

文章编号:1001-9081(2007)04-0970-02

## 基于多尺度形态学的红外图像边缘检测方法

刘 曙, 罗予频, 杨士元  
(清华大学 自动化系, 北京 100084)  
(ls01@mails.tsinghua.edu.cn)

**摘要:** 提出了一种基于数学形态学算子的多尺度边缘检测方法。首先选取几个有代表性的结构元素对灰度图像进行边缘检测得到边缘图像。改变结构元素的尺寸大小可得到多尺度下的边缘图像, 根据局部边缘生存期的长短将不同尺度下的边缘图像合成。对噪声大、边缘较模糊的红外图像进行了边缘检测与比较, 实验表明该算法抗噪能力强, 能得到更精细准确的边缘。

**关键词:** 边缘检测; 多尺度; 形态学; 红外图像

**中图分类号:** TP391.41    **文献标识码:**A

### Edge detection of infrared image based on multi-scale morphology

LIU Shu, LUO Yu-pin, YANG Shi-yuan  
(Department of Automation, Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** An edge detection algorithm based on multi-scale morphology was presented. Firstly, image edge was detected by using several typical structure elements. Then, edges in different scale were combined according to the life of local feature, which were detected by changing the size of structure elements. Compared with several conventional edge detectors, the proposed algorithm has better noise immunity and performance on edge detection of infrared image with large noise and blurry edge.

**Key words:** edge detection; multi-scale; morphology; infrared image

## 0 引言

在图像处理与机器视觉等应用领域中, 边缘检测有着重要的地位, 经过有效边缘检测处理过的图像能为目标分割、形状提取和图像识别奠定良好的基础, 并且边缘检测过的图像具有数据量少的优点, 有利于进一步处理。理想的边缘检测应当正确解决边缘的有无、真假和定向定位。要做好边缘检测, 首先要清楚待检测的图像特性变化的形式, 从而使用适应这种变化的检测方法。其次, 由于特性变化总是发生在一定的空间范围内, 不能期望用一种检测算子就能最佳检测出发生在图像上的所有特性变化。当需要提取多空间范围内的变化特性时, 要考虑多算子的综合应用。还要考虑噪声的影响。

现有的图像边缘检测方法一般是利用图像边缘的一阶和二阶导数信息来进行检测, 例如: 梯度法, 模板算子法等。其中被广泛使用的 Sobel 算子、Prewitt 算子和 Laplacain 算子<sup>[1~3]</sup>等, 由于引入了各种形式的微分运算, 对噪声敏感, 抗噪性能差。近年来提出的 Log 和 Canny 边缘检测算子利用高斯函数对原始图像作平滑或卷积运算, 计算量较大。常用的多尺度分析方法是将图像与一宽度可调的高斯函数进行卷积, 这种线性滤波方法在进行多尺度平滑时很容易模糊图像的边缘, 而且作为尺度参数的高斯函数的宽度并不与处理对象的大小直接相关。红外图像由于其特殊的成像原理存在着噪声大、目标和背景之间的灰度差较小、边缘较模糊等特点, 现有方法对红外图像进行边缘检测时效果并不理想。

本文针对红外图像的特点, 提出了一种基于多尺度数学

形态学的边缘提取算法, 在有效地去除噪声的同时得到更精细准确的边缘。算法首先用形态边缘检测算子进行图像边缘提取, 通过改变结构元素的尺寸大小得到不同尺度下的图像边缘信息。考虑到不同尺度下的边缘图像的特点, 文中提出一种新方法对各尺度下的边缘图像有选择地合成, 提高了算法的抗噪能力并得到精细准确的边缘。

