

基于边缘流的水平集牛胴体眼肌图像分割

赵文琦¹, 贾 渊¹, 彭增起²

(1. 西南科技大学, 四川 绵阳 621010;

2. 南京农业大学 农业部农畜产品加工与质量控制重点开放实验室, 江苏 南京 210095)

摘 要:牛肉在切割过程中常存在残留血液覆盖在脂肪表面,使得脂肪和肌肉对比减弱。针对生物体弱对比图像分割问题,采用了结合边缘流的水平集方法对牛肉眼肌图像进行分割,准确提取了眼肌边缘,分离出了眼肌内部脂肪与肌肉组织,准确率高。该方法避免了单纯边缘流算法提取边界不连续的问题,降低了水平集算法的迭代时间复杂度,避免了初始轮廓选取的主观性。并将实验结果与水平集方法进行了对比,基于边缘流的水平集方法避免了水平集方法在分割中小区域分割的准确性不高,不能准确分离脂肪与肌肉组织的弱点。实验结果证明,基于边缘流的水平集方法是对牛肉眼肌图像进行分割的有效新方法。

关键词:水平集;边缘流;方向概率;眼肌图像

中图分类号:TP39;TS251.5⁺2

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)04-0202-04

Level Set Segmentation Method Based on Edge Flow Technology Used in Rib-eye Image of Beef Carcass Segmentation

ZHAO Wen-qi¹, JIA Yuan¹, PENG Zeng-qi²

(1. Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China;

2. Ministry of Agriculture Key Laboratory of Agricultural and Animal Products Processing and Quality Control, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In beef cutting process, residual blood usually covered on the fat surface. It caused the fat and muscle's contrast weaken. In the view of biologic weak image segmentation question, used level set method based on edge flow technology to carry on the segmentation of rib-eye image of beef carcass. It extracted the edge of rib-eye image, separated the muscle and fat tissue accurately. The rate of accuracy is high. This method avoided the disadvantage of edge flow method which could't gain continuous edge. Also it debased the time complexity of level set method and avoided subjectivity of selecting initially contour. To contrast the experimental result with level set method, this method avoided the disadvantage of level set methods which couldn't separate the fat and muscle tissue accurately, get the edge clearly and the veracity is not high in small region. The experiment result shows that level set method based on edge flow technology is the new effective method for the segmentation of rib-eye image of beef carcass.

Key words: level set; edge flow; direction probability; rib-eye image

0 引 言

牛胴体眼肌图像的分割及大理石花纹的评定在实现牛肉的自动分级中至关重要。但牛肉图像是一种复杂的生物体弱对比图像,在牛肉的切割过程中,不可避免地会存在残留血液覆盖在脂肪的表面,造成血液对脂肪的污染,使得脂肪和肌肉的对比减弱。并且牛肉

本身存在的水分在图像采集过程中也不可避免地会存在因反光而造成的光斑。对于这种存在斑点噪声、与组织有关的纹理及其他噪声的生物体弱对比图像进行分割,具有一定的难度^[1]。

对牛胴体眼肌图像进行分割,采用常用的边缘检测技术难以得到理想的分割效果。Ma等人于2000年提出了基于边缘流的边缘检测算法^[2],这种方法综合了图像的色彩、纹理等信息,具有多尺度特性,对各种类型的图像都适用(纹理图像和非纹理图像)^[3]。解决了一直以来图像分割算法都是针对于一定的应用对象,根据应用对象的不同需要设计不同的分割算法的问题,提出了一种基本的图像分割架构。但边缘流方

收稿日期:2008-08-10

基金项目:国家863计划(2008AA10Z211SQ,2007AA10Z232224)

作者简介:赵文琦(1984-),女,硕士研究生,主要研究领域为机器视觉、图像处理技术;贾 渊,博士,副研究员,主要研究领域为图像处理、机器视觉技术。

法得到的边缘是不连续的,需要进行一定的后续处理来获取理想的分割边缘(边缘连接和区域合并)。Osher 和 Sethian 于 1988 年最先提出了水平集方法^[4]。目前水平集方法主要应用于医学图像的分割,适合于弱对比图像的处理,并且水平集方法适合于结构复杂,拓扑结构变化的图像分割^[5-7]。但采用水平集方法进行图像分割,依赖于初始轮廓的获取,并且计算复杂度高^[8,9]。将水平集与边缘流方法结合解决了边缘流方法在分割中边缘不连续问题,并且降低了水平集算法的计算复杂度。将其应用于牛胴体眼肌图像的分割中,得到了较满意的分割结果。

