

一种用红外热像仪检测与跟踪遮挡目标的方法

金晓会^{1,2}, 杨卫^{1,2}, 白晓方^{1,2}

(1.中北大学 电子测试技术重点实验室, 山西 太原 030051;

2.中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 山西 太原 030051)

摘要: 针对隐蔽目标难于发现、复杂多变、信息量少等特点, 提出了一种用红外热像仪检测与跟踪遮挡目标的方法。关于目标检测, 首先利用模糊 C 均值聚类 (fuzzy C-means clustering, FCM) 对图像中的区域进行聚类, 根据亮度信息初步分割出候选目标区域, 然后用纹理信息进一步分割候选的目标区域, 以检测出最终的目标区域; 关于目标跟踪, 由于被遮挡的目标轮廓不连贯, 所以采用链码提取目标轮廓, 并应用质心跟踪算法跟踪目标。通过实验, 验证了该方法对遮挡目标检测和跟踪的有效性。

关键词: 目标检测; 目标跟踪; 红外热像仪; 图像纹理; 链码; 质心跟踪

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1001-8891(2014)08-0639-05

A Method Using Infrared Thermal Imager to Detect and Track Hidden

JIN Xiao-Hui^{1,2}, YANG Wei^{1,2}, BAI Xiao-Fang^{1,2}

(1. Science and Technology on Electronic Test & Measurement Laboratory, North University of China, Taiyuan 030051, China;

2. Key Laboratory of Instrumentation Science & Dynamic Measurement Ministry of Education, North University of China,

Taiyuan 030051, China)

Abstract: One robust method of tracking targets in infrared imagery was proposed for detecting the hidden target that has the characteristics of being hard to be found, complex, changeable and less information, etc. About target detection, fuzzy C-means clustering was used to cluster the regions in the image firstly and the candidate target area was segmented according to the brightness information preliminary, then further segmentation was made by texture energy. At last, the target area was detected. As for the hidden target with no consistent contour, the chain code method was used to extract the target contour, and target was tracked through centroid tracking algorithm. The experiment results show that the method is effective for occlusion target detection and tracking.

Key words: target detection, target tracking, infrared thermography, image texture, chain code, centroid tracking method

0 引言

红外热像仪在消防、考古、医疗、治安、交通、农业和地质等许多领域均有重要的应用。如森林探火、火源寻找、发动机检查、海上搜救、矿石断裂判别、公安侦察以及各种材料及制品的无损检查等。军事上, 目标常常以伪装的形式藏于树丛之中, 相对于普通摄像机, 热像仪能够以热成像的形式发现伪装的目标, 在阿富汗和伊拉克的战争中, 美军大量使用夜视装备和红外成像系统, 在战势上占取了

大量先机^[1-2]。

目前依据热成像的特殊性进行目标检测与跟踪是近年来的研究热点。文献[3]提出了一种利用小波及自适应阈值的亮目标分割法, 通过选择适当的尺度对图像进行小波多尺度分解, 对各尺度上的直方图进行一维小波分析, 搜索局部极小点, 并在其中选择合适的点作为阈值点, 然后对图像进行分割, 将亮目标从背景中分离出来。文献[4]采用自适应高斯混合模型对序列图像中背景建模, 在准确分割出前景运动目标的基础上, 提出了一种新的人体形状

收稿日期: 2014-03-13; 修订日期: 2014-06-30。

作者简介: 金晓会, 女, 辽宁朝阳人, 硕士, 主要从事图像检测与目标识别方面的研究工作。E-mail: jxhxpff88@163.com。

通讯作者: 杨卫(1957-), 男, 浙江诸暨人, 研高工, 主要从事测试技术方面的研究工作。

表达模型，考虑了多个人体发生粘连或互相遮挡的情况，并用亮度投影的方法对其进行分离；对检测单个人体或者多个人体都具有很好的检测效果。然而，用热像仪采集到的运动目标轮廓往往不够完整，信息量不全，干扰信息多，给检测和跟踪带来了极大的困难，解决这个问题将为战事防御带来极大的优势。对于红外图像中目标的检测问题，其检测方法主要可以分为基于先检测后跟踪（Track after Detect, TaD）的检测方法和基于检测前跟踪（Track before Detect, TbD）的检测方法，本文采用先检测后跟踪的方法对红外热像中的目标进行检测，采用被动式红外热像仪采集目标图像，利用模糊 C 均值聚类、亮度信息和纹理分割出目标区域^[5-6]，应用链码确定目标轮廓，最后采用质心跟踪算法跟踪目标。并将目标安置在距离热像仪不同距离的遮蔽物后，测试不同距离时目标检测和跟踪效果，实验表明，在一定距离范围内，热像仪能够很好的检测和跟踪被遮挡的目标。

