

基于图像纹理自适应的边缘检测算法^{*}

杨 有¹ 余 萍¹ 尚 晋²

(重庆师范大学数学与计算机科学学院 重庆 400047)¹

(重庆电子职业技术学院机电信息工程系 重庆 400021)²

摘 要 通过对图像进行 Fourier 分析, 获取能够表达图像纹理的能量谱, 进而定义能量谱的环特征和楔特征。环特征可以描述纹理的粗细, 楔特征可以描述纹理的方向, 以这两个特征值作为边缘检测模板选择的依据, 使边缘检测具有纹理自适应能力。实验表明, 该算法边缘检测精确, 抗干扰能力强。

关键词 边缘检测, 图像纹理, 傅立叶分析

Edge Detection Algorithm Based on Image Texture Adaptively

YANG You¹ YU Ping¹ SHANG Jin²

(School of Mathematics and Computer Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China)¹

(Engineering Department of Mechanical-Electrical Information, Chongqing Electronic Profession College, Chongqing 400021, China)²

Abstract Through the Fourier analysis of input image, we can obtain its power spectrum which implies image texture. Further the ring and the wedge character of spectrum can be defined. The ring character can describe the density of image texture. The wedge character can describe the direction of image texture. Therefore, the algorithm proposed can detect image edges based on texture adaptively, by using these two characters as criteria of template selection. The experiments show this algorithm can detect image edge accurately and has the capability of noise-resistant.

Keywords Edge detection, Image texture, Fourier analysis

图像边缘检测是图像分割的主要内容。由于边缘中常常包含目标的轮廓信息, 因此边缘检测在数字图像处理和分折中具有重要作用。传统的图像边缘检测算子包括梯度模算子、Roberts 算子、Prewitt 算子、Sobel 算子、Laplace 算子和 Log 算子等^[1], 它们具有使用简单、效果良好的优点。但是这些算子都是通过各种模板对输入图像进行卷积运算来实现边缘检测, 仅仅考虑了图像的梯度特性, 忽视了图像纹理的变化性, 即用相同尺寸的模板在整个图像区域上滑动, 而不考虑图像各个部分的不同纹理特性。其结果必然导致: 1) 大模板对纹理密集区域的不适应, 即大模板无法区分纹理密集区域边缘的细节, 造成边缘模糊现象; 2) 小模板对纹理稀疏区域的不适应, 即由于小模板的噪声敏感性, 导致纹理稀疏区域难以保持边缘平滑和方向。

图像的纹理是图像的某种局部性质, 或是对局部区域中像素之间关系的一种度量。可以认为, 纹理是由许多相互接近的、相互编织的像元构成, 它提供了图像区域的平滑、稀疏和规则等特性^[2]。纹理的描述常常使用统计法、频谱法和结构法, 以及这三种方法的混合方法, 其性质可分为空间性质、频域性质和结构感知性质三类。常用的纹理描述算子包括空间性质的灰度共生矩阵^[3]、频域性质的傅立叶变换和小波变换^[4,5]、结构感知性质的粗细度、对比度和方向性等^[6], 以及它们的混合算子^[7]等。

文献[8]利用小波多尺度滤波和模糊竞争分类法则, 提出了 WFCE 方法, 它具有良好的边缘检测性能和抗干扰能力, 但计算量庞大。文献[9]提出的边缘检测方法, 基于纹理分析, 可较好地保持边缘细节和抑制噪声, 但没有充分利用纹理

的方向性。本文采取 Fourier 频谱分析方法提取图像纹理的环特征和楔特征, 进而确定图像纹理的粗细及方向, 据此再选择模板大小和方向, 最后对图像进行边缘检测。本文提出的方法, 将纹理分析与传统边缘检测算子相结合, 使传统边缘检测算子具有纹理区域自适应的能力, 从而克服传统边缘检测算子两个“不适应”的缺点, 使纹理图像的边缘检测在滤除噪声、提高精度等方面具有更优良的性能。