1 边缘流方法

1.1 边缘流理论

通常边缘流分为色彩边缘流、纹理边缘流和相位边缘流,边缘流向量是边缘能量和方向的函数。图像 $I(x, y)$ 中,在 s 处 θ 方向的边缘流向量定义为:

$$F(s, \theta) = F[E(s, \theta), P(s, \theta), P(s, \theta + \pi)] \quad (1)$$

其中 $s = (x, y)$, $E(x, \theta)$ 表示图像 $I(x, y)$ 中在 s 处 θ 方向的边缘能量, $P(s, \theta)$ 表示图像 $I(x, y)$ 在 s 处 θ 方向可能找到边缘的概率。

下面给出几个基本公式:

$$G_\sigma(x, y) = (1/(\sqrt{2\pi}\sigma)) \exp[-(x^2 + y^2)/2\sigma^2] \quad (2)$$

$$GD_\sigma(x, y) = \partial G_\sigma(x, y) / \partial x = -\frac{x}{\sigma^2} G_\sigma(x, y) \quad (3)$$

在 X 方向上的高斯差分可以表示为:

$$DOOG_\sigma(x, y) = G_\sigma(x, y) - G_\sigma(x + d, y) \quad (4)$$

d 表示了两个高斯核中心的距离,根据以上几个公式可以得到在不同的 θ 方向的高斯差分。

$$GD_{\sigma, \theta}(x, y) = GD_\sigma(x', y') \quad (5)$$

$$DOOG_\sigma(x, y) = DOOG_\sigma(x', y') \quad (6)$$

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta, y' = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (7)$$

综合色彩、纹理、相位信息,边缘流能量与方向概率可以通过以下公式来表示:

$$E(s, \theta) = \sum_{\alpha \in A} E_\alpha(s, \theta), w(\alpha), \text{ and } \sum_{\alpha \in A} w(\alpha) = 1 \quad (8)$$

$$P(s, \theta) = \sum_{\alpha \in A} P_\alpha(s, \theta), w(\alpha) \quad (9)$$

其中 $E_\alpha(s, \theta)$ 表示边缘能量, $P_\alpha(s, \theta)$ 表示了边缘的方向概率, $\alpha \in \{\text{灰度、色彩、纹理、相位}\}$, $w(\alpha)$ 表示基于 α 的权系数。

其中色彩边缘流能量和方向概率可以通过以下的公式计算:

$$E(s, \theta) = |I(x, y) * GD_{\sigma, \theta}(x, y)| \quad (10)$$

$$\text{Error}(s, \theta) = |I(x, y) * DOOG_{\sigma, \theta}(x, y)| \quad (11)$$

$\text{Error}(s, \theta)$ 表示预测误差,预测误差越大表示该

区域越可能存在边界。

$$P(s, \theta) = \frac{\text{Error}(s, \theta)}{\text{Error}(s, \theta) + \text{Error}(s, \theta + \pi)} \quad (12)$$

纹理边缘流能量和方向概率可以通过以下公式计算:

$$E(s, \theta) = \sum_{i=1}^N |m_i(x, y) * GD_{\sigma, \theta}(x, y)| \cdot w_i \quad (13)$$

$$\text{Error}(s, \theta) = \sum_{i=1}^N |m_i(x, y) * DOOG_{\sigma, \theta}(x, y)| \cdot w_i \quad (14)$$

$P(s, \theta)$ 运用公式(12)进行计算,其中 $N = S \cdot K$, S 是尺度, K 是方向数目, N 表示了滤波器的总数目, $m(x, y)$ 表示滤波器的振幅, $w_i = 1/M$, 归一化了 Gabor 滤波器不同子带边缘能量贡献, $M = \sum_{x, y} m_i(x, y)$ 是子带 i 的总能量^[10]。

相位边缘流能量和方向概率可以通过以下公式计算:

$$\text{Error}(s, \theta) = |\Phi(x + \alpha \cdot \cos \theta, y + \alpha \cdot \sin \theta) - \Phi(x, y) - \alpha \cdot \frac{\partial}{\partial n} \Phi(x, y) + 2\pi k(x, y)| \quad (15)$$

其中 $E(s, \theta)$ 通过 $\text{Error}(s, \theta)$ 来描述, $P(s, \theta)$ 通过公式(12)计算, $n = (\cos \theta, \sin \theta)$, $k(x, y)$ 是使得预测误差介于 $-\pi$ 到 π 的一个整数因子。

通过以上公式建立了边缘流(色彩边缘流、纹理边缘流、相位边缘流)边缘能量与方向概率之间的数学关系,通过边缘能量和方向概率来描述边缘矢量域。

1.2 边缘流一般性边缘检测算法

采用边缘流方法进行边缘检测的一般性算法如下:

(1)对每一个像素点计算其边缘能量,并估计相应的流方向;

(2)确定能量传递的方向和相邻点的选取,边缘能量得以不断的传递;

