

一种实用的 Gabor 滤波器组参数设置方法

赵英男^{1,2}, 杨静宇², 孟宪权³

(1. 吉首大学物理科学与信息工程学院, 吉首 416000; 2. 南京理工大学计算机系, 南京 210094;

3. 装甲兵工程学院装备指挥与管理系, 北京 100072)

摘 要: Gabor 滤波器的参数设置是 Gabor 特征提取过程中的一个重要问题。文中针对现有方法(实验法和优化法)的优缺点, 提出一种实用的 Gabor 滤波器组参数设置方法, 该方法根据 Gabor 特征与滤波器方向参数之间具有垂直关系的性质, 人为确定方向参数。在每个特定方向, 以滤波器的频率带宽参数为指导, 基于 Fisher 准则, 进行最佳单 Gabor 滤波器的设计。确定的滤波器组在性能上是接近最优的, 同时算法实现简单, 具有较好的实用性和数据相关的特点。在车辆检测和车型识别两类实验中验证了文中方法的有效性和可行性。

关键词: Gabor 滤波; 特征提取; Fisher 准则; 数据相关; 车辆检测; 车型识别

A Practical Design for Parameters of Gabor Filters

ZHAO Yingnan^{1,2}, YANG Jingyu², MENG Xianquan³

(1. College of Physics Science & Information Engineering, Jishou University, Jishou 416000;

2. Computer Department, Nanjing University of Science & Technology, Nanjing 210094;

3. Department of Equipment Command & Management, Academy of Armored Force Engineering, Beijing 100072)

【Abstract】 During the course of Gabor filters-based feature extraction, the design for parameters of filters is important. Experiment-based and optimization-based methods are two popular ways in this domain. However, the parameters are not precise in the former and the algorithm is too complex in the latter. To avoid these defects, a more practical one is given. The main idea is to set the orientation parameters manually based on directional characters in Gabor features, then at each orientation with the help of the bandwidth parameters to search the optimal single Gabor filter on the basis of Fisher rule. The parameters of Gabor filters are close to optimization, and the algorithm is simple and data dependent as well. The experimental data on vehicle detection and vehicle classification show that this method is available and efficient.

【Key words】 Gabor filters; Feature extraction; Fisher rule; Data dependent; Vehicle detection; Vehicle classification

1 概述

Gabor 滤波器参数设置是 Gabor 特征提取^[1,2]过程中的一个重要问题。如何通过参数设置, 使提取的 Gabor 特征具有最佳的类别表征能力, 是各种参数设置方法追求的目标。目前主要有两类方法, 即实验法和优化法。实验法^[3,4]基于各参数一定的约束条件, 通过具体实验进行性能比较, 最终确定参数。这里的约束条件通常是粗糙的, 所确定参数往往局限于特定的实验数据, 通用性较差。但是这种方法实现简单, 因此仍然被大多数应用所采用。优化法^[5,6]则在各参数的一定约束条件内, 按照某些指导原则对最佳参数进行搜索。在特定指导原则下, 这种方法能够保证所得参数在性能上是最佳的, 但是该方法还存在两点不足: 一是所有算法都基于数据无关(Data Independent)的方式, 这在应用中具有一定局限性, 因为不同的模式识别问题, 需要不同的最优特征集。例如在车型识别(诸如轿车和货车等不同车型之间的识别)和车辆识别(车辆和非车辆之间的识别)应用中, 同样对车辆样本抽取特征, 二者的最优特征集显然是不同的, 前者较后者来说需要更多的细节信息。二是算法过于复杂, 特别是 Gabor 滤波器组的优化算法。所以, 这种方法在理论上的意义更大一些。

这里借助 Gabor 滤波器具有的良好方向特性, 提出了一种实用的 Gabor 滤波器组参数设置方法。实验结果表明, 通过文中算法设置的 Gabor 滤波器组提取的 Gabor 特征, 具有良好的类别表征能力, 同时该算法还具有数据相关、实现简

