

## 采用多特征融合自动适配区选择方法

罗海波<sup>1,2,3</sup>, 常 铮<sup>1,2,3,4</sup>, 余新荣<sup>5</sup>, 丁庆海<sup>6</sup>

(1. 中国科学院沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110016; 2. 中国科学院光电信息处理重点实验室, 辽宁 沈阳 110016; 3. 辽宁省图像理解与视觉计算重点实验室, 辽宁 沈阳 110016; 4. 中国科学院研究生院, 北京 100049; 5. 江西洪都航空工业集团有限责任公司, 江西 南昌 330024; 6. 空军装备研究院装备总体论证研究所, 北京 100076)

**摘 要:** 局部无纹理目标跟踪是当今空地成像制导领域的一个难点和热点问题, 而自动适配区选择是解决该难题的一种有效方法。介绍了一种基于多特征融合的自动适配区选择方法。首先, 构造一个融合边缘密度、平均边缘强度、边缘方向离散度以及空间距离的适配性度量函数; 然后, 采用该函数计算图像中每一点的适配置信度; 通过制定适当的适配区选择策略, 分割出 3 个置信度相对较高的适配区, 用作匹配跟踪的目标模板。实验结果表明, 采用该方法分割出的适配区与通过人工经验判断的结果相近, 获得了较好的结果。该方法可广泛用于空地成像制导的局部无纹理目标跟踪以及景象匹配任务规划等应用中。

**关键词:** 成像制导; 局部无纹理目标跟踪; 多特征融合; 自动适配区选择; 边缘方向离散度  
**中图分类号:** TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2011)10-2037-05

## Automatic suitable-matching area selection method based on multi-feature fusion

Luo Haibo<sup>1,2,3</sup>, Chang Zheng<sup>1,2,3,4</sup>, Yu Xinrong<sup>5</sup>, Ding Qinghai<sup>6</sup>

(1. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;  
2. Key Laboratory of Optical-Electronics Information Processing, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China;  
3. Key Laboratory of Image Understanding and Computer Vision, Shenyang 110016, China;  
4. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;  
5. AVIC Jiangxi HONGDU Aviation Industry Group LTD, Nanchang 330024, China;  
6. Research Institute of General Development and Demonstration of Equipment, Equipment Academy of Air Force, Beijing 100076, China)

**Abstract:** Target tracking with local non-texture is a difficult point and hot topic in the field of ground imaging guidance. Since the automatic suitable-matching area selection is an effective method to solve this problem, an algorithm of automatic suitable-matching area selection based on multi-feature fusion was proposed. Firstly, the edge density, the average edge strength, the edge direction dispersion degree and

收稿日期: 2011-02-19; 修订日期: 2011-03-27

基金项目: 973 项目

作者简介: 罗海波(1967-), 男, 研究员, 博士, 主要从事图像处理与模式识别、成像跟踪、智能控制、并行信号处理器体系结构等方面的工作。Email: luohb@sia.cn

the space distance were integrated to form a suitable-matching measure function. Then, the credibility of suitable-matching of each point in the image was calculated by this function. Lastly, through developing adaptive selection strategy to the suitable-matching area, three suitable-matching areas with high credibility were segmented as target template for matching tracking. Experimental results show that the segmented suitable-matching area with proposed algorithm can achieve more tracking precision compared with the results judged by the human experience. This proposed algorithm can be widely used in the applications of the ground imaging-guided target tracking with local non-texture target and the scene matching task planning.

**Key words:** imaging guidance; target tracking with local non-texture; multi-feature fusion; automatic suitable-matching area selection; edge direction dispersion degree

## 0 引言

自动适配区选择是指通过对可见光、红外和 SAR 等成像传感器获取的图像进行分析和处理,自动选择/提取可用于相关跟踪、景象匹配等基于模板匹配的目标跟踪和识别算法的目标模板。该技术是局部无纹理目标跟踪算法中一项关键技术,通过该技术可在以锁定点为中心的邻域不满足跟踪条件时自动在附近选择若干满足条件的区域进行跟踪,通过这些区域的跟踪结果计算目标的位置,实现局部无纹理目标的稳定跟踪。也可用在基于图像的飞行器导航任务规划中,自动提取和标注适合于作为地标点的区域,提高任务规划的效率。