(3)如果下一个相邻点与当前点的方向相反,边缘能量停止传播,并且可以确定两点之间存在边界;

(4)边缘流传播达到一个稳定状态后,局部边缘能量聚集在最近的图像边界上,此时边缘能量定义为边界两边的流能量之和。

2 水平集方法

2.1 水平集理论

水平集将 n 维描述视为有 n 维变量的水平集函数 f 的水平集,将求解 n 维描述的演化过程转化为求解关于有 n 维变量的水平集函数 f 的演化所导致的水平集的演化过程。它是一种通过在固定坐标系下更新不同时刻的水平集函数来模拟曲线演化的一种全新的

求解几何曲线演化的方法。

定理 1 与实数 C 对应的 n 阶可微函数 $f: R^n \rightarrow R$ 的水平集是实点集, $\{(x_1, x_2, \dots, x_n) | f(x_1, x_2, \dots, x_n) = c\}$, 称可微函数 f 为水平集函数。

考虑在 t 时刻, 令动态曲线 $C(p, t)$, $0 \leq p \leq 1$, 对应于 $\Phi(x, y, t)$ 的零水平集为:

$$C(p, t) = \{(x, y) | \Phi(x, y, t) = 0\} \quad (16)$$

其中 Φ 为水平集。

曲线 C 沿单位法矢量 N 演化的偏微分方程为:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = FN \quad (17)$$

其中 F 是速度函数, 决定曲线上每一点的演化速度, $N = -\frac{\nabla \Phi}{|\nabla \Phi|}$, 把动态曲线 $C(p, t)$ 代入到水平集函数 $\Phi(x, y, t)$ 中得到 $\Phi(C(p, t), t) = 0$, 对时间 t 求导得:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + \Delta \Phi \frac{\partial C}{\partial t} = 0 \quad (18)$$

整理水平集方程得:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial t} + F |\nabla \Phi| = 0 \quad (19)$$

通过上面的方程, 得到了水平集函数及相应的水平集在法向力 F 的推动下的演化方程(式(19))。

基于上述的基本公式, 在处理曲线演化时, 按照曲线演化的规律, 在固定坐标系中不断更新水平集函数, 求解零水平集所在的位置, 便可以得到曲线演化后的形状, 通过多次迭代, 得到最终的分割结果^[11]。

2.2 基于水平集技术的牛肉图像处理方法

(1) 对牛胴体眼肌图像进行灰度化处理, 采用灰度化公式 $\text{avg} = 0.299 * r + 0.587 * g + 0.114 * b$, 对图像进行灰度化处理;

(2) 对图像进行高斯滤波, 并对图像求取高斯卷积。

高斯滤波:

$$G_\delta(x, y) = (1/(\sqrt{2\pi\delta})) \exp[-(x^2 + y^2)/2\delta^2] \quad (20)$$

高斯卷积:

$$\text{Cov}(x, y) = I(x, y) * [\partial G_\delta(x, y)/\partial x] \quad (21)$$

$I(x, y)$ 为原始图像;

(3) 对滤波后的图像, 根据滤波结果, 求取图像的梯度矢量场;

(4) 由梯度矢量场, 计算水平集推动力 F , F 由

$$F(x, y) = \frac{1}{1 + |\nabla G_\delta * I(x, y)|^2} \quad (22)$$

求得, 在 F 的推动下, 推进水平集的不断演化;

(5) 根据 F 计算边缘函数 $g(x, y)$, 其中

$$g(x, y) = \frac{1}{1 + F(x, y)} \quad (23)$$

(6) 设定水平集函数的迭代次数和给定水平集函数的初态;

(7) 根据设定的水平集函数初态, 按基本方程推演水平集的各个状态, 对水平集进行迭代演化, 推动曲线向边缘收敛;

(8) 抽取水平集曲面的零水平集作为曲线演化的最终结果。

3 实验结果及对比

图 1 所示是一副牛肉眼肌图像的切面图, 实验所采用的图像是 2003 年 12 月在山东凯银公司的车间现场拍摄的, 实验采用 VC++ 2005 作为开发平台。

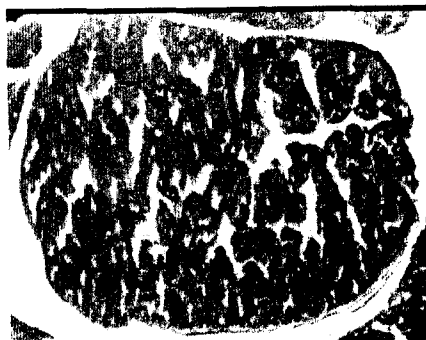


图 1 眼肌切面原图

3.1 基于边缘流的水平集技术实验结果

从实验结果中不难看出, 使用基于边缘流的水平集方法从牛胴体眼肌切面图(如图 1 所示)得到了边缘流矢量图(如图 2 所示), 并准确地提取了眼肌图像边缘, 得到的眼肌边缘较光滑, 并提取出了眼肌内部的脂肪组织和肌肉组织, 准确率较高(如图 3 所示)。针对牛肉这种复杂的生物体弱对比图像, 实验结果证明该方法具有一定的可行性与有效性。