单等优点。

2 Gabor 滤波器组参数设置算法

通常, 单 Gabor 滤波器提取的特征往往是有限的, 应用中一般选用多方向、多尺度的 Gabor 滤波器组进行识别。针对目前参数设置方法的优缺点, 我们给出一种实用的 Gabor 滤波器组参数设置算法。该算法首先人为确定 Gabor 滤波器组的方向参数, 然后在每个特定方向进行最佳单 Gabor 滤波器的参数设置。在该搜索过程中, 以滤波器的频率带宽参数为指导, 同时采用数据相关方式, 根据 Fisher 准则作出判断函数, 使得该算法具有一定的通用性。

2.1 方向参数的确定

Gabor 滤波器具有良好的方向特性(见图 1), 即 Gabor 滤波器的输出响应在方向参数的垂直方向最为强烈。反之根据这个性质也可以在滤波器的参数设置中, 通过适当地设置方向参数, 使提取的 Gabor 特征具有较强的类别表征能力。方向参数的设置还要考虑特征冗余度的问题, 即尽量对整幅图像均匀覆盖, 不能间隔太小。在车辆样本图像中, 存在着明显的接近垂直和接近水平的边缘。因此确定 0 和 $\pi/2$ 两个参

基金项目: 国防基础研究基金资助项目; 湖南省教育厅课题基金资助项目(05C142)

作者简介: 赵英男(1973 -), 女, 讲师、博士生, 主研方向: 图像处理, 模式识别; 杨静宇, 教授、博导; 孟宪权, 博士生

收稿日期: 2005-10-28 **E-mail:** ann_zhao_99@163.com

数, 分别用来提取垂直边缘和水平边缘的 Gabor 特征。在车型识别应用中, 需要车辆中更多的细节特征, 选择方向参数的角度间隔为 $\pi/8$, 即 $0, \pi/8, \pi/4, 3\pi/8, \pi/2, 5\pi/8, 3\pi/4, 7\pi/8$ 。在车辆识别应用中则需要更多的整体特征, 选择角度间隔为 $\pi/4$, 即 $0, \pi/4, \pi/2, 3\pi/4$ 。

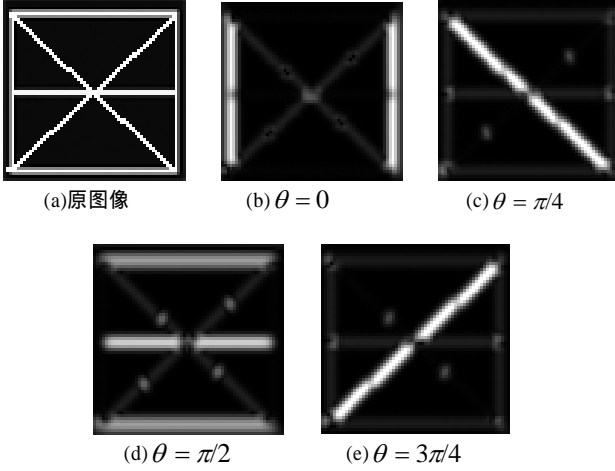


图 1 Gabor 滤波器在 4 个不同方向参数下的幅值响应

2.2 Gabor 滤波器组的形式

文中选用的 Gabor 滤波器组是多方向、单一尺度的, 不同于多数应用中设置的多方向、多尺度滤波器组。然而文中的单一尺度却是经过优化处理的, 具有较强的类别表征能力, 因此可以有效降低 Gabor 特征的维数。

这里选用的 Gabor 核函数表示如下^[6]:

$$h(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{x'^2 + y'^2}{2\sigma^2}\right] \exp[2\pi j(Ux' + Vy')] \quad (1)$$

其中 x' 和 y' 为

$$\begin{cases} x' = +x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \\ y' = -x \sin(\theta) + y \cos(\theta) \end{cases} \quad (2)$$

其中, (x, y) 定义了时域中的像素位置; (U, V) 表示特定的空间频率; σ 为高斯包络沿 x 轴和 y 轴方向的标准偏差。式(2)实际上是坐标旋转公式, 可以获得不同方向的 Gabor 滤波器, 这里的 θ 即为我们预先确定的方向参数。此时式(1)变为如下形式:

$$h'(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right] \exp[2\pi j(U'x + V'y)] \quad (3)$$

其中 U' 和 V' 为

$$\begin{cases} U' = U \cos(\theta) - V \sin(\theta) \\ V' = U \sin(\theta) + V \cos(\theta) \end{cases} \quad (4)$$

