

牛胸椎骨图像中软骨和硬骨区域的自动分割技术

刘木华^{1,2}, 赵杰文¹, 邹小波¹

(1 江苏大学生物与环境工程学院, 镇江 212013; 2 江西农业大学工学院, 南昌 330045)

摘 要: 研究了基于 Ohta 颜色空间的牛胸椎骨图像中软骨和硬骨区域自动分割技术, 这为应用计算机视觉评定牛肉的生理成熟度提供了条件。首先使用数码相机现场拍摄牛胸椎骨 RGB 格式图像传输到计算机内, 并转换到 Ohta 颜色空间, 然后对 Ohta 颜色系统的第二分量 (I_2) 和第三分量 (I_3) 图像进行二值化、形态腐蚀操作、扫描填充、面积阈值分割等一系列处理。这样, 可获得牛胸椎骨图像中软骨和硬骨的区域。研究结果表明, 图像处理方法自动分割牛胸椎骨图像中的软骨和硬骨是可行的, 为牛生理成熟度的计算机视觉自动检测打下了基础。

关键词: 牛胸椎骨图像; 图像分割; 图像处理; 计算机视觉; 生理成熟度; 自动检测

中图分类号: TP391.41; TS251.52

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2005)08-0110-04

刘木华, 赵杰文, 邹小波 牛胸椎骨图像中软骨和硬骨区域的自动分割技术[J]. 农业工程学报, 2005, 21(8): 110-113

Liu Muhua, Zhao Jiewen, Zou Xiaobo. Auto-segmentation of cartilage and bone areas in thoracic vertebrae images[J]. Transactions of the CSAE, 2005, 21(8): 110-113 (in Chinese with English abstract)

0 引言

牛肉胴体分级是依据各国的牛肉胴体等级标准对牛肉按产量级和质量级两个方面进行分级。它直接反映牛肉品质优劣, 无论对于生产还是消费都具有很好的规范和导向作用。牛肉质量级是牛肉胴体等级标准中的一个方面。它主要以人工观察经宰杀、冷却后牛肉胴体第 12~13 胸肋间眼肌切面处的大理石纹等级、肌肉颜色、脂肪颜色和牛的生理成熟度(牛胸椎骨棘突末端软骨的骨质化程度)为判定依据^[1,2]。

由于人工检测存在诸多的不足, 如工作环境恶劣、容易疲劳、受人的主观因素影响大等。目前, 应用计算机视觉技术检测牛肉胴体等级受到广泛的研究^[5-10]。在牛肉胴体的产量级检测中, 已有一些商业分级系统应用于生产, 如美国的 CV S 系统^[5]; 在牛肉胴体的质量级检测中, 有不少学者应用计算机视觉技术研究了牛肉大理石纹等级、肌肉颜色、脂肪颜色的检测^[3-5], 而对于生理成熟度的计算机视觉检测研究却很少, 文献表明, 目前只有美国的 Tan、Hatem 等人进行了初步的研究^[11,12]。生理成熟度是牛肉质量级判别的一个重要指标, 如果这方面的研究跟不上, 则不能实现牛肉质量级的计算机视觉综合检测。

应用计算机视觉判定生理成熟度的前提条件是需要将胸椎骨图像中软骨和硬骨区域分割出来并识别其骨质化程度, 这个分割与识别是非常困难的。Tan、Hatem 等^[6,7]利用 HSL 和 CIELab 颜色空间变换研究

了牛胸椎骨图像中软骨和硬骨的分割问题, 并探讨了生理成熟度的图像识别方法。本文利用 Ohta 颜色空间变换研究了牛胸椎骨图像中软骨和硬骨的自动分割问题, 以期将来进一步研究牛生理成熟度的图像识别方法找到一种更为简洁的分割方法。

1 材料与方法

试验所用的 50 幅牛胸椎骨图像分别来自江苏澳士达牧业发展有限公司、安徽灵璧荷金来肉牛有限公司。其反映的生理成熟度在 A 级(不超过 24 月龄)、B 级(24~36 月龄)、C 级(36~48 月龄)、D 级(48~72 月龄)、E 级(72 月龄以上)都有。牛胸椎图像通过尼康数码相机从生产线上获取, 照明用白色荧光灯, 用黑色硬卡纸作为背景。获得的图像输入到台式计算机中进行保存及处理。图像处理由自行初步设计的“牛肉等级计算机视觉检测系统”完成, 编程语言为 VC++ 6.0。

