基于 2-D Gabor 滤波器的光学定穴体表特征提取方法

闫勇刚[1,2],欧阳健飞[1],马 祥[1],翟羽佳[1]

(1. 天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室,天津 300072;
2. 河南理工大学 机械与动力工程学院, 河南 焦作 454003)

摘 要:取穴准确性是决定针灸效果的最基本要求,这就需要对取穴体表特征进行精确地定位。文中提出一种新的人体体表特征定位的光学方法,在光学检测平台上通过相机采集不同方向的图像,选取合适的 Gabor 滤波器参数,得到图像的强度响应并提取局部极大值,从而获得定穴体表轮廓特征。为验证该方法的有效性和精度,采用 Sobel 算子、Canny 算子、LoG 算子以及 Gabor 滤波器分别对灰度图像和二值图像进行特征提取。通过对比和分析,发现经过 Gabor 函数滤波后得到的图像轮廓是连续且最清晰的; Gabor 函数对二值图像的滤波效果优于对灰度图像。实验结果表明,所提出的方法能精确快速地定位体表轮廓特征, 为进一步利用轮廓特征提取定穴体表特征点以及研究穴位光学定位方法奠定基础。

关键词:光学定位方法; Gabor 滤波器; 定穴体表特征; 特征提取
中图分类号:TN29 **文献标志码**: A **文章编号**: 1007-2276(2014)05-1685-05

Feature extraction of anatomical landmark using 2-D Gabor filters for localizing acupoints

Yan Yonggang[1,2], Ouyang Jianfei[1], Ma Xiang[1], Zhai Yujia[1]

(1. State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
2. School of Mechanical and Power Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454003, China)

Abstract: Localization of body surface features is needed for the correctness of localizing acupuncture points that determines the acupuncture effect. In this paper, a novel optical method was presented for locating surface features. Firstly, the images around the human model were collected using a camera on a designed optical platform; Then, the images were processed using Gabor filter into magnitude response, and the local maximum were obtained; Finally, the contour features localizing anatomical landmarks were extracted. To test the feasibility and accuracy of the proposed method, the features in gray and binary images were respectively extracted using the edge detection operators (Sobel, Canny, LoG and Gabor operator). It is found that, the contour features by Gabor filter are continuous and clearest; and the filtering

收稿日期:2013-09-11; **修订日期**:2013-10-23
基金项目:国家自然科学基金(61178040)
作者简介:闫勇刚(1977-),男,博士生,主要从事人体生物医学信号检测方面的研究工作。Email:tjzyan@tju.edu.cn
导师简介:欧阳健飞(1962-),男,教授,博士生导师,博士,主要从事精密检测、信号测试方面的研究工作。
Email:oyj@tju.edu.cn

effects of the binary images are better than that of the gray. The results show that the proposed method is valid for locating accurately and quickly the surface contour features, and it lays a foundation for further extracting anatomical landmark based on contour features and studying the optical method localizing the acupoints.

Key words: optic locating method; Gabor filter; anatomical landmark; feature extraction

0 引 言

经络和腧穴学说是祖国医学基础理论的核心之一,是针灸临床治疗疾病的理论基础,在两千多年的医学长河中一直为保障中华民族的健康发挥着重要的作用,并有效地指导着当今中医各科的临床实践。取穴准确性是决定针灸和按摩治疗效果的最基本要求。在传统中医中,其准确性都是依赖于医生的主观判断和个人经验,而这往往会导致定穴偏差[1],不仅不能治病救人,反而会引起医疗事故,甚至于死亡。取穴的不确定性也是西医不认可针灸的原因之一。如何运用现代高新技术, 特别是日趋成熟的生物医学光学方法及非接触测量技术, 结合当前的针灸经络研究现状,另辟蹊径,寻找穴位准确定位的方法,成为生物医学界要解决的首要问题。

针灸腧穴定位方法有三种: 体表解剖标志定位法、"骨度"折量定位法以及"指寸"定位法[2]。这三种方法使用时互有交叉,然而,不管使用哪一种方法都需要医生先定位体表特征,然后以"寸"为单位确定穴位。例如,在定位"阴陵泉"穴和"阳陵泉"穴时,需要分别先找到内踝尖点和外踝尖点的位置, 然后根据所得到的位置和规定尺寸来确定这两个穴位的位置。由此可见, 对定穴体表标志的定位是取穴的关键。包含有定穴体表标志的轮廓特征提取的质量好坏将决定取穴是否准确、可靠。

