

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 **1**  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年1月 第17卷 第1期(总第189期)

## 目 次

### 综述

压缩感知基本理论:回顾与展望 ..... 邵文泽, 韦志辉(1)

### 图像处理和编码

完全质量保持的 AVS 视频可逆信息隐藏算法 ..... 郭宝安, 陈彪, 张飏, 于志强, 张卫明(13)

多成分正则化约束的断层图像重建算法 ..... 王丽艳, 韦志辉, 李星秀(20)

基于单幅图像景深和大气散射模型的去雾方法 ..... 郭珈, 王孝通, 胡程鹏, 徐晓刚(27)

结合 NSS 和小波变换的无参考图像质量评价 ..... 金波, 李朝锋, 吴小俊(33)

结合区域分割和双边滤波的图像去噪新算法 ..... 杨学志, 徐勇, 方静, 卢洁, 左美霞(40)

种子像素滤波法去除随机脉冲噪声 ..... 单建华(49)

基于纹理和亮度感知特性的率失真优化策略 ..... 俞力克, 代锋, 张勇东, 林守勋(54)

单通道散焦模糊置换图像的盲分离 ..... 王伟, 方勇(62)

侧扫声呐图像的 3 维块匹配降斑方法 ..... 范习健, 李庆武, 黄河, 王敏(68)

新适应模型的提出及分类扩散 ..... 李彦宝, 姜广峰, 王治强, 刘薇(75)

### 图像分析和识别

从神经切片图像中识别功能束类型的研究 ..... 钟映春, 罗鹏(82)

融合 SPA 遮挡分割的多目标跟踪方法 ..... 丁欢, 张文生(90)

目标识别中的稳定图像特征组合发掘 ..... 姜永兵, 彭启民(99)

基于结构特征的高分辨率 TerraSAR-X 图像船舶识别方法研究 ..... 殷雄, 王超, 张红, 吴樊(106)

### 图像理解和计算机视觉

机器人的混合特征视觉环境感知方法 ..... 杨俊友, 马乐, 白殿春, 东俊光(114)

纹理分布分析的快速图像修复算法 ..... 张晴, 林家骏(123)

### 计算机图形学

圆的整数反走样生成算法 ..... 贾银亮, 张焕春, 经亚枝(130)

## 遥感图像处理

SAR 图像的快速核主成分分析识别方法 ..... 于红芸, 姜涛, 关键 (137)

基于图像内容层次表征的遥感图像分割方法 ..... 张学良, 肖鹏峰, 冯学智 (142)

## 地理信息技术

保持几何模式的城市道路路网简化方法 ..... 杨必胜, 张云菲, 栾学晨 (150)

# 中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健 月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 1 期

2012 年 1 月 16 日出版

**主管单位** 中国科学院  
**主 办** 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所  
**主 编** 李小文  
**编辑出版** 《中国图象图形学报》编辑出版委员会  
北京 9718 信箱 邮编 100101  
电子信箱: jig@irsa. ac. cn  
电话: 010-68407995 010-82614429  
网 址: www. cjig. cn

**印刷装订** 北京北林印刷厂  
**广告经营许可证** 京朝工商广字第 0346 号  
**总 发 行** 北京报刊发行局  
**订 购** 全国各地邮局  
**国外发行** 中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
(北京 399 信箱 邮编 100044)

**Superintended by** Chinese Academy of Sciences  
**Sponsored by** Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics  
**Chief editor** LI Xiaowen  
**Editor, Publisher** Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail: jig@irsa. ac. cn  
**Distributed by** Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals  
**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)  
**Printed by** Beijing Beilin Printing House

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 1 January 2012

## Contents

### Review

Advances and perspectives on compressed sensing theory ..... *Shao Wenze, Wei Zhihui*(1)

### Image Processing and Coding

Complete video quality-preserving reversible data-hiding based on AVS .....  
..... *Guo Bao'an, Chen Biao, Zhang Biao, Yu Zhiqiang, Zhang Weiming*(13)

Morphological component analysis for tomography reconstruction ..... *Wang Liyan, Wei Zhihui, Li Xingxiu*(20)

Single image dehazing based on scene depth and physical model ..... *Guo Jia, Wang Xiaotong, Hu Chengpeng, Xu Xiaogang*(27)

No-reference image quality assessment based on natural scene statistics and wavelet ..... *Jin Bo, Li Chaofeng, Wu Xiaojun*(33)

New filter based on region segmentation and bilateral filtering ..... *Yang Xuezhi, Xu Yong, Fang Jing, Lu Jie, Zuo Meixia*(40)

Removal of random-valued impulse noise based on seed pixels filter ..... *Shan Jianhua*(49)

Novel rate distortion optimization strategy based on perceptual properties of texture and luminance .....  
..... *Yu Like, Dai Feng, Zhang Yongdong, Lin Shouxun*(54)

Blind separation of single-channel permuted defocus blurred image ..... *Wang Wei, Fang Yong*(62)