图 1 是一幅试验采集的牛胸椎骨图像。图中可看到软骨、硬骨和生产中切割时遗留的一些小面积白色脂肪。一般地, 用刀具正确切割出来的胸椎骨, 其表面不应粘附有脂肪或肌肉等干扰人眼正确观察软骨及硬骨的杂物。

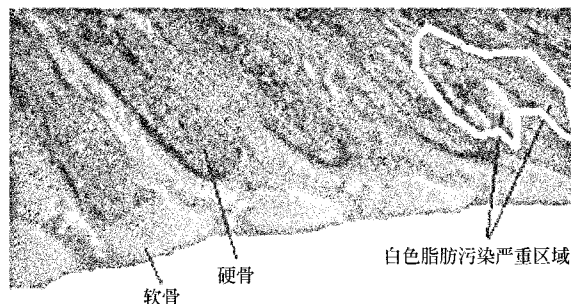


图 1 牛胸椎骨图像

Fig 1 Toracic vertebra image of beef

收稿日期: 2004-09-10 修订日期: 2005-04-20

基金项目: 国家高技术“863”计划资助项目(2002AA 248051)和国家自然科学基金资助项目(30370813)资助

作者简介: 刘木华, 博士, 江西农业大学工学院教授, 南昌 江西农业大学工学院, 330045。Email: suikehmh@sina.com

通讯作者: 赵杰文, 教授, 博士生导师, 镇江 江苏大学生物与环境工程学院, 212013, Email: zhao@ujs.edu.cn

2 图像分割

2.1 颜色系统的选择

专家判定牛生理成熟度的有效部位是棘突的软骨和硬骨区域(主要是胸椎骨中的最末三根胸椎)^[1,2]。对于生理成熟度为 A 级和 B 级的胸椎骨, 其图像中棘突末端软骨呈白色透明状; 生理成熟度 C 级以上的软骨已逐渐骨质化为红色, 所以一般看不到白色透明状的软骨(图 2); 当骨质化过程基本完成后, 软骨与硬骨融合在一起。在生理成熟度由 A 到 E 的变化过程中, 硬骨呈现的颜色以暗红色为主, 随成熟度不同稍为有所变化。胸椎骨表面其它组织区域与软骨、硬骨区域之间的颜色有一定的差别(图 1)。

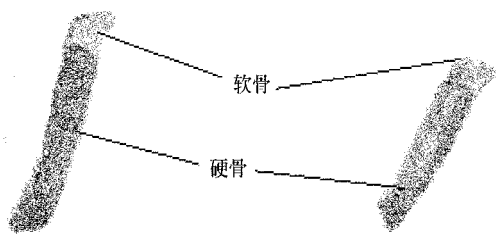


图 2 胸椎骨骨质化程度示意图

Fig. 2 Schematic of ossification of vertebra

通过上述分析可知, 利用颜色来分割软骨和硬骨应该是有效的图像分割方法。图像处理中常用的颜色分割系统有 RGB、HIS、CIE Lab、Ohta 等。Ohta 颜色空间是一种从图像统计性质出发实现的颜色系统, 它是 Ohta 等人从自然界多种物体的颜色中, 找出不同颜色的分布区域, 并且通过试验得出的适合多种彩色图像中颜色分割的 3 个正交特征量:

$$I_1 = \frac{R + G + B}{3}$$

$$I_2 = \frac{R - B}{2}$$

$$I_3 = \frac{2G - R - B}{4}$$

采用 Ohta 系统表示的颜色, 各颜色之间有良好的分割结果, 而且与 R、G、B 的变换简单, 它对图像彩色特征识别、边缘检测等都有很好的区分能力; 同时也能提高图像处理的速度, 防止由于非线性变换引起图像颜色的失真^[10]。因此本文选用 Ohta 颜色系统来分割牛胸椎骨图像中软骨和硬骨区域。