1 图像纹理的 Fourier 分析

设窗口图像在空域 (x, y) 位置上的像素点具有灰度 $f(x, y)$, 其 Fourier 变换定义为

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{M-1} f(x, y) \exp\{-2\pi i(ux + vy)/N\}$$

$$u, v = 0, 1, \dots, M-1 \quad (1)$$

其功率谱为

$$|F(u, v)|^2 = F(u, v) F^*(u, v) \quad (2)$$

功率谱 $|F(u, v)|^2$ 的分布规律与 $f(x, y)$ 的纹理特征有密切关系。主要表现为: 1) $|F(u, v)|^2$ 的径向分布与 $f(x, y)$ 的空域中的纹理粗细有关。对于“稠密”的细纹理, $|F(u, v)|^2$ 沿径向分布比较分散, 呈现远离原点的分布; 对于“稀疏”的粗纹理, $|F(u, v)|^2$ 往往比较集中分布在原点附近。2) $|F(u, v)|^2$ 分布的方向性与空域中纹理的方向性有关, 两者呈垂直关系。例如, 空域中的水平条纹纹理反映在功率谱分布上将是与之垂直的条状分布。

在实际应用时, 往往首先将功率谱的 (u, v) 平面转换为极坐标 (r, φ) 平面, 其转换关系式为

^{*} 本文受重庆市教委基金项目(KJ070805)资助。杨 有 博士生, 主要研究方向为数字图像处理、档案图像压缩。

$$u=r\cos\varphi, v=r\sin\varphi \quad (3)$$

然后通过功率谱的环特征和楔特征来描述图像纹理。功率谱的环特征定义为

$$P_1(r) = \int_0^{2\pi} |F(u,v)|^2 d\varphi \quad (4)$$

其随半径 r 的分布情况表述了纹理的粗细程度,可用从原点峰值的下降率来描述。功率谱的楔特征定义为

$$P_2(\varphi) = \int_0^{+\infty} |F(u,v)|^2 dr \quad (5)$$

其随 φ 的分布表述了纹理的方向,可用曲线的峰值来描述。功率谱的环特征和楔特征构成了图像纹理的度量空间。

2 纹理自适应边缘检测

2.1 基本思想

由于 DFT (Discrete Fourier Transform, 离散傅立叶变换) 功率谱的环特征可以表征纹理粗细,因此可以根据 $P_1(r)$ 的分布确定边缘检测模板的大小,以期实现大模板对纹理稀疏区域的检测、小模板对纹理密集区域的检测、中等尺寸的模板对介于两者之间的纹理区域进行检测。又由于 DFT 功率谱的楔特征可以表征纹理的方向,因此可以根据 $P_2(\varphi)$ 的分布确定模板的方向性,以期实现不同方向的模板检测不同方向的纹理。

模板的选择由 $P_1(r)$ 和 $P_2(\varphi)$ 共同决定,可描述为

$$T = \begin{cases} TB, & \text{when } g(P_1) > G \\ TS, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

其中 T , TB , TS 分别代表最终选择的模板、大模板和小模板, $g(P_1)$ 代表 $P_1(r)$ 的下降率, G 为一阈值。这样的选择,使得在粗纹理区域检测边缘时只需考虑模板的大小,而在细纹理区域检测边缘时需要同时考虑模板大小和方向。

2.2 环特征和楔特征的计算

在计算时,我们定义 $g(P_1)$ 为

$$g(P_1) = \frac{|F(0,0)|^2}{\sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{M-1} |F(u,v)|^2} \quad (7)$$

它表明, $g(P_1)$ 值越大,功率谱的径向分布越集中,对应着空域图像的粗纹理,则应该使用大模板计算对应像素点的梯度;反之, $g(P_1)$ 的值越小,说明功率谱的径向分布比较分散,对应着空域图像中的细纹理,则应该使用小模板计算对应像素点的梯度。

同时,我们通过对功率谱楔特征 $P_2(\varphi)$ 的计算来定义小模板的选择准则。首先通过下式分别计算 $\varphi=0, \varphi=45, \varphi=90$ 和 $\varphi=135$ 四个方向上的功率总量:

$$P_2(\varphi_i) = 2 \sum_{r=0}^{r_n} |F(u,v)|^2 \quad (8)$$

其中 r_n 表示功率谱分布径向的最大长度。从而可以得到其中的最大值,记为 $P_2^{\max}$:

$$P_2^{\max} = \max_{\varphi_i} \{P_2(\varphi_i)\}$$

最后由下式给出小模板的选择准则:

$$TS = \begin{cases} TS_0, & P_2(\varphi=90) = P_2^{\max} \\ TS_{45}, & P_2(\varphi=135) = P_2^{\max} \\ TS_{90}, & P_2(\varphi=0) = P_2^{\max} \\ TS_{135}, & P_2(\varphi=45) = P_2^{\max} \end{cases} \quad (9)$$