Side-scan sonar image despeckling based on block-matching and 3D filtering ..... *Fan Xijian, Li Qingwu, Huang He, Wang Min*(68)

New well-posed model and classified diffusion ..... *Li Yanbao, Jiang Guangfeng, Wang Zhiqiang, Liu Wei*(75)

### Image Analysis and Recognition

Type recognition of fascicular groups from nerve slice image ..... *Zhong Yingchun, Luo Peng*(82)

Multi-target tracking approach combined with SPA occlusion segmentation ..... *Ding Huan, Zhang Wensheng*(90)

The mining of stable image feature-compositions in object recognition ..... *Jiang Yongbing, Peng Qimin*(99)

Vessel recognition with high resolution terraSAR-X image based on structure feature .....  
..... *Yin Xiong, Wang Chao, Zhang Hong, Wu Fan*(106)

### Image Understanding and Computer Vision

Robot vision environmental perception method based on hybrid features .....  
..... *Yang Junyou, Ma Le, Bai Dianchun, Toshimitsu Higashi*(114)

Fast image inpainting algorithm using color texture distribution analysis ..... *Zhang Qing, Lin Jiajun*(123)

### Computer Graphics

Integral algorithm for circle anti-aliasing ..... *Jia Yinliang, Zhang Huanchun, Jing Yazhi*(130)

### Remote Sensing Image Processing

SAR images recognition based on kernel principal component analysis ..... *Yu Hongyun, Jiang Tao, Guan Jian*(137)

Remotely sensed imagery segmentation based on the hierarchical representation of image content .....  
..... *Zhang Xueliang, Xiao Pengfeng, Feng Xuezhi*(142)

### Geoinformatics

Pattern preserving method for grid simplification in road networks ..... *Yang Bisheng, Zhang Yunfei, Luan Xuechen*(150)

中图分类号: TP391.9 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2012)01-0082-08

论文引用格式: 钟映春, 罗鹏. 从神经切片图像中识别功能束类型的研究[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(1): 82-89

# 从神经切片图像中识别功能束类型的研究

钟映春<sup>1</sup>, 罗鹏<sup>2</sup>

1. 广东工业大学自动化学院, 广州 510090; 2. 中山大学附属第一医院, 广州 510080

**摘要:** 提出一种采用多方向梯度及其二阶梯度描述神经切片图像的纹理特征, 进而识别神经功能束类型的方法。首先, 在神经切片图像随机选择一些像素, 获得这些像素在邻域范围内4个方向上的梯度和二阶梯度的变化曲线; 其次, 提取这些曲线的周期和幅值作为描述这些随机选择像素邻域的特征; 再次, 采用粗糙K均值算法对这些随机选择像素进行聚类处理, 从而把功能束区分为不同的类型; 最后, 分析了在此过程中两个参数对功能束类型区分结果的影响。实验结果表明, 所提出的纹理特征描述方法可以准确区分神经切片图像中不同类型的功能束, 所提出的识别算法不仅能有效识别神经功能束的类型, 而且识别结果与所需设置的参数无关, 因此, 具有较强的适应性。

**关键词:** 切片图像; 纹理; 多方向梯度; 神经功能束

## Type recognition of fascicular groups from nerve slice image

Zhong Yingchun<sup>1</sup>, Luo Peng<sup>2</sup>

1. Faculty of Automation, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China;

2. The First Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China

**Abstract:** An approach to recognize types of fascicular groups from nerve slice image by the gray level multi-direction gradient and its 2nd derivative gradient is proposed in this paper. First, some pixels are selected arbitrarily from a slice image and the gray level multi-direction gradient and the 2nd derivative gradient of their neighborhood areas are calculated. Then the frequency and amplitude of the multi-direction gradient and 2nd derivative gradient curves are extracted as the texture features of the arbitrarily selected pixels neighborhood. Second, the algorithm for recognizing the types of fascicular groups in nerve slice image is proposed based on the improved rough K-means clustering. The parameters influencing the recognition results are analyzed. The experimental results show that the approach can not only classify the types of fascicular groups accurately but the recognizing results are unrelated with the parameters, which reflect its good adaptivity.

**Key words:** slice image; texture; multi-direction gradient; nerve fascicular groups

## 0 引言

神经损伤修复愈后效果差、致残率高, 一直是外科临床上的难题。最理想的修复把相同类型的神经功能束对接。目前暂无较好解决这个难题的报道。

在计算机中实现神经的3维可视化使得对接相同类型的神经功能束成为可能, 因而成为当前的研究热点之一<sup>[1]</sup>。

在神经中含有运动与感觉两种纤维成分, 某个功能束又是以占相对优势的一种纤维为主要成分。现有的关于神经感觉与运动功能束类型识别方法主

收稿日期: 2011-01-06; 修回日期: 2011-04-29

基金项目: 广东省科技计划项目(2010A030500006)