2.2 图像分割步骤

图 3 是软骨和硬骨自动分割步骤流程图。首先, 利用最大类间方差 (OSTU) 阈值分割法去除原始 RGB 彩色图像的黑色背景^[2,3]; 然后将 RGB 图像转换成 Ohta 颜色系统。通过试验比较后发现, Ohta 系统的第二颜色分量 I_2 能有效地分割出软骨区域, 而第三颜色分量 I_3 则能很好地分割出硬骨区域, 因此, 选择选择 I_2 分割软骨, I_3 分割硬骨。

下面以一幅生理成熟度为 A 级的牛胸椎骨图像(图 1)为例来说明软骨和硬骨的具体分割过程。

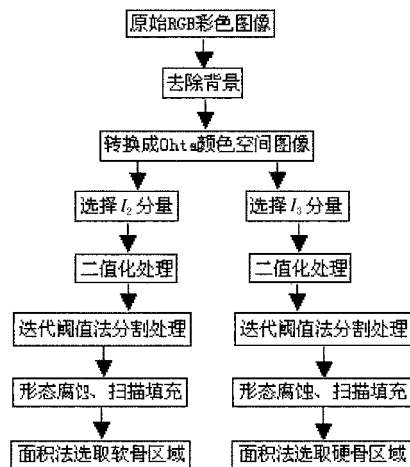


图 3 软骨和硬骨区域的分割流程图

Fig. 3 Main steps of the segmentation of cartilage and bone

2.2.1 Ohta 颜色空间的 I_2 、 I_3 分量图像及预处理提取

首先将胸椎骨图像转换 Ohta 颜色空间后, 然后分别提取 I_2 、 I_3 分量图像, 经灰度阈值分割及二值化后处理得主要含有软骨、硬骨区域的分割图像(图 4、5)。从图中可看出, 软骨、硬骨区域比较明显, 但也有许多斑点噪声。

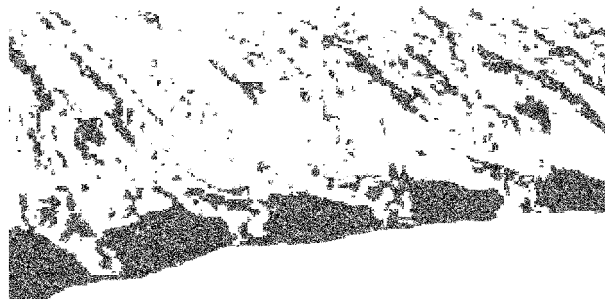


图 4 I_2 分量二值化图像

Fig. 4 Binary image of I_2

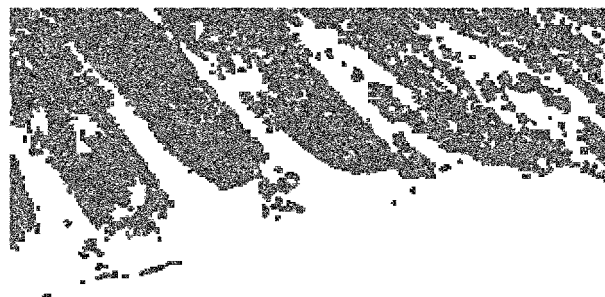


图 5 I_3 分量二值化图像

Fig. 5 Binary image of I_3

对二值化图像进行一次开启操作(即先腐蚀然后膨胀)处理, 目的是消去一些小斑点, 并且使各块软骨与硬骨区域相互分离得更清晰。开操作使用半径为 1 的结构元素。然后应用扫描填充算法将各个软骨与硬骨区域

