

红外遮挡人体目标模板图像的 Mean Shift 分割算法

云廷进 郭永彩 高潮

(重庆大学光电技术及系统教育部重点实验室, 重庆 400030)

摘要 提出了一种红外图像中遮挡人体目标的分割方法。首先通过传统的阈值选取方法或直方图聚类等方法, 获取遮挡区域目标的二值化模板。用目标像素在模板中的相对行列坐标作为特征集使用 Mean Shift 算法分别计算各像素在行列方向的收敛位置并使用复数向量进行联合表达, 再次以所有的复数向量作为特征集进行 Mean Shift 聚类, 根据各像素位置对应的复数向量所属类别对其进行划分, 完成遮挡目标的分割。与分水岭算法相比, 该算法的分割结果完整保留了目标模板的外形, 并且可以通过 Mean Shift 带宽参数的选择完成不同精度的分割。

关键词 红外图像 遮挡人体目标分割 均值漂移 分水岭算法

中图法分类号: TP301.6 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)09-1867-05

Occluded Human Segmentation in Infrared Images Based on Mean Shift Algorithm

YUN Ting-jin, GUO Yong-cai, GAO Chao

(Key Laboratory of Optoelectronic Technology and Systems of the Education Ministry of China, Chongqing University, Chongqing 400030)

Abstract An occluded human segmentation method in infrared image was presented in this paper. Firstly, the occluded region's binary mask was obtained using traditional infrared image segmentation methods such as threshold selection or histogram clustering. Then, two mean shift clustering process were carried out separately using the object's relative row and column coordinates to the mask as feature sets. Each pixel's convergence position in vertical and horizontal direction was represented by a complex vector. Finally, another mean shift process was carried out on all the complex vectors, and the object mask's pixels were classified according to their corresponding complex vector's cluster. Thus, the objects were segmented in the binary mask. Compared with the watershed algorithm, the segmented results of our algorithm were complete and could be controlled from coarse to fine by changing the mean shift bandwidth parameters.

Keywords infrared image, occluded human segmentation, mean shift, watershed algorithm

1 引言

对图像中的人体目标进行识别广泛用于智能监控、交通安全、消防救灾、高级人机接口、人体运动分析、虚拟现实及基于内容的图像检索与储存等方面。由于红外成像基本不受外界光线环境的限制, 可以全天候工作, 因此, 与可见光成像系统相比, 基于红

外成像的人体目标识别应用更为广泛。

人体目标的分割是目标识别的基础, 具有重要的意义。红外图像的灰度直接反映了目标的表面温度分布状况, 因此通过阈值分割的方法, 采用一个或多个阈值^[1]或通过灰度聚类的方法^[2]对红外图像进行分割是非常直接有效的。由于采用阈值分割的方案只使用图像的灰度特征, 无法解决目标的遮挡粘连问题。在红外图像中, 目标的遮挡主要存在于

基金项目: 教育部重点科研项目“基于红外图像的人体运动目标识别”(108174)

收稿日期: 2008-01-08; 改回日期: 2008-07-30

第一作者简介: 云廷进(1978 ~), 男, 重庆大学仪器科学与技术专业博士研究生。主要研究方向为计算机视觉, 图像/视频处理, 目标识别和目标跟踪。E-mail: yuntingjin@gmail.com

两个方面:(1)由于人体的温度相对恒定并且彼此相似,但人体目标的非刚性运动的随意性使得人体目标之间相互遮挡而造成图像的粘连成为常见的现象。(2)即使是单个目标,由于红外图像的成像动态范围小,当背景中的目标与人体温度相差不大时,还会出现目标与背景的遮挡现象。由于红外图像没有色彩信息,因此不能像可见光图像那样通过色彩空间将人体目标与背景分离或通过不同人的肤色、衣着服饰等将相互遮挡的人体目标进行分离,使得红外图像中的遮挡人体目标的分割更加困难^[3]。

通常情况下,在红外图像中用于分割相互遮挡的目标使用灰度值轴向投影分析的方法^[4],但只能用于简单场景下,对于遮挡目标较多或目标在图像中的分布复杂的情况下并不适用。处理此类问题时更通用的算法是采用分水岭算法^[5-6],但容易产生过分割现象,不能完全保留目标的形状,而且分割的结果缺乏直观性,需要复杂的后续处理对分割区域进行合并。针对以上问题,本文使用 Mean Shift 框架理论^[7],在传统 Mean Shift 图像分割算法的基础上,将 Mean Shift 算法的应用扩展到空间邻域,通过 3 次在 1 维空间内的 Mean Shift 聚类过程,实现了对遮挡目标的分割。