第一作者简介: 钟映春(1973—), 男, 副教授, 2003年于广东工业大学获控制科学与工程专业博士学位, 主要研究方向为模式识别与图像处理。E-mail: gdut\_zye@qq.com

要有:1)解剖组织学形态定位法,由于该法对神经功能束不能直接显示,故精确度不高;2)电刺激法,限于新鲜损伤且个体差异大,临床应用受到限制;3)放射生物化学法,因涉及同位素技术,设备要求高,代价大,实用性不大;4)酶组织化学法,即用乙酰胆碱酯酶组化法标记运动纤维以区分功能束。该方法对于陈旧性损伤往往难于鉴别,因为神经切断后,远端神经乙酰胆碱酯酶活动逐渐减少,两星期后很难检测到,另外其操作的复杂性和占用时间太长限制了其临床应用;5)免疫学方法,包括免疫组化方法和显微喇曼光谱方法。这种方法由于需要特殊设备,在实现上有很多困难<sup>[2]</sup>。由于这些方法各自的不足,因而对于对接相同类型的神经功能束的意义有限。通过制备神经切片图像,进而在切片图像上识别功能束的类型,不仅实现方法简单,识别可靠快速,而且还可以通过在此基础上的神经3维可视化观察到功能束的走形和测量功能束间的距离。

通过制备神经切片并采集图像,在计算机中3维重建神经功能束的走形是目前神经3维可视化的主流方法<sup>[3-4]</sup>。DTI方法(弥散张量成像)虽然在脑部神经的研究中得到应用,但是由于图像的分辨率不高,难以观察到神经纤维中功能束的走形变化,因此难以应用于神经功能束的3维可视化研究。

本文通过切片的制备,得到一段腓神经的一系列切片,切片间距0.1 mm,采用甲苯胺蓝对切片染色后,用M-Shot成像系统拍摄切片,再经过拼接处理,得到的神经切片图像之一如图1所示,分辨率为1 024 × 768 像素。在图像中呈现离散像素状分布且又聚集在一起面积较大的深色像素群,代表的就是神经功能束。在图1中对每个功能束标注了一个字母。图像边缘部分的黑色区域是图像拼接时形成的。

在图1中,既有以感觉纤维为主的功能束(在图像中颜色比较深的功能束),又有以运动纤维为主的功能束(在图像中颜色比较浅的功能束),还有既包括感觉纤维又包括运动纤维的混合功能束(在图像中表现为浅色像素群中有少数深色像素存在)。目前暂时没有通过神经切片图像实现功能束类型识别或者分类的文献见诸报道。采用图像处理与模式识别方法对神经切片图像中的功能束进行分类区分,由于是根据切片图像内在的性质判断功能束的类型,因此,即使对不同的切片图像进行处理也可以得到一致性的判定结果。这对于神经修复时对

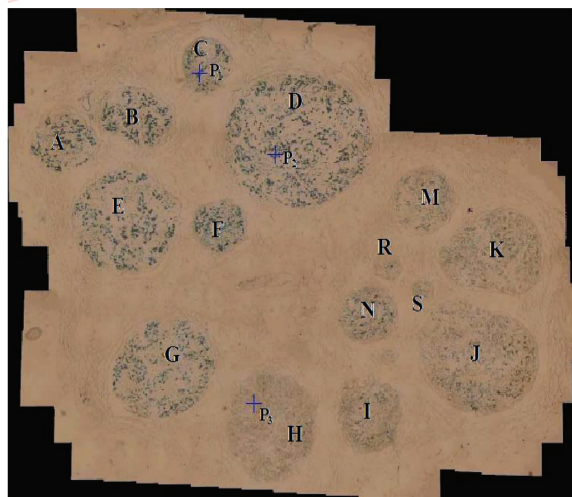


图1 神经切片图像之一

Fig. 1 One nerve slice image

接相同性质功能束具有重要意义。

本文提出采用多方向梯度<sup>[5]</sup>及其二阶梯度的方法描述神经切片图像的纹理特征,进而实现神经功能束类型的识别。首先,在切片图像中随机选择一些像素,根据梯度的定义,获得这些像素在一定范围邻域内,在0°、45°、90°、135°方向上的灰度梯度和二阶梯度变化曲线,并提取这些曲线的周期和幅值作为这个像素邻域的特征描述,在此基础上定义了随机选择像素邻域的纹理特征矩阵的结构;其次,提出识别神经功能束类型的算法;最后,分析本文所提出算法中两个参数对识别结果的影响。

## 1 图像子块的纹理特征描述

分析表明,在神经切片图像中功能束区域的像素呈现明显的纹理性质,即功能束区域的像素在局部区域呈现不规则性,而在整体上表现出某种规律性<sup>[6]</sup>。目前对图像纹理特征的常用描述方法主要有灰度直方图方法、自相关方法、小波变换方法、灰度共生矩阵方法等<sup>[7-11]</sup>。这些方法用于识别神经功能束类型时,都存在人为设定阈值、分辨率不高等不足。为此,本文采用多方向梯度及其二阶梯度曲线的特征描述神经切片中某个像素邻域内的特征。

