

# 改进的规范割方法提取肉品图像中肌肉和脂肪<sup>①</sup>

李振江<sup>1</sup>, 贾 渊<sup>1</sup>, 彭增起<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(西南科技大学 计算机科学与技术学院, 绵阳 621000)

<sup>2</sup>(南京农业大学 食品科技学院, 南京 210095)

**摘要:** 肉品图像中脂肪与肌肉的精确提取是无损检测的关键技术之一, 针对这一问题, 在规范割方法 (Normalized cut, Ncut) 的基础上, 为了减少计算复杂度, 提出了一种改进算法。首先, 利用基于矩的阈值选择方法将肉品区域从背景中分割出来; 其次, 量化色彩等级, 为肉品区域创建彩色直方图; 最后, 计算彩色直方图的相似度矩阵, 并使用规范割做为谱聚类测度对直方图进行划分, 按照直方图划分结果提取肌肉和脂肪。实验表明, 和基于像素的谱聚类算法相比, 改进算法不但降低了计算复杂度, 且能有效提取肌肉与脂肪。

**关键词:** 规范割; 谱聚类; 彩色直方图; 肉品图像; 图像分割

## Extracting Muscle and Fat from Meat Image Using Improved Ncut

LI Zhen-Jiang<sup>1</sup>, JIA Yuan<sup>1</sup>, PENG Zeng-Qi<sup>2</sup>

<sup>1</sup>(College of Computer Science and Technology, Southwest University of Science and Technology, Mianyang 621010, China)

<sup>2</sup>(College of Food Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** The accurate extraction of fat and muscle from meat image is one of the key technologies in nondestructive test (NDT). To deal with this problem, based on the normalized cut(Ncut) method, in order to reduce the computational complexity, an improved algorithm has been put forward. Firstly, the basedmoment threshold selection method to separate the meat out from the background region. Secondly, the quantitative color grade creates the color histogram for the meat area. Finally, to calculate the similar matrix of color histogram, and exploit the normalized cut as a measurement of spectral clustering on dividing histogram, in the light of the consequence in histogram partition to extract muscle and fat. Experiments illustrate that to compare with the pixel-based spectral clustering algorithm, the improved algorithm does not only reduce the computational complexity, but also the optimum segmentation.

**Keywords:** normalized cut; spectral clustering; color histogram; meat image; image segmentation

在基于机器视觉的肉品无损检测中, 如何从图像中提取肌肉和脂肪是一个重点<sup>[1]</sup>。肉品图像是一种复杂的生物弱对比图像, 由于加工过程中血液对脂肪部分的污染, 容易引起误分割。同时在图像的采集过程中, 由于光源的方向、强度, 肉品表面的水份等原因, 会产生一些局部光斑, 使得肉品失真。对这种含有与组织有关纹理、存在斑点噪声及其他噪声的生物弱对比图像进行分割, 具有一定的难度<sup>[2]</sup>。国内外已有学者就这个问题进行了研究。Fumito<sup>[3]</sup>等人使用非参数判

别的阈值选择方法来分割肌肉和脂肪; Subbiah<sup>[4]</sup>等人使用凸包算法提取最长肌; 刘木华<sup>[5]</sup>等使用模糊 C 均值聚类来分割牛肉图像中的肌肉和脂肪; 伍学千<sup>[6]</sup>等使用 KFCM 和分水岭方法提取猪肉最长肌。这些方法都能对肉品图像中的肌肉和脂肪进行分割, 但都有待改进的地方。

谱聚类算法是基于谱图理论的一种新的聚类算法, 它计算数据之间的相似度矩阵, 使用矩阵特征值对应的特征向量进行分类, 不需要先验知识和近似模

① 基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(2008AA10Z211); 校博士基金(08zx7101)

收稿时间: 2010-10-11; 收到修改稿时间: 2010-11-22

型,有广泛的适用性。但是该算法在特征值求解时计算复杂度大<sup>[7]</sup>。在通常硬件条件下,对一幅常见的百万像素级图像无法直接使用,这极大限制了该方法的应用。

规范割方法(Normalized cut, Ncut)<sup>[8]</sup>是一种代表性的谱聚类方法,使用规范割做为谱聚类测度,能较好克服数据中的孤立点问题。为了降低该方法的计算复杂度,已有学者提出基于灰度直方图的改进算法<sup>[9,10]</sup>。在此基础上,本文把改进算法拓展到彩色直方图上,并对肉品图像进行分割,首先使用基于矩的阈值选择方法<sup>[11]</sup>二分图像消去背景,然后在HSV空间上对消去背景的肉品图像建立彩色直方图,针对直方图使用规范割方法提取肉品图像中的肌肉和脂肪。