目前,边缘检测方法大致可分为两类:基于搜索和基于零交叉。基于搜索的方法用一阶微分边缘算子来计算边缘, 包括 Sobel 算子、Canny 算子和 Prewitt 算子等。基于零交叉的方法则是由图像得到二阶导数的零交叉点来定位边缘, 通常用 Laplacian 算子和 LoG 算子等计算零交叉点。Sobel 算子和 Prewitt 算子检测的图像边缘可能大于两个像素; LoG 滤波器在边缘定位精度和消除噪声级间存在着矛盾;而 Canny 算子检测精度高于梯度算子,能够检测出图像较细的边缘部分, 但是需要人为设定高低 2 个阈值[3]。1985 年,J.Daugman[4] 提出二维 Gabor 滤波器,可以很好地解决上述问题,提高检测精度和速度。Gabor 滤波器已被广泛应用于图像处理[5-7],特征提取[8-9]、目标检测[10]和模式识别[11-12]等领域,其依据主要有以下两点:一方面,Gabor 滤波器能够很好地模拟哺乳动物视觉神经的感受域, 符合视觉生理的特点;另一方面,Gabor 滤波器能够获得频率域和空间域的最佳联合分辨率。笔者所在课题组[13]提出将该滤波器应用到脚模图像轮廓提取并取得了一定的成果, 然而, 基于该轮廓特征的标志点提取并不理想,误差较大。因此,文中通过完善基于 Gabor 滤波器特征提取算法,提取脚模轮廓特征;然后,用三种传统算子提取轮廓,并与其进行对比,以验证算法的有效性和准确性。

1 特征提取

1.1 Gabor 滤波方法

二维 Gabor 滤波器已被充分证明是在 2D 测不准情况下, 对信号空间域和频率域的最优描述。一般可用公式(1)表示[14]。

$$\mathbf{g}(\mathbf{x},\mathbf{y};\lambda,\theta,\varphi,\sigma,\gamma)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}e^{-\frac{\mathbf{x}'^2+\gamma^2\mathbf{y}'^2}{2\sigma^2}}e^{i\left(2\pi\frac{\mathbf{x}'}{\lambda}+\varphi\right)} \tag{1}$$

$$\begin{cases}\mathbf{x}'=\mathbf{x}\cos\theta+\mathbf{y}\sin\theta\\ \mathbf{y}'=-\mathbf{x}\sin\theta+\mathbf{y}\cos\theta\end{cases} \tag{2}$$

式中:λ 为余弦调制因子的波长, $\lambda=1/f$,f 是中心频率;θ 是 Gabor 滤波器的方向;φ 是 Gabor 滤波的相位,决定 Gabor 函数的对称性(文中 Gabor 函数是圆对称的,取 $\varphi=0$);γ 是 Gabor 核高斯函数的纵横比,在此, 取 $\gamma=1$, 此时,$\sigma_x=\sigma_y=\sigma$ (σ_x 和 σ_y 是 2D Gaussian 函数的标准偏差),σ 是尺度因子, 表示时域中高斯包络线的宽度。

空间频率 f 和尺度 σ 之间关系可表示为:

$$\sigma=\mathbf{h}/f \tag{3}$$

一般,系数 $\mathbf{h}$ 的范围为 0.3~0.6[15]。文中取 $\mathbf{h}=0.56$。

故公式(1)可写为:

$$g(x,y;f,\theta)=\frac{1}{2\pi\sigma^2}\exp\left(-\frac{x'^2+y'^2}{2\sigma^2}\right)\exp(i2\pi fx') \quad (4)$$

由公式(4)可以看出,Gabor 函数的实部和虚部具有正交相位关系,数学表达式分别为:

$$\begin{cases} h_e(x,y)=\dfrac{1}{2\pi\sigma^2}\exp\left(-\dfrac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)\cos(2\pi fx') \\ h_o(x,y)=\dfrac{1}{2\pi\sigma^2}\exp\left(-\dfrac{x^2+y^2}{2\sigma^2}\right)\sin(2\pi fx') \end{cases} \quad (5)$$

