

基于比例模板和边界校正的皮革图像分割

王小鹏 郝重阳 樊养余 李志芳

(西北工业大学电子与信息工程研究所, 西安 710072)

(西安虚拟现实工程技术研究中心, 西安 710072)

摘要 利用纹理特征进行智能化分割是提高皮革生产效率和产品质量的有效手段。为此提出了一种基于比例模板和区域边界校正的皮革图像分割方法, 该方法首先根据皮革各部位所占面积比例的经验知识构造一个比例模板, 并以此模板将图像粗分割成若干个区域, 然后利用自相关函数分布统计出每个区域边界点所在窗口内的平均纹理周期, 并与区域内窗口平均纹理周期进行相似比较, 依据预设的平均纹理周期相似度阈值对区域边界点进行判别校正, 使得每一区域内的平均纹理周期误差在允许的范围内保持一致。仿真试验表明, 该方法简单易行, 能有效地分割皮革图像。

关键词 比例模板 自相关函数 纹理分割 皮革图像

中图分类号: TP391.4 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2004)02-0168-04

Leather Image Segmentation Based on Proportional Template and Boundary Adjustment

WANG Xiao-peng, HAO Chong-yang, FAN Yang-yu, LI Zhi-fang

(Institute of Electronic and Information Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

(Xi'an Virtual Reality Technical Research Center, Xi'an 710072)

Abstract Using leather's texture character to performance intelligent segmentation is an efficient way to improve leather product efficiency and production quality. A new method for leather image segmentation is proposed based on proportional template and region boundary adjustment. First, according to the previous experience of leather segmentation, a proportional template used to performance leather image's coarse segmentation is built, then, the leather image is divided into several coarse regions. Second, pixel on the boundary is selected as the center to design a window, and the mean texture period inside the window is computerized using auto-correlation function distribution. By the same way, the mean texture period of the window belong to the region center is also calculated. Two mean texture period are compared to distinguish whether the location of pixel on the boundary need to adjust. The above processes are repeated until the region's texture consistency is limited to scheduled error scope. Simulations show that the proposed method is simple and efficient to segment leather image.

Keywords proportional template, auto-correlation function, texture segmentation, leather image

1 引言

皮革分割是皮革加工中的一道重要工序, 其目的是依据皮革不同部位的纹理粗糙度将皮革划分成多个质量等级不同的区域。传统的皮革分割是基于熟练技师的视觉直观判断所进行的手工分割, 由于天然皮革不同区域皮质的质量取决于其纹理粗糙程度, 而手工分割往往难以保证分割后各区域内纹理的一致性,

一方面容易造成优质皮的浪费; 另一方面又容易造成优质皮区域的整体质量下降, 因此, 采用智能化分割替代手工方式, 是提高皮革分割效率和质量的有效手段。皮革属于一种自然纹理, 其纹理的规律性不强, 各部位间纹理特性无明显差异, 因此, 直接利用现有的纹理分割算法, 如共生矩阵法、Gabor 滤波器法、MRF 法等, 难以达到皮革分割的目的。

针对上述问题, 提出基于比例模板和边界校正的皮革分割方法, 即首先根据皮革分割的先验知识,

按各部位区域所占面积比例构造比例模板,并以此模板对皮革图像进行粗分割,然后进一步对粗分割后的区域边界进行校正,实现区域的细分割,保证同一区域内纹理的一致性,使分割结果既保证了质量又不造成优质原料浪费。

2 基于比例模板的粗分割

根据皮革手工分割的经验,对于一类皮革(如牛皮)而言,各部位所占面积比例相对固定,基于这种比例经验知识,可首先依据皮革分割的先验知识构造一个比例模板(如图 1)用于皮革的粗分割。

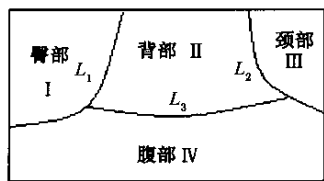


图 1 比例模板

假设皮革臀部 I、背部 II、颈部 III 及腹部 IV 所占面积比例分别为 $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$, 则

$$\eta_1 + \eta_2 + \eta_3 + \eta_4 = 1 \quad (1)$$

对待分割的皮革图像 $f(x, y)$, 首先确定其几何中心点 O , 然后将模板中心 O' 与 O 重合, 并将模板缩放到 $f(x, y)$ 大小, 则匹配结果即为皮革的粗分割区域。