2.2 算法

Step1: 对输入图像的每个像素点,以该点为中心,在滑动窗口内根据式(1)进行 DFT 变换,并由等式(2)计算其功率

谱。

Step2: 根据式(3)将功率谱转换到极坐标平面。

Step3: 根据式(4)和等式(5)的离散形式,计算该窗口内 DFT 功率谱的环特征和楔特征。

Step4: 根据环特征选择模板的大小,根据楔特征选择模板的方向,由式(6)-(9)确定该区域的自适应模板。

Step5: 以该区域的自适应模板计算该像素点的梯度。

Step6: 重复步骤 Step1-Step5,直到输入图像的所有像素点都被处理完,结束。

3 实验与分析

3.1 实验及结果

选取 lena512.bmp 文件作为输入图像,令滑动窗口大小为 7×7 , 对角线上的小模板定义为 Roberts 算子:

$$TS_{45} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}, TS_{135} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

水平和垂直方向上的小模板定义为 Sobel 算子:

$$TS_0 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}, TS_{90} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

大模板定义为 Log 算子(近似模板):

$$TB = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ -1 & -2 & 16 & -2 & -1 \\ 0 & -1 & -2 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

通过本文提出的算法对 Lena 图像进行边缘检测,其结果如图 1(b)所示。图 1(c)-(e)分别为单独使用 Roberts 算子、Sobel 算子和 Log 算子时的检测情况。

3.2 实验分析

由图 1 不难发现,本文提出的方法具有边缘检测的标准性:没有丢失重要边缘,没有虚假边缘。这是因为:对于粗纹理,我们使用了大模板与输入图像进行卷积运算,即粗纹理区域中像素点的梯度值更加依赖于其邻域,这有利于降低这些像素点成为边界点的可能性,从而有效地抑制了噪声。而对于细纹理,我们使用小模板与输入图像进行卷积运算,即细纹理区域中像素点的梯度值对邻域的依赖程度降低,而且由于根据纹理的方向性选择具体的模板,进一步增大了这些像素点的梯度值,这两方面的原因都促使这些像素点成为边缘点。

由图 1(b)还可以看出,使用本文方法提取的边缘连续性比较好。比如,图像左部的垂直竖条和图像右上部 135° 方向上的斜条。这是因为:本文方法不仅考虑了纹理的大小,而且考虑了纹理的方向,更有利于在纹理方向上形成统一的边缘像素集合。

图 2(a)为加入高斯噪声的 cameraman 图像,图 2(b)-(e)为本文算法和其它算法的边缘检测结果。可以看出,由于本文方法中的大模板具有平滑噪声的作用,因此检测边缘时具有较好的抗噪能力。

结束语 本文通过提取图像纹理的环特征和楔特征,使图像的边缘检测基于这两个特征进行,从而实现边缘检测的纹理自适应,克服了传统边缘检测算子的两个不适应的缺点,有效地提高了检测精度,并抑制了噪声。