## 1 图像分割中的谱理论

对于一幅图像,可以把它当作一个无向加权图 $G=(V,E)$ 。顶点集合 $V$ 代表了图像上的每个像素,边集 $E$ 代表了每两个像素之间的关系,给连接两个像素 $u$ 、 $v$ 的边赋予一定的权值 $w(u,v)$ 来表示两个像素之间的相似度。谱方法进行图像分割的目标就是把顶点集分割成若干不相交的子集 $V_1, V_2, \dots, V_k$ ,使子集内顶点的相似度最高,和其它子集中的顶点的相似度最低。对分割后的两个子图 $A$ 、 $B$ 来说,它们两之间的相似程度可以用 $A$ 、 $B$ 之间所有顶点连线权值的和来表示,称之为割(cut):

$$cut(A, B) = \sum_{u \in A, v \in B} w(u, v) \quad (1)$$

将(1)式最小化,就得到一种最优化准则,称之为最小割(Minimum cut, Mcut)<sup>[12]</sup>。用最小割准则进行聚类容易划分出孤立点,为了克服这个问题,Shi和Malik在最小割的基础上提出规范割划分准则。定义如下:

$$Ncut(A, B) = \frac{cut(A, B)}{assoc(A, V)} + \frac{cut(A, B)}{assoc(B, V)} \quad (2)$$

在(2)式中的两个分母 $assoc(A, V) = \sum_{u \in A, p \in V} w(u, p)$

与 $assoc(B, V) = \sum_{v \in B, p \in V} w(v, p)$ 表示了子集 $A$ 和 $B$ 与

图中所有顶点连线的权重之和。将式2最小化的划分方法就是图的最优划分。求解Ncut的最小化问题可以转化为求解以下特征系统的问题:

$$(D - W)x = \lambda Dx \quad (3)$$

$$L = D^{-1/2}(D - W)D^{-1/2} \quad (4)$$

即求解矩阵 $L$ 第二小特征值对应的特征向量,其

中 $W$ 是权值矩阵, $D$ 是对角线上元素 $\sum_{i=0}^{i=n-1} w(i, j)$ 为的对角阵。 $L$ 矩阵第二小特征值对应的特征向量就是图的一个最优二分<sup>[8]</sup>。

当图像尺度较大时, $L$ 矩阵的维度也随之增大。如果采用像素级的矩阵,就需要解一个 $N \times N$ 的矩阵( $N$ 为像素个数),计算复杂度非常高。同时由于 $L$ 矩阵第二小特征值一般都很小,微小的误差都会对计算造成极大的扰动,这些因素都限制了Ncut方法的应用<sup>[9]</sup>。

## 2 改进算法的提出

规范割方法的计算复杂度之所以高,就在于它将图像上每个像素点都做为单独的顶点进行计算,但是一幅图像是可以比像素点更为抽象的方式来描述的。陶文兵<sup>[9]</sup>等使用规范割对灰度直方图进行阈值划分,吴锐<sup>[10]</sup>等人对灰度直方图进行量化,之后再使用规范割进行阈值分割。这些方法都降低了计算复杂度,但是它们都只针对灰度图像进行运算。对于肉品图像这种具有丰富色彩信息的图像来说,本文提出一种改进算法,算法思路如下:

### 3.1 图像预处理

待分割的肉品图像是在光照箱中基于黑色背景拍摄的,因此预处理的第一步要去除肉品图像中的背景部分。通过对图像 $R$ 、 $G$ 、 $B$ 分量的灰度直方图分析<sup>[3]</sup>知, $R$ 分量直方图有明显的双峰特性,针对 $R$ 分量执行基于矩的阈值选择方法<sup>[11]</sup>分割背景和肉品。

在将图像二值化后,由于背景中某些斑点的反光,以及肉品中存在亮度较低的阴影区域,会出现一些局部的斑点及误分现象,此时可迭代使用中值滤波直到图像中没有小区域。最后得到图像中的肉品区域模板,将它和原始图像进行与运算,就可以得到没有背景的肉品图像。

### 3.2 彩色直方图

一幅灰度图像的颜色直方图实际上就是图像亮度的概率密度,对于彩色图像来说,就需要定义多个通道的联合概率密度<sup>[13]</sup>。一般来说,三维的颜色直方图是高维的向量数组,对于 $RGB$ 空间来说,就需要2563

个向量,再考虑到数组上的其它运算,计算代价极其庞大,因此对彩色信息的量化是必须的。研究表明,对每个通道取 10~20 的量化级别,就可以在保证色彩对比的情况下,降低运算量<sup>[14]</sup>。