1 目标检测与跟踪算法

1.1 红外热成像

通过探测物体发出的红外辐射，热成像仪产生一个实时的图像，从而提供景物的热图像。并将不可见的辐射图像转变为人眼可见的、清晰的图像。

工作时，红外热像仪利用光学器件将场景中的物体发出的红外能量聚焦在红外探测器上，然后将来自于每个探测元件的红外数据转换成标准的视频格式，就可以在标准的视频监视器上显示出来。由于它完全是被动式的装置，没有光辐射或射频能量，所以不会暴露使用者的位置。又因为热成像系统探测的是热而不是光，所以可全天候使用，而且对伪装的目标具有良好的检测能力^[7]。

图 1(a)是普通 CCD 摄像头采集的含有目标的图像(普通摄像机基本看不见目标)，图 1(b)是使用热像仪采集的图像。图中有清晰的目标轮廓。

1.2 隐蔽目标检测

虽然红外成像能够一定程度地显示被遮挡的伪装目标，但实际检测过程中，周围遮蔽物状态、大气条件、背景和目标热力学状态都在无时不刻发生变化，其中背景和遮蔽物形成与目标相类似的形状对检测造成干扰最多，使目标变得模糊难辨，增大了用红外热像仪检测目标的难度。

为了更好地检测出被遮挡的目标，去除与目标相类似的形状干扰，需要检测出现在场景中的亮点，即热目标。与相邻的区域相比，这种热目标区域往

往具有更高的亮度，与非遮挡图像相比，被遮挡的热目标发热区域被部分遮挡。首先利用图像直方图均衡法^[8]对图像进行预处理操作，然后根据模糊 C 均值聚类和亮度信息来对区域进行聚类，分割结果如图 2 所示。

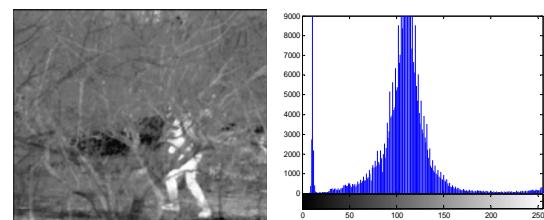


(a)普通摄像机检测隐蔽目标 (b)红外热像仪检测隐蔽目标

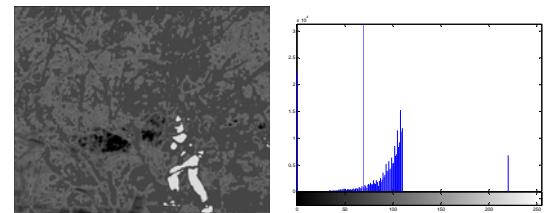
(a) Hidden target detected by ordinary camera (b) Hidden target detected by infrared thermography

图 1 普通摄像机和红外热像仪采集隐蔽目标对比图

Fig.1 Hidden target detected by ordinary camera and infrared camera



(a)图像分割前的图像和直方图
(a) Image and histogram before image segmentation



(b)图像分割后的图像和直方图
(b) Image and histogram after image segmentation

图 2 图像分割前、后的图像和直方图

Fig.2 Image and histogram before and after segmentation

采用上述方法，每一个候选目标区域的置信度都可以通过两个 sigmoid 函数计算出来：

$$C_i = \frac{1}{(1 + e^{-\lambda_1(\mu_f - \mu_i)})} \times \frac{1}{(1 + e^{-\lambda_2(\mu_f - \mu_b - \mu_2)})} \quad (1)$$

式中： μ_f 和 μ_b 分别代表前景图像和背景图像； λ_1 和 λ_2 可控制 sigmoid 函数的斜率； μ_1 和 μ_2 是 sigmoid 函数的偏移量。如果目标区域的亮度比邻近区域高，则式(1)中的置信度接近 1，否则置信度将接近 0，具有高置信度的区域被选择为目标区域。