### 1.1 像素邻域内的多方向梯度及其二阶梯度

对于一幅有 $M \times N$ 个像素、采用RGB颜色模型的图像 $f$ ,随机选择图像中某个坐标为 $(m, n)$ 的像素,令其 $2r + 1$ 的邻域为 $S$ ,其中 $r \geq 5$ ,则该像素在邻域内0°方向上的灰度梯度为

$$G(i, n, k) = f(i, n, k) - f(i - 1, n, k) \quad (1)$$

式中,  $i = (m - r + 1), \dots, (m + r); k = 1, 2, 3$  分别代表颜色层  $R, G$  和  $B$ 。

以此类推, 该像素在邻域内  $90^\circ$  方向上的灰度梯度为

$$G(m, j, k) = f(m, j, k) - f(m, j - 1, k) \quad (2)$$

式中,  $j = (n - r + 1), \dots, (n + r)$ 。

该像素在邻域内  $135^\circ$  方向上的灰度梯度为

$$G(i, j, k) = f(i, j, k) - f(i - 1, j - 1, k) \quad (3)$$

式中,  $i = (m - r + 1), \dots, (m + r); j = (n - r + 1), \dots, (n + r)$ 。

该像素在邻域内  $45^\circ$  方向上的灰度梯度为

$$G(i, j, k) = f(i, j - 1, k) - f(i - 1, j, k) \quad (4)$$

式中,  $i = (m - r + 1), \dots, (m + r); j = (n + r), \dots, (n - r + 1)$ 。

取各个方向灰度梯度相对应的梯度, 即可得二阶梯度。

该像素在邻域内  $0^\circ$  方向上的二阶梯度为

$$G_2(i, n, k) = G(i, n, k) - G(i - 1, n, k) \quad (5)$$

式中,  $i = (m - r + 2), \dots, (m + r)$ 。

该像素在邻域内  $90^\circ$  方向上的二阶梯度为

$$G_2(m, j, k) = G(m, j, k) - G(m, j - 1, k) \quad (6)$$

式中,  $j = (n - r + 2), \dots, (n + r)$ 。

该像素在邻域内  $135^\circ$  方向上的二阶梯度为

$$G_2(i, j, k) = G(i, j, k) - G(i - 1, j - 1, k) \quad (7)$$

式中,  $i = (m - r + 2), \dots, (m + r); j = (n - r + 2), \dots, (n + r)$ 。

该像素在邻域内  $45^\circ$  方向上的二阶梯度为

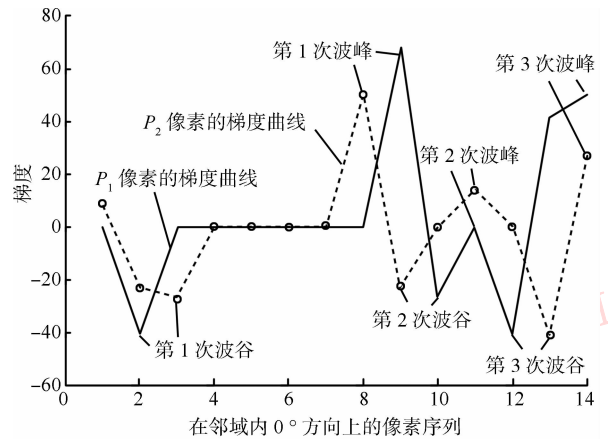
$$G_2(i, j, k) = G(i, j - 1, k) - G(i - 1, j, k) \quad (8)$$

式中,  $i = (m - r + 2), \dots, (m + r); j = (n + r), \dots, (n - r + 2)$ 。

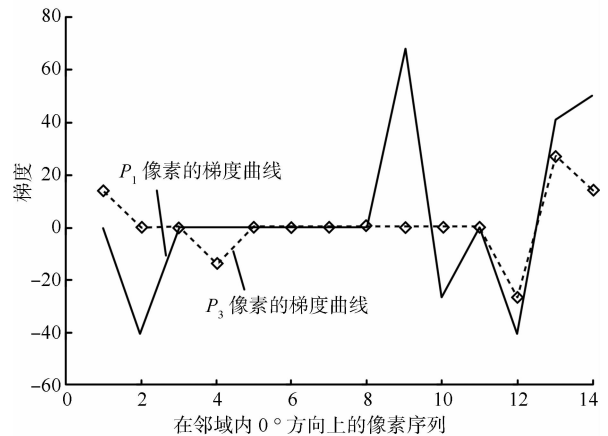
## 1.2 采用多方向梯度及其二阶梯度描述纹理特征的可行性

对于切片图像中具有相同纹理特征的任意两个像素而言, 它们在相同邻域范围内灰度变化的快慢应该是基本相同的, 即它们的梯度是相近的, 而且二阶梯度也应该是基本相同的, 这样它们才会具有相同的纹理特征, 即表现出来的灰度变化和梯度变化是类似的。以图 1 中在切片图像中感觉功能束区域的  $P_1$  和  $P_2$  两个像素和位于运动功能束区域的  $P_3$  像素为例, 采用 RGB 颜色模型, 计算它们在  $0^\circ$  方向上的  $R$  色层灰度梯度并显示于同一坐标图中, 当邻域尺寸  $r = 7$  时, 结果如图 2 所