## 1 数学形态学边缘检测算子

由于噪声具有灰度变化迅速的特点, 所以用微分算子进行边缘检测具有对噪声敏感的缺点。如果进行减噪, 往往连同目标信息也一并去除。数学形态学是一种用于非线性图像处理和分析的理论, 它屏弃了传统的数值建模及分析的观点, 以几何学为基础, 其基本思想是利用一个结构元素去探测另一个图像, 看是否能够将这个结构元素很好地填放在图像内部, 同时验证填放结构元素的方法是否有效。形态学算子的实质是表达物体或形状的集合与结构元素之间的相互作用。在形态学中结构元素是关键, 它影响图像特征及图像边缘检测的直接结果。选取不同的结构元素和改变结构元素的大小, 都可导致图像运算的结果不同。

基于灰度形态变换的边缘检测算子有膨胀边缘检测算子、腐蚀边缘检测算子和形态梯度边缘检测算子。设  $f(x, y)$  为灰度图像,  $g(x, y)$  为结构元素,  $\oplus$  和  $\ominus$  分别代表形态运算中的膨胀和腐蚀运算符号, 这些边缘检测算子分别定义如下。

灰度膨胀边缘检测算子为:

$$E_d(x, y) = f \oplus g(x, y) - f(x, y) \quad (1)$$

收稿日期:2006-10-17; 修订日期:2006-12-23

作者简介: 刘曙(1973-), 女, 湖北人, 博士研究生, 主要研究方向: 图像处理和计算机视觉; 罗予频(1959-), 男, 湖南人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 计算几何、图论、人工智能; 杨士元(1945-), 男, 上海人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向: 电子系统和设备的测试与故障诊断、数字社区与智能家庭网络技术、消费电子技术。

灰度腐蚀边缘检测算子为:

$$E_e(x, y) = f(x, y) - f \ominus g(x, y) \quad (2)$$

灰度形态学梯度边缘检测算子(即膨胀腐蚀型边缘检测算子)为:

$$G(x, y) = (f \oplus b) - (f \ominus b) = E_d(x, y) - E_e(x, y) \quad (3)$$

式(1)是基于形态膨胀,所得到的图像边缘信号较弱,往往使图像边缘变模糊;式(2)是基于形态腐蚀,虽然所得到的图像边缘信号较强,但是相应地增强了噪声。

## 2 改进的多尺度形态边缘检测算法

结构元素的选取一直是形态学检测的一个难题,它的选择直接影响了图像边缘检测的结果,不同的结构元素可用于提取不同的图像特征。小尺寸的结构元素去噪声能力弱,但检测的边缘细节较好;大尺寸的结构元素去噪声能力强,但检测的边缘较粗糙。因此为了有效克服噪声的影响,得到准确的边缘检测信息,必须合理调整结构元素尺寸的大小。采用多尺度形态检测算子,可克服结构元素尺寸选择的困难。

对于一个给定结构元素序列 $\{g_i | i = 1, 2, \dots\}$ ,如果所有 $g_i$ 均有相同形状,且尺寸随*i*增加而单调增大,则称序列 $\{g_i\}$ 为一个多尺度序列。对一个给定的结构元素序列,不同大小的结构元素可用于抽取在不同尺度上的特征。采用多尺度检测算子<sup>[4,5]</sup>能提高对噪声的抑制作用,但直接对所得到的不同尺度边缘图像按照加权和的方法合成,将会使得边缘模糊不清晰。本文提出了一种新的合成办法,针对不同尺寸下边缘图像的特点达到有效增强模糊边缘并消除噪声影响的目的,解决了小尺寸下受噪声影响的边缘信息在进行边缘合成时影响最终结果,以及大尺寸下的边缘较粗的问题。该算法主要可分为两个步骤。

步骤1:用不同尺度大小的结构元素分别检测出图像的边缘信息。假设 $B$ 为有限结构元素,多尺度结构元素定义为: $B_n = B \oplus B \oplus \dots \oplus B$ ,其中*n*称为尺度参数,是一个正整数。该式表示大尺度的结构元素由小尺度元素的膨胀(或腐蚀)得到。