2 Mean Shift 理论概述

2.1 Mean Shift 算法

Mean Shift 算法是一种有效的统计迭代算法,可以在没有任何先验知识的情况下进行非参数概率密度估计。算法的基本思想是通过沿着特征空间内样本点密度梯度方向进行反复迭代搜索,使各样本点最终收敛于临近的局部密度极大点。下面对 Mean Shift 算法的基本实现方法进行阐述,更详尽的理论分析及证明可参考文献^{[7]~[9]}。

给定 R^d 空间离散特征点集 $\{x_i\}_{i=1,2,\dots,n}$, 点 x 处的一步均值偏移向量 $m(x)$ 可表达为

$$m(x) = \frac{\sum_{i=1}^n x_i g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^n g\left(\left\|\frac{x-x_i}{h}\right\|^2\right)} - x \quad (1)$$

式中, $g(x)$ 为采用的核函数形式, h 为核函数窗口有效支持长度(带宽), x_i 为落在核函数窗口内的其他特征点。常用的点密度核函数主要有 3 种形式,分

别是:

(1) Uniform 核

$$K_U(x) = \begin{cases} c & \|x\| < 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

(2) Gaussian 核

$$K_G(x) = c \cdot \exp\left(-\frac{1}{2}\|x\|^2\right) \quad (3)$$

(3) Epanechnikov 核

$$K_E(x) = \begin{cases} c(1-\|x\|^2) & \|x\| < 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

式中, c 为常数。

等式(1)右边第 1 部分为新的均值位置,反复对其进行迭代计算,直到均值偏移向量小于设定阈值,可以认为其收敛于该均值位置。理论上可以证明,该均值位置为样本特征点集的局部极大值。

均值偏移算法实现过程如图 1 所示,对样本集中所有的点进行上述迭代过程,将迭代完成后收敛于相同位置的所有样本的集合标记为相同的类别,实现对样本集的分类。

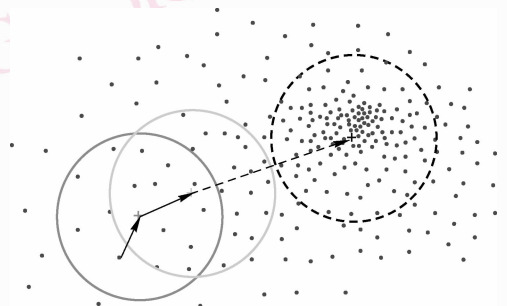


图 1 Mean Shift 迭代过程

Fig. 1 The iterative process of Mean Shift algorithm

2.2 Mean Shift 聚类算法用于红外图像分割

对彩色图像使用 Mean Shift 算法进行聚类分割时,首先将其从 RGB 色彩空间映射到 LUV 空间,对 LUV 空间内的颜色索引进行聚类分析,再将与之对应的 RGB 值的像素进行类别标注^[10-11]。

由于红外图像是灰度图像,因此使用图像的灰度直方图作为特征空间对其进行聚类分析。算法实现的基本过程为:

(1) 计算图像的灰度直方图 H , 由于红外图像直方图多数情况下并不均衡,可以采用稀疏矩阵对其进行存储。

(2) 以 H 中的各灰阶对应的像素个数 H_i 作为

该灰度值的特征进行 Mean Shift 聚类,标记所有的收敛灰度值位置。

(3)寻找直方图所有的聚类模式,完成图像分割。

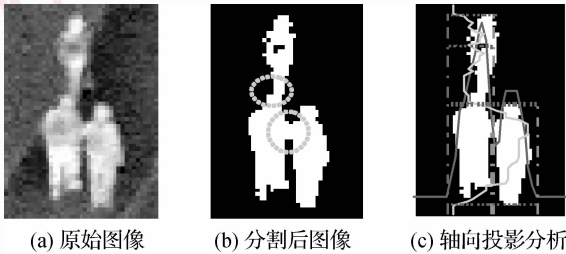


图2 传统 Mean Shift 图像分割算法实例及坐标轴投影线分析

Fig. 2 An example of traditional Mean Shift image segmentation algorithm and its projection curve to coordinate axes analysis

