

利用 Gabor 小波系数融合进行图像增强的研究

杨泳波^{1,2}, 姜柏军²

(1. 浙江大学计算机学院, 浙江 杭州 310027; 2. 浙江商业职业技术学院信息技术学院, 浙江 杭州 310053)

摘 要:在传统图像增强技术的基础上,提出了一种基于 GABOR 小波系数融合的图像增强方法。通过 Gabor 小波对图像进行滤波,产生八个方向的滤波图像系数,对这些图像系数用求平均值融合方法得到图像边缘图,再融合经传统空域增强方法得到的直方图均衡化图像以产生最终增强的边缘信息以便于分析处理的图像。

关键词:直方图均衡化; Gabor 小波; 边缘检测; 图像融合; 图像增强

中图分类号:TP391.4

文献标识码:A

Research about image enhancement using the integration of Gabor wavelet coefficients

YANG Yong-bo^{1,2}, JIANG Bo-jun²

(1. College of Computer Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. College of Information Technology, Zhejiang Vocational College of Commerce, Hangzhou 310053, China)

Abstract: The method about image enhancement is presented using integration of Gabor wavelet based on the traditional image enhancement techniques in the paper. The method is to filter image by using a group of Gabor wavelets, generating the filter image coefficients of eight directions. Then process these image coefficients by using the average fusion method to produce edge image. At last the edge image is added to the other image generated by using traditional method of histogram equalization to produce the image of enhance the edge information, facilitate the analysis and processing.

Key words: histogram equalization; Gabor wavelet; edge detection; image fusion; image enhancement

1 引言

图像增强是计算机图像识别研究领域中的一个重要的组成部分,它是实现目标图像的边缘检测,图像的特征提取和图像分割等,也是机器视觉分析的基础。一个有效的图像增强算法要求能够高效的克服图像中噪声和边缘模糊不清的干扰,准确地提取图像边缘。

本文提出的一种新的基于 Gabor 小波系数融合的图像增强算法,基本思想是先用多个尺度和方向的 Gabor 小波对图像进行滤波,然后利用求平均值的图像融合方法综合各个方向的互补信息,以得到尽量丰富、清晰的边缘信息,最后与直方图

均衡化图像相互融合,以得到不仅灰度得到展宽,而且边缘信息得到加强的视觉效果好、便于分析处理的图像。

2 Gabor 小波变换

2.1 Gabor 小波

1964 年, Gabor 提出了可以到达时频测不准关系下界的 Gabor 函数,它能够很好地同时在时域和频域中兼顾对信号分析的分辨率要求。Gabor 变换具有局部性、方向选择性、带通性,因此能够精确地

作者简介: 杨泳波(1973-),男,讲师,在读硕士研究生,主要研究方向为计算机图形学。E-mail: yyb2010@163.com

收稿日期: 2010-04-06; **修订日期:** 2010-06-02

提取图像的局部特征,且具有一定的抗干扰能力。

二维 Gabor 核函数形式定义如下^[1-3]:

$$\psi_j(\vec{x}) = \frac{\|\vec{k}_j\|^2}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{\|\vec{k}_j\|^2 \|\vec{x}\|^2}{2\sigma^2}\right) \cdot \left[\exp(i\vec{k}_j \cdot \vec{x}) - \exp\left(-\frac{\sigma^2}{2}\right)\right] \quad (1)$$

其中, $\vec{k}_j = \begin{pmatrix} k_{jx} \\ k_{jy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_\nu \cos \varphi_\mu \\ k_\nu \sin \varphi_\mu \end{pmatrix}$, $k_\nu = 2^{-\frac{\nu+2}{2}} \pi$, $\varphi_\mu = \mu \frac{\pi}{8}$, $j = \mu + 8\nu$ 。公式中 $\nu = 0, \dots, 4$ 表示 Gabor 核函数的五个尺度(频率), $\mu = 0, \dots, 7$ 表示 Gabor 核函数的八个方向(相位)。Gaussian 函数的宽度 $\sigma/\|\vec{k}_j\|$ 由参数 σ 和 $\vec{k}_j$ 决定。公式(1)中方括号内第二项用来消除直流分量,即使得 $\int \psi_j(\vec{x}) d^2\vec{x} = 0$ 。可以看出, Gabor 核函数族是自相似的,并由同一个母小波通过伸缩和旋转产生。

