

基于扩展空间直方图的红外目标跟踪方法

赵方舟^{1,2}, 李俊山², 杨 威³, 杨建明³

(1 中国人民武装警察部队工程大学, 陕西 西安 710086;

2 第二炮兵工程大学, 陕西 西安 710025; 3 第二炮兵指挥学院, 湖北 武汉 430012)

摘 要: 针对传统均值漂移算法中仅仅利用目标的颜色信息而导致目标模型分辨能力不高的问题, 提出了一种基于扩展空间直方图的红外目标均值漂移跟踪方法. 首先对空间直方图进行扩展, 构建了一种结合目标颜色分布和空间约束关系的联合空间颜色模型, 有效提高了目标模型的分辨能力. 通过给定目标空间位置和颜色联合概率密度函数, 定义目标区域与候选区域概率密度的相似性度量, 进而实现了红外目标的准确定位. 实验结果表明该算法简单有效, 能准确跟踪前视红外目标.

关键词: 扩展空间直方图; 目标跟踪; 均值漂移; 相似性度量

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000—7180(2012)10—0081—04

Infrared Object Tracking Algorithm Based on Extended Spatial Histogram

ZHAO Fang-zhou^{1,2}, LI Jun-shan², YANG Wei³, YANG Jian-ming³

(1 The CAPF Engineering University, Xi'an 710086, China; 2 The Second Artillery Engineering University, Xi'an 710025, China; 3 The Second Artillery Command College, Wuhan 430012, China)

Abstract: To improve the low discriminative ability of object model with only color information in traditional mean shift algorithm, improved mean shift tracking algorithm using spatio and gray features is proposed. Firstly, through extending the spatio histogram, the joint spatio-gray object model is constructed with both gray distribution and spatio relationship. Meanwhile, the joint probability density function is defined to build the similarity measure between the object model and candidate model. Finally, the accurate localization of infrared object is realized by the extended mean shift algorithm. Experiment results verify the effectiveness and robustness of the proposed algorithm which can improve the tracking performance efficiently.

Key words: FLIR; object tracking; mean shift; feature matching

1 引言

红外运动目标识别与跟踪系统在军事目标的识别、跟踪和精确定位中起着重要的作用. 由于红外图像系统固有的成像特点, 红外图像通常存在着噪声大、目标和背景之间的灰度差小、边缘较模糊等特点^[1], 这将直接影响到红外运动目标的准确跟踪. 同时, 对于红外灰度图像而言, 由于灰度直方图所包含的信息单一, 同时完全忽略了目标的空间信息, 降低

了目标模型的分辨能力, 容易受到具有相似颜色的背景或干扰物的吸引, 导致跟踪精度不高. 因此, 需要研究分辨能力更高的目标表示方法. Black 等人^[2]提出了一种基于特征子空间的目标跟踪算法. 基于特征子空间的目标表示方法是一种对训练图像的紧凑表示方式, 它用少量的正交图像作为基图像近似目标子空间. 但是目标的基图像需要在跟踪之前通过大量的样本训练得到, 跟踪的性能也取决于采用的训练样本是否能够充分表示目标的各种外观

收稿日期: 2012—02—16; 修回日期: 2012—03—30

基金项目: 国家自然科学基金项目(60772151, 61075025, 61175120)

形态. Babu 等人^[3]提出了一种基于局部颜色模型的目标跟踪算法. 该算法并不直接跟踪整个目标, 而是采用多个跟踪器同时跟踪目标的许多小区域, 当目标的部分区域被遮挡时, 利用其它区域的跟踪结果, 依然能够准确跟踪目标. 但是在该算法中, 目标小区域的选取是随机的, 并没有考虑到目标的外观特征, 不适当的区域选择将会影响跟踪的性能.

针对上述问题, 本文提出了一种基于扩展空间直方图特征的红外目标表示与定位方法, 实现了红外目标的准确有效跟踪.

2 基于扩展空间直方图的红外目标表示

通常假设目标由一些具有相似特征的区域组成, 利用这些区域的特征可以对目标外观进行有效描述. 常用的区域特征包括颜色、纹理和形状等, 其中颜色特征具有计算简单、鲁棒性好等优点, 被广泛应用于目标跟踪算法. 但单一颜色模型的不足之处在于它完全忽略了目标的空间信息, 降低了目标模型的分辨能力, 容易受到具有相似颜色的背景或干扰物的吸引, 进而导致跟踪失败. Birchfield 等人^[4]将传统的颜色直方图进行了推广, 提出了空间直方图的概念, 通过将像素的空间信息引入到传统的颜色直方图中, 增强了直方图模型的分辨能力. 空间直方图中每个 bin 中包含了所属像素空间位置的均值和协方差信息. 但是, 空间直方图利用的是像素的全局空间特征, 对颜色分布的描述不够完全, 如图 1 所示, 两个具有相同空间分布但颜色分布不同的 bin, 其空间直方图表示却可能完全一样. 因此, 本文对空间直方图进行了扩展, 构建了一种结合颜色分布和空间约束关系的联合空间颜色模型.