图2为使用 Mean Shift 算法进行图像分割的实例。由于在图像分割的过程中没有使用到图像的位置信息,因此图像分割后目标遮挡现象仍然存在(如图2(b)中圆内部分),虽然实现了目标和背景分割,却无法将3个人体目标区分出来。对目标模板进行轴向投影分析,发现根据投影曲线的峰值确定的分割边界(如图2(c)所示)很不理想。采用模糊C均值聚类对上述曲线进行聚类分割^[4]事实上是一种基于给定模型的曲线投影加权拟合的方案,而人体目标姿态复杂多样,无法预料各个目标之间的相对位置和粘连关系,因此,固定的投影曲线模型无法适应多变的现实状况,很多情况下分割效果也不好。

3 遮挡目标的分割

3.1 分割算法实现

要实现遮挡目标的分割,需要考虑的是各人体目标的相对位置关系,因此在进行遮挡目标分割时,使用目标模板中像素的行列坐标作为其特征值。特征集的密度分布体现了某区域空间内模板中有效像素的致密程度,对这些特征值进行聚类分析,可以有效地判断该模板位置对应像素应该归属于哪个目标区域。算法执行过程如下:

(1)通过图像预分割获取目标区域的二值化模板

$$BW(m, n) = \begin{cases} 1 & \text{目标} \\ 0 & \text{背景} \end{cases} \quad (5)$$

对于普通红外图像,人体目标比背景目标亮度要高,可以直接通过阈值分割获得目标区域的二值化模板;对于极性反转的红外图像,通过直方图灰度聚类(如传统的 Mean Shift 图像分割方法)分割各类别目标,根据目标的几何特征(图像面积、宽高比例等)选取可能是人体目标的区域作为模板图像。

标记模板中目标区域各像素的行列坐标:

$$\{(Rows, Cols)\} = \{(m, n) \mid BW(m, n) = 1\} \quad (6)$$

(2)使用 Mean Shift 方法计算模板中所有目标像素的轴向收敛位置,并对其使用复数进行联合标记。

$$\begin{cases} \{Rows\} \rightarrow RowMode \{1, \dots, k, \dots\} \\ \{Cols\} \rightarrow ColMode \{1, \dots, l, \dots\} \\ Mode(m, n) = RowMode(k) \mid_{m \rightarrow RowMode\{k\}} + i \times \\ \quad ColMode(l) \mid_{n \rightarrow ColMode\{l\}} \end{cases} \quad (7)$$

i 代表虚数单位,“ \rightarrow ”表示 Mean Shift 聚类收敛过程。 $Mode(m, n)$ 为目标像素 (m, n) 分别在两坐标轴方向上的收敛位置复数组合。

(3)对所有的 Mode 再次进行 Mean Shift 聚类,通过目标点对应 Mode 值所属类别确定其类别归属。

$$\begin{cases} \{Mode(m, n) \mid BW(m, n) = 1\} \rightarrow FinedModes \{1, \dots, j, \dots\} \\ \{Label(m, n) \mid BW(m, n) = 1 = j \mid_{Mode(m, n) \rightarrow FinedModes(j)} \end{cases} \quad (8)$$

“ \rightarrow ”表示 Mean Shift 聚类收敛过程。

3.2 核函数及带宽半径的选择

在传统的 Mean Shift 图像分割算法中,采用不同形式的核函数时,分割结果的表现稍有不同,相比之下,核函数带宽的选择非常重要:无论采用哪种核函数,若带宽选择不当,会导致图像分割的结果没有意义。原因是像素的聚类特征选取时采用的是其颜色(灰度)值,核函数的带宽为其在色彩空间的作用范围。显然,目标在色彩空间分布的连续性与空间位置的连续性并不存在必然的对应关系,若同一目标在色彩空间的映射分布范围很大,使用较小的核函数带宽进行图像分割时,目标被分割成几个目标;不同的目标若其色彩映射范围相近,当这些目标遮