1972 年,Johnson<sup>[1]</sup>首次提出了景象匹配区选择的概念、理论和方法。刘洋等<sup>[2]</sup>综合研究匹配概率与独立像元数、方差、互相关峰特征、纹理能量比的关系,通过在基准图上截取一定数量的实时图,统计这些参数来判断该基准图是否适合于进行景象匹配;安如等<sup>[3]</sup>对影像的可匹配性与影像所包含的信息量之间的关系进行了探讨,用信息熵或影像梯度来度量图像的可匹配性;郭文普等<sup>[4]</sup>构建了一种基于数据库的景象匹配适应性分析平台,以完成匹配仿真实验和适应性分析功能;江标初等<sup>[5]</sup>提出了一种由粗到精的层次景象匹配区选取准则,定义了稳定强度和广义最高峰尖锐度,从匹配区选取的策略上分析了匹配区的选取问题。但上述方法都只考虑了单因素的影响,忽略了其他因素的作用,其鲁棒性稍显不足。

杜菁等<sup>[6]</sup>提出了一种在边缘密度预筛选基础上,利用信噪比、重复模式和匹配概率之间的三维关系模

型选择景象匹配区的算法,可以对原始参考图不同区域的匹配性能做出有效的预测,从而规划出满足要求的景象匹配区;Yang 等<sup>[7]</sup>提出了一种利用支持向量机(SVM)区分适配区和非适配区的方法,在准确度和可匹配性等方面得到了提高,但这两种算法的复杂度偏高,运算量较大,在制导应用中实时性难以保证。

以上研究都是针对景象匹配应用而展开的,对自主性和实时性的约束较弱。而在成像制导应用中,需要重点关注这两项指标,要求适配区选择算法可在没有人工干预的条件下,在视频场周期内自动分割出适合于匹配运算的图像子块。基于以上考虑,文中面向成像制导应用需求,提出了一种基于边缘密度、边缘强度、边缘方向离散度以及空间距离的多特征融合全自动适配区选择方法,该方法在计算流程上适合于并行流水线处理,通过构造适当的并行协处理器可在视频场周期内完成算法运算。

## 1 算法原理

在基于模板匹配的目标跟踪算法中,当选定目标模板后,希望该模板与实时图进行相关运算后,获得较尖锐的相关峰,相关峰越尖锐,跟踪越稳定,跟踪精度越高。在目标模板大小确定的条件下,理论和经验表明,模板图像的边缘密度、平均边缘强度和边缘方向的离散度对相关峰具有显著的影响。因此,构造了一个包含边缘密度、边缘强度和边缘方向数的适配性度量准则,在此基础上提出了一种自动适配点选择方法。

### 1.1 基于多特征融合的适配性度量准则

为了实现自动选择适配点的目的,首先需要制

定适配性度量准则。结合实际应用,对边缘密度、平均边缘强度和边缘方向离散度与适配性的关系进行了分析,认为边缘方向离散度对适配性的影响最大,更能反映图像的纹理特征,其次是边缘密度,因此,提出了适配性度量准则:

$$\gamma(i, j) = (0.6 ED(i, j) + 0.4 EI(i, j)) \times DEO(i, j) \quad (1)$$

式中:  $ED(i, j)$  为以  $(i, j)$  为中心的一个邻域的边缘密度;  $EI(i, j)$  为平均边缘强度;  $DEO(i, j)$  为边缘离散度。设邻域大小为  $(2M+1) \times (2N+1)$ , 它们在文中的定义和计算方法分别为:

(1) 定义边缘密度  $ED(i, j)$  为:

$$ED(i, j) = \frac{\sum_{k=-M}^M \sum_{l=-N}^N e(i+k, j+l)}{(2M+1) \times (2N+1)} \quad (2)$$

式中:  $e(i, j)$  为二值边缘图像, 取值为 0 或 1。

(2) 平均边缘强度用于度量图像的平均对比度, 该特征值越大, 说明图像对比度越强。其定义为:

$$EI(i, j) = \frac{\sum_{k=-M}^M \sum_{l=-N}^N g(i+k, j+l) e(i+k, j+l)}{(2M+1) \times (2N+1)} \quad (3)$$

式中:  $g(i, j) = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial x}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial y}\right)^2}$  为图像的梯度值。

(3) 边缘方向离散度用于表征图像梯度方向的分布范围, 该特征值越大, 说明图像的纹理越丰富, 其适配性也越高。文中用信息熵的定义来定义边缘方向离散度, 表示为:

$$DEO(i, j) = - \sum_{k=-M}^{i+M} \sum_{l=-N}^{j+N} e(k, l) P_{\theta(k, l)} \log_2 P_{\theta(k, l)} \quad (4)$$