式(3)的 Fourier 变换为

$$H(u, v) = \exp\{-2\pi^2\sigma^2[(u - U')^2 + (v - V')^2]\} \quad (5)$$

在进行最佳参数搜索时, 采用 $H(u, v)$ 的极坐标形式 $H(\omega, \phi)$:

$$H(\omega, \phi) = \exp\{-2\pi^2\sigma^2[\omega^2 + \gamma^2 - 2\omega\gamma \cos(\alpha - \phi)]\} \quad (6)$$

其中 $\omega = \sqrt{u^2 + v^2}$, $\phi = \arctan\left(\frac{v}{u}\right)$, $\gamma = \sqrt{U'^2 + V'^2}$; $\alpha = \arctan\left(\frac{V'}{U'}\right)$ 。

在 $M \times N$ 的样本图像 $i(x, y)$ 中抽取样点 (X, Y) , 则在该点处提取的特征为^[7]

$$g(x, y) = \left| \sum_{x=X}^{M-X-1} \sum_{y=Y}^{N-Y-1} i(x+X, y+Y) h'(x, y) \right| \quad (7)$$

由上可知, 若要确定一个 Gabor 滤波器, 当方向参数已

知时, 需要确定其频率参数 (U, V) 和高斯函数参数 σ 。

2.3 最佳单 Gabor 滤波器的参数设置

在最佳单 Gabor 滤波器参数设置过程中, 以滤波器的频率带宽参数对极坐标形式下的 Gabor 滤波器频域进行搜索, 同时采用数据相关方式, 即基于样本图像的特征矢量, 根据 Fisher 准则得出判断函数, 找出判断函数最大值所对应的 Gabor 滤波器参数, 即为特定方向的最佳参数设置。

由式(6)得 Gabor 滤波器的半峰带宽 B (倍频程) 为^[6]

$$B = \log_2 \left[\frac{\pi F \sigma + \alpha}{\pi F \sigma - \alpha} \right] \quad (8)$$

其中 $F = \sqrt{U'^2 + V'^2}$ 为 Gabor 滤波器中心频率, $\alpha = \sqrt{(\ln 2)/2}$ 。

若给定 B , 则由式(8)可得 Gabor 滤波器的另一参数 σ

$$\sigma = \frac{\pi(2^B - 1)F}{\alpha(2^B + 1)} \quad (9)$$

设两类待识别目标特征矢量分别为 f_1, f_2 。为准确区分两类目标, f_1, f_2 应当分属于特征空间中两个不同的区域。根据 Fisher 准则, 得到如下衡量两类目标特征矢量分离和聚合程度的判断函数:

$$J = \frac{\|m_1 - m_2\|^2}{T_1 + T_2} \quad (10)$$

式中:

$$m_i = (1/n_i) \sum_i f_i \quad (11)$$

$$T_i = \text{tr}((1/n_i) \sum (f - m_i)(f - m_i)^T) = (1/n_i) \sum \|f - m_i\|^2 \quad (12)$$

其中 m_i 表示类别 i 的特征矢量均值。根据式(10), 当 J 值较大时特征空间中两类目标是很好分离的。

设两类样本图像数量分别为 n_1 和 n_2 , 在给定 B 条件下, 对极坐标形式下 Gabor 滤波器的频域 (ω, ϕ) 进行搜索, 其中 $\omega \in [\omega_{\min}, \omega_{\max}]$, $\phi \in [0, 2\pi]$, 则最佳单 Gabor 滤波器参数设置步骤如下:

(1) 设 ω 步长为 $\Delta\omega$, ϕ 步长为 $\Delta\phi$ 。这里调整步长值, 使选取的 ω 和 ϕ 个数相等, 分别记作 ω_i 和 ϕ_i 。

(2) 根据式(9)计算 σ_i , 即 $\sigma_i = \frac{\pi(2^B - 1)\omega_i}{\alpha(2^B + 1)}$, 其中 $\alpha = \sqrt{(\ln 2)/2}$;

(3) (ω_i, ϕ_i) 对应的特定空间频率记为 (U'_i, V'_i) 。根据式(7), 应用参数是 (U'_i, V'_i, σ_i) 的 Gabor 滤波器分别对 n_1 和 n_2 个样本图像进行特征提取。