示。从图 2(a) 可见, 虽然图 1 中  $P_1$  和  $P_2$  两个像素位于不同的功能束区域, 它们的灰度值也各不相同, 但是它们在  $0^\circ$  方向上的灰度梯度变化曲线是基本一致的, 即波峰与波谷出现的数量基本相同, 波峰之间的间隔即周期基本相同, 波峰的幅值差别不大。两条曲线之间只是存在一定的相位差, 而这个相位差只是由起始像素的灰度差异导致。从图 2(b) 可见,  $P_1$  和  $P_3$  像素在邻域的梯度曲线完全不同, 不仅曲线幅值差异大, 而且曲线变化的周期、波峰出现次数也明显不同。



(a)  $P_1$  和  $P_2$  像素在邻域内的梯度曲线



(b)  $P_1$  和  $P_3$  像素在邻域内的梯度曲线

图 2  $P_1, P_2$  和  $P_3$  像素在  $r = 7$  邻域内  $0^\circ$  方向上梯度曲线的对比

Fig. 2 Comparison of gray level gradient curves of pixels  $P_1, P_2$  and  $P_3$  in the neighborhood of  $r = 7$  with the direction of  $0^\circ$

对图 1 的  $G$  色层和  $B$  色层进行分析, 以及对功能束区域和底色区域进行分析可以得到相同的结果。因此, 采用多方向梯度及其二阶梯度对纹理特征进行描述, 即具有相同纹理特征的区域, 它们的多方向梯度及其二阶梯度具有基本相同的周期、波峰

数量和幅值。采用多方向梯度及其二阶梯度对纹理特征进行描述,不仅具有类似于灰度共生矩阵中对灰度在4个方向出现次数进行统计的特征,即包含了统计方法的描述,而且对纹理的灰度一阶微分和二阶微分的频率和幅值描述,即同时包含了频域方法的描述。

### 1.3 纹理特征矩阵的构建

根据1.1节中给出的多方向梯度及其二阶梯度,可以构建图像中任意一个像素在一定邻域范围内的纹理特征向量,这些特征向量集成在一起就构成了图像的特征矩阵。

由于采用傅里叶变换获取多方向梯度及其二阶梯度曲线的基波和谐波周期需进行大量计算,在本文中多方向梯度及其二阶梯度曲线的最大幅值和次大幅值,及平均波峰时间间隔作为参数对某条梯度或者二阶梯度曲线进行描述。这样,对于某个随机选择像素的邻域而言,共有8条梯度曲线(4个方向的梯度曲线和4个方向二阶梯度曲线),每条梯度曲线用3个参数描述,采用RGB颜色模型时共有3个色层,因此,描述该随机选择像素邻域的特征数量为 $8 \times 3 \times 3 = 72$ 。把所有随机选择像素的特征向量集成在一起可以得到一个72维的特征矩阵。

## 2 功能束类型的智能识别

在建立起特征矩阵的基础上,需要实现自动的把各个特征向量分类。由于神经切片图像像素总数多达100万,如果把它们全部用来构建特征矩阵,那么在分类过程中所花费的时间将长达数个小时。因此,需要设计合理的算法提高运行速度。此外,良好的分类方法是通过计算自动产生分类的阈值,而不是人为设定。这样的算法才有比较强的适应性。为此本文提出功能束的自动分类算法。

### 2.1 功能束类型识别算法

1) 在彩色神经切片图像中随机选择一定数量的像素。

2) 根据设定的邻域尺寸,按照1.3节中描述的构建每个随机选择像素的特征向量,把这些特征向量合并成为一个特征矩阵。

3) 采用粗糙K均值算法<sup>[12]</sup>对这些随机选择像素的特征矩阵进行聚类处理,聚类类别的数目为5,分别表示以感觉纤维为主的功能束,以运动纤维为主的功能束、混合功能束、底色、边界。

4) 根据分类的结果和设定的邻域尺寸,把各个功能束分别提取到不同的图像中。

### 2.2 粗糙K均值聚类算法

在2.1节的算法中,采用粗糙K均值聚类算法。目前聚类算法很多,选择粗糙K均值聚类算法的原因在于,粗糙K均值算法不仅具有K均值算法简单高效的特点,而且结合了粗糙集的理论,使得在聚类边界元素的处理方面效果良好。更重要的是,这个方法中的3个参数可以依靠算法自动产生,避免了人为设置的影响。粗糙K均值算法的过程如下:

首先,在经典的K均值的算法基础上,采用粗糙集对其聚类中心的计算公式进行改进。

当 $\bar{R}(X) - R(X) \neq \emptyset$ 时,

$$X_j = \omega_{\text{lower}} \times \frac{\sum_{v \in \bar{R}(X)} v_j}{|\bar{R}(X)|} + \omega_{\text{upper}} \times \frac{\sum_{v \in R(X)} v_j}{|R(X)|} \quad (9)$$

当 $\bar{R}(X) - R(X) = \emptyset$ 时,

$$X_j = \omega_{\text{lower}} \times \frac{\sum_{v \in \bar{R}(X)} v_j}{|\bar{R}(X)|} \quad (10)$$

式中,元素 $v$ 为一个 $p$ 维的特征向量, $X$ 表示某一类集合, $X_j$ 表示类别 $X$ 的聚类中心, $\omega_{\text{lower}}, \omega_{\text{upper}}$ 分别为下近似和上近似的相对重要度, $R$ 表示非空集合的一个等价关系。

其次,在改进聚类中心的基础上,对聚类规则进行改进。设 $q$ 个元素被分为 $k$ 类,元素 $v$ 到第 $i$ 类中心 $X_j$ 的距离表示为 $d(v, X_j)$ ,那么差值 $d(v, X_j) - d(v, X_i) (1 \leq i, j \leq k)$ 可以用来确定元素 $v$ 对某一聚类的下近似和上近似的隶属度,则聚类规则修改为:1) 设 $d(v, X_i) (1 \leq i \leq k)$ 最小,若存在某种情况的 $(i, j)$ ,使得 $d(v, X_j) - d(v, X_i) \leq T$ ,则元素 $v$ 是边界域元素,即 $v \in \bar{A}(X_i)$ 且 $v \in \underline{A}(X_j)$ ,表示元素 $v$ 既属于 $X_i$ 类,又属于其他类别;2) 设 $d(v, X_i) (1 \leq i \leq k)$ 最小,若不存在某种情况的 $(i, j)$ ,使得 $d(v, X_j) - d(v, X_i) \leq T$ ,则元素 $v$ 是确定属于第 $i$ 类的元素,即 $v \in \underline{A}(X_i)$ ,表示元素 $v$ 只属于 $X_i$ 类。

再次,由上面对算法的改进描述可见,粗糙K均值的计算依靠3个参数: $\omega_{\text{lower}}, \omega_{\text{upper}}$ 和阈值 $T$ 。这

3个参数可以通过以下方法计算获得,从而避免人为设置。

1) 计算所有  $q$  个元素与  $k$  个聚类中心的欧氏距离,得到距离矩阵  $d(i,j)$ 。

2) 找出距离矩阵中每行的最小值  $d_{\min}(i)$ 。

3) 计算每个元素同其他类别中心距离与最小距离  $d_{\min}(i)$  的差值,得到差值矩阵  $d_l(i,j)$ 。

4) 找出差值矩阵中每行除了 0 以外的最小值  $d_s(i)$ 。

5) 阈值  $T$  的取值为这些最小值的均值  $d_s^{\text{mean}}(i)$ 。

其中,  $i = 1, 2, \dots, q; j = 1, 2, \dots, k$ 。

为了均衡位于边界域元素的数量,当下近似集合中的元素较少时,需要适当增大下近似相对重要度,否则下近似的类中心容易被忽略。当边界域的元素较少时,上近似的相对重要度就应该适当大一些。因此,可以用上、下近似的元素个数来衡量它们的相对重要度的比例,即

当  $A(X_i) \neq \emptyset$  时,

$$\frac{\omega_{\text{lower}}(i)}{\omega_{\text{upper}}(i)} = \frac{|\bar{A}(X_i)|}{|A(X_i)|} \quad (11)$$

式中,  $|\cdot|$  表示计算其内部的数量。

当  $A(X_i) = \emptyset$  时,

$$\omega_{\text{lower}}(i) = 0, \quad \omega_{\text{upper}}(i) = 1$$

由于上、下近似集的相对重要度存在以下关系

$$\omega_{\text{lower}}(i) + \omega_{\text{upper}}(i) = 1 \quad (12)$$

因此,联立式(11)(12)可以计算得到下、上近似集的相对重要度  $\omega_{\text{lower}}, \omega_{\text{upper}}$ 。

### 3 功能束类型识别的结果与分析

本文中处理图像的硬件平台为 CPU Intel Core 2 Duo E8500, 主频 3.16 GHz, 内存 2 GB, Windows XP 操作系统, 编程软件为 MATLAB 2009B。经过上述算法处理之后的切片图像如图 3 所示。实验中,邻域尺寸为  $r = 11$ , 随机选择像素数量为 20 000 个。