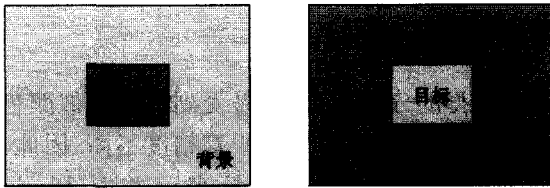


图 1 相同分布的空间直方图

假设目标图像可以描述为 $I_x = \{x_i, g_{x_i}, u_{x_i}\}_{i=1}^N$. 其中, N 为目标区域中的像素总数, x_i 表示第 i 个像素的坐标, g_{x_i} 为第 i 个像素的颜色特征(对红外图像而言, 即为灰度特征), u_{x_i} 则表示该像素所属的 bin 数. 红外目标的联合空间颜色模型可表示为

$$q(u) = \langle n_u, \mu_{S,u}, \sum_{S,u} \mu_{G,u}, \sum_{G,u} \rangle$$

$$u = 1, \dots, B \quad (1)$$

其中, B 表示直方图划分的 bin 数, n_u 是第 u 个 bin 中所包含的像素, $\mu_{S,u}$ 为像素位置的均值, $\sum_{S,u}$ 为像素坐标的协方差. 与空间直方图不同的是, 模型中添加了两个元素, 其中, $\mu_{G,u}$ 为像素灰度的均值, $\sum_{G,u}$ 表示像素灰度的方差.

传统直方图仅仅对直方图区间中的像素个数进行统计, 而加权直方图则进一步考虑了像素与目标中心的距离, 其中, 越靠近目标中心的像素对直方图的贡献越大. 然而, 这两种情况都未对直方图区间中的颜色分布进行考虑. 本文提出的联合空间颜色模型, 如图 2 所示. 对直方图中像素的空间位置与灰度分布同时进行统计计算, 提高了目标模型的分辨能力.

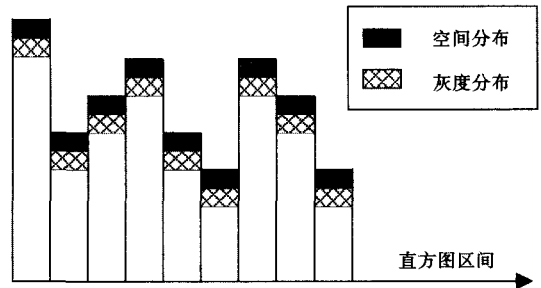


图 2 联合空间颜色直方图

3 基于扩展空间直方图的跟踪方法

3.1 相似性度量

给定目标模型区域和核函数, 可以利用核密度估计法对目标区域的空间位置与颜色联合概率密度函数 (Probability Density Function, PDF) 估计^[5]. 假定 $I_x = \{x_i, g_{x_i}, u_{x_i}\}_{i=1}^N$ 是源于 PDF 为 $p(x, g_x, u_x)$ 分布的采样点集合, 则 $p(x, g_x, u_x)$ 用多变量联合核密度函数估计为

$$p(x, g_x, u_x) = \frac{1}{B} \sum_{u=1}^B K_S(x - \mu_{S,u}, \sum_{S,u}) K_G(g_x - \mu_{G,u}, \sum_{G,u}) \delta(b(x) - u) \quad (2)$$

其中, K_S 和 K_G 为多变量高斯核函数, 分别为空间和颜色(灰度)加权函数. 利用核密度估计期望思想, 定义目标模型与候选模型 $I_y = \{y_j, g_{y_j}, u_{y_j}\}_{j=1}^M$ 的相似性度量如下

$$J(I_x, I_y) = J(y) = \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M p(y_j, g_{y_j}, u_{y_j}) = \frac{1}{MB} \sum_{j=1}^M \sum_{u=1}^B K_S(y_j - \mu_{S,u}, \sum_{S,u})$$

$$K_G(g_{y_j} - \mu_{G,u}, \sum_{G,u}) \delta(b(y_j) - u) \quad (3)$$

设目标模型区域中心为 x_0 , 候选区中心为 y , 若只考虑其平移运动, 则式(3)可表示为

$$J(y) = \frac{1}{MB} \sum_{j=1}^M \sum_{u=1}^B K_S(y_j - y - \mu_{S,u} + x_0, \sum_{S,u}) K_G(g_{y_j} - \mu_{G,u}, \sum_{G,u}) \delta(b(y_j) - u) \quad (4)$$