(4) 根据式(10)计算判断函数的值 J_i 。

(5) 重复步骤(1)~步骤(4), 直到 $\omega > \omega_{\max}$ 和 $\phi > 2\pi$ 。

(6) 在得到的 J_i 中, 选取最大值, 记作 J_B 。

(7) 将带宽 B 从 0.6 开始按一定间隔 ΔB 直到 2.0, 重复步骤(1)~步骤(6)。

(8) 在所得 J_B 中选取一个最大值, 则可以得到该最大值对应的 (B, U', V', σ) 。根据式(4), 可以得到对应的 (B, U, V, σ) 。由 (U, V, σ) 确定的 Gabor 滤波器即为最佳单 Gabor 滤波器。

上述步骤中有 3 个参数 ($\Delta\omega$, $\Delta\phi$ 和 ΔB) 需要预先设定。

2.4 实验结果与分析

为检验文中算法, 我们与文献[3]参数设置方法进行车型、车辆识别性能对比实验, 文献[3]是一种较为通用的实验法。实验选用 SVM 分类器, 方向参数选择如 2.1 节所述。车型识别实验选用两种车型 (轿车和货车) 的后视图像作为样本(50); 车辆识别实验选用车辆后视图像(154)和背景图像(86)

为样本。同时选择各类样本数的一半作为训练样本，确定 Gabor 滤波器组的参数设置。在进行最佳单 Gabor 滤波器参数搜索时，设定 $\Delta\omega = 0.2, \Delta\phi = 20^\circ, \Delta B = 0.1$ 。

表 1 列出了应用文中算法对两类实验得到的 Gabor 滤波器组参数设置。可以看出，在车型识别中对于特定方向的参数的取值均小于车辆识别中的取值。大小决定了时频窗口大小，即越小时频窗口的面积越小，这时提取的局部特征越多。然后，应用文献[3]方法设置 Gabor 滤波器组参数，其中水平、垂直频率相等（即 $U = V$ ，用 ω 表示），各参数取值如表 2。这里，在车型识别中选用的 Gabor 滤波器数目较多， ω 取值较大，相应的 σ 取值变小，导致时频窗口的面积变小，目的为可以提取更多的细节特征。

表 1 两类实验中 Gabor 滤波器组的参数设置

实验参数	车型识别								车辆识别			
	0	/8	/4	3/8	/2	5/8	3/4	7/8	0	/4	/2	3/4
B	1.0	1.3	1.1	0.9	1.6	1.0	1.3	0.8	0.9	1.2	1.3	1.3
U	0.05	0.14	0.15	0.40	0.17	0.43	0.31	0.08	0.04	0.14	0.07	0.06
V	0.10	0.15	0.20	0.33	0.28	0.19	0.07	0.37	0.28	0.49	0.14	0.08
	1.28	1.39	1.52	1.05	1.24	1.53	2.01	1.50	2.18	2.24	2.31	2.71

表 2 基于文献[3]方法确定的 Gabor 滤波器组参数设置

实验类型	滤波器数目	$\theta = \frac{\pi}{n}(k-1), k=1,2,\dots,n$	ω	σ
车型识别	12	$n=6$	$\pi/2, \sqrt{2}\pi/4$	π/ω
	8	$n=4$	$\pi/2, \sqrt{2}\pi/4$	π/ω
车辆识别	6	$n=6$	$\sqrt{2}\pi/4, \pi/4$	π/ω
	4	$n=4$	$\sqrt{2}\pi/4$	π/ω

接下来，应用上文得到的不同滤波器组，进行车型、车辆识别对比实验，数据如表 3。

表 3 不同参数设置方法的识别性能比较

实验类型	本文方法		文献[3]方法			
	识别率(%)	滤波数目	识别率(%)	滤波器数目	识别率(%)	滤波器数目
车型识别	98.03	8	98.41	12	95.24	8
车辆识别	96.37	4	96.40	6	90.67	4

可以看出，在滤波器数目相同情况下，文中方法的识别性能要高于文献[3]中的设置。同时，在车型识别实验中，滤波器数目为 8 的识别性能接近于文献[3]中数目为 12 的滤波器；在车辆识别实验中，滤波器数目为 4 的识别性能接近于

