

基于纹理分析的边缘检测方法^{*})

王光勇¹ 汪林林^{1,2} 王佐成²

(重庆邮电大学计算机学院 重庆 400065)¹ (重庆邮电大学软件学院 重庆 400065)²

摘要 本文对传统的边缘检测算子进行了分析,指出了存在的不足;通过将纹理分析的思想 and 传统的边缘检测算子相结合,提出了一种基于纹理分析的边缘检测新方法。该方法对图像进行纹理分析后自适应地选择模板,因此很好地保持了图像边缘的细节并且抑制了噪声。

关键词 纹理分析,傅里叶变换,梯度算子

Texture Analysis-based Edge Detection Algorithm

WANG Guang-Yong¹ WANG Lin-Lin^{1,2} WANG Zuo-Cheng²

(College of Computer Science and Technology, Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065)¹

(Software School Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065)²

Abstract This article has carried on the analysis to the traditional gradient operator. It has pointed out the drawback of its existence. Through the combination of the texture analysis thought and the traditional gradient operator, we have proposed a new method of edge detection based on the texture analysis. This method has maintained picture edge detail perfectly and noise restrained, because it has used the auto-adapted mask.

Keywords Texture analysis, Fourier transform, Gradient operator

1 引言

图像的边缘是图像特性分布不连续之处,也是出现阶跃变化或屋脊变化的像素集合。传统的边缘检测方法主要靠对图像在 x, y 方向上的梯度计算来确定,常见的有 Laplace 算子、Sobel 算子、Log 算子等,都是通过各种模板在图像上滑动,对图像做卷积运算来实现^[3]。由于单单考虑梯度特性,不能适应图像的多种多样变化。大量的研究证明,纹理是图像的一个很重要的特征,对纹理特征很明显的图像通常采用纹理分析的方法进行分割。近些年来图像纹理分析方法层出不穷,其中常用的有基于傅里叶变换的、基于小波变换的、基于灰度共生矩阵的等等方法^[4,5]。通过这些纹理分析的方法可以得到一些纹理的特征,如纹理的粗细、疏密、一致性等,这些纹理特征在一定程度上表征了图像的一个局部区域内边缘的一些特征。

本文根据纹理特征所表现出的边缘特征,将纹理分析与传统的边缘检测算子相结合,提出了一种基于纹理分析的边缘检测方法,将边缘的疏密程度和纹理复杂度相联系,根据不同的纹理复杂度选择不同的模板,使模板的选择具有一定的自适应性,在一定程度上弥补了传统梯度算子存在的不足。

2 对梯度算子的分析和本文算法的提出

在实际使用传统边缘检测算子的过程中,对图像无论纹理疏密都选择相同大小的模板,卷积后求得图像的梯度图,然后选择一个阈值进行分割。传统的边缘检测算子使用简单,并且对一般的图像都有很好的效果。由于其对图像中所有的

区域都使用同一个大小的模板,故存在以下问题:

(1)对纹理密集的区域选择了大模板,无法区分边缘的细节,造成边缘细节较密的地方出现边缘模糊的现象。

(2)对纹理稀疏的区域选择了小模板,边缘检测过程中小模板易受噪声影响,不利于保证纹理稀疏地区边缘的平滑和方向保持。

由于传统的边缘检测算子存在上述 2 个问题,本文提出了基于纹理分析的边缘检测算法,先对图像的纹理疏密进行分析,根据疏密程度来选择模板的大小。对纹理密集的地方选择较小的模板,保持边缘细节;对纹理稀疏地区选择较大的模板,保持边缘平滑。同时,可以降低噪声的影响,因为纹理比较稀疏时,边缘的尺度一般比较大,方向性比较强,所以应该选择大模板,而不必担心会造成丢失边缘细节的问题。

3 纹理的傅里叶分析方法

3.1 傅里叶分析方法

傅里叶变换是图像纹理分析中常用的方法,傅里叶变换的作用是把空间域信号变换到频域。图像的数据是二维离散数据,则它们的傅里叶变换为离散的

$$F(u, v) = \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp \left[-j2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right]$$

$$u=0, 1, 2, \dots, M-1, v=0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (1)$$

