

基于多滤波器集成的边缘检测¹

孔祥维 徐蔚然

(大连理工大学电子信息工程学院 大连 116023)

摘 要 该文用多种滤波器从图像中提取灰度分布特征; 针对不同类别的边缘, 分别用不同的灰度分布特征组合进行检测; 把不同类别边缘的检测结果集成以实现图像边缘检测。本文所提方法把边缘检测转化为模式识别问题, 从而增加了边缘检测的灵活性, 同时也提高了检测质量。实验结果表明该方法具有较好的检测效果和抗噪能力。

关键词 边缘检测, 多滤波器集成, 图像

中图分类号 TN911.73

1 引言

边缘检测问题是早期视觉中的主要研究内容, 比较成熟的边缘检测方法是线性滤波方法。其中最具有代表性的有 70 年代末 80 年代初 Marr-Hildreth 提出的基于视觉理论边缘检测理论^[1]; 1983 年 Winkin^[2] 提出的尺度空间滤波理论; 1986 年 Canny 提出的最优滤波器^[3]; 而 Mallat^[4] 又将 Marr 等人的方法统一于小波理论之下, 完善了 Marr 的计算视觉模型。十几年的发展使线性滤波理论已经相当成熟, 但是它的检测结果和人的视觉水平仍然有着天壤之别。线性滤波方法是通过计算像素点某个邻域灰度值分布的导数特征(如梯度最大值)实现边缘检测的。而实际图像的边缘是复杂的, 在多噪声和图像畸变时, 像素点处单一的导数特征显然不能有效表征边缘点的全部信息。而且线性滤波方法只能检测是否是边界, 但不能判断是哪一类边缘。

本文提出的基于多滤波器集成边缘检测方法是从更低的层次描述边缘, 并且对于不同类别的边缘用不同的方法检测。因此本文的方法不仅可以获得很好的检测效果, 而且还可以判断出边缘的类别。用简单的推理就可以从边缘类别信息中得出更多的对图像的理解, 这对于模式识别问题和计算机视觉问题是很有意义的。

2 基于多滤波器集成的边缘检测

2.1 边界的分类

已经提出的众多边缘检测算子和算法所依据的边缘模型基本上都是定义在一维上的阶跃型和屋脊型。这与实际图像中的情况有很大差距, 这种简单的边缘模型已经影响到了问题的本质。本文将二维意义上的边界分为以下 3 种: (1) 二维阶跃边界; (2) 二维线边界; (3) 二维角边界。

2.2 基于多滤波器集成的边缘检测方法

线性滤波方法的“只通过导数特征检测边缘”和“用一种处理方法检测不同类别的边缘”的特性是不恰当的。本文的主要思想是用各种不同的滤波器从图像中尽可能多地提取图像的灰度分布特征; 针对不同类别的边缘, 分别用不同的灰度分布特征组合进行检测; 把不同类别边缘的检测结果集成起来实现边缘检测。用以提取特征的滤波器要具有选择性和抗噪性。选择性是指滤波器只对一种或几种边缘有较高的输出, 而对其它种类的边界输出较小。抗噪性是指滤波器对噪声有较强的滤除作用。

下面首先给出几个具有选择性的滤波器, 同时用实验结果检测其选择性和抗噪性。然后用 min-max 重心法^[5,6] 实现多滤波器集成, 并用实验结果验证本文方法的效果。

¹ 1999-07-20 收到, 2000-02-28 定稿
中国船舶工业总公司国家部级基金资助项目

3 具有选择性的几种滤波器

3.1 二维梯度滤波器

该滤波器主要针对第一类边界提出, 不同方向有不同的表达形式, 大小为 5×5 (如图 1(c) 以 90° 方向为例), 用 $GRAD(\theta)$ 表示, 则 (i, j) 点的滤波输出 $grad(i, j)$ 为

$$grad(i, j) = \max\{GRAD(\theta)I(i, j) | \theta = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ\} \quad (1)$$

$I(i, j)$ 是 (i, j) 点邻域的灰度矩阵.

3.2 二维梯度滤波器性能

这里检验 3.1 节中给出的梯度滤波器性能. 实验图像是 256×256 的 Lena 图像. 实验结果如图 1(a), 1(b) 所示. 虽然梯度滤波器可单独进行边缘检测, 但该滤波器对角边界和点脉冲噪声检测效果不理想.