（上接第 158 页）

3.3 顾客支付的不可抵赖性保证

本文所提出的系列协议用每一步的签名来提供无争议服务。首先，在电子现金发行协议里，顾客发送给银行的信息都必须用数字认证来进行签名，如果顾客否认这一过程，银行可以向法院出示顾客的签名。而在支付协议里，发送给商家的信息也必须要用其密钥进行签名。因为只有顾客有密钥，所以如果已经对信息签名就不能否认了。而临时公钥的使用更便于以后的认证。

3.4 顾客非法操作的防止

运用时间戳“Time”，本文所提出的协议信息使接收方可以很容易地发现重复的信息，从而可以有效防止电子现金的重复使用或更改金额。

4 结论

本文所提出的新型电子现金系统，在部分盲签名的盲信息中加入临时匿名公钥，可以结合部分盲签名和受限盲签名

文献[3]中数目为 6 的滤波器。这说明文中方法设置的 Gabor 滤波器组参数具有较强的类别表征能力，能够用较少的滤波器实现较好的识别效果，有效降低了 Gabor 特征维数。

3 结语

Gabor 滤波器参数设置是 Gabor 特征提取中的一个重要问题。但是目前的方法不很实用，基于此，文中提出一种实用的 Gabor 滤波器组参数设置方法。该方法首先依据 Gabor 特征与方向参数之间具有垂直关系的性质，人为地确定 Gabor 滤波器组的方向参数。然后在每个特定方向，以滤波器的频率带宽参数作指导，采用数据相关的方式，根据 Fisher 准则作出判断函数，进行最佳单 Gabor 滤波器的参数设置。该算法比实验法确定的参数要精确一些，算法实现上又比优化法简单，相关实验数据也验证了文中算法的有效性和可行性。但该算法只适于几何特征明显的物体识别（如车辆），如何设计出更为通用的 Gabor 滤波器组参数设置算法是以后的研究方向。

参考文献

- 1 Sun Z H, Bebis G, Miller R. On-road Vehicle Detection Using Gabor Filters and Support Vector Machines[C]. Proc. of the 14th International Conference on Digital Signal Processing, 2002: 1019-1022.
- 2 Kong W K, Zhang D, Li W. Palmprint Feature Extraction Using 2-D Gabor Filters[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(10): 2339-2347.
- 3 Liu D H, Lam K M, Shen L. Optimal Sampling of Gabor Features for Face Recognition[J]. Pattern Recognition Letters, 2004, 25(2): 267-276.
- 4 Su Y M, Wang J F. A Novel Stroke Extraction Method for Chinese Characters Using Gabor Filters[J]. Pattern Recognition, 2003, 36(3): 635-647.
- 5 Okombi-Diba B, Miyamichi J, Shoji K. Edge-based Segmentation of Textured Images Using Optimally Selected Gabor Filters[C]. Proc. of IAPR Workshop on Machine Vision Applications, 2000: 267-270.
- 6 吴高洪, 章毓晋, 林行刚. 分割双纹理图像的最佳 Gabor 滤波器设计方法[J]. 电子学报, 2001, 29(1): 48-50.
- 7 Lim T R, Guntoro A T, Thieng. Car Recognition Using Gabor Filter Feature Extraction[C]. Proc. of APCCAS'02, 2002: 451-455.

的特点，提高盲签名技术的综合性能 有效保护顾客的个人隐私，同时维护顾客、银行、商家利益，避免重复消费、丢失和盗窃等电子支付常见问题。

参考文献

- 1 Chaum D. Blind Signature for Untraceable Payment[C]. Proc. of Advances in Cryptology-Crypto'82, 1983: 199-203.
- 2 Chaum D, Fiat A, Naor M. Untraceable Electronic Cash[C]. Proc. of Advances in Cryptology-Crypto' 88(LNCS 403), 1990: 319-327.
- 3 Brands S. Untraceable Off-line Cash in Wallets with Observers[C]. Advances in Cryptology-Crypto'93, 1994: 302-318.
- 4 Abe M, Fujisaki E. How to Date Blind Signatures[C]. Proc. of Advances in Cryptology-Crypto'96(LNCS1163), 1996: 244-251.
- 5 Song Ronggong, Korba L. How to Make E-cash with Non- Repudiation and Anonymity[C]. Proceedings of International Conference on Information Technology: Coding and Computing, 2004: 167-72.