分析肉品图像色彩特征可知,在 RGB 色彩空间较难将肌肉和脂肪区分<sup>[5]</sup>,本文选择更符合人眼视觉特征的 HSV 色彩空间创建彩色直方图。在创建彩色直方图时,各个通道的量化级别、由哪个通道做主色都对分割效果有很大的影响,需要针对具体应用,通过实验确定。最后还需要将彩色直方图归一化到 0~1 的区间范围内便于后续处理。

### 2.3 针对彩色直方图的规范割方法

一张 M 阶的彩色直方图是一个 2 维的有 M 个数据的集合。它的两个维度信息分别是色彩值及本色彩值出现的概率。将每个数据看成图 G 上的一个顶点,基于彩色直方图就可以创建一个 M 阶的权值矩阵 W,每两点间的权重定义如下:

$$w_{(i,j)} = e^{-\frac{\|X_{(i)} - X_{(j)}\|_2^2}{\sigma_x^2}} * \begin{cases} e^{-\frac{\|F_{(i)} - F_{(j)}\|_2^2}{\sigma_f^2}} & \text{if } \|F_{(i)} - F_{(j)}\|_2 < r \\ 0 & \text{other} \end{cases} \quad (5)$$

其中  $e^{-\frac{\|F_{(i)} - F_{(j)}\|_2^2}{\sigma_f^2}}$  表示了两个颜色在色彩方面的相似

度,当两个颜色之间的距离过远,即  $\|F_i - F_j\|_2 \geq r$  时,就直接认为这两个颜色之间的权重为 0。通过合理设置该值,就可以在控制权值矩阵 W 稀疏度的同时,又保留了相邻颜色间的相似信息。

$e^{-\frac{\|X_{(i)} - X_{(j)}\|_2^2}{\sigma_x^2}}$  表示了两个颜色在出现概率方面的相似度。在颜色邻近的前提下,概率越接近的颜色的相似度越高。

$\sigma_x^2$  和  $\sigma_f^2$  用来调整概率相似度和颜色相似度对于总权重的贡献度。

根据式(4)计算出矩阵 L 之后求解 L 矩阵的第二小特征值对应的特征向量 A,向量 A 是一个 M 维的向量,它的每一个分量对应了彩色直方图上的每一种颜色,其中值大于 0 的被归为一类,小于 0 的被归为另一类。

### 3 实验结果及分析

本文的相关核心算法使用 C++ 实现,在求矩阵特征值时,除了实现 Householder 变换法外,还使用了 CLAPACK 库。经验证以上方法运算时间远高于 matlab 中的方法,因此在矩阵求解时调用了 matlab 中的相关函数。图 1(a) 是一幅牛肉胴体眼肌图像,图像于 2003 年 12 月在山东凯银公司的车间现场拍摄,算法处理结果如图 1(b)~(g) 所示:

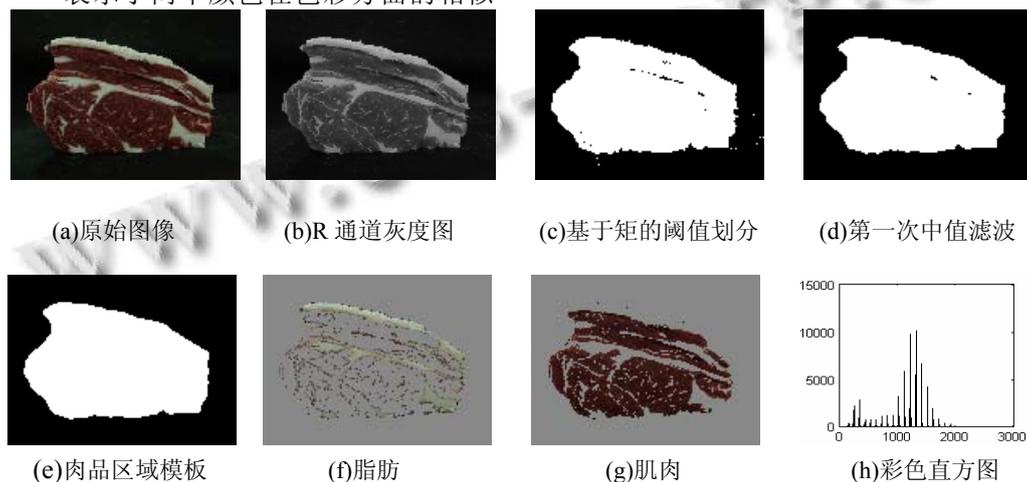


图 1 改进的规范割方法提取肉品肌肉和脂肪的过程

#### (1) 图像预处理

针对原始图像的 R 通道(图 1(b))依次使用基于

矩的阈值划分(图 1(c))和中值滤波(图 1(d))得到肉品区域模板(图 1(e)),从图中可以看到,肉品区域

被有效的从背景中提取出来。

(2) 基于 HSV 色彩空间创建彩色直方图。

在针对 HSV 色彩空间创建彩色直方图时,使用哪一个通道做为主色对划分结果有重要影响,图 2 显示了分别使用 H、S、V 三个通道做为主色的彩色直方图以及分割效果。