其中 $f(x, y)$ 是数字图像, x, y 是空间域中图像的横纵坐标轴; $F(x, y)$ 是频域图像谱。通常 $F(x, y)$ 是实两个频域变量 u 和 v 的复值函数,频率 u 对应于 x 轴,频率 v 对应于 y 轴。变换后数据为复数,则傅里叶变换的振幅谱、相位谱和能量谱分

^{*})重庆市自然科学基金资助项目(2005BB2065)。王光勇 硕士研究生,主要研究方向:数字图像处理;汪林林 教授,硕士生导师,副博导,主要研究方向:空间数据库与 GIS、计算机网络、系统结构、图像处理、软件与理论等;王佐成 博士,主要研究方向:数据库与数据挖掘、空间数据处理、遥感图像处理。

别为

$$|F(u, v)| = \sqrt{R^2(u, v) + I^2(u, v)} \quad (2)$$

$$\varphi(u, v) = \text{argc}[I(u, v)/R(u, v)] \quad (3)$$

$$E(u, v) = R^2(u, v) + I^2(u, v) \quad (4)$$

其中 $R(u, v), I(u, v)$ 分别表示 $F(u, v)$ 的实部和虚部。 $P(u, v) = |F(u, v)|^2$ 是傅里叶功率谱, 又称能量谱。傅里叶变换具有共轭对称性, 即 $|F(u, v)| = |F(-u, -v)|$, 也就是频率谱分布是以图像原点为对称的。

一幅图像的纹理非常细时, 如果是一幅没有丝毫纹理的光滑平坦图像, 其功率谱只有空间频率为 0 的纹理, 其能量平

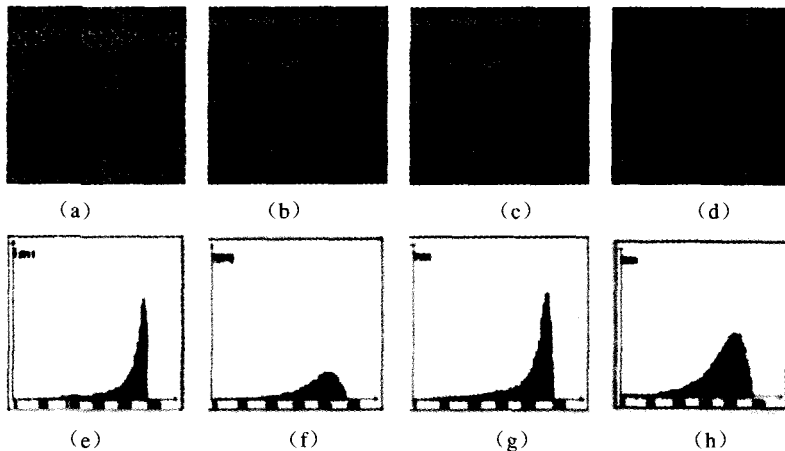


图 1 傅里叶变换后能量谱直方图

3.2 纹理复杂度

由于模板的选择需要考虑图像的局部特征, 因此自然就考虑到纹理分析, 而纹理分析的也就是为了表示局部纹理的复杂度。因为纹理复杂说明图像特征丰富, 边缘和细节集中, 这样纹理分析就能够有效地指导模板的选择。但是不同的纹理分析方法, 其效果是不一样的, 且计算速度也不同。已有文献报道, 图像的分形维数可以很好地描述图像中局部纹理的复杂度, 即纹理越复杂, 相应的分形维数也越大。尽管这种方法效果良好, 但是速度还是不理想。为此, 本文提出了一种新的纹理分析方法, 该方法以图像中的边缘信息作为纹理复杂度的一种度量, 并用其计算图像中每点的纹理复杂度。