2.2 Gabor 滤波

对一幅灰度图像 $I(\vec{x})$, 在给定像素点 $\vec{x} = (x, y)$, Gabor 小波变换为:

$$J_j(\vec{x}) = \int I(\vec{x}') \psi(\vec{x} - \vec{x}') d^2\vec{x}' \quad (2)$$

通过对图像运用不同尺度(频率)和不同方向(相位)相组合的 Gabor 小波进行变换^[4], 可以得到对应原图像的小波系数矩阵描述。对于图像上的每个像素可以得到一组系数向量, 由于有 5 个频率和 8 个相位, 因此每个像素点将产生 40 个 Gabor 小波变换后复系数, 可以写成 $J_j(\vec{x}) = a_j(\vec{x}) \cdot \exp(i\phi_j(\vec{x}))$, $j = 1, \dots, 40$ 。其中 $a_j(\vec{x})$ 表示模, 它随像素点位置不同缓慢变化; $\phi_j(\vec{x})$ 表示相位, 它由核函数的空间频率或波向量 $\vec{k}_j$ 大致确定的速率旋转。对整幅图像进行 Gabor 小波变换后总共可以得到 40 个图像复系数矩阵 $J_j, j = 1, \dots, 40$ 。

2.3 Gabor 模板的建立^[5]

在实现 Gabor 小波变换(Gabor 滤波)过程中, 由于需要处理的输入图像为数字图像, 而 Gabor 核函数公式(1)和卷积滤波公式(2)都是在连续域中定义的, 因此在进行 Gabor 小波变换前, 需要进行离散化处理。首先需要确定 Gabor 模板。从 Gabor 核函数的定义公式(1)中可以看出, 由于 Gauss 窗函数的限制, Gabor 核函数只在一个局部区域内非零, 因而只需要对其局部进行离散抽样即可。抽样范围的大小由 Gauss 窗的大小所确定。Gauss 函数的 3σ 规则说明: 对于正态随机变量来说, 它的值落在 $[\mu - 3\sigma, \mu + 3\sigma]$ 内的概率为 0.9974, 因此可以取

$3\sigma/\|\vec{k}_j\|$ 作为抽样半径。这样, 就可以将全部 40 个 Gabor 模板(滤波器)预先计算好并保存起来。

2.4 空域与频域的 Gabor 滤波

下一步用 Gabor 模板对图像进行滤波。对图像进行 Gabor 滤波可以用两种方法来实现, 一种是在空域对图像进行 Gabor 滤波。由公式(2)可知, 在空域中对图像进行 Gabor 小波变换事实上就是用相应的 Gabor 核函数(Gabor 模板)对图像进行卷积运算。

另一种方法是在频域进行。主要原理是数字信号处理中的卷积定理: 时域的卷积意味着相应的傅里叶变换的乘积。具体处理方法如下: 首先对待处理图像进行快速傅里叶变换(FFT)转换到频域表示, 再将空域的 Gabor 模板进行快速傅里叶变换, 然后将它们分别相乘得到频域响应, 最后进行快速傅里叶逆变换(IFFT)转换回空域。在该方法中, 为了加快处理速度可以先离线实现空域的 Gabor 模板快速傅里叶变换过程。

3 Gabor 小波系数融合算法描述

本算法的具体过程为图像滤波、系数融合和与直方图均衡化图像融合。

(1) 对图像进行 Gabor 滤波。在相同尺度下用 8 个方向的 Gabor 滤波器对图像进行滤波, 生成 8 个对应的滤波系数矩阵。

(2) Gabor 系数融合。对 8 个滤波后系数矩阵进行融合以得到一个系数矩阵。要得到各个尺度下融合后边缘图像, 只需重复上述两个步骤。

(3) 与直方图均衡化图像融合。

3.1 Gabor 系数融合方法

一幅图像在经过多个不同方向和不同尺度组合的 Gabor 滤波器后既会产生大量的互补信息, 同时也会生成大量冗余信息, 将所有这些信息用于边缘检测不能有效发挥 Gabor 滤波的优越性能。解决该问题的一个途径是使用图像融合技术综合利用 Gabor 特征的互补信息, 消除冗余信息, 以使输入 Gabor 特征在经过融合模块后的新特征既能表示图像的 Gabor 特征, 同时又具有最少的信息量。