图3 神经功能束分类结果

Fig. 3 Nerve fascicular groups recognition results

对比图3(a)一(c)可见:1)代表功能束区域的像素都分别被分割出来,而大部分底色区域的像素都已经去除了;2)在3张结果图像中,都分别有像素密度比较高的区域,分别代表不同类型的功能束。在图3(a)中,标识为“A”一“G”的功能束分为同一类。在图3(b)中,标识为“H”的功能束被单独分为一类;其余的功能束被分为一类;3)在图3(b)(c)中有环带状像素群,这是在功能束分类过程中,与功能束区域像素具有相近的多方向梯度及其二阶梯度的像素。

把图3(a)一(c)的分类结果与图1比较可以发现,标识为“A”一“G”的功能束都是颜色比较深的功能束,属于以感觉纤维为主的功能束;标识为“H”的功能束中几乎没有深色的像素,属于以运动纤维为主的功能束;其余的功能束都是在浅色区域中有零星的深色像素出现,属于混合

功能束。对其他神经切片图像进行处理,可以得到相同的结果。这说明,不仅本文提出采用多方向梯度及其二阶梯度描述神经切片图像纹理特征的方法是有效的,而且相应类型识别算法也是有效的。

## 4 参数对功能束类型识别结果的影响

### 4.1 邻域尺寸 $r$ 对类型识别结果的影响

邻域尺寸  $r$  是采用多方向梯度及其二阶梯度描述图像纹理时的参数之一。为了研究邻域尺寸对分类结果的影响,令随机选择像素数量为 20 000 个,当邻域尺寸  $r = 15$  和  $r = 19$  时,采用 2.1 节中描述的算法对图 1 的神经切片图像进行处理,限于篇幅,本文只给出以感觉纤维为主的功能束的识别结果,如图 4 所示。



图4 不同邻域尺寸时,神经功能束类型识别结果对比

Fig. 4 Fascicular groups type recognizing results comparison with different neighbour scale  $r$

对比图3(a)和图4(a)(b)可见,虽然邻域尺寸发生比较大的变化,但是对功能束的类型识别结果没有变化。对其他神经切片图像进行处理,有相同的结果。这说明参数邻域尺寸  $r$  在取值范围内,基本不会对最后的识别结果产生影响。分析认为,这是由于当邻域尺寸  $r$  大于某一值后,纹理的多方向梯度及其二阶梯度特征基本不变,使得最后功能束类型识别结果一致。实践表明,当邻域尺寸  $r \geq 5$ , 功能束的类型识别结

果都是一致的。

### 4.2 随机选择像素数量对类型识别结果的影响

随机选择像素数量是可能对类型识别结果产生影响的另外一个重要参数。为了研究随机选择像素数量对具有纹理特征目标物的提取结果的影响,令邻域尺寸  $r = 11$ , 随机选择像素数量  $N$  分别为 10 000 和 30 000,采用 2.1 节中描述的算法对图 1 的神经切片图像进行处理,结果如图 5 所示。

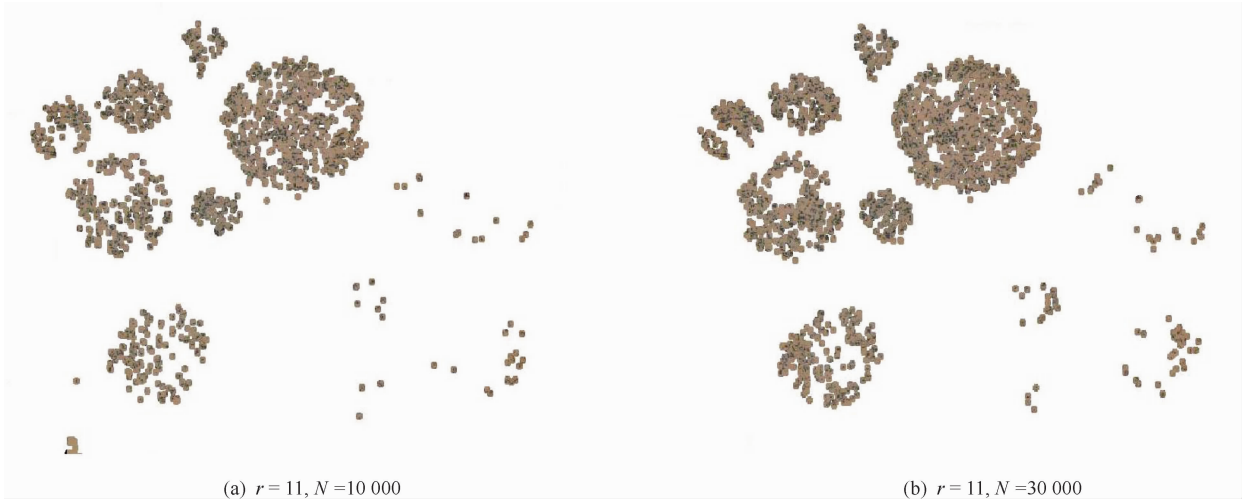


图5 不同随机选择像素数量时,神经功能束类型识别结果对比

Fig. 5 Fascicular groups type recognitions results comparison with different number of arbitrarily selected pixels