二维 Gabor 函数的实部有具有偶对称的关系,虚部则是奇对称的,在图像处理过程中均有重要的作用。实部一般提取纹理特征的几何信息,而虚部对提取图像的边缘特征具有良好的效果。

1.2 2D Gabor 特征提取

假定一幅灰度图像为 $I(x,y)$,其 Gabor 变换表达式为:

$$F(x,y;f,\theta)=I(x,y)*g(x,y;f,\theta) \quad (6)$$

对于彩色图像,需要将其转化为灰度图像。公式(6)中,$F(x,y;f,\theta)$表示卷积图像,即通过 Gabor 函数滤波后得到的图像。由于设计的滤波器具有中心对称性,如果选择 6 个角度,实际上可看作为 12 个方向上的滤波,完全覆盖所需要的特征,这样,就可以构造 4*12 的 Gabor 滤波器组对图像进行滤波。

2 实验与分析

为了验证所提出方法的有效性,文中以脚足模型为例,搭建一个实验系统,由旋转平台、控制系统、工业相机和计算机等组成,如图 1 所示。

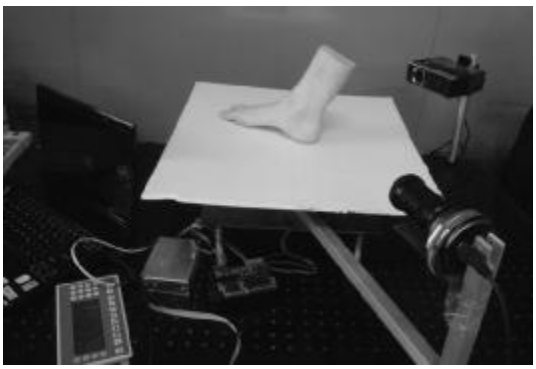

图 1 脚足模型拍摄系统

Fig.1 Shooting system for foot model

2.1 实验数据

将模型放置在旋转平台中间,设置拍摄初始位置,并记为 0°;利用驱动器控制步进电机,固定于旋转连杆上的相机逆时针转动;每隔 π/6 电机停止,拍摄图像;控制系统驱动电机转动一周,获取 12 幅图像,如图 2 所示。这样的选择既可以满足所拍摄物体在不同方向上都有着较好的提取效果;也可以省去缺少感兴趣信息的图像位置上的滤波器,减少 Gabor 函数的计算量。

图 2 不同方向上的脚模图像

Fig.2 Foot images of different orientations

2.2 Gabor 滤波器的选取

为了能准确快速地提取出特征轮廓,文中设计了 Gabor 滤波器的参数。

滤波方向参数 θ 由公式 (7)决定。

$$\theta_m=\frac{m\pi}{M},\ m=0,1,2,\cdots M-1 \quad (7)$$

式中:M 为所采用滤波器包含的角度个数;θ_m 为第 m 个角度。文中选取 0、π/6、π/3、π/2、2π/3 和 5π/6 六个方向,故 $M=6$。

空间频率 f 决定 Gabor 函数的频率选择特性,它的变化与滤波器的频率带宽有关,一般情况下,频率带宽取 1 的时候是最为接近动物视觉系统的,所以实验中频率带宽取 1 的由公式(8)计算得到。

$$f_k=\frac{\pi}{a^k}\quad (a>1,k=0,1,2,\cdots) \quad (8)$$

为了使不同带宽和频率的滤波器组能最大限度地覆盖所需要的区域,需要使它们相互接触但不重

叠,这样频率需要满足公式(9)和公式(10)。

$$\frac{1}{\sigma(f_{k-1})}+\frac{1}{\sigma(f_k)}\geqslant f_{k-1}-f_k \tag{9}$$

$$\frac{2M}{\sigma(f_k)}\geqslant 2\pi f_k \tag{10}$$

得到 $h\leqslant 2M/\pi\approx 3.8$

$$a\leqslant (h+1)/(h-1) \tag{11}$$

取 $c=3.8$,$a=1.7$,当 $k=0$ 时,f 取最大值,随着 k 的增加,f 是逐渐降低的。于是,得滤波器的六个中心频率分别为 $f_0=3.14$,$f_1=1.84$,$f_2=1.08$,$f_3=0.64$,$f_4=0.38$,$f_5=0.22$。