图 3 是使用上述方法检测被遮挡的候选目标区域。然而，由图 3 右图可知，单独依靠亮度不足以

检测被遮挡的目标。根据这一现象，在目标检测过程中加入纹理分析的步骤，根据目标纹理与附近区域的区别分割出真正目标。

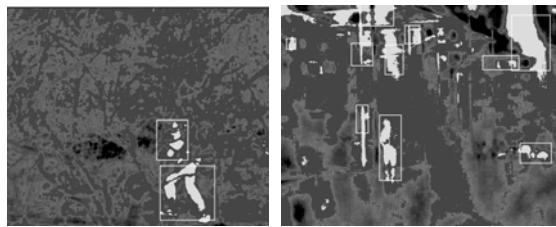


图3 候选目标区域图

Fig.3 The candidate target region

图像的纹理可以通过其子带信号的频谱内容反映出来，子带信息可以通过滤波器组对图像滤波得到，对于红外热像而言，计算能量信息获得图像的频谱信息是最有效的方法，如式(2)所示：

$$e_i = \frac{1}{M \cdot N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N G_i^2(x, y) \quad (2)$$

式中： N 和 M 分别代表图像的行和列数量； $G_i = F_i I$ ，是图像 I 使用滤波器 F_i 的滤波响应，为了获得目标的纹理信息，可以利用能量矢量 $E = (e_1, e_2, \dots, e_k)^T$ 构成滤波窗口。除非目标被完全遮挡，否则被遮挡的目标纹理信息必然与周围环境不同，利用这一点，滤波窗口附近的 8 个窗口就可以作为目标的能量向量， E_1, E_2, \dots, E_8 ，分别在 8 个方向移动滤波窗口来寻找纹理相似的窗口。滤波窗口和邻域窗口的纹理相似性可以通过欧氏距离测度计算：

$$\text{dist} = \min_{i \leq 8} \sqrt{\sum_{j=1}^K (E(j) - E_i(j))^2} \quad (3)$$

式中： K 是过滤器的数量。如果 $\text{dist} > T$ （其中 T 是一个预定义的阈值），则确定目标为真正的目标，否则目标为假。

为了更好地将混合在目标中的错误目标分离出来，采用了多种纹理分析方法，分别是小波方法，纹理规则性方法和可控制滤波器方法，然后计算目标区域的能量作为纹理分析的基础，表 1 是采用不同纹理分析方法的分类结果。

根据表 1 可知，对比其他方法，在隐蔽目标检测时，可 Steerable Filter (SP-3) 算法的分类识别率高达 91%，适用于隐蔽目标的检测。

图 4 是纹理分析后的分割结果与纹理分割前的图像对比结果。

1.3 目标跟踪

目标被遮挡使目标细节丢失，我们针对隐藏目标区域轮廓不全、信息量少的特点，选取合适的阈值，对检测出来的目标区域进行阈值化处理，用链

码提取轮廓，并采取质心跟踪方法。

表 1 不同分类方法的分类性能

Table 1 Categorization performance of different methods

方法名称	分类性能
Steerable Filter (SP-3)	91%
Steerable Filter (SP-5) 93	89%
Law's texture energy filter 88	84%
Bi-orthogonal wavelet filter 82	81%
Haar wavelet filter 82	80%
Daubechies wavelet filter (Daub-3) 81	80%
Daubechies wavelet filter (Daub-2) 80	79%
Daubechies wavelet filter (Daub-4) 80	75%
Quadrature mirror wavelet filter (QMF-16) 80	71%
Quadrature mirror wavelet filter (QMF-13) 79	70%
Quadrature mirror wavelet filter (QMF-5) 79	69%
Quadrature mirror wavelet filter (QMF-9) 76	65%

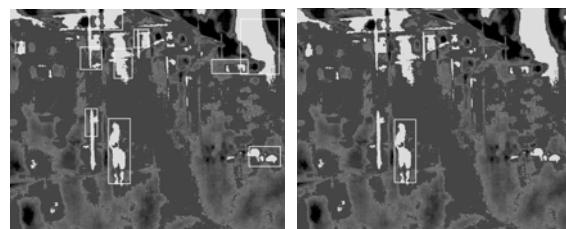
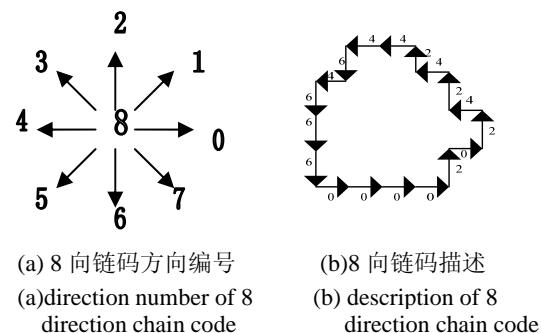