具体方法: 平均值融合法。由于在某个尺度下可以产生 8 个方向的滤波系数矩阵, 同时用于滤波的 8 个滤波器除了方向不一致外其他完全相同, 因此, 考虑将同一尺度下所有 8 个滤波后系数矩阵相加, 然后对其求平均得到最后的融合图像, 可以预计

将能取得较好效果。其原因显然比较直观,该方法可以很好地综合各个方向 Gabor 滤波器滤波后信息从而获得完整的图像边缘信息。

3.2 与直方图均衡化图像融合方法

直方图均衡化^[6]对图像中像素个数多的灰度级进行展宽,而对像素个数少的灰度级进行缩减。采用直方图均衡化后可使图像的灰度间距拉开或使灰度均匀分布,从而增大反差,使图像清晰,达到增强的目的。它的优点是能自动地增强整个图像的对比度,但具体增强效果不易控制,处理的结果总是得到全局均衡化的直方图。直方图均衡化会造成使某个像素个数多的灰度级集中的区域变得特别亮,从而丢失了该区域的一些图像边缘等细节信息,随着对比度的增强,图像或多或少存在一些失真现象。而利用 Gabor 小波系数融合的边缘检测算法,可以得到尽量丰富、清晰的边缘信息,将两者结合起来,不仅能够增强图像的对比度,并且因为边缘的提取能够保留直方图均衡化丢失的边缘信息,所以如果将两种图像融合在一起,可以得到增强效果更好的图像。

具体方法:加权平均方法^[7]。设 f_1 表示边缘图中某个像素的灰度值, f_2 表示直方图均衡图中对应像素的灰度值, f_3 表示融合图中相应像素的灰度值,则:

$$f_3 = \omega_1 f_1 + \omega_2 f_2 \quad (3)$$

其中, ω_1, ω_2 表示权数且 $\omega_1 + \omega_2 = 1$ 。权数取值不同融合图的效果也有所不同,根据实际效果对比本文中的融合图在 $\omega_1 = \omega_2 = 0.5$ 的取值时得到。

4 实验结果

实验所用图像为 Lena 图像,本文提出的算法只需确定两个参数:公式(1)中的 σ 和尺度(频率) ν 。这里采用 $\sigma = \pi/3, \nu = 0, \dots, 4$, 分别在五种尺度下用 Gabor 核函数的实部进行滤波并融合后提取边缘图,以方便后续对图像的 Gabor 空域处理。其中, ν 是尺度因子, μ 控制滤波方向($\mu = 0, 1, \dots, 8$),在每一种尺度下均可以产生 8 个方向的滤波系数,将这八个方向的系数融合,就可以得到该尺度下的滤波系数。为了显示边缘图像,将设定阈值,所有最终输出小于等于阈值的像素置为 0(黑色),其余输出全置为 1(白色)。为得到更好的结果,在融合后进行中值滤波以滤除噪声。现以 $\nu = 0$ 为例,如图 1 为实验结果。

