跟踪结果对比 Fig.7 Comparison of tracking results

表1 RedTeam 序列图像两种方法正确率对比

Table 1 Comparison of correct rate of two methods of RedTeam sequence image		
交叠率	本文方法	拓展模板方法
50%	99.75%	99.0%

图8为跟踪图像对比(第268帧),可以看出,采用固定模板+近况模板的方法跟踪位置已经漂移,而本文方法确定的模板仍能较好地定位目标位置。



(a) 本文方法 (b)固定模板+近况模板

图8 本文方法和原方法结果对比

Fig.8 Results comparison between our method and the original method

3 结论

本文提出的采用 AGAST 图像角点检测算法来自适应确定跟踪模板大小的方法,计算速度快,且对硬件资源要求较低,试验结果表明自适应确定的模板对复杂地面环境下的目标跟踪具有较好的适应性、稳健性高,能够应用于实时制导系统中。

参考文献:

[1] 黄飞,李德华,姚迅.基于相关匹配及自适应模板更新的目标跟踪新方法[J].计算机工程,2007,33(16):147-149
HUANG Fei, LI Dehua, Yao Xun. New Target Tracking Method Based on Correlation Matching and Adaptive Modal Modification[J]. Computer Engineering, 2007, 33(16): 147-149.

[2] 孙仲康,沈振康.数字图像处理及其应用[M].北京:国防工业出版社,1985.
SUN Zhongkang, SHEN Zhengkang. Digital image processing and its application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1985.

[3] 严国荣.成像相关跟踪算法的研究[D].西安:西安电子科技大学,2003:20-24.
YAN Guorong. Research on imaging correlation tracking algorithm[D]. Xi'an: Xi'an Electronic and Science University, 2003: 20-24.

[4] 张永强,程丹松,王君,等.拓展模板的视频跟踪技术[J].哈尔滨工业大学学报,2016,48(4):66-72.
ZHANG Yongqiang, CHENG Dansong, WANG Jun, et al. Video tracking technology of extended template[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2016, 48(4): 66-72.

[5] 郭敬明,何昕,杨杰,等.模板自适应的 mean shift 红外目标跟踪[J].红外与激光工程,2014,43(4):1087-1093
GUO Jingming, HE Xi, YANG Jie, et al. Template adaptive mean shift infrared target tracking[J]. Infrared and laser engineering, 2014, 43(4): 1087-1093.

[6] 汤贝.基于模板匹配的目标跟踪算法研究[D].长沙:长沙理工大学,2013:14-22.
TANG Bei. Research on object tracking algorithm based on template matching[D]. Changsha: Changsha University of Science and Technology, 2013: 14-22.

[7] 王向军,王研,李智.基于特征角点的目标跟踪和快速识别算法研究[J].光学学报,2007,27(2):360-364.
WANG Xiangjun, WANG Yan, Li Zhi. Fast Target Recognition and Tracking Method Based on Characteristic Corner[J]. Acta Optica Sinica, 2007, 27(2): 360-364.

[8] Siegwart R., Scaramuzza D., Chli M., et al. Image Keypoint Detection, Description, and Matching[EB/OL]. [2016-9-18]. <https://www.ethz.ch>.

[9] Edward Rosten. Tom Drummond. Machine learning for high-speed corner detection[C]//In ECCV, 2006, 1: 430-443.

[10] Mair E, Hager G D, Burschka D, et al. Adaptive and Generic Corner Detection Based on the Accelerated Segment Test[C]//Computer Vision – ECCV 2010, Springer Berlin Heidelberg, 2010: 183-196.

[11] V. Lepetit, P. Fua. Keypoint recognition using randomized trees[J]. IEEE Trans. on PAMI. 2006, 28(9): 1465-1479.

[12] Rosten E, Drummond T. Fusing points and lines for high performance tracking[C]//Tenth IEEE International Conference on Computer Vision. IEEE, 2005, 2: 1508-1515.

[13] Data sets. Visual Tracker Benchmark[DB/OL]. [2016-10-26]. <https://www.visual-tracking.net>.