图4 纹理分析后的分割结果

Fig. 4 Segmentation result of texture analysis

1.3.1 链码提取轮廓

在通常的图像处理中，把边缘特征都当作孤立的点，而链码把特征点当作轮廓，即利用链码可以把特征点看作多个不相连的特征轮廓。把被检测物体的特征作为连通约束，它强调目标的边缘点应该是连续的，根据该约束，大量的特征点集可分为若干个小的子集（轮廓）。在典型的情况下，这种表示方法基于线段的 8 连接，如图 5(a)。每一段的方向使用数字编号方法进行编码，如图 5(b)所示，每个方向的数字代表当前像素相对前一个领域像素的位置变化情况。



(a) 8 向链码方向编号
(a) direction number of 8 direction chain code
(b) 8 向链码描述
(b) description of 8 direction chain code

图 5 链码表示方法

Fig.5 The chain code representation method

利用 Freeman 链码^[9]寻找目标轮廓的过程为：首先将遇到的第一个点作为链码的起点，然后顺序扫描该点相邻的 8 个点是否含有边缘点，每遇到一个边缘点，链码的长度加一，同时将该点定义为非边缘点以免被重复检测，然后继续扫描该点相邻的 8 个点，直到某个点周围没有边缘点为止，如此循环形成链码。

1.3.2 质心跟踪方式

计算质心是统计平均的过程，它计算出的跟踪点不是个别最亮点的位置，而是图像中各个像素点灰度加权平均的位置，所以以质心为跟踪点可以防止目标不完整、目标信息不全等优点^[10]。通过目标检测、链码提取后，目标已经从背景中提取出来，在一个 $M \times N$ 的窗口中，灰度质心的位置由下面两式计算得到：

$$x = \frac{\sum_{j=1}^M j \sum_{k=1}^N f(j,k)}{\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^M f(j,k)} \quad (4)$$

$$y = \frac{\sum_{k=1}^N k \sum_{j=1}^M f(j,k)}{\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^N f(j,k)} \quad (5)$$

式中： $f(j,k)$ 是图像在 (j,k) 点的像素灰度值； M, N 分别为跟踪窗口内的方位，在横纵方向上的像素个数。最终的跟踪效果将由跟踪框表示出来，无遮挡时跟踪效果如图 6(a) 所示，有遮挡的目标跟踪情况如图 6(b) 所示。通过图 6 可知，除了遮挡目标丢失部分信息外，遮挡目标跟踪效果和未遮挡目标的跟踪效果一样好。



(a) 无遮挡目标跟踪 (b) 被遮挡的目标跟踪
(a) Ordinary target tracking (b) Hidden target tracking

图 6 遮挡目标与未遮挡目标跟踪效果对比图

Fig. 6 Ordinary target tracking and hidden target tracking

2 实验与分析

TMS320DM642 主频可达 600 MHz，该系统处理速度能达到 50 帧/s，实验中，固定热像仪采集视频，目标分别在 30 m, 40 m, 50 m 距离的遮蔽物后

行走，图 7 是热像仪收集到的遮挡目标图像，图 8 是程序处理后的跟踪图像。由图 7 和图 8 可知，目标跟踪效果良好。

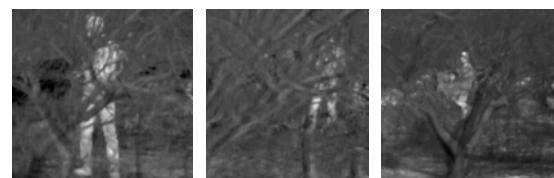


图 7 热像仪收集的原始图像

Fig. 7 The original image collected by infrared thermography

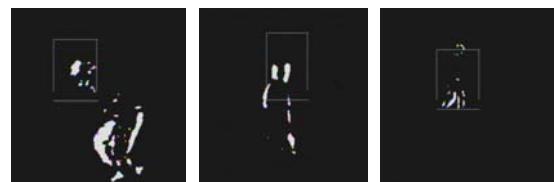


图 8 遮挡目标跟踪图像

Fig. 8 Hidden target tracking

表 2 是在不同距离时的跟踪情况，由表 2 可知，在目标距离摄像机越来越远时，目标的跟踪效果下降。继续实验，发现被遮挡目标在 70 m 内跟踪有效，遮挡目标在 100 m 之外体积太小，难以跟踪。

