

# Gabor 滤波器组实现颅脑图像的边缘快速提取

张博书, 王明泉, 王玉, 卢丽燕

ZHANG Bo-shu, WANG Ming-quan, WANG Yu, LU Li-yan

中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051

The Ministry Education Key Lab for Instrumentation Science and Dynamic Test, North University of China, Taiyuan 030051, China

E-mail: bolqshu@163.com

ZHANG Bo-shu, WANG Ming-quan, WANG Yu, et al. Brain image edge rapid extraction based on Gabor filter banks. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(4): 232-234.

**Abstract:** In the process of medical image processing, owing to brain MRI image edge extracted is not clear using common method, a new Gabor filter method is proposed based on short-term Fourier transform. In this method, a set of Gabor filters that can cover the entire frequency space for the given image are tuned, which is used to obtain the local information of the image, and then an accurate edge information can be developed by integrating this set of the Gabor filter outputs. Relative to the general Gabor method is computationally expensive and longer time-consuming, this method can observably reduce computational requirements. And it can detect the image edge efficiently and continuously and has excellent robustness.

**Key words:** Gabor filter banks; edge extraction; brain MRI image

**摘要:** 在医学图像处理过程中, 针对一般方法提取颅脑图像边缘不是很清晰的情况, 提出了一种基于短时傅立叶变换的新的 Gabor 滤波方法。该方法通过选取一组能够覆盖整个频域的滤波器, 分别提取图像的局部边缘信息, 然后按照一定的规则将提取出局部信息的多幅图像整合成一幅图像。普通 Gabor 滤波计算量较大, 耗时较长, 而该文所述方法能显著地减少运算量。并且相对于其他几种滤波方法也表现出定位准确, 检测效果明显, 以及鲁棒性较好的特点。

**关键词:** Gabor 滤波器组; 边缘提取; 颅脑 MRI 图像

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.04.068 文章编号: 1002-8331(2009)04-0232-03 文献标识码: A 中图分类号: TP391.41

## 1 引言

在医学图像处理的过程中, 边缘检测技术对于处理颅脑图像非常重要, 但传统的边缘检测算子如 Sobel 算子、Prewitt 算子、Roberts 算子等对颅脑提取脑组织或其他解剖机构进行分析的效果不是很理想。为了克服傅立叶变换在时域无任何分辨率的缺点, 引用了 Gabor 变换<sup>[1]</sup>, 其基本思想是在傅立叶变换的基础上为了实现时域的局部化, 把待分析的时变信号乘以一个时窗函数, 有了这种时窗函数就可以使频谱反映时间局部特性<sup>[2]</sup>。

Gabor 滤波是图像表示中一种较好的模式, 它的最大优点是能够最好地兼顾信号在时域和频域的分辨率, 而且与人类的视觉系统有非常好的匹配性。由于 Gabor 函数的这些特性, 使得它在医学信号及图像处理中得到广泛的应用。且因其涉及的参数较多, 可调性好, 所以它特别适用于图像的滤波、边缘检测和提取、图像分割与识别等方面。

二维 Gabor 函数是用复正弦函数对二维 Gaussian 函数在给定的频率和方向上进行修正<sup>[3]</sup>。利用二维 Gabor 滤波可以对颅脑 MRI 图像进行边缘检测及提取, 本文在提取的过程中, 恰当选取了一组可以覆盖给定图像整个频率空间的滤波, 用这组滤波分别提取图像的局部信息, 然后按照一定的规则将滤波后提取出局部信息的多幅图像整合为一幅图像。

## 2 二维 Gabor 函数

Gabor 函数实际上是一个经过复数正弦函数调制的高斯函数<sup>[4]</sup>, 表达式如下所示:

$$G(x, y) = g(x, y) \exp[j2\pi f(x \cos \theta + y \sin \theta)]$$

$$g(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp[-\frac{1}{2}(\frac{x+y}{\sigma})^2]$$

式中  $x$  和  $y$  代表了空间坐标,  $f$  代表了滤波的中心频率, 它决定了滤波器带通区域中心在频域中的位置,  $\theta$  代表了滤波的方

**基金项目:** 山西省自然科学基金(the Natural Science Foundation Subsidization Project of Shanxi Province of China under Grant No.20051043); 山西省科技攻关项目(the Science and Technology Key Projects of Shanxi Province of China under Grant No.2006031160); 中北大学自然科学基金资助项目(the Science Foundation Subsidization Project of North University of China)。