1)选择有限个具有代表性的有限的结构元素。为减少检测算子对噪声的敏感,采用文献[4]中膨胀和腐蚀方法进行边缘检测,定义菱形结构元素为 $D_{rod1} = \{(0, -1), (0, 1), (0, 0), (-1, 0), (1, 0)\}$ ,另外5种结构元素分别为: $D1 = \{(-1, 0), (0, 0), (0, 1)\}$ , $D2 = \{(0, -1), (0, 0), (1, 0)\}$ , $D3 = \{(-1, 0), (0, 0), (0, -1)\}$ , $D4 = \{(0, 1), (0, 0), (1, 0)\}$ , $D5 = \{(-1, -1), (-1, 1), (0, 0), (1, -1), (1, 1)\}$ ,其中 $(0, 0)$ 表示结构元素的中心。

2)对各个结构元素进行膨胀,其尺度的选取*n*可根据具体情况而定(一般取2~5)。选择尺度*n*=2,没有选择更大尺寸的结构算子,因为更大尺寸的结构算子会使得计算量加大。更为重要的是,更大尺寸的结构算子有可能会包含多个不同的区域,其中某个区域的点的灰度值会强行地赋予其他区域的灰度值,从而使区域的几何形状发生改变,而小尺度的结构算子使得这种影响更小。

3)对不同尺度的各个结构元素进行边缘提取。在尺度*n*下,结构元素膨胀的边缘检测算子为:

$$G_{n_d}(x, y) = \min\{U_{n_{D_{rod1}}}(x, y) - f(x, y), U_{n_{D5}}(x, y) - f(x, y), G'_{n_d}(x, y)\}$$

其中:

$$G'_{n_d}(x, y) = \max\{|U_{n_{D1}}(x, y) - U_{n_{D2}}(x, y)|, |U_{n_{D3}}(x, y) - U_{n_{D4}}(x, y)|\}$$

步骤2:对不同尺度结构元检测到的图像边缘进行融合,从而得到合成边缘图像。

各尺度下的图像边缘不仅包括了有效的边缘,也含有一些由噪声或者结构元素尺寸不合适引起的伪边缘信息,如何从中筛选出有效的图像边缘进行合成尤为重要。这些图像边缘信息都是在一定的尺度范围内才会存在,当尺度超出此范围时,该边缘受相邻区域点的灰度值影响,从而使区域的几何形状发生改变。依据 Witkin 的心理实验结果,在人的视觉系统中,那些在较大尺度范围内可观察到的物体结构较之在较小尺度范围内可观察的物体结构更容易被感知<sup>[6,7]</sup>。由此提出了一个边缘检验标准:生存期。生存期是指局部边缘信息从产生到消亡的对数尺度范围,即:

$$l = \ln(N) - \ln(M)$$

式中*M*为局部边缘信息产生的尺度,*N*为局部边缘信息消亡的尺度。图像上的噪声通常在较小的尺度下对边缘信息产生影响,且存在的尺度范围较小。由此也可看出生存期长的边缘信息比生存期短的更为重要。

令 $f'(x, y)$ 为合成的新边缘, $w_n$ 为各尺度下的权重,对生存期*l*大于设定值*C*的各尺度下边缘信息进行合成,则有:

$$f'(x, y) = \sum_{n=M}^N w_n G_{n_d}(x, y) \quad (4)$$

其中 $[M, N]$ 为局部边缘对应的生存范围。选择合适的生存期*l*,不仅可以去除小尺度下噪声对合成边缘图像的影响,并能得到更精细准确的边缘,同时也限制了较大尺度下区域的几何形状发生改变时对边缘合成的影响。当参数*C*=0时,式(4)退化为普通的加权合成公式。

## 3 实验结果



图1 红外图像中物体轮廓边缘

本文的测试图像来源于汽车辅助驾驶系统。该系统为增强车辆行驶中的安全性,利用安装在汽车上的红外摄像仪拍摄的路面视频图像并加以分析,从而及时提醒司机注意路面状况。这类红外图像的特点是噪声大、边缘较模糊,而且由于摄像机随着汽车行驶,相对于环境运动速度较快容易使得图像上物体产生双重边缘(例如图1中的现象)。这些都增加了红外图像边缘检测的难度。