式中:  $P_{\theta(k, l)}$  是不同的梯度方向在以  $(i, j)$  为中心的大小为  $(2M+1) \times (2N+1)$  的邻域内, 由图像  $f(x, y)$  经梯度向量计算后得到整个梯度方向图中出现的概率, 可通过对邻域内各边缘点的梯度方向角进行直方图统计后求取, 梯度方向  $\theta(i, j)$  定义为:

$$\theta(i, j) = \arctan\left(\frac{\frac{\partial f}{\partial y}}{\frac{\partial f}{\partial x}}\right) \quad (5)$$

## 1.2 融合空间距离的适配性度量准则

公式(1)所示的适配性度量准则融合了边缘密度、平均边缘强度以及边缘方向离散度 3 种特征, 对于景象匹配任务规划应用, 足以获得比较理想的效果。然而, 对于成像制导应用, 通常希望选取的匹配

区离瞄准点尽量近。由于在成像制导应用中, 弹目距离总是单调下降的, 成像传感器获得的景物图像逐渐放大, 如果选取的匹配区离瞄准点过远, 随着弹目距离的减小, 选取的匹配区将会逐渐偏离视场。因此, 进一步融合空间距离特征是十分必要的。选用一个二维高斯函数作为势函数对公式(1)进行修正, 即:

$$\gamma'(i, j) = \gamma(i, j) \times W(i, j) \quad (6)$$

式中:  $W(i, j) = \exp\left[-\frac{(i-i_0)^2 + (j-j_0)^2}{2\sigma^2}\right]$ ,  $(i_0, j_0)$  为瞄准点坐标。

选用高斯函数作为势函数是考虑到其光滑性和普适性, 势函数也可以是其他形式, 如二值函数、阶梯函数、比例函数等, 也可以是若干函数的组合, 在实际应用中可根据任务需求确定。

## 1.3 适配区选择策略

通过公式(6)计算得到的图像各像元的适配度度量结果(以下称“适配置信度”)反映了以图像中各像元为中心的邻域的可匹配度, 适配置信度越高, 说明以该点为中心的邻域的可匹配度越高, 即越适合于作为目标模板用于匹配跟踪。得到各像元的适配置信度后, 通过制定适当的适配区选择策略即可实现适配区自动选择。文中研究工作是面向空地成像制导展开的, 下面以空地成像制导局部无纹理目标跟踪中的适配区选择为例, 介绍所采用的适配区选择策略。为了便于叙述, 称图像各像元适配置信度组成的矩阵为“适配置信度矩阵”, 该矩阵的元素和原始图像各像元是一一映射的关系。为了实现局部无纹理目标的稳定跟踪, 需要满足两个条件:(1) 在瞄准点附近可以找到 3 个以上满足匹配跟踪要求的区域, 即适配区;(2) 适配区之间要有一定的间隔(设为  $M \times N$ )。另外, 为了避免不必要的资源浪费, 适配区选取数量定为 3 个。因此, 文中提出的适配区选择策略将围绕这 3 个条件而制定。

首先, 要在适配置信度矩阵中求取适配置信度最高的点及其坐标, 在原始图像中, 以该点为中心的邻域即为最佳适配区。为了保证选取的 3 个适配区之间有一定的间隔, 在找到极大值点后, 即将适配置信度矩阵中以该点为中心, 大小为  $2M \times 2N$  (设要求的间隔为  $M \times N$ ) 的邻域清零。以此类推, 求取次佳适配区和第三适配区。

## 1.4 计算流程

根据算法原理, 基于多特征融合的自动适配区选择方法计算流程如下:

(1) 采用适当的梯度算子分别计算原始图像水平方向和垂直方向的梯度, 进而计算图像各像元的梯度值;

(2) 选取适当的阈值对图像进行边缘提取;

(3) 按照公式(5)计算每个边缘点的梯度方向角;

(4) 统计以图像中各像元为中心, 大小与模板相同的邻域内各边缘点的梯度方向直方图;

(5) 分别按照公式(2)、(3)、(4)计算以图像中各像元为中心, 大小与模板相同的邻域的边缘密度、平均边缘强度和边缘方向离散度;

(6) 按照公式(6)计算各像元的适配置信度, 得

到适配置信度矩阵;

(7) 在适配置信度矩阵中寻找最大值及其所对应的点  $A$ ; 在原始图像中, 以  $A$  为中心, 大小与模板相同的邻域即为适配区;

(8) 将适配置信度矩阵中以  $A$  点为中心, 大小为 2 倍于模板尺寸的邻域清零;

(9) 重复步骤(7)和(8), 直至找到第 3 个适配区。

## 2 实验结果与分析

如图 1 所示, 分别采用基于边缘密度和互相关特征相结合的适配区选择方法(简称“方法 1”)、基于独立像元数的适配区选择方法(简称“方法 2”)、基于方差的适配区选择方法(简称“方法 3”)以及文中提出的基于多特征融合的自动适配区选择方法(简称