**作者简介:** 张博书(1980-), 男, 硕士研究生, 主要研究领域为医学图像处理; 王明泉(1970-), 男, 清华大学工程物理系博士后, 中北大学教授, 研究方向为一维和多维信号与信息处理、分析与重构, 现代无损检测技术, 测控技术和工业内视技术; 王玉(1979-), 女, 助教, 研究方向为多维信息分析与重构, 医学图像处理; 卢丽燕(1981-), 女, 硕士研究生, 主要研究方向为机器视觉及图像特征提取与识别。

收稿日期: 2008-01-09

修回日期: 2008-04-14

位,通过在  $x-y$  平面旋转可使滤波器达到任何所期望的角度,  $g(x, y)$  是带尺度参数  $\sigma$  的 Gaussian 函数,  $\sigma$  是沿着  $x$  轴和  $y$  轴 Gaussian 包络的空间常量, 分别与频率带宽和方位带宽有关, 它们确定了感受野的大小。由此可见, Gabor 滤波器主要就是由其中心频率  $f$ 、滤波方向  $\theta$ , 以及尺度  $\sigma$  这几个参数来确定的。

图 1 代表了 Gabor 滤波的空域图和频域图, 其中空域图中的不同曲线代表不同频率, 频域图中的不同曲线代表不同方位。

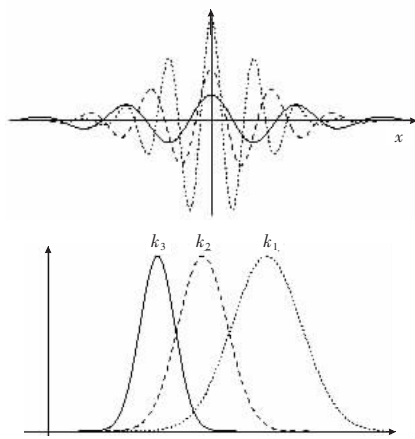


图 1 Gabor 滤波的空域图和频域图

Gabor 函数实际上是复数形式的函数, 在实际的滤波过程中需要对其进行分解, 得到下列公式:

$$G(x, y) = R(x, y) + jI(x, y)$$

$$R(x, y) = g(x, y) \cos[2\pi f(x \cos \theta + y \sin \theta)]$$

$$I(x, y) = g(x, y) \sin[2\pi f(x \cos \theta + y \sin \theta)]$$

用 Gabor 函数的实部对图像进行滤波, 得到的是图像平滑的效果。而其虚部则是一个有效的边缘检测算子<sup>[9]</sup>, 所以为简单起见, 本文仅对图像使用 Gabor 函数的虚部进行边缘检测和提取。

### 3 Gabor 滤波提取边缘的具体方法

#### 3.1 方法概述

Gabor 滤波之所以被成功用于大量的图像分析和计算机视觉中, 主要是因为其在提取某些特征的图像识别问题上它具有以下两个优势: 一是良好的空间域与频率域局部化性质; 二是无论是从空间域的起伏特性、方向选择特性、空间域与频率域的选择, 还是正交相位的关系上考虑, 二维 Gabor 基函数都具有与大多数哺乳动物的视觉表皮简单细胞的二维感受野模型相似的性质。因此, 在图像处理与图像分析领域, 对输入图像, 在多方向、多尺度上分别进行 Gabor 滤波, 可以将图像中的信号按不同尺度、不同方向分解至多个通道, 从而提取出具有方向和尺度信息的相关特征。

设计具体的 Gabor 滤波器对图像进行边缘检测, 则是需要选择恰当的参数。因为图像中的一些重要细节可能会覆盖一个较宽的频率带, 仅使用一个确定的中心频率和方位滤波器不足以覆盖整个频带, 所以需要一组滤波器来获取图像的局部信息。在这一组滤波器中, Gabor 函数的实部只起到图像平滑的作用, 而过多的滤波器共同作用则会在频域产生不必要的重复。基于以上两个方面, 又根据 Fdez-Valdivial 的理论知道<sup>[9]</sup>, 只

需要通过 4 个滤波就足够了解给定图像空间频率的变化, 所以本文仅用这 4 个滤波器的虚部与图像进行卷积就可以实现快速检测并达到理想的检测效果, 大大减少了运算时间。

#### 3.2 具体步骤

为了得到参数  $\theta$  的值, 首先需要在原始图像  $f(x, y)$  的每一个像素点先使用简单的边缘检测, 预先估计  $\theta$  值, 然后在图像的每个像素点使用一个 Gabor 函数模板与图像进行卷积。如果对于一个  $m \times n$  图像就需要创建  $m \times n$  组模板, 所以这种方法的计算量是非常大的。从 Kruizinga P 的文献中可以了解到<sup>[7]</sup>,  $\theta$  的有效变换区间为  $[0^\circ, 360^\circ]$ , 基于此方面的考虑, 用 4 个可以覆盖整个频域滤波器就能够达到要求。主要处理步骤大致如下:

(1) 首先创建一个滤波器组, 即用 4 个不同方向的 Gabor 滤波器,  $G_k(x, y, f, \theta_k, \sigma)$ ,  $k=1, 2, 3, 4$ , 相应的方位角分别为  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $90^\circ$ 、 $135^\circ$ , 每个滤波器覆盖了  $45^\circ$  的空间频率带宽, 因此这 4 个滤波器覆盖了  $[0^\circ, 180^\circ]$  上的空间频率带。而且相对于一般的 Gabor 函数与图像卷积的运算速度来说, 只使用 4 个滤波器在速度上要快很多。

(2) 因为 Gabor 函数的实部只起到平滑图像的作用, 所以为减少运算量, 实现边缘的快速提取, 只需用这 4 个滤波器的虚部与原始图像  $f(x, y)$  进行卷积, 得到滤波后的图像  $Y_k(x, y) = f(x, y) * I(x, y, \theta_k)$ , 其中  $\theta_k = \pi k / 4$ ,  $k=0, 1, 2, 3$ ,  $I(x, y, \theta_k)$  是第  $k$  个 Gabor 函数的虚部,  $\theta_k$  表示每个滤波器对应的方位角。

(3) 每幅滤波后的图像在边缘上的能量强度是不同的, 为了得到清晰的边缘信息, 需要对图像进行最优化调整, 选择不同滤波在空间上能量响应最强的图像作为优化后的图像, 优化后图像可用下面的公式得到:  $R(x, y) = \max_{0 \leq k \leq 3} \{Y_k(x, y)\}$ 。

(4) 为了得到清晰的图像, 需要另外计算  $R(x, y)$  的直方图, 以直方图峰值像素的灰度值作为阈值, 将大于阈值的像素灰度值设为 255, 以增强图像的边缘信息, 得到最终处理结果。

### 4 实验结果及分析

为了验证本文算法的有效性, 选取颅脑 MRI 图像, 分别用传统的边缘检测算子和本文所述方法对图像进行边缘检测。得到结果如图 2~图 9 所示。

图 2 是一幅原始的颅脑 MRI 图像, 图 3 到图 6 是应用了几种传统算子进行边缘检测的结果。从图中可以看出, 使用 Roberts 算子检测的边缘比较粗, 但是定位比较准确; 而 Sobel 算子和 Prewitt 算子具有一定的平滑作用, 但定位不如 Roberts 算子, 看上去比较模糊; LoG 算子即拉普拉斯高斯算子是二阶微分算子, 虽然它可以较好地反映视觉模型, 但它不具备方向性, 所以容易丢失边缘信息造成不连续的检测。图 7 是应用本文方法进行的 Gabor 滤波, 可以看出, 此种方法能连续地提取出图像的边缘, 且边缘清晰, 定位准确。图 9 是对带有随机噪声的图像进行 Gabor 滤波, 从图像中可以看到, 该算法对噪声有很好的鲁棒性。

表 1 是传统算子与 Gabor 滤波检测边缘的时间比较, 因为要使用多个模板进行滤波, 所以 Gabor 滤波在时间上要比传统算子慢。表 2 是普通 Gabor 滤波与选取 4 个 Gabor 滤波器组所用时间的比较, 可以看出, 使用滤波器组可以明显减少运算时间, 提高检测的效率。因此, 为了获得更好的检测效果并为下一步的工作做好准备, Gabor 滤波器组具有很大的优势。

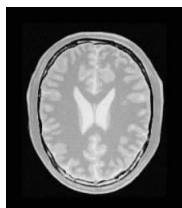


图2 原始颅脑图像

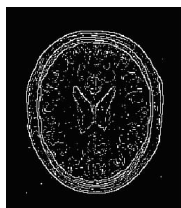


图3 Roberts 检测



图4 Sobel 检测

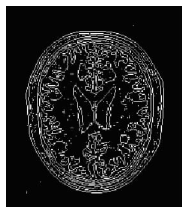


图5 Prewitt 检测



图6 LoG 检测



图7 Gabor 滤波

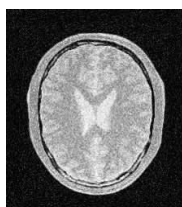


图8 带随机噪声的原始图像



图9 带随机噪声图像 Gabor 滤波

## 5 结束语

本文针对现有颅脑医学图像检测速度过慢和不清晰的情况,阐述了一种基于短时傅立叶变换的 Gabor 滤波方法,利用该方法对颅脑 MRI 图像进行边缘检测,并与传统的检测算子进行比较,可以看出该算法的检测结果可以连续有效地提取边缘,且定位准确,结果清晰。