对比图3(a)和图5(a)(b)可见,在图5(a)中,由于随机选择像素数量比较少,因此功能束区域像素的密度也比较小,使得结果看起来比较稀疏,而图5(b)中的功能束则密度较大,但是在不同随机选择像素数量条件下,功能束类型识别的结果并没有变化。所以从总体上看,随机选择像素数量对功能束类型识别结果的影响不大。此外,在不同随机选择像素数量情况下,识别功能束类型所用时间如表1所示。从表1可见,不同随机选择像素数量对计算时间的影响很大。当随机选择像素数量增多时,计算所用时间显著增加。

表1 不同随机选择像素数量,功能束类型识别所用时间

Table 1 Computational time while the arbitrarily selected number of pixels is different

	N		
	10 000	20 000	30 000
所用时间/s	58.78	166.81	324.76

采用人工方式和计算机方式对制备得到的200张腓神经切片进行处理的时间、识别正确率如表2所示。

表2 人工处理与计算机处理的对比

Table 2 Handling time and accuracy comparison of manual and computer

处理方式	正确率/%	消耗的时间/h
人工处理	99.7	42
计算机处理	91.6	9.5

## 5 结论

在计算机中实现神经的3维可视化,使得对接相同类型的神经功能束成为可能,为此需要从神经切片图像中识别功能束类型。本文提出采用多方向梯度及其二阶梯度描述图像纹理特征,采用粗糙K均值聚类方法识别功能束类型的方法,并进行了有关实验。结果表明,采用多方向梯度及其二阶梯度能够准确描述切片图像中神经功能束的纹理特征,所提出的类型识别算法可以有效区分不同性质的功能束。此外,在类型识别算法中的两个参数即邻域尺寸和随机选择像素数量不会对类型识别结果产生影响。由于类型识别算法中没有其他人为设定的阈值,因而具有比较强的适应性。

## 参考文献 (References)

- [1] Kagemann L, Isikawa H, Wollstein G. Visualization of 3D high speed ultrahigh resolution optical coherence tomographic data identifies structures visible in 2D frames[J]. Optics Express, 2009, 17(5): 4208-4220.
- [2] Wang H, Lu L J, Liu D X. Express identifying of fascicular groups[J]. Journal of Practical Hand Surgery, 2006, 20(1): 35-36. [王虎, 路来金, 刘东昕. 周围神经束的快速鉴别[J]. 实用手外科杂志, 2006, 20(1): 35-36.]
- [3] Chen Z G, Zhang M, Zhang J, et al. Three-dimensional reconstruction of human sciatic nerve from serial tissue sections

- [J]. Fudan University Journal:Medical Science, 2008,35(4): 510-513. [陈增淦,张猛,张键,等. 人体坐骨神经连续组织切片三维重建研究[J]. 复旦大学学报:医学版. 2008,35(4): 510-513.]
- [4] Xie X M, Chen S P, Li S X, et al. Ulnar nerve trunk fascicular groups 3D visualization based on image methods [J]. Chinese Journal of Biomedical Engineering, 2004, 23(3): 199-203. [谢小棉, 陈思平, 李树祥, 等. 尺神经功能束组三维可视化研究[J]. 中国生物医学工程学报, 2004, 23(3): 199-203.]
- [5] Zhang B, Song C, He A Z. Edge detection based on derivative algorithm in arbitrary directions [J]. Opto-Electronic Engineering, 2009, 36(10): 124-128. [张斌, 宋畅, 贺安之. 基于任意方向图像导数算法的边缘检测技术[J]. 光电工程, 2009, 36(10): 124-128.]
- [6] Takehiko T, Masaya N, Masayuki Y, et al. Visualization of peripheral nerve degeneration and regeneration: monitoring with diffusion tensor tractography [J]. NeuroImage, 2009, 44: 884-892.
- [7] Domenec P, Miguel A G, Jaime M. Application-independent feature selection for texture classification [J]. Pattern Recognition, 2010, 43(10): 3282-3297.
- [8] Manjunath S B, Ma Y W. Texture features for browsing and retrieval of image data [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(8): 837-842.
- [9] Speis A, Healey G. Feature extraction for texture discrimination via random field models with random spatial interaction [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1996, 5(4): 635-645.
- [10] Huang P W, Dai S K, Lin P L. Texture image retrieval and image segmentation using composite sub-band gradient vectors [J]. Journal of Visual Communication & Image Representation, 2006, 17(5): 947-957.
- [11] Georg P. Some refinements of rough k-means clustering [J]. Pattern Recognition, 2006, 39(8): 1481-1491.
- [12] Calvin G C, Herbert K E. Note: texture descriptors based on cooccurrence matrices [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Proceeding, 1990, 51(1): 70-86.