图 1 梯度滤波器性能

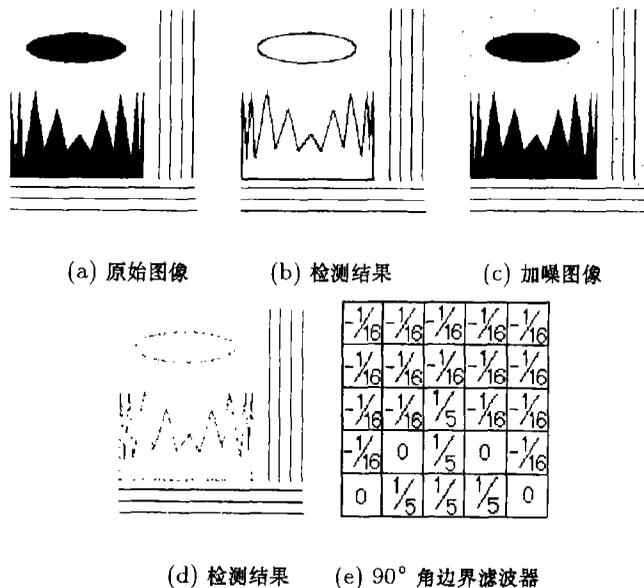


图 2 角边缘滤波器性能

3.3 二维角边界滤波器

针对角边界本文定义了一种滤波器, 如图 2(e) (以 90° 方向为例), 记为 $ANGLE(\theta)$. 该滤波器对于 (i, j) 点输出为

$$\text{angle}(i, j) = \max\{\text{ANGLE}(\theta)I(i, j) | \theta = 0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 135^\circ, 150^\circ\} \quad (2)$$

$I(i, j)$ 是 (i, j) 点邻域的灰度矩阵。

3.4 角边界滤波器性能

这里检验 3.3 节中给出角边界滤波器的性能。实验图像原图是 256×256 的灰度图像，在加噪图像中加的是均值为 0， $\sigma=40$ 的高斯白噪声。实验图像中有各种大小的角度边界和其它各种类型的边界。实验结果表明 3.3 节中的角边界滤波器可以很好地检测出角边界，同时滤掉噪声干扰，具有很好的选择性和抗噪性。

3.5 点噪声滤波器

在边缘检测中，点脉冲噪声对边缘检测的效果影响很大。如果用一种滤波器先检测出点脉冲噪声，然后在滤波器集成过程中消除点脉冲噪声引起的虚假边界，这样就会改善边缘检测效果。点噪声滤波器就是完成检测点脉冲噪声功能的滤波器，记为 PULSE，如图 3(c)。该滤波器对于 (i, j) 点输出为

$$\text{pulse}(i, j) = \text{PULSE}I(i, j) \quad (3)$$

$I(i, j)$ 是 (i, j) 点邻域的灰度矩阵。

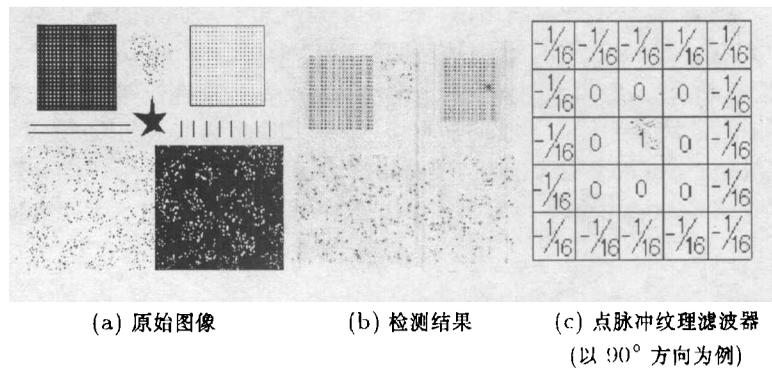


图 3 点脉冲纹理滤波器

3.6 检测点噪声滤波器性能

本节检验 3.5 节中给出的点噪声滤波器的性能。实验图像中有点脉冲噪声和其它各种边界。检测结果表明该滤波器几乎不受其它边界的干扰，具有很好的选择性。

4 多滤波器集成的方法

4.1 多滤波器集成的方法

从上面的实验结果可以看出这 3 种滤波器单独作为边缘检测滤波器时都具有一些特有的好性能，但同时也都有一些不足之处。如果把这 3 种滤波器集成起来，互相取长补短，就会达到很好的边缘检测效果。本文采用模糊推理的方法来实现滤波器集成。模糊推理用的是 min-max 重心法^[5,6]。模糊规则如表 1:

表中第 1 列梯度滤波器输出属于“大”的隶属度为 $\mu_{1j}(i, j) = \mu_{\text{grad}}(i, j) = \text{grad}(i, j)/255$ ，梯度滤波器输出属于“小”的隶属度为 $\mu_{1j}(i, j) = 1 - \mu_{\text{grad}}(i, j)$ 。第 2 列角边界滤波器输出属于“大”的隶属度为 $\mu_{2j}(i, j) = \mu_{\text{angle}}(i, j) = \text{angle}(i, j)/255$ ，角边界滤波器输出属于“小”的隶属度为 $\mu_{2j}(i, j) = 1 - \mu_{\text{angle}}(i, j)$ 。第 3 列点噪声滤波器输出属于“大”的隶属度为 $\mu_{3j}(i, j) = \mu_{\text{pulse}}(i, j) = \text{PULSE}I(i, j)/255$ ，角边界滤波器输出属于“小”的隶属度为 $\mu_{3j}(i, j) = 1 - \mu_{\text{pulse}}(i, j)$ 。第 4 列中“大”对应值为 $\alpha_j = 255$ ，“小”对应值为 $\alpha_j = 0$ 。然后用下面的公式求出结果:

表 1 模糊规则表

梯度滤波器输出	角边界滤波器输出	点噪声滤波器输出	边界模糊隶属度
小	小	小	小
小	小	大	小
小	大	小	小
小	大	大	小
大	小	小	大
大	小	大	小
大	大	小	大
大	大	大	小

$$C_{ij} = \sum_{j=1}^m \left(\bigwedge_{i=1}^n \mu_{ij} \right) \alpha_j / \sum_{j=1}^m \left(\bigwedge_{i=1}^n \mu_{ij} \right) \quad (4)$$

其中 C_{ij} 是求出的 (i, j) 点边界模糊隶属度, μ_{ij} 是表 1 中第 j 行第 i 列所代表的值, α_j 是表 1 中第 j 行第 4 列所代表的值, $m=8, n=3$.

4.2 实验结果

图 4(a) 是 $256 \times 256 \times 8\text{bit}$ 的原始图像, 图 4(b) 是应用本文提出的基于多滤波器集成边缘检测方法的检测结果, 图 4(c), 4(d) 分别是经过 Robert 算子、Robinson 算子检测而得的边缘图像。经过对比可以看出, 应用本文提出的方法能够更为清晰地提取图像的边缘特征。

此外, 为了检验本方法对噪声干扰的抑制作用, 对加有信噪比 (SNR) 为 20dB 的高斯噪声的原始图像 (如图 5(a)) 进行了边缘检测, 检测结果如图 5(b)。图 5(c), 5(d) 分别是对加噪图像应用 Robert 算子、Robinson 算子检测而得的边缘图像, 从结果可见本方法对噪声有较好的抑制功能。