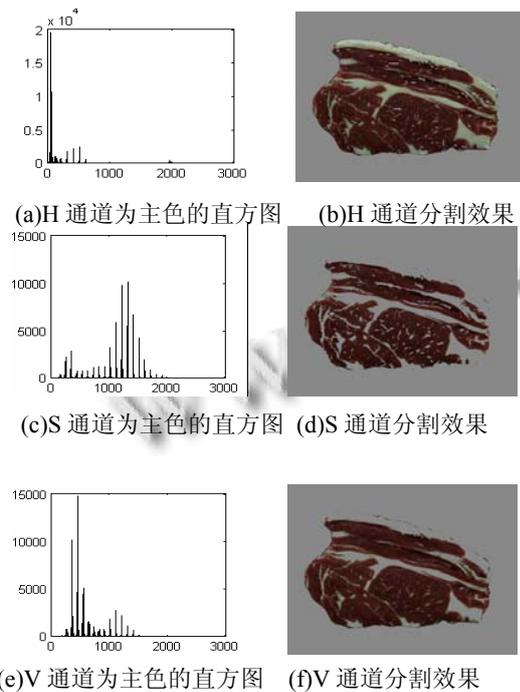


图 2 使用不同通道做的彩色直方图以及分割效果

如图 2 所示,使用 H 通道为主色的直方图无法区分肌肉和脂肪;使用 V 通道为主色的直方图(图 2(e))有双峰性质,但是只能提取出亮度较高的大面积脂肪,无法分割肌肉内部的大理石花纹;使用 S 通道为主色的直方图(图 2(c))有明显的双峰特征,同时也有良好的分割效果。这是由于肉品图像中肌肉和脂肪的饱和度差异明显所致(脂肪呈白色,饱和度接近 0,肌肉的饱和度较高),因此使用 S 通道做为主色创建直方图。在通道的量化级别上,根据文献[14]所述,将主色通道划分为 20 级,其余两个通道各划分为 10 级,创建一张 2000 维的彩色直方图。

(3) 针对彩色直方图使用规范割方法进行划分。

权值矩阵的参数  $r$  控制了求解时矩阵的稀疏程度,同时也确定了判断颜色是否相似的阈值,算法的运行效率和该值有很大关系。不同  $r$  值所需要的运算时间如表 1 示:

表 1 不同  $r$  值的 20 次平均计算时间

$r$ 值	1	3	5	7	10	25	35	50	75	100
时	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6
间	85	87	08	12	36	45	14	51	67	13
(s)	1									

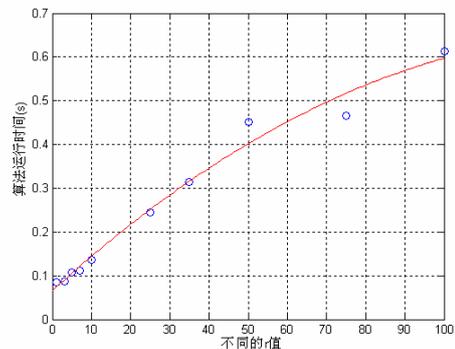


图 3 是使用表一数据做出的一张拟合曲线,从图中可知,计算时间和  $r$  值接近正比关系,随着  $r$  值的增大,曲线越发平缓。一般来说,较大的  $r$  值能更全面的反映直方图各个等级之间的关系,在实验中发现, $r$  取 3 时已经能较好的满足分割需求,进一步增大  $r$  值,分割的效果不会明显增加。

对于权重参数来说,由于直方图已经归一化到 0~1 的区间中,因此把它设置为 1。参数的取值和直方图的维度相关,实验中,将该参数设置为 20000。

将图 1(a)进行缩放,得到四张不同大小的图像(568×426、426×319、284×213、142×106),对这四张图像分别使用原始的 Ncut 方法、基于 RGB 空间的  $k$  均值聚类分割法以及本文方法进行分割,在本文的实验环境下(P4, 512M, WindowsXP)分割所需要的时间如表 2 所示:

表 2 Ncut、k-means 以及本文方法对不同大小图像分割所需要的时间 (s)

	568×426	426×319	284×213	142×106
Ncut	内存不足	内存不足	31.219	4.297
K-means	1754.062	603.518	70.797	2.594
本文方法	9.343	3.906	1.156	0.595

直接使用 Ncut 方法只能对较小图像进行分割,这是由于算法的空间复杂度太高( $O(n^2)$ ,  $n$  为图像中像素的个数),当图像大小增加时所需要的内存量急剧增大,实验的硬件平台无法满足要求。K-meas 方法的空间复杂度为  $O(n)$ ,但是在计算时需要多次遍历计算所

有  $n$  个数据和聚类中心之间的距离,因此当图像较大时算法非常耗时。本文方法使用了基于彩色直方图分割的方式,运算的空间复杂度是常数级(2000 维度),对较大图像也能应用,使用本文方法时不同大小图像耗时的差异主要体现在预处理环节上。

大量实验表明,本文提出的改进算法能准确提取牛肉图像中的脂肪和肌肉。之后,还使用本文算法对猪肉图像进行实验,由于猪肉图像中大理石纹理较少,牛肉和猪肉的色彩特征存在一定差异,分割效果不如牛肉图像。

#### 4 结论

基于图谱理论的图像分割方法把图像看作一个带权图,把像素看作图的顶点,构造顶点的邻接权值矩阵,然后通过分解权值矩阵的方法去寻求图谱划分的最优解,并利用其相应的特征向量对图中顶点进行分类,其最大的优势就在于理论完善,简明清晰,易于在不同应用背景下扩展,但同时其非常高的计算复杂度严重限制了它的直接应用。本文针对提取肉品图像中的肌肉和脂肪这一具体应用,首先消去图像背景,然后对肉品区域创建彩色直方图,最后基于直方图使用 Ncut 进行划分。相比于基于像素的 Ncut 方法,本文方法能够准确提取肉品图像中的肌肉和脂肪,并降低了计算复杂度。

下一步的工作方向有两点:

(1) 在建立直方图对彩色信息进行量化时,可以考虑对敏感的颜色区域增加颜色的量化级别。在保证总的色彩级别不变的前提下加强敏感区域对结果的影响。

(2) 本文中所有的计算参数都是通过实验确定,自适应的调整计算参数是一个研究的目标。

#### 参考文献

- 贾渊,姬长英,汤晓艳.基于计算机视觉的牛肉分级技术综述.农业工程学报,2004,20(5):47-50.
- 赵文琦,贾渊,彭增起.基于边缘流的水平集牛胴体眼肌图像分割.计算机技术与发展,2009,19(4):202-205.
- Fumito Y, Kazuo T, Koichi W, et al. On a grading system for beef marbling. Pattern Recognition Letters, 2000,21(12): 1037-1050.
- Subbiah J, Ray N, Krantzler GA, et al. Computer vision segmentation of the longissimus dorsi for beef quality grading. Transactions of the ASAE, 2004,47(4):1261-1268.
- 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和肌肉区域分割技术.农业工程学报,2004,20(2): 161-163.
- 伍学千,廖宜涛,樊玉霞,等.基于 KFCM 和改进分水岭算法的猪肉背最长肌分割技术.农业机械学报,2010,41(1):172-176.
- 高琰,谷士文,唐琰,等.机器学习中谱聚类方法的研究.计算机科学,2007,34(2):201-203.
- Shi JB, Malik J. Normalized cuts and image segmentation. IEEE TPAMI, 2000,22(8):888-905.
- 陶文兵,金海.一种新的基于图谱理论的图像阈值分割方法.计算机学报,2007,30(1):110-118.
- 吴锐,黄剑华,唐降龙,等.基于灰度直方图和谱聚类的文本图像二值化方法.电子与信息学报,2009,31(10):2460-2464.
- Reddi SS, Rudin SF, Keshavan HR. An optimal multiple threshold scheme for image segmentation. IEEE TSMC, 1984,14(4):661-665.
- Wu ZY, Leahy R. An optimal graph theoretic approach to data clustering: Theory and its application to image segmentation. IEEE TPAMI, 1993,15(2):1101-1113.
- 许法强,万晓霞.一种基于主色外观图的彩色图像分割算法.计算机应用研究,2008,25(1):313-315.
- 黄飞,吴敏渊,曹开田.基于 HIS 空间的彩色图像分割.小型微型计算机系统,2004,25(3):471-474.