由公式(3)可计算得到尺度 σ 值,尺度值越小则越能够提取更多的图像细节特征; 相反, 尺度值越大提取的内容更侧重于图像的轮廓特征。

2.3 特征提取结果与分析

采用经典的 Sobel 算子[16]、Canny 算子[17]、LoG算子[18]以及 Gabor 滤波器分别对模型的灰度图像和二值图像(选取阈值对灰度图像进行二值化得到)进行边缘特征提取,以便比较其检测效果,具体参数设计详见参考文献[13]。由于篇幅所限,仅选择 0°视图。检测结果如图 3 所示。

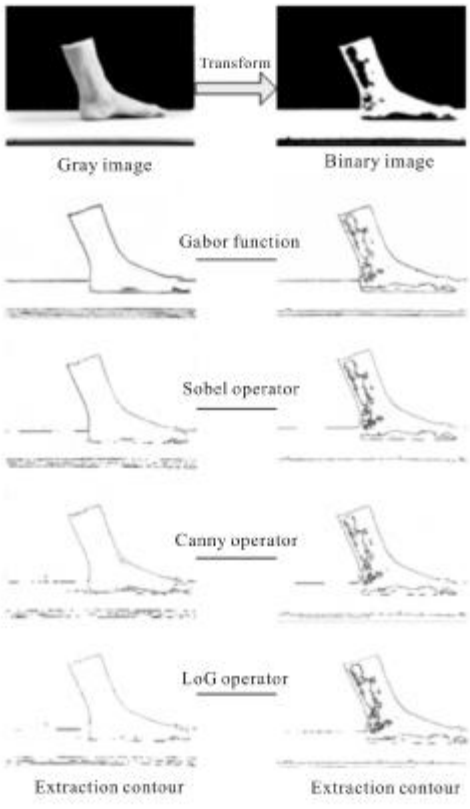

图 3 特征提取结果对比

Fig.3 Comparison of feature extraction using different methods

根据选择的参数, 通过 Gabor 滤波器对脚模的六幅图像进行滤波,得到轮廓特征,如图 4 所示。

图 4 用 Gabor 滤波器进行轮廓特征的提取

Fig.4 Feature extraction using Gabor filter

通过对图3 中图像进行对比和分析可以发现,经过 Gabor 滤波器滤波之后得到的图像轮廓比用经典的 Sobel 算子、Canny 算子和 LoG 算子检测得到的轮廓要连续、清晰和准确,能够为利用轮廓特征提取定穴体表特征点提供极大的便利;同时可以看到,对于灰度图像来说,滤波后只有轮廓特征,连续且仅有一个像素宽度;对于二值图像来说,滤波后保留的信息较多。从图 4 中可以看出,利用 Gabor 滤波器滤波之后能够得到清晰的轮廓特征。从轮廓特征上可以看到一些特殊点存在,比如曲率最大的点,这对于进一步提取定穴体表特征点有重要的作用和意义。Gabor 函数对二值图像的滤波效果优于对灰度图像,从二值图像中能够得到更多有用的信息,比如获得赤白肉际线等。

3 结 论

文中提出一种新的人体体表特征定位的光学方法,通过相机采集人体模型图像,选取合适的 Gabor 滤波器参数, 得到图像的强度响应并提取局部极大值,从而获得定穴体表特征。通过对脚模图像的分析和处理,结果表明 Gabor 滤波器的性能优于 Sobel 算子、Canny 算子和 LoG 算子,滤波之后得到的图像轮廓最清晰,特征最明显,而且二值图象滤波后保留的信息最多。

同时, 实验结果也说明文中提出的方法是有效的和正确的,能够精确快速地定位体表轮廓特征,为进一步利用轮廓特征提取定穴体表特征点以及研究穴位光学定位方法奠定基础。

参考文献:

[1] Aird M, Cobbin D M, Rogers C, et al. A study of the relative precision of acupoint location methods [J]. Journal of Alternative and Complementary Medicine, 2002, 8: 635-642.

[2] GB/T 23237-2009. Methods of anthropometry for locating acupuncture points [S]. 2009.(in Chinese)

[3] Raman Maini, Himanshu Aggarwal. Study and comparison of various image edge detection techniques [J]. International Journal of Image Processing, 2009, 3(1): 1-12.