挡在一起时,则被看作同一目标。

本文算法中采用目标的空间坐标位置作为特征集,根据应用背景,选用 Uniform 核,核函数的带宽实际上代表了像素周围的邻域关系,如图 3 所示。

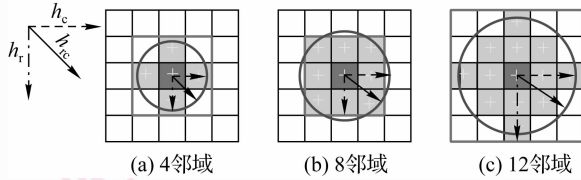


图 3 核函数带宽的选择与像素邻域的关系

Fig. 3 The relationship between kernel function's bandwidth and the pixel's neighborhood

假定对模板中目标像素进行轴向 Mean Shift 分析时采用的核函数带宽半径分别为 h_r, h_c , 进行联合分析时核函数带宽为 h_{rc} 。由图 3 可以看出,当 $1 \leq h_r = h_c < 1.5$ 时,若 $h_{rc} < \sqrt{2}$ 所用像素集为 4 邻域像素,若 $\sqrt{2} \leq h_{rc} < 1.5$, 所用像素集为 8 邻域像素;当 $h_r = h_c = 1.5$ 时,若 $\sqrt{2} \leq h_{rc} < 1.5$, 所用像素集为 12 邻域像素,依次类推。因此,可以根据不同的邻域分析要求选择带宽半径。

4 实验结果及分析

4.1 模板分割实验

为验证分割方法的有效性,本文设计了图 4(a) 中 5×5 模板,白色区域为背景。期望能在第 3 列将目标分为左右两个部分。使用本文提出的算法,设置参数 $h_r = h_c = 1$, 则各像素在两轴的联合聚类中心如图 4(b) 所示,再次对这些聚类中心按空间位置进行 Mean Shift 聚类,当设置参数 $h_{rc} < 2$ 时,聚类中心最终收敛位置如图 4(c) 所示,根据各像素的对应收敛位置,将目标分割为左右两个部分,如图 4(d) 所示。

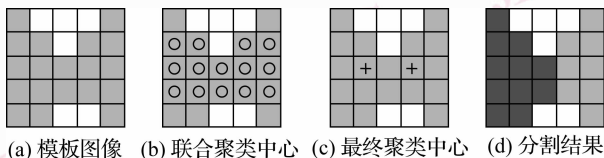


图 4 模板图像分割实验

Fig. 4 Mask image segmentation experiment

4.2 核函数带宽选择对分割结果的影响

以图 2(b) 中模板图像为例,使用不同的带宽参数,得到以下分割结果:

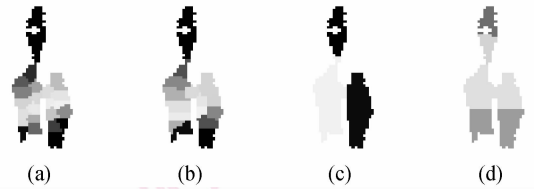


图 5 不同带宽参数的分割结果

Fig. 5 Image segmentation results using different bandwidth

各子图对应的带宽参数取值如表 1 所示:

表 1 图 5 中各分割结果采用的带宽参数

Tab. 1 Bandwidth parameters in Fig. 5

图	h_r	h_c	h_{rc}
图 5(a)	1	1	2
图 5(b)	2	2	2
图 5(c)	5	3	3
图 5(d)	3	5	3

比较图 5(a) 和图 5(b) 可以看出, h_r, h_c 取较小值时,分割较为精细,需要后续的区域合并工作,当 h_r, h_c 值由小变大时,分割区域逐渐合并,精细程度逐渐变粗;当 h_r, h_c 的比例比较接近于目标的自身比例时,分割结果比较完美(如图 5(c) 所示),而当这种比例相差较大时,则出现错误的分割(图 5(d)),遮挡区域仍然存在。由前面的模板分割实验过程可知,为保证有效分割,一般情况下 h_{rc} 不宜取得过大。

4.3 与分水岭算法分割结果的比较

本文选取了另外一幅典型的目标遮挡图像来比较本文算法与分水岭算法的图像分割结果,如图 6 所示。

图 6 中, (a) 为原始图像; (f) 为剪除多余背景的原始图像(目标区域内容未改变); (b) (g) 为从原始图像分割出的模板; (c) (h) 为本文算法分割结果($(h_r, h_c, h_{rc}) = (5, 3, 3)$); (d) (i) 为 4 邻域分水岭算法分割结果; (e) (j) 为 8 邻域分水岭算法分割结果通过分割结果对比可以看出,无论采用 4 邻域的还是 8 邻域分水岭算法,最终得到的分割结果比模板图像都有所损失;更戏剧性的是,当剪除了原始图像中的多余区域后,分水岭算法的分割结果出现较大