对图像中的一点取窗口 $m \times n$, 对其做傅里叶变换, 对变换结果求其直方图。直方图比较尖, 说明纹理比较细并且密集; 直方图比较平缓, 说明纹理比较粗并且分布稀疏。

$$C = \frac{E_0}{m \times n} \quad (5)$$

其中: $m \times n$ 表示窗口的大小, E_0 表示能量最分布峰值的点的个数。显然, C 越大, 能量分布直方图越尖; C 越小, 能量分布直方图越平缓。

3.3 纹理的疏密与模板大小的选择

选择模板大小的一个基本原则是: 对纹理比较密集的区域选择小的模板, 使边缘细节不丢失; 对纹理比较稀疏的区域选择比较大的模板, 保持边缘方向与平滑, 降低噪声影响。

本文算法中将纹理分为: 密集、稀疏。对不同的区域分别使用不同大小的模板: 对密集区域选择的模板大小是 3, 稀疏的区域选择的是 5。我们可以根据具体的情况来调整纹理疏密程度和模板大小的对应关系。纹理不同的疏密程度如何区分也是影响本算法的一个重要问题。

均分布; 当图像中的纹理比较粗时, 能量分布比较集中; 当纹理比较细, 或比较复杂时, 能量分布比较均匀。

直方图是反映统计规律的工具, 我们通过能量直方图来反映能量的分布均匀性。图 1 显示了能量谱直方图和纹理复杂度的关系: 纹理很复杂且比较细时, 其能量谱比较集中, 直方图比较尖; 纹理比较粗时, 其能量分布相对平缓, 直方图比较平滑。因此, 我们可以用傅里叶变换后能量分布的均匀性来描述纹理的复杂程度主要是纹理的疏密和粗细, 我们通过这个性质来确定使用模板的大小。

$$\text{Grad}(i, j) = \begin{cases} \text{small}(i, j), & \text{当 } c(i, j) > T \\ \text{big}(i, j), & \text{当 } c(i, j) \leq T \end{cases} \quad (6)$$

其中: $\text{Grad}(i, j)$ 表示像素 (i, j) 的梯度, $\text{small}(i, j)$ 和 $\text{big}(i, j)$ 分别表示用小和大模板求得的该像素梯度值, T 表示纹理复杂度的阈值。

更进一步, 如果傅里叶变换的窗口取得大些, 例如可以取 16×16 的窗口, 那么对纹理的分类可以更细一些, 可以将纹理分成: 密集、稀疏、很稀疏三个层次或者更多。

4 边缘细节的保持和方向的平滑

由于我们在纹理比较密集和比较细的区域采用了小的模板, 这样边缘细节就不会因为模板的使用而丢失细节, 很好地保持了边缘细节; 在纹理较粗、分布较稀疏的区域使用大模板, 不但可以很好地抑制噪声, 同时达到了保持边缘方向的效果, 避免了使用小模板导致受噪声影响而导致边缘方向不能保持。

5 具体算法

由以上的分析讨论, 我们得到本文的具体算法:

- 1) 对图像滤波。滤波可以去噪同时平滑边缘, 改善分割效果;
- 2) 对每一点, 以该点为中心取滑动窗口 7×7 , 做傅里叶变换;
- 3) 得到傅里叶变换能量谱的直方图, 统计最大的峰值和窗口内像素点个数, 用式(5)求出其纹理复杂度;
- 4) 对每一像素, 根据式(6)选择模板, 计算梯度;
- 5) 对图像中每个像素都进行步骤(2)~(4)的操作。