3 基于纹理特征的区域边界校正

由于粗分割一方面容易将纹理较细的部分如臀部和背部区域归入其他纹理相对较粗的相邻区域, 造成优质皮原料的浪费; 另一方面, 也容易将纹理较粗的部分如腹部和颈部区域划分到相邻的臀部或背部区域, 造成优质皮区域内纹理一致性差异过大, 影响优质皮质量。因此, 需要对区域边界进一步进行校正, 考虑到皮革各部位皮质的质量等级(臀部皮质最好, 其次是背部、颈部及腹部), 首先对纹理最细的臀部区域边界进行校正, 然后再校正其他区域边界, 这样的边界校正顺序既能有效地保证优质皮的区域质量, 同时又避免了优质皮划分到质量较差的相邻区域而造成优质原料的浪费。臀部皮质与其他部分相比, 纹理粗糙度比其他部位小, 因此, 采用区域纹理平均周期来描述各部位纹理粗糙度, 并以此作为校正各部位区域边界的依据, 使边界校正后的各区域

具有较好的纹理一致性。

3.1 区域纹理特征描述

由图 1 的比例模板, 皮革的 4 个区域 I、II、III 和 IV 由 3 条边界 L_1, L_2, L_3 和皮革外轮廓确定, 根据优质部位优先确定的原则, 细分割首先对臀部区域边界 L_1 进行校正, 然后校正边界 L_2 , 最后校正边界 L_3 。

由于从臀部区域到相邻的背部和腹部区域, 纹理粗糙度逐渐由细变粗, 因此, 只要将边界 L_1 按照臀部区域内纹理平均周期一致性准则进行校正, 即可准确地确定臀部边界 L_1 。

为了判断皮革图像 $f(x, y)$ 边界 L_1 上的像素点是否增长(边界像素向区域内还是区域外移动), 首先定位臀部区域质心 (\bar{x}_0, \bar{y}_0) , 令

$$m_{00} = \sum \sum f(x, y) \quad f(x, y) \in \text{区域 I} \quad (2)$$

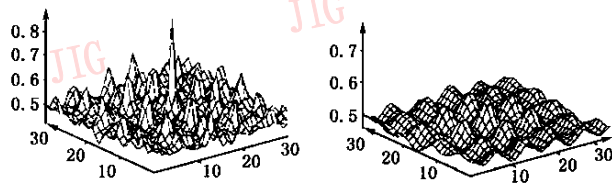
$$m_{10} = \sum \sum xf(x, y) \quad x, f(x, y) \in \text{区域 I} \quad (3)$$

$$m_{01} = \sum \sum yf(x, y) \quad y, f(x, y) \in \text{区域 I} \quad (4)$$

则

$$\bar{x}_0 = \frac{m_{10}}{m_{00}} \quad \bar{y}_0 = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (5)$$

在以臀部区域质心 (\bar{x}_0, \bar{y}_0) 为中心的窗口 $W(K \times L)$ 内, 通过自相关函数分布(如图 2), 统计出 W 内纹理平均周期 \bar{C} , 然后再以边界 L_1 上的像素点为中心的窗口 $W'(K \times L)$ 内计算其纹理平均周期 \bar{C}' , 根据 \bar{C} 和 \bar{C}' 的相似程度判断该边界点是否增长。重复上述过程, 处理完边界上 L_1 的所有像素点, 完成边界 L_1 的校正。



(a) 平滑前自相函数

(b) 平滑后的自相函数

图 2 区域窗口相关函数分布

3.2 区域边界校正

区域边界的校正, 需要分别确定窗口 W 和 W' 内的纹理平均周期 \bar{C} 和 \bar{C}' , 从窗口自相关函数分布(图 2(a))可以看出, 自相关函数分布包含着窗口内的纹理粗糙度和方向信息, 而我们关心的是两窗口内纹理的粗糙度相似程度, 因此, 分别取窗口 W 和 W' 的自相关函数分布在 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 方向上相邻峰值距离的平均值来作为 W 和 W' 的纹理平均周期 \bar{C} 和 \bar{C}' , 以消除纹理方向对两窗口纹理平均周期

相似性判别的影响。为了准确定位自相关函数分布的峰值,首先采用高斯平滑方法^[5]得到光滑的自相关函数分布(如图2(b)),然后再计算 \bar{C} 和 \bar{C}' 值。

对于皮革图像 $f(x,y)$ 的臀部区域I,在窗口 W 和 W' 内分别计算其自相关函数 R 和 R' ,即

$$R(k,l) = \frac{\frac{1}{(K-k)(L-l)} \sum_{x=1}^K \sum_{y=1}^L f(x,y)f(x+k,y+l)}{\frac{1}{K \times L} \sum_{x=1}^K \sum_{y=1}^L f^2(x,y)} \quad (6)$$