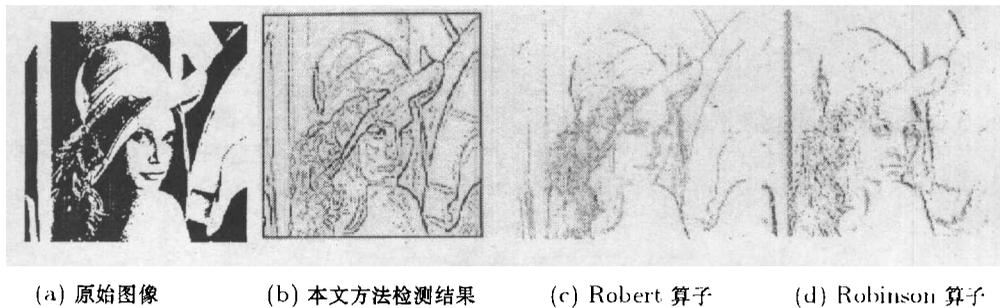


图 4 原始图像边缘检测对比

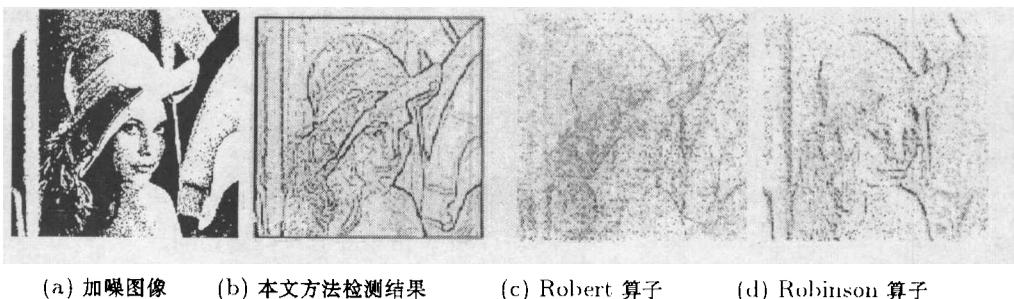


图 5 加有 SNR=20dB 高斯噪声的图像边缘检测对比

5 结 论

在边缘检测中, 如果运用较多的关于图像局部灰度分布的信息, 无疑就会取得较好的边缘检测结果。为此本文构造了不同的滤波器用以从图像中提取图像的灰度分布特征; 然后针对不同类别的边缘, 分别用不同的灰度分布特征组合进行检测; 最后把不同类别边缘的检测结果集成以实现图像边缘检测。

由于是先提取不同特征, 然后再分类, 所以可以说本文的方法是把边缘检测问题转化为模式识别问题。该方法不仅可以获得很好的检测效果, 而且还可以判断出边缘的类别。这样就便于检测出更符合人类认识标准的边缘模型; 还可以用简单的推理从边缘类别信息中得出图像的深层信息(如: 许多线边缘连在一起就表示图中有一条线); 也便于开发基于浅层推理的专家系统。

在构造滤波器过程中还可以应用线性滤波器理论所取得的成果。如何应用多尺度滤波理论构造更多的多尺度、多方向、具有良好的选择性和抗噪性的滤波器是我们今后的研究方向。

参 考 文 献

- [1] D. Marr, E. Hildreth, Theory of edge detection, Proc. Roy. Soc., London, 1980, Vol.B207, 187-217.
- [2] A. Witkin, Scale-space filtering, Int. Joint Conf. Artificial Intelligence, Karlsruhe, West Germany, 1983, 1019-1022.
- [3] J. Canny, A computational approach to edge detection, IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell., 1986, 8(6), 679-698.
- [4] S. G. Mallat, S. Zhong, Characterization of signals from multiscale edges, IEEE Trans. on Pattern Anal. Machine Intell, 1992, 14(7), 710-732.
- [5] Mamdari, Advances in the linguistic synthesis of fuzzy controller, Int'l J. Man-Machine Studies, 1976, 8(6), 669-679.
- [6] Todd Law, Hidennori Itoh, Hirohisa Seki, Image filtering, edge detection, and edge tracing using fuzzy reasoning, IEEE Trans. on Pattern Anal. and Machine Intell., 1996, 18(5), 481-491.

EDGE DETECTION BASED ON INTEGRATION OF MULTI-FILTER

Kong Xiangwei Xu Weiran

(School of Electron. and Info. Eng., Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

Abstract In this paper, a set of filters is used to extract features of gray scale's distribution from an image. Different features detect different kinds of edges. In the end, those results are integrated to get the ultimate image edge. The method presented in this paper turns edge detection into a problem of pattern recognition. So the method can fit to a complex edge model. Experimental results prove that the presented method is feasible and effective.

Key words Edge detection, Integration of multi-filter, Image

孔祥维: 女, 1963年生, 副教授, 中国电子学会高级会员, 中国图像图形学会东北分会副秘书长, 主要从事图像处理, 模式识别, 计算机视觉等方面的研究。

徐蔚然: 男, 1975年生, 硕士生, 从事图像处理, 模式识别, 人工智能等方面的研究。