图 2 边缘流矢量图

3.2 与水平集方法的实验结果对比

采用水平集方法(如图 4 所示)准确提取了眼肌边缘, 分割出了眼肌内部的脂肪和肌肉组织, 但是在图像上存在着一定的小点区域, 在对小点区域的分割处理上还不够理想。



图3 基于边缘流的水平集技术分割结果



图4 水平集方法分割结果

通过实验及结果对比,不难发现采用基于边缘流的水平集方法进行牛肉图像分割结果相对于水平集算法的分割结果理想,运用基于边缘流的水平集算法进行牛胴体眼肌图像的分割,从牛胴体眼肌切面图中准确地提取了眼肌边缘,并分离出了眼肌内脂肪组织和肌肉组织,准确率较高。解决了水平集方法在眼肌内部分割结果存在一定数量小点,小区域分割效果不够理想的问题。为生物体弱对比图像的分割提供了一种新的研究方法。但基于边缘流的水平集方法还存在一定的不足和有待改进的地方。

基于边缘流水平集方法存在的有待改进地方:

(1)分割结果中还存在极少数同质区域分开的情况,分割的准确率还有待提高;

(2)算法计算的时间复杂度高,算法效率有待提高。

4 结束语

图像分割算法是针对一定的应用背景设计的,迄今为止并没有一种图像分割算法具有通用性,适合于所有图像的分割,不同的应用对象需要根据不同的应

用背景设计不同的图像分割算法,进行图像处理。文中采用了基于边缘流的水平集技术进行牛胴体眼肌图像分割,充分利用了边缘流技术融合图像色彩、纹理、相位信息来进行图像分割(基本对所有图像均适用的优势),与水平集技术结合,解决了边缘流技术分割结果边界不连续的问题,同时降低了水平集技术的迭代时间复杂度和初始轮廓获取依赖主观经验的弊端传统方法进行牛肉图像分割存在着一定的不足,尤其是对生物体弱对比图像,难以得到理想的分割结果,运用基于边缘流的水平集方法进行牛肉眼肌图像的分割是解决眼肌分割难题的一种新的手段。

参考文献:

- [1] 林德贵,何建农,郑玉燕.基于分水岭的提升小波图像去噪[J].计算机技术与发展,2008,18(8):29-31.
- [2] Ma Weiyang, Manjunath B S. EdgeFlow: a technique for boundary detection and image segmentation[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(8): 1375-1388.
- [3] Martin D, Fowlkes C, Malik J. Learning to detect natural image boundaries using local brightness, color, and texture cues[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(4): 530-549.
- [4] Osher S, Sethian J A. Fronts propagating with curvature dependent speed: Algorithms based on Hamilton-Jacobi formulation[J]. Journal of Computational Physics, 1988, 79(1): 12-49.
- [5] Caselles V, Kimel R, Sapiro G. Geodesic active contours[J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 22(1): 61-79.
- [6] Xu C, Prince J. Snake, shapes, and gradient vector flow[J]. IEEE Trans Image Processing, 1998, 7(3): 359-369.
- [7] Chan T F, Vese L A. Active contours without edges[J]. IEEE Trans Image Processing, 2001, 10(2): 266-276.
- [8] 汪继文,林胜华,沈玉峰,等.一种基于各向异性扩散的图像处理[J].计算机技术与发展,2008,18(8):98-100.
- [9] 余健仪,郑胜林,潘保昌,等.基于改进的 snake 模型的嘴唇轮廓提取[J].计算机技术与发展,2008,18(8):95-97.
- [10] 吴晓红,罗代升,王正勇,等.基于边缘流的多尺度水平集砾岩图像分割[J].四川大学学报:工程科学版,2008, 40(1):133-137.
- [11] 金 联,张修如,胡树玮.基于遗传算法的水平集超声图像分割[J].计算技术与自动化,2007,26(1):126-128.

(上接第 201 页)

化设备,2004,24(8):9-13.

- [6] 徐立子.变电站自动化系统 IEC60870-5-103 和 IEC 60870-5-104 协议的分析和实施[J].电网技术,2002(4):36-37.

- [7] 任雁铭.基于嵌入式以太网的变电站自动化系统通信网络[J].电力系统自动化,2001,25(17):36-38.
- [8] IEC61850. Communication networks and systems in substations[S]. 1999.