式中, $x,y,x+k,y+l \in W$

$$R'(k,l) = \frac{\frac{1}{(K-k)(L-l)} \sum_{x=1}^K \sum_{y=1}^L f(x,y)f(x+k,y+l)}{\frac{1}{K \times L} \sum_{x=1}^K \sum_{y=1}^L f^2(x,y)} \quad (7)$$

式中, $x,y,x+k,y+l \in W'$

当选取的窗口 W 和 W' 较大时,采用下面两式分别计算 R 和 R' ,以提高运算速度。

$$R(k,l) = \frac{1}{KL} \left(\sum_{u=0}^{K-1} \sum_{v=0}^{L-1} F(u,v)F_0^*(u,v) \exp \left[i \left(\frac{2\pi ku}{K} + \frac{2\pi lv}{L} \right) \right] \right) \quad (8)$$

$$R'(k,l) = \frac{1}{KL} \left(\sum_{u=0}^{K-1} \sum_{v=0}^{L-1} F'(u,v)F'^*(u,v) \exp \left[i \left(\frac{2\pi ku}{K} + \frac{2\pi lv}{L} \right) \right] \right) \quad (9)$$

其中, $F(u,v)$ 、 $F'(u,v)$ 分别为窗口 W 和 W' 内 $f(x,y)$ 的离散傅里叶变换, $F^*(u,v)$ 、 $F'^*(u,v)$ 分别为 $F(u,v)$ 、 $F'(u,v)$ 的共轭函数。

由 R 和 R' 的分布分别统计出4个方向上的相邻峰值距离,进而计算出 \bar{C} 和 \bar{C}' 。为了衡量窗口 W 与 W' 内纹理平均周期 \bar{C} 和 \bar{C}' 的相似程度,定义 \bar{C} 和 \bar{C}' 的比值 η 作为相似度

$$\eta = \frac{\bar{C}'}{\bar{C}} \quad (10)$$

对于臀部区域I,边界点与质心的空间距离越大,则该边界点邻域内的纹理越粗糙,相应的窗口 W' 内 \bar{C}' 值越大。依据皮革分割经验知识选择区域相似度阈值 η_T ,作为边界点校正的判别标准,判别原则如下:

若 $\eta > \eta_T$,则说明边界点 (x,y) 邻域内纹理粗糙度超过允许的限度,边界点 (x,y) 应向区域内偏移,即边界点 (x,y) 校正为 $(x-1,y-1)$;

若 $\eta \leq \eta_T$,则边界点 (x,y) 应向区域外偏移, (x,y) 校正为 $(x+1,y+1)$;重复上述过程,直到边界

L_1 上所有像素满足 $|\eta - \eta_T| < \epsilon$ (ϵ 为误差容限)为止。

采用同样方法完成区域边界 L_2 和 L_3 的校正,在不同区域边界的校正过程中,用于判别的相似度阈值 η_T 是不同的,并且边界 L_2 和 L_3 的校正只需在背部区域II内进行,有效地减少了算法的计算量,同时又满足了不同区域的分割要求。

4 仿真试验

将半张皮革图像进行剪切并按比例缩小至 256×180 像素大小,在Matlab6.0环境下进行了仿真。首先用构造的比例模板(图1)进行粗分割,分割结果如图3所示。图4是在臀部区域质心窗口为 16×16 大小情况下的自相关函数分布,由图4可以看出,窗口的自相关函数分布中,相邻峰值间的距离并不均匀,无法得到单一的纹理基元周期。图5(a)~(d)分别给出了边界点对应的窗口 W' 内自相关函数在 0° 、 45° 、 90° 、 135° 方向上峰值分布。表1给出了分别以臀部区域质心和边界点为中心,不同大小窗口情况下,阈值 $\eta_T = 1.05$,误差容限 $\epsilon = 0.025$ 时,计算得到的臀部质心窗口和边界点窗口内的纹理平均周期、周期相似度及判别结果。图6为校正后的皮革图像区域边界,图7为曲线拟合后的皮革图像区域边界。