内部的空洞消除。对图 4、5 处理的结果如图 6、7 所示。



图 6 开启操作和扫描填充后的 I_2 分量图像

Fig 6 Binary image of I_2 after opening and hole-filling

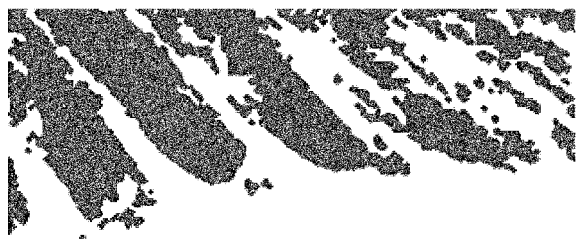


图 7 开启操作和扫描填充后的 I_3 分量图像

Fig 7 Binary image of I_3 after opening and hole-filling

2.2.2 软骨和硬骨区域的面积阈值法提取

从图 6、7 中软骨、硬骨区域与其它斑点噪声的对比可以看出, 软骨、硬骨区域面积明显大得多, 所以可用面积阈值法提取出软骨和硬骨区域。通过对各种生理成熟度等级的牛胸椎骨进行处理, 比较提取后的结果发现, 生理成熟度为 A、B 级和 C 级的胸椎骨图像都有面积较大的软骨区域, 但 C 级以上的胸椎骨软骨逐渐骨质化, 所以提取的软骨区域越来越容易受噪声干扰。为了使设计的系统有较好的鲁棒性能, 图像分割系统设定两个条件来判定是否提取软骨区域: 软骨区域必须处于图像实际区域下边界(不包括背景区域); 面积必须是图像区域中前 5 个最大的, 且大于 400 个像素(不同本试验条件拍摄的图像可能会有差别, 因此在设计实际检测系统时需重新标定)。按面积大小排序法提取软骨和硬骨区域。本文设定软骨和硬骨提取根数的条件: 软骨提取前 5 个面积区域, 硬骨提取前 4 个面积区域。这样能较好地保证提取出来的区域中包含有最末三根胸椎。

图 8、9 是经过面积法分割后的软骨和硬骨区域。图 8 中软骨区域旁边还粘连了一些非软骨和硬骨区域, 可以使用一次形态开启操作来进行消除, 结构元素仍然用的模板。



图 8 面积排序法提取的软骨区域

Fig 8 Cartilage region after segmentation by area sequencing

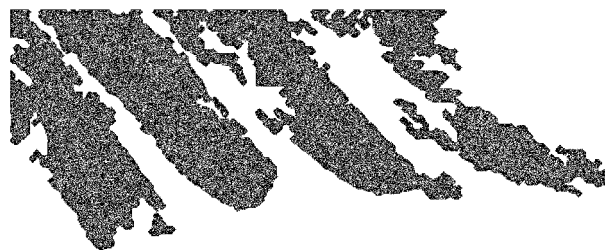


图 9 面积排序法提取的硬骨区域

Fig 9 Bone region after segmentation by area sequencing

2.3 图像分割效果讨论

图 9 提取的硬骨区域中, 由于最左边胸椎骨在刀具切割加工时留下了较大的干扰物(粘附有较大面积白色脂肪), 所以分割出来的区域不完整, 但该胸椎骨的其他大部分区域仍然分割出来了, 说明本文研究的方法是比较有效的。而对于无污染或污染很小的胸椎骨(如右边的三根胸椎骨), 本文提出的分割方法具有很好的分割效果。

对 50 幅胸椎骨图像的分割结果来看, 本文提出的方法对胸椎骨切割面好(无脂肪和肌肉粘附物)的 15 幅图像的软骨区域和硬骨区域都能很好地分割出来。但对表面存在较大面积白色脂肪和肌肉粘附物干扰的情况(图 10), 则不能有效地分割并判断软骨和硬骨区域, 因为这些干扰物的存在会使分割出的硬骨或软骨区域与实际区域之间产生很大的差异, 如把白色度好的脂肪区域误判为软骨, 红色肌肉区域误判为硬骨。



大面积的肌肉污染

大面积的白色脂肪污染

图 10 很难分割的样本

Fig 10 A sample difficult to segment

通过作者对多个肉品加工企业的实际生产过程观察, 胸椎骨表面有较多粘附物的现象非常普遍。表面粘附物大大提高了图像分割的困难, 很难设计出一种通用的算法。因此, 课题已进行的研究说明, 利用计算机视觉检测生理成熟度时, 对于表面有粘附物的样本要先清除干扰物后再来获取图像。Hatem 等人的研究也有相同的观点^[6]。

3 结 论

采用 Ohta 系统来表示牛胸椎骨图像, 软骨和硬骨区域的颜色之间有良好的可分割性。将 Ohta 系统的第二和第三分量图像经采用二值化、形态腐蚀操作、扫描填充、面积阈值分割等图像处理方法后能有效地分割出