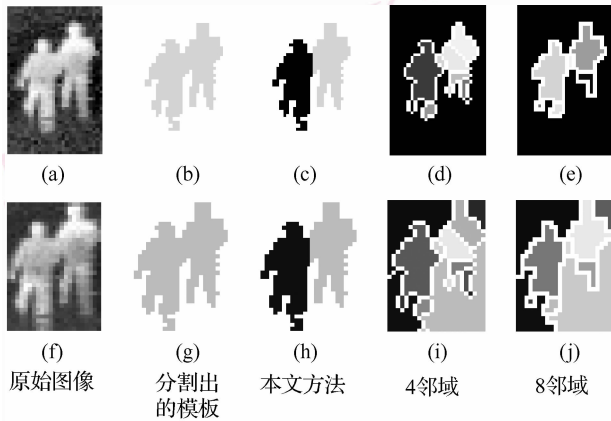


图6 与分水岭算法分割结果比较

Fig. 6 Image segmentation results compared with watershed algorithm

变化,而本文的算法则一直比较完美而且稳定,并保留了模板图像的完整内容。

5 结论

本文提出了一种基于空间相对位置 Mean Shift 聚类分析的遮挡目标的分割方法,通过对目标模板对应坐标位置进行聚类分析,解决了传统 Mean Shift 算法不能分离遮挡目标的问题。在对 Mean Shift 算法用于空间聚类时参数的意义进行了分析后,指出其对分割结果的影响。实验结果表明,与分水岭算法相比,本文算法完整保留了图像模板的形状,并且不受模板分割精度的影响。在下一步的工作中,将研究如何自动选取 3 次 Mean Shift 聚类过程带宽参数的问题。

参考文献 (References)

1 Chen Dong, Huang Yong-jie, Shen Zhen-kang. Research on the target segmentation method of infrared image[J]. Systems Engineering and

Electronics, 2002, **24**(11): 74-76. [陈东, 黄勇杰, 沈振康. 红外图像目标分割方法研究[J]. 系统工程与电子技术, 2002, **24**(11):74-76.]

- 2 Yun Ting-jin, Guo Yong-cai, Gao Chao. Human detection in far-infrared images based on histograms of maximal oriented energy map[A]. In: Proceedings of the International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition[C], Beijing, China, 2007:933-938.
- 3 Fang Y, Yamada K, Ninomiya Y, et al. Comparison between infrared-image-based and visible-image-based approaches for pedestrian detection [A]. In: Proceedings of IV2003 Conference [C], Columbus, OH, USA, 2003: 505-510.
- 4 Yang Xuan, Pei Ji-hong. Head location based on fuzzy weighted projection histogram in infrared thermal sequences [A]. In: Proceedings of International Symposium on Intelligent Multimedia, Video and Speech Processing [C], HongKong, China, 2004: 117-120.
- 5 Meyer, Fernand. Topographic distance and watershed lines [J]. Signal Processing, 1994, **38**(1): 113-125.
- 6 Roerdink J B T M, Meijster A. The watershed transform: definitions, algorithms and parallelization strategies[J]. Fundamenta Informaticae, 2000, **41**(1-2):187-228.
- 7 Comaniciu D, Meer P. Mean shift analysis and applications[A]. In: Proceedings IEEE International Conference on Computer Vision[C], Kerkyra, Corfu, Greece, 1999:1197-1203.
- 8 Comaniciu D, Meer P. Mean Shift: a robust approach toward feature space analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2002,**24**(5): 603-619.
- 9 Chen H, Meer P. Robust computer vision through kernel density estimation[A]. In: Proceedings of the 7th European Conference on Computer Vision[C], Copenhagen, Denmark, 2002: 236-250.
- 10 Comaniciu D, Meer P. Robust analysis of feature spaces: color image segmentation [A]. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition[C], Puerto Rico, 1997: 750-755.
- 11 Chen J, Pappas T, Mojsilovic A, et al. Adaptive image segmentation based on color and texture[A]. In: Proceedings of the International Conference on Image Processing[C], Rochester, NY, USA, 2002: 777-780.