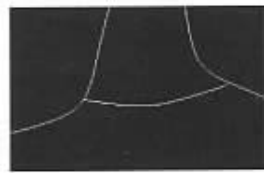


图3 粗分割后图像

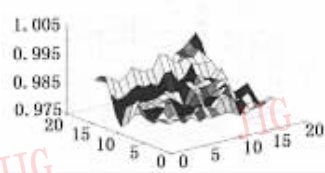
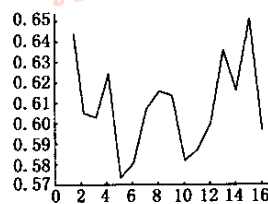
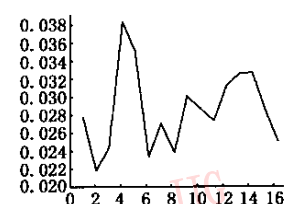


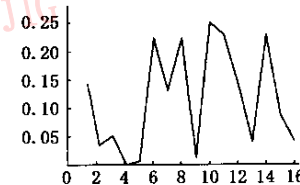
图4 16×16 窗口自相关分布



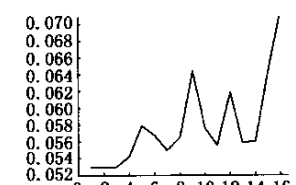
(a) 0° 方向



(b) 45° 方向



(c) 90° 方向



(d) 135° 方向

图5 不同方向的窗口自相关函数分布

表1 不同窗口大小的试验结果($\eta_r = 1.050, \epsilon = 0.025$)

窗口	\bar{C}	\bar{C}'	η	$\eta - \eta_r$	是否增长
8×8	2.685	2.876	1.071	0.021	增长
16×16	2.672	2.887	1.080	0.030	增长
32×32	2.683	2.912	1.086	0.036	增长
64×64	2.644	2.893	1.094	0.044	增长



图6 边界校正后图像



图7 曲线拟合后图像

从图6的校正结果看,校正后的区域边界变得不光滑,为了便于分割后的区域边界用于皮革切割,可采用曲线拟合法得到平滑的区域边界(图7)。分割试验表明,如果选择的窗口过大,计算速度较慢,窗口过小,窗口难以反映区域纹理平均周期特征,边界校正的误差较大,通过试验比较,窗口为 16×16 的情况下,边界校正效果和运算速度比较合理。

实际应用中,考虑到皮革图像尺寸较大,选取的窗口相应增大,算法的运算速度会降低,为了克服这一缺陷,可以对边界上相距一定间隔的像素点进行采样校正,以提高效率。

5 结论

对利用比例模板粗分割后的图像区域边界,采用自相关函数分布分别计算区域和边界点的窗口纹理平均周期,并以相似度阈值作为判别标准,对区域边界点进行循环校正,达到了准确分割皮革各部位区域的目的。仿真试验表明,这种基于比例模板和边界校正的皮革图像分割方法简单易行,能有效地提高皮革分割的效率和质量,减少了因人工技能不熟练造成的区域分割不合理现象。由于不同种类皮革的纹理差异较大,甚至来自不同地区的同一类皮革也存在差别,因此,要实现不同种类的皮革分割,需要构造相对应的比例模板,通过学习训练方法,取得不同类型皮革的区域纹理参数(包括相似度阈值、误差容忍等),实现不同类皮革的有效分割。

参考文献

- 1 Wang Z L, Guerriero A, Desario M. Comparison of several approaches for the segmentation of texture images[J], Pattern Recognition, 1996, **17**(5):509~521.
- 2 Kruizinga Peter, Nikolay Petkov. Nonlinear Operator for Oriented Texture[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, **8**(10):1395~1407.
- 3 Cross G R, Jain A K. Markov random field texture models[J], Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1983, **5**(1):25~39.
- 4 Luetzgen M R, Karl W C, Willsky A S, et al. Multiscale representations of Markov random fields[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, **41**(12):3377~3397.
- 5 Lin H C, Wang L L, Yang S N. Automatic determination of the spread parameter in Gaussian smoothing[J]. Pattern Recognition letters, 1996, **17**(12):1247~1252.



王小鹏 1969年生,2001年在兰州交通大学获通信与信息工程硕士学位,现在西北工业大学信号与信息处理专业攻读博士学位。感兴趣的研究方向为图像分析与识别、多媒体信息处理。



郝重阳 1940年生,教授,博士生导师,1964年于西北工业大学获学士学位,现任西北工业大学电子与信息工程研究所所长。研究领域为图像处理、模式识别和虚拟现实等。



樊养余 1960年生,教授,博士生导师,1999年在西北工业大学获博士学位,2002年南京航空航天大学控制科学与工程专业博士后出站。研究领域为图像处理、识别与虚拟现实等。

李志芳 1970年生,现为西北工业大学博士研究生。研究领域为图像处理和虚拟现实等。