(上接 228 页)

本文进行了两组对比实验。从实验结果可以看出,隐马尔可夫模型有着更高的召回率,最大熵模型的准确率更高。

经过分析,不难看出,在隐马尔可夫模型<sup>[9]</sup>中,计算输出概率的时候没有考虑上下文,所以召回的结果中杂音数据比较多,导致准确率下降;而用最大熵模型考虑了上下文,召回的结果中排除了一部分杂音数据,使得识别结果更准确。但是,召回过程排除的结果中可能包含正确的结果,从而导致召回率的下降。

最大熵模型从训练集抽取出的特征毕竟是有限的,对训练集外的特征,最大熵模型无能为力,所以开放测试中,各项指标相比封闭测试有着不同程度的下降。可以预见,如果特征库足够大,在开放测试中,用最大熵模型进行中国人名识别也能达到很高的准确率。

## 6 小结

最大熵模型把人名的上下文信息以及人名的内部构词信息非常好地融入到中国人名的自动识别中,从而解决了隐马尔可夫模型计算输出概率时没有考虑上下文信息的缺陷。本文对

表1 各种检测方法的运算时间比较

| 检测方法       | 时间/s |
|------------|------|
| Roberts 算子 | 0.06 |
| Sobel 算子   | 0.13 |
| Prewitt 算子 | 0.11 |
| LoG 算子     | 0.08 |
| Gabor 滤波   | 1.79 |

表2 普通 Gabor 滤波与滤波器组的运算时间比较

| 检测方法        | 时间/s |
|-------------|------|
| 普通 Gabor 滤波 | 5.37 |
| Gabor 滤波器组  | 1.79 |

医学图像已成为病理分析、临床诊断及治疗的重要依据,其中病灶边缘的检测与提取是医学图像处理中重要环节,选取适当的方法进行检测是指导医生进行正确诊断的前提。本文所使用的方法就完全满足这一要求,可以适应当前医学上的实际需要。

## 参考文献:

- [1] Albert B, Francis J N. A first course in wavelets with Fourier analysis[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002.
- [2] 康晓东. 医学图像信号变换与压缩[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [3] Daugman J G. Uncertainty relation for resolution in space, spatial-frequency, and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters[J]. Journal of the Optical Society of America, 1985, 2(7): 1160-1169.
- [4] 刘潇潇. 数字减影技术中的图像配准[D]. 武汉: 华中科技大学, 2005.
- [5] Mehrotra R, Namuduri K R, Ranganathan N. Odd Gabor filter-based edge detection[J]. Pattern Recognition, 1992, 25(12): 1479-1494.
- [6] Fdez-Valdivia J, Garcia J A, Martinez-Baena J, et al. The selection of natural scales in 2D images using adaptive Gabor filtering[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998, 20(5): 458-469.
- [7] Kruizinga P, Petkov N. Non-linear operator for oriented texture[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1999, 8(10): 1395-1407.

中国人名自动识别过程进行了公式推导,并给出了相应的计算公式和参数获取方法。训练集包含的特征集是有限的,在中国人名识别中,待识别中国人名及其上下文构成的特征不是训练特征集中的特征的时候,识别效果不够理想,下一步工作是提高这种情形下的中国人名识别准确率。另外,中国人名只是命名实体的一种类型,命名实体还包括地名、组织机构名<sup>[9]</sup>等。把人名、地名和组织机构名统一进行识别,也是下一步的工作。

## 参考文献:

- [1] 钱晶, 张明杰, 张涛. 基于最大熵的汉语人名地名识别方法研究[J]. 小型微型计算机系统, 2006, 27(9).
- [2] 徐延勇, 郭忠伟, 周献中. 基于最大熵方法的统计语言模型[J]. 计算机工程与应用, 2002, 38(5): 53-55.
- [3] 张华平, 刘群. 基于角色标注的中国人名自动识别研究[J]. 计算机学报, 2004, 27(1): 85-91.
- [4] McCallum A, Freitag D, Pereira F. Maximum entropy Markov models for information extraction and segmentation[C]//Proc ICML, Stanford, California, 2000: 591-598.
- [5] 俞鸿魁, 张华平, 刘群. 基于层叠隐马尔可夫模型的中文命名实体识别[J]. 通信学报, 2006, 27(2).