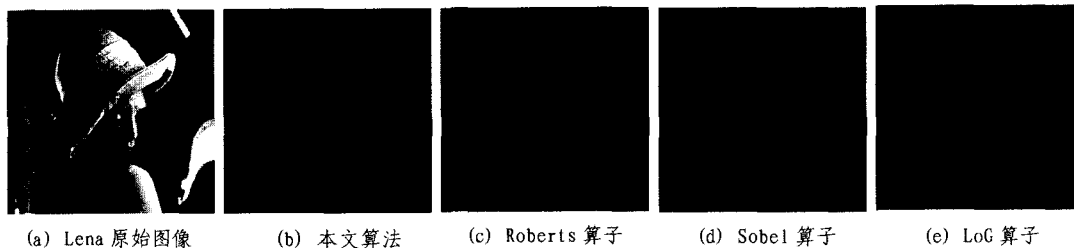


图1 原始图像及边缘检测结果

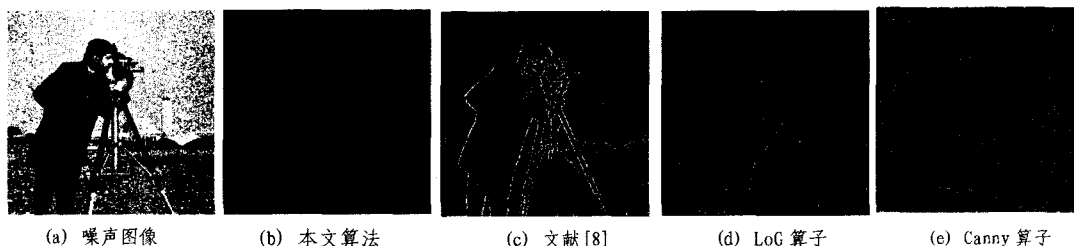


图2 噪声图像的边缘检测结果

参考文献

- [1] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing Second Edition[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2006
- [2] Wechsler W. Texture Analysis—a Survey[J]. Signal Processing, 1980(2): 271-280
- [3] Furht B, et al. Video and Image Processing in Multimedia Systems[M]. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1995: 226-270
- [4] Zhou F, Shi J Q. Texture Feature Based on Local Fourier Transform[J]// IEEE International Conference on Image Processing. 2001, 17(2): 610-613
- [5] Mallat S, Zhong S. Characterization of Signals from Multi-scale Edges[J]. IEEE Transactions on PAMI, 1992, 14(9): 710-732
- [6] Tamura H, Mori S, Yamawaki T. Texture Features Corresponding to Visual Perception[J]. IEEE-SMC, 8(6): 460-473
- [7] Haralick R M. Statistical and Structural Approaches to Texture [J]. Proceedings of IEEE, 1979, 67(5): 786-804
- [8] 尚晋, 施成湘. 小波多尺度模糊竞争边缘检测[J]. 计算机科学, 2005, 32(7): 182-184
- [9] 王光勇, 汪林林, 王佐成. 基于纹理分析的边缘检测算法[J]. 计算机科学, 2007, 34(9): 227-229

(上接第242页)

效果较好。该类主要的错误来至于基于声音的聚类修正过程,将不同的人物归类到同一个人。在电影《云中漫步》片段中,人物聚类的错误主要来至于两个方面:(1)人脸区域过大或衣着区域被阻挡时导致衣着区域无法正确提取;(2)镜头中出现的人物和当时的说话人并不一致情况。虽然语音修正方法提高在该试验中总体提高了准确度,但在镜头人物和说话人不一致时会将人物修正到说话人的类别从而导致聚类错误。

结束语 本文提出一种基于多特征的视频人物索引算法,该算法能够自动检索一段视频中出现的物体并进行分类,由于人物的相似度是基于人的衣着、颜色和声音,因此与人物表情、动作和背景等无关,具有较强的鲁棒性和实用性。试验结果表明,该方法实用而有效,为现有的视频检索方法提供了一种有效的补充,尤其适用于电视剧、谈话节目等视频节目。而对于镜头中存在配音情况或者人物的图像和声音不匹配时,利用本方法无法正确聚类,需要改进;如何将利用人物聚类结果提取更高级语义信息也是今后要深入的问题。

参考文献

- [1] Berrani S-A, et al. Enhancing Face Recognition from Video Sequences using Robust Statistics[C] //IEEE International Conference on Video and Signal-Based Surveillance. Italy, 2005: 324-329
- [2] Sivic J, et al. Person spotting: video shot retrieval for face sets [C]// The 4th International Conference on Image and Video Retrieval (CIVR2005). Singapore, 2005: 226-236
- [3] Yacoob Y, et al. Detection and Analysis of Hair[J]. IEEE Transaction on Pattern analysis and machine intelligence, 2006, 28(7): 1164-1169
- [4] 王鹏, 马宇飞, 等. 一种利用人物相似度的视频索引算法. 电子学报, 2004, 32(6): 968-972
- [5] Albiol A, Torres L, et al. Fully automatic face recognition system using a combined audio-visual approach[J]. Vision, Image and Signal Processing //IEE Proceedings, 2005(6): 318-326
- [6] Volkmer T, Tahaghoghi, et al. The moving query window for shot boundary detection at TREC-12[C]// Proceedings of the TRECVID 2003 Workshop. Gaithersburg, Maryland, USA, 2003: 147-156
- [7] Xiao R, et al. Robust Multi-Pose Face Detection in Images[J] IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2004, 14(1): 31-41
- [8] Lu Lie, Zhang Hong-Jiang. Real-time Unsupervised Speaker Change Detection. [C]// 16th International Conference on Pattern Recognition. Quebec, 2002: 358-361
- [9] Bezdek J C. Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms [M]. New York: Plenum Press, 1981
- [10] Castrill'on-Santana M, et al. Real-time Detection of Faces in Video Streams[C]// The Second Canadian Conference on Computer and Robot Vision (CRV'05). Spain, 2005: 298-305