通过最大化目标模型与候选模型的相似度量函数 J , 可以确定跟踪目标在候选区的位置. 采用梯度下降来寻找式(4)的极值. 关于候选区位置中心向量 y 的梯度定义为

$$\nabla L(y) = -\frac{\nabla J(y)}{J(y)} \quad (5)$$

其中, $\nabla J(y)$ 定义为

$$\nabla J(y) = \frac{1}{MB} \sum_{j=1}^M \sum_{u=1}^B K'_S(y_j - y - \mu_{S,u} + x_0, \sum_{S,u}) K_G(g_{y_j} - \mu_{G,u}, \sum_{G,u}) \delta(b(y_j) - u) \quad (6)$$

令 $\nabla J(y) = 0$, 可得到

$$\begin{aligned} & \frac{1}{MB} \sum_{j=1}^M \sum_{u=1}^B \left(\sum_{S,u} \right)^{-1} (y_j - y - \mu_{S,u} + x_0) K_S K_G \delta(b(y_j) - u) = 0 \\ & \Rightarrow \sum_{j=1}^M \sum_{u=1}^B \left(\sum_{S,u} \right)^{-1} K_S K_G \delta(b(y_j) - u) \times (y - x_0) \\ & = \sum_{j=1}^M \sum_{u=1}^B \left(\sum_{S,u} \right)^{-1} (y_j - \mu_{S,u}) K_S K_G \delta(b(y_j) - u) \\ & \Rightarrow y - x_0 = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{u=1}^B \left(\sum_{S,u} \right)^{-1} (y_j - \mu_{S,u}) K_S K_G \delta(b(y_j) - u)}{\sum_{j=1}^M \sum_{u=1}^B \left(\sum_{S,u} \right)^{-1} K_S K_G \delta(b(y_j) - u)} \quad (7) \end{aligned}$$

因此, 可以确定目标在候选区中新的位置

$$y_{\text{new}} = \frac{\sum_{j=1}^M \sum_{u=1}^B \left(\sum_{S,u} \right)^{-1} (y_j - \mu_{S,u}) K_S K_G \delta(b(y_j) - u)}{\sum_{j=1}^M \sum_{u=1}^B \left(\sum_{S,u} \right)^{-1} K_S K_G \delta(b(y_j) - u)} + x_0 \quad (8)$$

其中

$$K_S = K_S(y_j - y_{\text{old}} - \mu_{S,u} + x_0, \sum_{S,u}) =$$

$$\frac{1}{2\pi \left| \sum_{S,u} \right|^{1/2}} e^{(-\frac{1}{2}(y_j - y_{\text{old}} - \mu_{S,u} + x_0)' \left(\sum_{S,u} \right)^{-1} (y_j - y_{\text{old}} - \mu_{S,u} + x_0))} \quad (9)$$

$$K_G = K_G(g_{y_j} - \mu_{G,u}, \sum_{G,u}) = \frac{1}{(2\pi)^{1/2} \left| \sum_{G,u} \right|^{1/2}} e^{(-\frac{1}{2}(g_{y_j} - \mu_{G,u})' \left(\sum_{G,u} \right)^{-1} (g_{y_j} - \mu_{G,u}))} \quad (10)$$

3.2 跟踪算法

基于扩展空间直方图的红外目标均值漂移跟踪方法采用梯度下降法来进行目标定位, 算法具体步骤如下.

Step1. 初始化, 令帧数 $k=1$, 选择初始目标区域 I_x , 根据式(1)计算目标的联合空间颜色表观模型 $q(u)$.

Step2. 给定前一帧目标位置 y_k , 根据式(1)计算候选目标模型 $p(u)$.

Step3. 根据式(9)和(10)分别计算空间、灰度加权核函数 K_S 和 K_G .

Step4. 根据式(8)迭代计算得到目标位置 y .

Step5. 将目标区域中心移至 y , 更新候选目标模型 $p(u)$, 重新计算 K_S 和 K_G .

Step6. 根据式(8)重新计算得到目标位置 y' . 若满足 $|y - y'| < \delta$, 则停止迭代, 将 $y_{k+1} = y'$ 作为第 $k+1$ 帧目标位置; 否则, 令 $y = y'$, 转到 Step5. 其中, 参数 δ 为常数阈值.

Step7. 令 $k=k+1$, 转到 Step2.

4 实验结果及分析

为了验证跟踪算法的有效性, 在软硬件环境为 CPU Intel E5200, 2G 内存, WindowsXP + SP3, Matlab2008 的条件下进行仿真实验. 实验中所跟踪的目标为一辆坦克. 在该红外图像序列中, 图像帧中存在较大的背景噪声, 目标边缘模糊度较高. 在图像序列的第一帧利用目标检测算法确定待跟踪的目标. 图3给出了均值漂移跟踪算法和本文算法的实验比较结果.