比较了几种方法对这类红外图像的边缘检测结果(见图2)。从实验结果可以看出,图2(d)~图2(f)受噪声影响均比较严重,Sobel算子无法处理图1中出现的问题,Canny算子和Laplacian算子检测到的边缘严重畸变。图2(b)采用形态多尺度算子效果较好,但是得到的边缘比较粗且模糊,这是由于对各尺度下的图像边缘直接加权合成造成的。图2(c)采用了本文提出的改进算法检测到的物体边缘清晰准确,受噪声影响小。

## 4 结语

本文针对红外图像存在噪声大、目标和背景之间的灰度差较小、边缘较模糊等特点,提出了一种基于多尺度数学形态

(下转第975页)

比特流的同时,进行检错操作,检测到误码块分别以表1中码元位置为起始,要求传输方从这个码块位置重传接下去的

比特。对每个误码率进行5次随机实验,误码检错位置和解码后的PSNR值见表1。

表1 Lena $256 \times 256$  误码检错结果

误码率 $Er$	随机1次		随机2次		随机3次		随机4次		随机5次	
	位置	PSNR(dB)	位置	PSNR(dB)	位置	PSNR(dB)	位置	PSNR(dB)	位置	PSNR(dB)
0.0001	19 807	25.3755	49 352	29.2303	19 807	25.3794	7 048	22.3926	34 073	28.1060
0.0005	4 442	21.5639	5 970	22.2026	438	17.5713	4 728	21.6922	2 579	20.1205
0.001	296	16.6980	2 579	20.1196	1637	19.4991	856	18.0951	4 083	21.4355

误码率 $Er=0.0001$ 时,解码器对检测到的正确码流进行还原,随机5次的图像如图8所示。

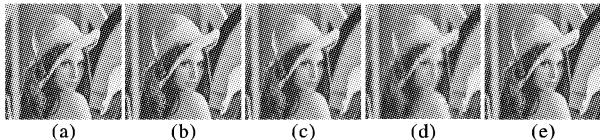


图8 Lena随机5次误码还原图

## 5 结语

SPIHT算法是一种简单有效且嵌入式的小波压缩算法,能获得较好的压缩比和解码质量。但SPIHT算法对路径可靠性要求严苛,任何路径信息的传输错误都会导致剩余码元的解码出错,该缺陷阻碍了算法的广泛应用。

本文改进了SPIHT算法,通过修改多分辨率SPIHT算法中的像素处理流程,使得码元长度遵守一定规律来达到检错目的。无论在扫描LIP还是LIS表的时候,只要存在像素处理操作,通过使用自定义的一系列规则,实现简单检错机制。实验结果表明:改进的SPIHT算法能很好地实现简单误码检错功能,这对于SPIHT算法的应用推广,特别是在Internet和无线通信领域的应用具有借鉴意义。

## 参考文献:

- [1] SHAPIRO J. Embedded image coding using zero trees of wavelet

coefficients[J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 1993, 41(12): 3445–3462.