软骨和硬骨区域。论文提出的方法对胸椎骨表面无粘附物的图像有很好的分割效果,但对有较多粘附物的图像分割效果不理想,因此,利用计算机视觉检测生理成熟度时,对于表面有粘附物的样本要先清除干扰物后再来获取图像。论文研究结果表明,采用图像处理方法自动分割牛胸椎骨图像中的软骨和硬骨区域是可行的,该研究结果为利用计算机视觉自动检测牛的生理成熟度提供了理论依据。

[参 考 文 献]

- [1] 周光宏 肉品学[M] 北京: 中国农业科技出版社, 1999
- [2] 周光宏, 张兰威, 李洪军, 等 畜产品食品加工学[M] 北京: 中国农业大学出版社, 2002
- [3] 赵杰文, 刘木华, 张海东 基于数学形态学的牛肉图像中背长肌分割和大理石纹提取技术研究[J] 农业工程学报, 2004, 20(1): 143- 146
- [4] 刘木华, 赵杰文, 张海东 基于模糊C均值聚类的牛肉图像中脂肪与肌肉区域分割技术[J] 农业工程学报, 2004, 20(2): 161- 163
- [5] Cannell R C, Belk K E, Wise J W, et al Online evaluation of a commercial video image analysis system (Computer Vision System) to predict beef carcass red meat yield and for augmenting the assignment of USDA yield grades[J] J Animal Science, 2002, 80(5): 1195- 1201.
- [6] Gerrard D E, Gao X, Tan J. Determining beef marbling and color score by image processing[J] Journal of Food Science, 1996, 61(1): 145- 148
- [7] Kazuhiko Shiranita, Kenichiro Hayashi, Akifumi Otsubo, et al Grading meat quality by image processing [J] Pattern Recognition, 2000, 33: 97- 104
- [8] Kazuhiko Shiranita, Kenichiro Hayashi, Akifumi Otsubo. Determination of meat quality using texture features[J] 2000, IEEE TRANS NF & SYST. Vol E83- D, No. 8
- [9] Fumito Yoshikawa, Kazuo Toraichi, Koichi Wada, et al On a grading system for beef marbling [J] Pattern Recognition Letters, 2000, 21: 1037- 1050
- [10] Hatan I, Tan J. Cartilage and bone segmentation in vertebra images[J] Transactions of the ASAE, 2003, 46(5): 1429- 1434
- [11] Hatan I, Tan J, Gerrard D E. Determination of animal skeletal maturity by image processing[J] Meat Science, 2003, 65: 999- 1004
- [12] Milan Sonka, Vaclav Hlavac, Roger Boyle 图像处理、分析与机器视觉(第2版)[M] 北京: 人民邮电出版社, 2002
- [13] Park B, Chen Y R. Intensified multispectral imaging system for poultry carcass inspection[J] Transactions of the ASAE, 1994, 37(6): 1983- 1988
- [14] Cross H R, Whittaker A D. The role of instrument grading in a beef value-based Marketing System [J] Journal of Animal Science, 1992, 70, 984- 989
- [15] Li J, Tan J, Martz F. Image texture features as indicators of beef tenderness[J] Journal of Meat Science, 43: 17- 22

Auto-segmentation of cartilage and bone areas in thoracic vertebrae images

Liu Muhua^{1,2}, Zhao Jiewen¹, Zou Xiaobo¹

(1. School of Biological and Environmental Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China;

2 Engineering College, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China)

Abstract: The automated segmentation of the cartilage and bone areas in the thoracic vertebrae images based on OHTA color systems was discussed in this paper. The thoracic vertebrae images were captured with digital camera and were saved in computer. The image in RGB format was first transformed into OHTA color system; then I_2 and I_3 values of OHTA system were effective in segmenting cartilage and bone areas, respectively. After applying binary image, morphological erodes, hole filling and area threshold on I_2 and I_3 images, the geometric properties of cartilage and bone were obtained. The results of this work contribute to the automatic computer vision system for beef maturity detecting and grading.

Key words: thoracic vertebrae image; image segmentation; image processing; computer vision; beef maturity; automatic detection