表 2 不同距离时隐蔽目标跟踪情况

Table 2 Hidden targets tracking situation of different distance

目标距离	目标完整度	实验次数	可跟踪次数	跟踪率
30 m	59%	40	35	87.5%
40 m	56%	40	32	80%
50 m	50%	40	30	75%
60 m	45%	40	27	67.5%
70 m	40%	40	20	50%
80 m	10%	40	9	22.5%
90 m	4%	40	3	7.5%
100 m	2%	40	1	2.5%

与目标无遮蔽时的跟踪效果相比，隐蔽目标的运动区域不够完整，采用本文提出的检测与跟踪算法，检测效果良好，40 m 内范围内跟踪率也高达 80% 以上。

3 结语

本文提出的目标检测与跟踪方法适用于红外热像仪图像中的隐蔽目标检测和跟踪，针对隐蔽目标的检测方法是：采用模糊 C 均值聚类、亮度信息和纹理信息将隐藏的目标提取出来；跟踪方法是：先用链码提取目标的轮廓，然后再根据质心跟踪算法跟踪目标。将算法植入到 TMS320642 上，

并进行了不同距离下的隐蔽目标检测与跟踪实验，实验表明，对热像仪图像中的隐蔽目标检测和跟踪效果良好。

参考文献:

- [1] 蔡毅,胡旭. 短波红外成像技术及其军事应用[J]. 红外与激光工程, 2006, **35**(6): 643-647.
Cai Yi, Hu Xu. Short wave infrared imaging technology and its defence application[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2006, **35**(6): 643-647.
- [2] 蔡毅,王岭雪. 红外成像技术中的9个问题[J]. 红外技术, 2013, **35**(11): 671-682.
Cai Yi, Wang Ling-xue. Nine issues associated with infrared imaging technology were discussed[J]. *Infrared Technology*, 2013, **35**(11): 671-682.
- [3] Zhang X P, Desai M D. Segmentation of bright targets using wavelets and adaptive thresholding[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2001, **10**(7): 1020-1030.
- [4] 王江涛,杨静宇. 红外序列图像中基于形状的人体检测[J]. 红外与毫米波学报, 2007, **26**(6): 437-442.
Wang Jiang-Tao, Yang Jing-Yu. Shape-based Human detection in infrared image sequences[J]. *Journal of Infrared and Millimeter Waves*, 2007, **26**(6): 437-442.
- [5] Gong M, Liang Y, Shi J, et al. Fuzzy c-means clustering with local information and kernel metric for image segmentation[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2013, **22**(2): 573-584.
- [6] Guo H, Tan Y, Li W. Surface texture detection of double-feature apple based on computer vision[C]//*Proceedings of the 3rd International Conference on Multimedia Technology*, Springer Berlin Heidelberg, 2014: 117-127.
- [7] Smeelen M A, Schwering P B W, Toet A, et al. Semi-hidden target recognition in gated viewer images fused with thermal IR images[J]. *Information Fusion*, 2014, **18**: 131-147.
- [8] 张强,蔡敬菊,张启衡,等. 基于局部极大值的红外弱小目标分割方法[J]. 红外技术, 2011, **33**(1): 41-44.
Zhang Qiang, Cai Jing-ju, Zhang Qi-heng, et al. Image enhancement using clustering and histogram equalization[J]. *Infrared Technology*, 2011, **33**(1): 41-44.
- [9] 余博,郭雷,赵天云,等. Freeman链码描述的曲线匹配方法[J]. 计算机工程与应用, 2012, **48**(4): 5-8.
Yu Bo, Guo Lei, Zhao Tianyun, et al. Curve matching method for FFC representation[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2012, **48**(4): 5-8.
- [10] 白晓方,杨卫,陈佩珩. 一种改进的运动目标检测与跟踪方法[J]. 电视技术, 2014, **38**(1): 180-182.
Bai Xiaofang, Yang Wei, Chen Peiheng. Improved moving object detection and tracking method[J]. *Video Engineering*, 2014, **38**(1): 180-182.