[4] Daugman John. Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency and orientation optimized by tow-dimensional visual cortical filters [J]. Journal of the Optical Society of America A, 1985, 2(7): 1160-1169.

[5] Sheng Wei, Xia Bin. Texture segmentation method based on Gabor ring filtering [J]. Infrared and Laser Engineering, 2003, 32(5): 484 - 488. (in Chinese)
盛文, 夏斌. 基于 Gabor 环滤波的纹理分割方法[J]. 红外与激光工程, 2003, 32(5): 484 - 488.

[6] Lin Xirong, Su Xiaosheng, Ding Tianhuai, et al. Gabor filter and its application in the fingerprint image processing [J]. Chinese Journal of Science Instrument, 2003, 24(2):183-186.(in Chinese)
林喜荣, 苏晓生, 丁天怀, 等. Gabor 滤波器在指纹图象处理中的应用[J]. 仪器仪表学报, 2003, 24(2): 183-186.

[7] Xu Wanying, Huang Xinsheng, Liu Yuhao, et al. A local characteristic scale selection method based on Gabor wavelets [J]. Journal of Image and Graphics, 2011, 16 (1): 72-78.(in Chinese)
徐婉莹, 黄新生, 刘育浩, 等. 一种基于 Gabor 小波的局部特征尺度提取方法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(1): 72-78.

[8] Luo Xiaoqing, Wu Xiaojun. Detection algorithm for infrared small and weak targets based on wavelet transform and Gabor filter [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(9): 1818-1822.(in Chinese)
罗晓清, 吴小俊. 利用小波变换与 Gabor 滤波检测红外小目标[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(9): 1818-1822.

[9] Qin Hanlin, Liu Shangqian, Zhou Huixin, et a1. Background suppression for dim small target with Gabor kernel non-local means [J]. Infrared and Laser Engineering, 2009, 38(4): 737-741. (in Chinese)
秦翰林, 刘上乾, 周慧鑫, 等. 采用 Gabor 核非局部均值的弱小目标背景抑制[J]. 红外与激光工程, 2009, 38(4): 737-741.

[10] Zhou Mian, Wang Xiangjun. Optical clustering method for locating facial features [J]. Infrared and Laser Engineering, 2011, 40(3): 576-580.(in Chinese)
周冕, 王向军. 一种定位人脸部特征的光学聚类方法[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(3): 576-580.

[11] Kamarainen J K, Kyrki V, Kalviainen H. Invariance properties of Gabor filter-based features - overview and application [J]. IEEE T Imag Process, 2006, 15(5):1088-1099.

[12] Zhou Jiarui, Ji Zhen, Shen Linlin, et al. Face recognition using Gabor wavelets and Memetic algorithm [J]. Acta Electronica Sinica, 2012, 40(4): 642 - 646.(in Chinese)
周家锐, 纪震, 沈琳琳, 等. 基于 Gabor 小波与 Memetic 算法的人脸识别方法[J]. 电子学报, 2012, 40(4): 642-646.

[13] ZhaiYujia. Measurement of anatomical landmarks localizing the acupoints [D]. Tianjin: Tianjin University, 2012. (in Chinese)
翟羽佳. 定穴体表标志定位与测量 [D]. 天津: 天津大学, 2012.

[14] Lee T S. Image representation using 2D Gabor wavelet [J]. IEEE T Pattern Anal, 1996, 18(10): 959 - 971.

[15] Grigorescu S E, Petkov N, Kruizinga P. Comparison of texture features based on Gabor filters [J]. IEEE T Imag Process, 2002, 11 (10): 1160-1167.

[16] Qu Y D, Cui C S, Chen S B, et al. A fast subpixel edge detection method using Sobel-Zernike moments operator [J]. Image and Vision Computing, 2005, 23(1): 11-17.

[17] Hurley D J, Nixon M S, Carter J N. Force field energy functional for image feature extraction [J]. Image and Vision Computing, 2002 (20): 311-317.

[18] Dai X L, Khorram S. A feature-based image registration algorithm using improved chain-code representation combined with invariant moments [J]. IEEE T Geosci Remote, 1999, 37 (5): 2351-2362.