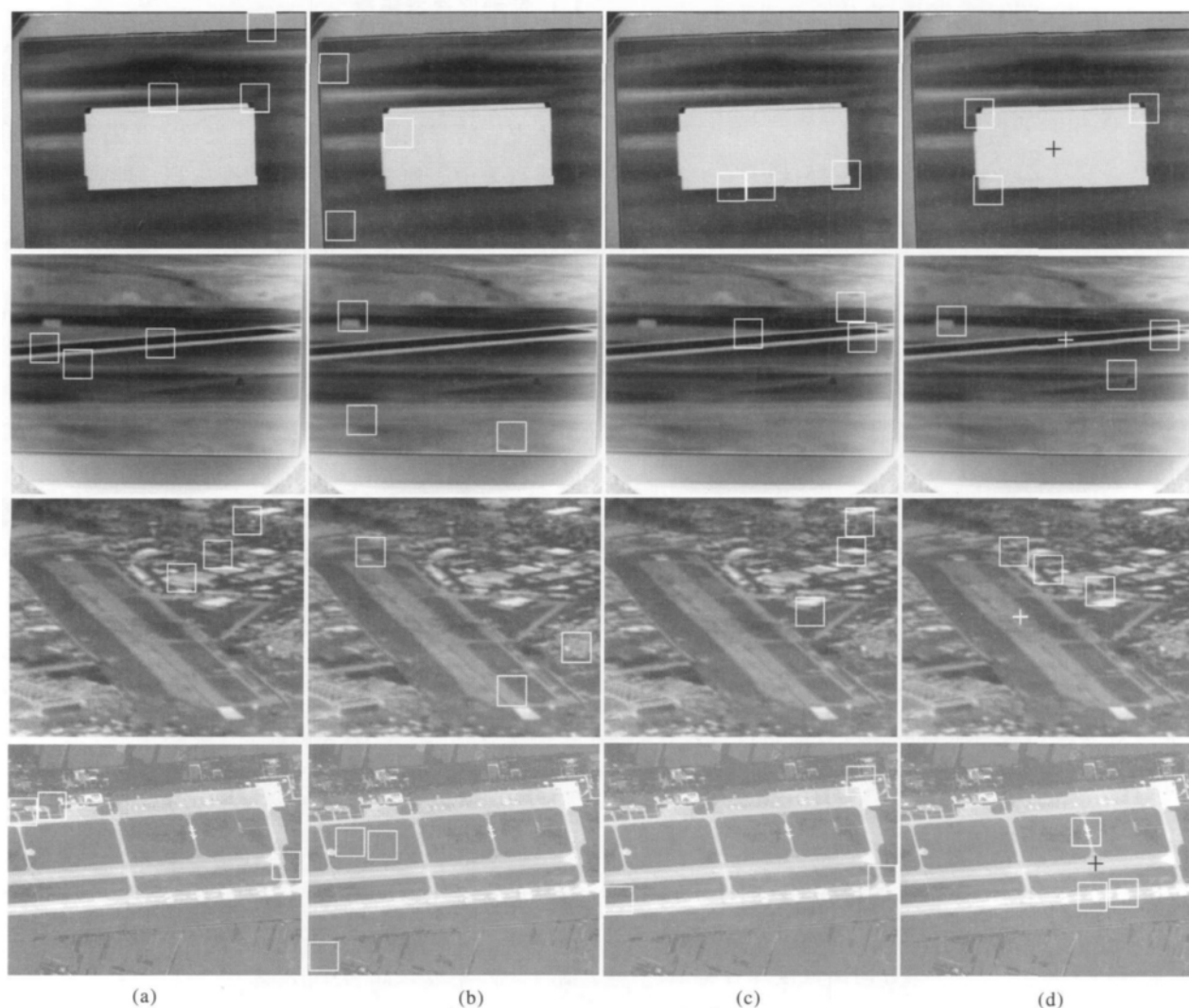


图 1 不同方法的适配区分割结果

Fig.1 Experimental results of suitable-matching area segmentation with different algorithms



“文中方法”)对 4 张图片进行了仿真实验,以对其性能进行比较。其中第 1 和第 2 张图片为红外成像传感器对红外目标模拟器获取的图像,第 3 张图片为对实际景物的前视红外图像,第 4 张为卫星下视图像,每一种方法都提取 3 个  $64 \times 64$  的适配区。在文中方法中,势函数的参数选择为  $\sigma=200$ ,梯度算子采用 Sobel 算子,图 1 中(a)~(d)分别对应 4 种方法,白色窗口所标注的为提取到的适配区,十字丝为瞄准点。由仿真实验结果可以看出,方法 1~3 都不同程度地出现了一些误判,将容易产生跟踪点滑动的不适合于匹配跟踪的直线区域误认为适配区,而采用文中方法提取到的适配区都是适合于匹配跟踪的纹理较丰富或包含相交纹理的区域,与通过人工经验判断的结果相近。