图3分别表示图像序列中第26, 46, 75, 90帧的对比结果, 图3(a)、(b)、(c)、(d)为均值漂移跟踪结果, 图3(e)、(f)、(g)、(h)为本文跟踪结果. 从图中可以看出本文算法的优越性. 均值漂移算法容易受到图像噪声的影响, 从21帧开始慢慢偏离实际目标位置, 跟踪结果误差较大. 与其相比, 本文方法通过采用改进的空间直方图, 能更有效地描述目标特征,

消除了偏离误差,提高了跟踪精度,能实现对红外目标的准确定位。

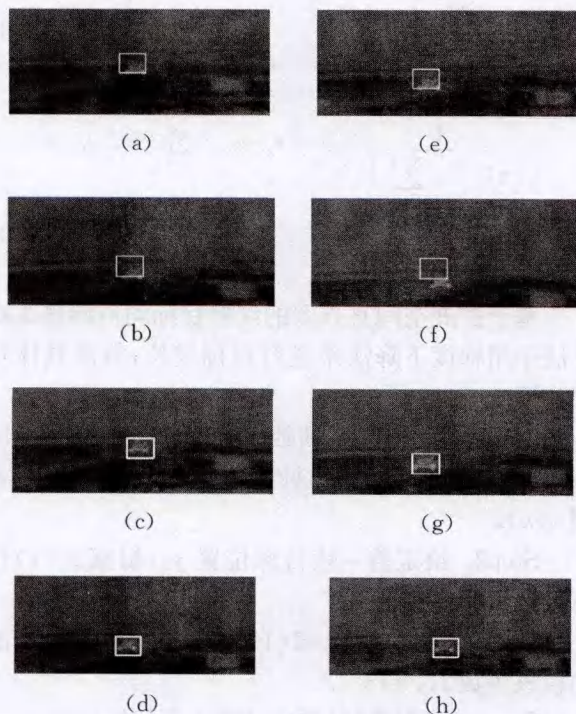


图3 红外坦克目标跟踪结果

为了准确直观的比较跟踪效果,利用误差距离值来进行定量比较. 计算出来的 $Error_i$ 表示偏离真实位置的误差,单位为像素. 实验中通过采用手动方式获得每帧图像中目标的真实位置. 图4为均值漂移算法和本文算法的跟踪误差比较结果. 从中可以看出本文算法具有较小的跟踪偏差,能对红外目标进行有效准确的跟踪.

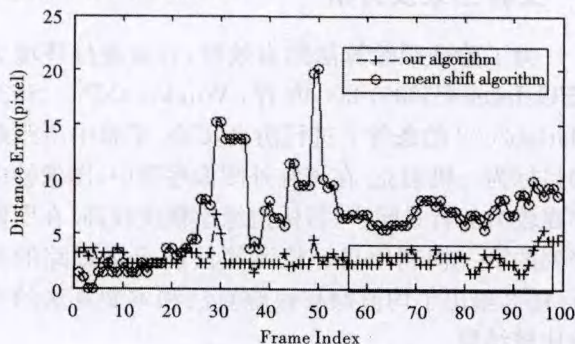


图4 跟踪误差比较图

5 结束语

本文针对红外运动目标跟踪问题,提出了一种基于扩展空间直方图特征的红外目标均值漂移跟踪方法. 首先通过扩展空间直方图建立红外目标的联合空间颜色模型,进而采用多变量联合核密度函数构建目标模型与候选模型的相似性度量,最终实现了红外目标的有效跟踪. 实验结果表明,本文方法能有效提高基于灰度直方图的红外目标均值漂移跟踪方法的跟踪性能.

参考文献:

- [1] Yilmaz A, Shafique K, Shah M. Target tracking in airborne forward looking infrared imagery[J]. Image and Vision Computing, 2003(21): 623-635.
- [2] Black M J, Jepson A D. Eigentracking: robust matching and tracking of articulated objects using a view-based representation [J]. International Journal of Computer Vision, 1998, 26(1): 63-84.
- [3] Babu R V, Patrick P, Bouthemy P. Robust tracking with motion estimation and local kernel-based color modeling[J]. Image Vision Computing, 2007, 25(8): 1205-1216.
- [4] Birchfield S T, Sriram R. Spatiograms versus histograms for region-based tracking[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, California; 2005: 158-163.
- [5] Zivkovic Z, Krose B. An EM-like algorithm for color-histogram-based object tracking[C]// IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Los Alamitos, USA, 2004: 798-803.

作者简介:



赵方舟 男,(1982—),博士研究生,工程师. 研究方向为模式识别与红外目标识别与跟踪.