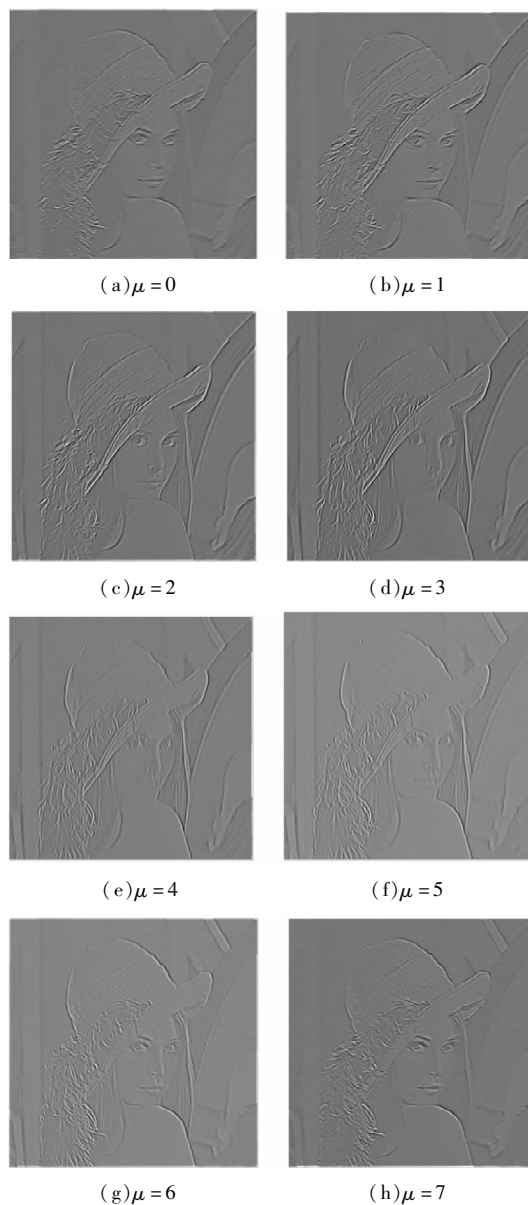


图 1 $\nu = 0$ 时,八个方向的滤波系数

原图、直方图均衡化图及边缘图与直方图均衡化图像融合的效果如图 2 所示。图 2(a) 为原图;图 2(b) 为直方图均衡化图;图 2(c) 为融合图。



图 2 效果图

4 总结

本算法总流程如图 3 所示,基于 Gabor 小波系数融合的边缘检测算法结合了各个方向信息的图像增强算法,对于一般单尺度边缘检测频域 Gabor 滤

波和中小模板的空域 Gabor 滤波,算法均能实时实现,是一种有效、准确、实用的图像增强方法。边缘图与直方图均衡化图的融合过程中权数是由实践经验所确定,有待于理论上的进一步研究。

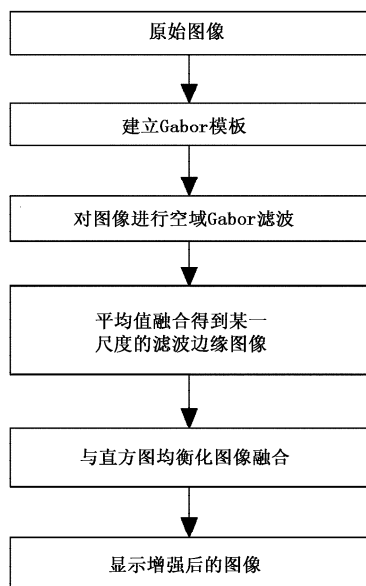


图3 算法总流程图

参考文献:

- [1] M Lades, J C Vorbr ueggen, J Buhmann, et al. Distortion invariant object recognition in the dynamic link architecture [J]. IEEE Transactions on Computers, 1993, 42: 300 - 311.
- [2] L Wiskott, J M Fellous, N Kr uger, et al. Face recognition by elastic bunch graph matching [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19: 775 - 779.
- [3] 唐青松, 陆小军. 基于滤波和融合的指纹图像增强算法 [J]. 微计算机信息, 2008, 24(12-3): 286 - 287.
- [4] 宗荣芳. 多尺度小波变换在图像融合中的应用 [J]. 计算机与信息技术, 2008(8): 27 - 32.
- [5] 庄德文, 周德龙, 等. 基于 Gabor 变换的每类单个训练样本人脸识别研究 [J]. 计算机应用研究, 2009, 26(26): 2379 - 2382.
- [6] 姚若河, 黄继武, 吴湘淇. 改进的直方图均衡化图像增强算法 [J]. 铁道学报, 1997, 6(2): 78 - 81.
- [7] 陶冰洁, 王敬儒, 张启衡. 基于小波系数相关性的图像融合新方法 [J]. 激光与红外, 2006, 36(3): 227 - 230.