图 2 所示的是对一张卫星下视图片的仿真实验结果,实验中通过改变瞄准点位置,验证引入势函数的作用,由图中可以看出,所提取到的适配区都是与瞄准点距离较近且适合于匹配跟踪的纹理较丰富的区域,符合空地成像制导的应用需求。

在文中提出的适配性度量准则中,势函数的选取对适配区选择结果也有重要影响,如在第 4 张图片的试验结果中,以瞄准点为中心的邻域是一个较好的适配区,但文中算法没有选择该区域。这主要是因为文中采用的势函数为二维高斯函数,其他特征对适配度度量结果的作用较显著,势函数的作用没有抵消其他特征的影响,只要势函数选取适当,就可得到所需要的结果,所以在实际应用中需要根据任务需求选取或构造适当的势函数。

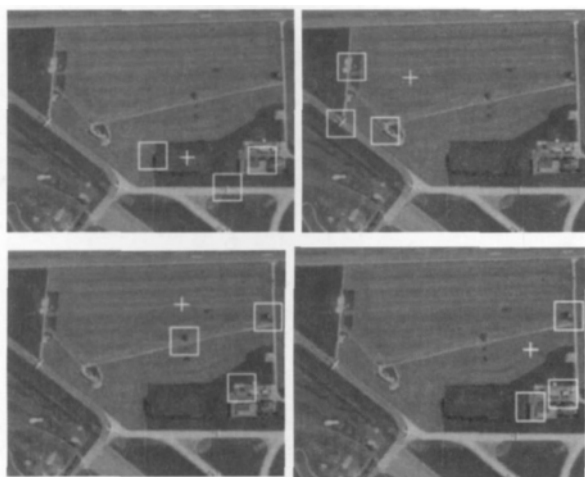


图 2 势函数对适配区分割结果的影响

Fig.2 Influence of potential function on the segmentation results of suitable-matching area

### 3 结 论

面向空地成像制导应用,提出了一种基于多特征融合的自动适配区选择方法,所提出的适配性度量函数充分体现了基于模板匹配的目标跟踪方法的特点以及空地成像制导的应用需求。实验结果表明,该方法提取到的适配区都是适合于匹配跟踪且与瞄准点距离较近的区域,与空地成像制导需求相符。此外,该方法还可用于景象匹配任务规划适配区选择应用中。

#### 参考文献:

- [1] Johnson M W. Analytical development and test results of acquisition probability for terrain correlation devices used in navigation systems [C]//AIAA 10th Aerospace Sciences Meeting, 1972: 1-9.
- [2] Liu Yang, Zhao Fengwei, Jin Shanliang. New method of selecting scene matching reference map [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2001, 30(1): 168-171. (in Chinese)  
刘扬, 赵峰伟, 金善良. 景象匹配区选择方法研究[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(1): 168-171.
- [3] An Ru, Jin Xialing, Wang Huilin, et al. Image ability to obtain correct matching based on feature matching[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2005, 34(4): 469-473. (in Chinese)  
安如, 金夏玲, 王慧麟, 等. 基于特征匹配的影像可匹配性研究[J]. 红外与激光工程, 2005, 34(4): 469-473.
- [4] Guo Wenpu, Sun Jiyin, He Fangfang, et al. Platform for adaptability analysis of scene matching based on database[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, 35(6): 738-741. (in Chinese)  
郭文普, 孙继银, 何芳芳, 等. 基于数据库的景象匹配适应性分析平台[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(6): 738-741.
- [5] Jiang Biaochu, Chen Yingying. A rule of selecting scene matching area [J]. *Journal of Tongji University (Natural Science)*, 2007, 35(6): 830-833. (in Chinese)  
江标初, 陈映鹰. 层次景象匹配区选取准则 [J]. 同济大学学报(自然科学版), 2007, 35(6): 830-833.
- [6] Du Jing, Zhang Tianxu. Selection of matching region for scene matching [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2003, 32(4): 368-371. (in Chinese)  
杜菁, 张天序. 景象匹配区的选择方法 [J]. 红外与激光工程, 2003, 32(4): 368-371.
- [7] Yang Zhaohui, Chen Ying, Qian Xinqiang, et al. Predicting the suitability for scene matching using SVM [C]//IEEE Proceeding of ICALIP, 2008: 743-747.