- [2] 柯丽,黄廉卿. 提升方案结合改进SPIHT的快速图像压缩方法[J]. 光电工程, 2005, 32(1): 60–61.
- [3] SAID A, PEARLMAN W. A new, fast, and efficient image code based on set partitioning in hierarchical trees[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 1996, 6(3): 245–247.
- [4] SUNGDAE CHO, WILLIAM A. A full featured, error resilient, scalable wavelet video codec based on the set partitioning in hierarchical trees (SPIHT) algorithm[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(3): 157–160.
- [5] 贾志科,崔慧娟,唐琨. 改进的SPIHT静止图像压缩编码算法[J]. 清华大学学报(自然科学版), 2001, 41(7): 25–28.
- [6] KILYUG K. Performance improvement of the SPIHT coder[J]. Signal processing: Image Communication, 2004, 19(1): 29–36.
- [7] 卓力,沈兰荪, KIN-MAN L. 基于感兴趣区的图像编码与渐进传输[J]. 电子学报, 2004, 32(3): 411–415.
- [8] 陈林杰,刘学斌,胡炳. 基于改进SPIHT算法的多光谱图像数据的压缩[J]. 计算机应用, 2005, 25(12): 255–259.
- [9] 罗明凤,腾奇志,何小海. 基于SPIHT算法的改进ROI图像编码[J]. 计算机应用, 2006, 26(3): 624–626.
- [10] 赵健,潘建寿. 小波分形结合在图像处理中的应用研究[J]. 计算机工程, 2005, 31(1): 29–52.

(上接第971页)

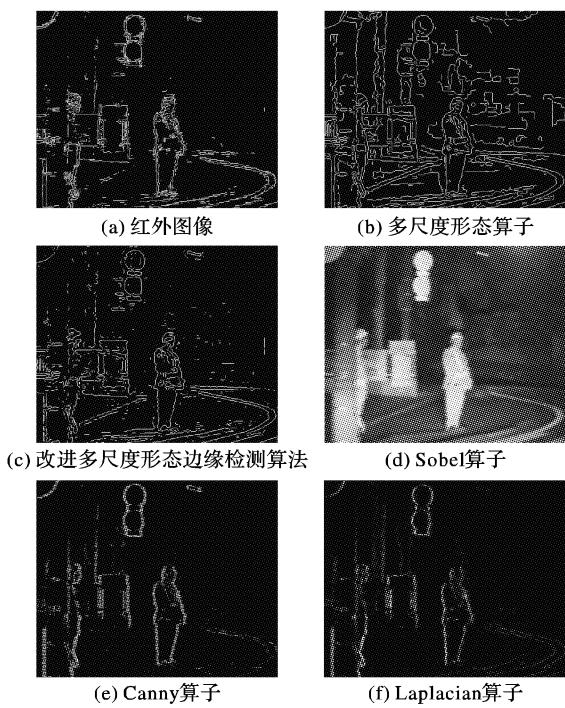


图2 红外图像边缘检测结果

学的边缘提取算法。该算法在有效地去除噪声的同时,能得

到比较准确清晰的图像边缘信息。首先用形态边缘检测算子进行图像边缘提取,不同尺度大小的结构元素分别检测出图像的边缘信息。考虑到不同尺寸的结构元素对噪声和边缘细节处理能力的不同,提出了生存期的概念,对多个图像的边缘进行选择合并得到边缘图像。本文对红外图像边缘检测结果进行比较分析,证明了本文提出的多尺度形态学边缘检测算法抗噪能力强且能得到更精细准确的边缘。

## 参考文献:

- [1] 鲍宗泛,李红华. 关于图像边缘检测的Laplace算子的改进[J]. 中国计量学院学报, 2000, 11(2): 169–172.
- [2] 周心明,兰赛,徐燕. 图像处理中几种边缘检测算法的比较[J]. 现代电力, 2000, 17(3): 65–69.
- [3] 吴剑锋,林强. 一种图像边缘检测的新算法[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2000, 28(4): 26–28.
- [4] B. CHANDA, M. K. KUNDU and V. PADMAJA, A multi-scale morphologic edge detection[J]. Pattern Recognition, 1998, 31(10): 1469–1478.
- [5] 杨平先,孙兴波. 一种改进多尺度形态边缘检测算法[J]. 光电工程, 2005, 32(11): 72–75.
- [6] WITKIN AP. Scale space filtering[A]. Eighth International Joint Conference on Artificial Intelligence[C]. Karlsruhe, West Germany, 1983. 1019–1022.
- [7] LEUNG Y, ZHANG JS, XU ZB. Clustering by scale-space filtering [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(12): 1396–1410.