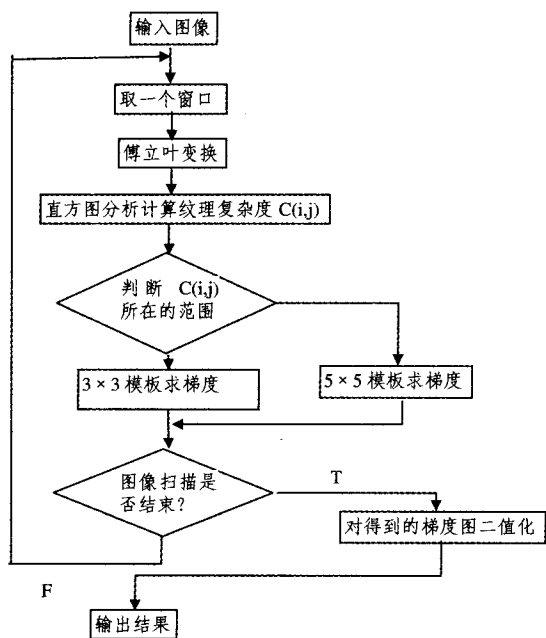


图 2 算法流程图

测算子做比较。实验中为了和传统的边缘检测算子做对照，没有对图像做滤波处理。

对 lena 这幅图来说，我们可以看见对女士的头发和帽子的边缘的细节得到了很好的保持，并且帽子里的边缘很清晰，在 soble 算子分割的结果中，帽子里是模糊的。对 blood 图，边缘的纹理复杂度比较均匀，从分割效果看，比固定大小的梯度算子得到的边缘更细，本文算法对边缘细节保持效果很明显，而且在一定程度上抑制了噪声。通过实验发现，本算法对图像中边缘分布复杂的图像，处理效果更好，如图 1 中 lena 图。

结论 本文对传统梯度算子存在的问题进行了分析，对傅里叶能量谱的特点和纹理特征间的关系进行了分析，建立了纹理复杂度和模板大小的联系，提出了纹理分析的基础上对图像进行边缘检测的新方法，该方法以对图像纹理特征的分析为依据选择模板，将纹理分析与梯度算子相结合，针对不同纹理复杂度的区域选用不同的模板，使梯度模板的选择有了一定的自适应性。实验证明：该方法对纹理密集区域很好地保持了图像边缘的细节；对纹理稀疏区域很好地保持了边缘的方向和平滑，对噪声也有一定的抑制作用，比传统的梯度算子边缘检测的效果要好。下一步的工作考虑将更多的纹理分析方法和已有的边缘检测方法相结合，根据纹理分析的结果指导图像的边缘检测，达到改善边缘检测效果的目的。

6 实验结果及分析

采用 VC++ 6.0 实现本文提出的算法并与传统的边缘检

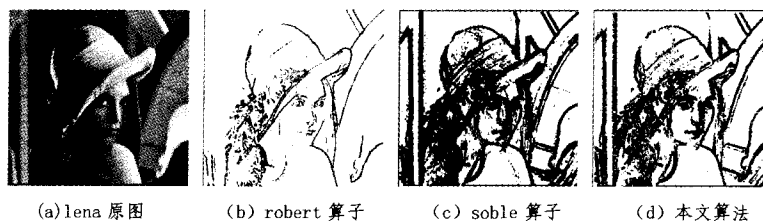


图 3 lena 图实验结果

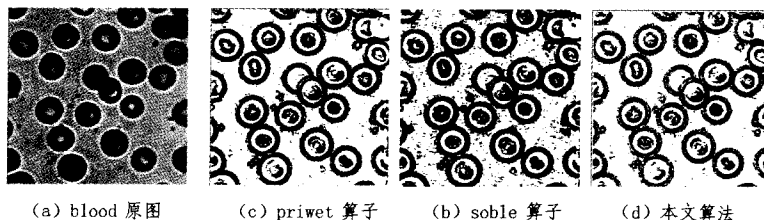


图 4 blood 图实验结果

参考文献

- 1 章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社,2001
- 2 章毓晋. 图像工程(上册):图像处理和和分析[M]. 北京:清华大学出版社,1999
- 3 Gonzalez C, Woods R E. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2003
- 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 朱荀华,杨新,李俊,施鹏飞. 基于纹理分析的保细节平滑滤波器 [J]. 中国图象图形学报,2001,6A(11)
- 6 孙伟,夏良正,潘泓. 一种基于模糊划分的边缘检测算法[J]. 中国图象图形学报,2004,9(1)