

基于 Laplace 算子和灰色理论的热红外影像边缘检测

夏清¹, 陈亚凯¹, 张振鑫², 杜翔宇¹, 王海娟¹, 许立江¹

(1. 中国矿业大学(北京) 地球科学与测绘工程学院, 北京 100083;
2. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院遥感科学国家重点实验室, 北京 100875)

摘要: 由于红外热像仪采集的热红外影像存在大量的噪声、边缘信息模糊难提取, 因此, 提出了一种基于 Laplace 算子和灰色关联度相结合的边缘检测方法。该方法首先引进数学形态学对含有噪声的热红外影像进行形态学滤波, 然后利用 8 邻域的 Laplace 算子作为参考序列, 计算参考序列与系统序列之间的关联度得出关联度矩阵, 再给定阈值判断是否为边缘点, 最后细化影像。基于 MATLAB 进行仿真实验, 结果表明: 该算法对具有噪声的热红外影像具有较好的抗噪效果, 能检测出传统方法不能提取的边缘细节信息, 通过调整阈值可以控制检测的边缘信息量, 是一种较好的边缘检测方法。

关键词: 边缘检测; 热红外影像; Laplace 算子; 灰色关联度; 数学形态学

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-8891(2014)05-0377-04

Edge Extraction Algorithm of Infrared Thermal Image Based on Laplace Operator and Gray Theory

XIA Qing¹, CHEN Ya-kai¹, ZHANG Zhen-xin², DU Xiang-yu¹, WANG Hai-juan¹, XU Li-jiang¹

(1. College of Geoscience and Surveying Engineering, China University of Mining and Technology, Beijing 100083, China;
2. Beijing Normal University, School of Geography, State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Beijing 100875, China)

Abstract: There are so much noise in the infrared thermal images collected by imager that it's difficult to extract edge. Therefore a method combining Laplace operator and gray relation is proposed in this paper. Mathematical morphology is introduced to the process of noise for infrared thermal image. Correlation matrix is obtained by calculating the correlation degree between reference sequence and system sequence, 8 neighborhood of Laplace operator as the reference sequence. The threshold is given to determine whether the pixel is edge point. At last, the image is thinned. Based on MATLAB, the result shows that the algorithm not only has the ability to remove noise, but also can extract the edge which other traditional methods can't extract. Edge information can be controlled by threshold adjustment and which is an effective edge extraction method.

Key words: edge extraction, infrared thermal image, Laplace operator, gray correlation, mathematical morphology

0 引言

边缘是影像的最基本特征之一, 影像边缘能够分离出不同的目标与背景, 因此, 边缘检测在图像处理、目标解译中具有重要的意义^[1]。影像边缘检测的效果将直接影响后续的影像分析与识别。近年来, 随着热红外技术的迅猛发展, 利用红外热像仪进行温度探测已被广泛应用在无损探测、遥感监测以及电力工业等领域中。但由于红外热像仪的成像机理、系统特性等特点, 形成的影像易受周围物体的干扰使影像中存在

大量的噪声点^[1-2]。Laplace 算法是传统的边缘检测算法之一, 它是寻找数字图像中的二阶偏导数等于零的点来构成边缘影像。许多国内外研究学者认为, Laplace 算法的缺点在于 Laplace 算子是二阶差分算子, 在边缘检测过程中, 成倍地加强了图像中的噪声, 同时, 锐化了边缘信息, 产生陡峭边缘。这使得检测效果急剧下降。灰色系统理论是在 1980 年由我国著名学者邓聚龙教授最先提出并发展起来的, 它是一种研究小样本、贫信息不确定的新方法^[3]。目前, 国内对灰色理论的研究还比较多, 但是将其应用到图像处

收稿日期: 2013-12-31; 修订日期: 2014-02-26。

作者简介: 夏清 (1987-), 女, 辽宁鞍山人, 博士研究生, 主要研究研石山温度监测与图像处理。

基金项目: 国家自然科学基金, 编号: 41371502。

理领域的研究还比较少。武汉理工大学等一些高校在图像降噪、边缘检测方面做了一些研究,获得较好的边缘检测效果,1993年Huang Ho Chao等人提出将灰色理论应用到图像压缩上^[4],1999年Hsieh ChengHsiung首次将灰色理论应用到图像隐藏中^[5],将其应用到边缘检测、目标识别分析方面国外对其进行的研究鲜少。

基于传统Laplace算子对含有噪声的热红外影像进行边缘检测,会检测出大量的噪声及伪边缘,不能很好的将目标区域提取出来,具有一定的局限性。而基于灰色理论的灰色关联度方法对图像进行边缘提取,关键问题在于寻找一个合适的算子模板序列作为参考序列,如利用Sobel算子作为参考序列^[6],存在单一方向性的缺陷,提取的边缘不连续,所以选取的算子模板要具有各个方向性。因此,针对上述问题,本文基于数学形态学的理论对原始热红外影像进行去噪处理,再提出一种将Laplace算子与灰色关联度相结合的边缘检测方法,实验证明:该方法既能很好的检测出边缘细节信息,又能检测出传统算法无法检测出的边缘,同时抗噪性能较好。

1 基本原理概述

传统的边缘检测算法主要是利用一阶、二阶算子通过卷积完成边缘提取的,常用的有Roberts算子、Sobel算子、LOG算子。Roberts算子及Sobel算子均是基于一阶局部微分寻找边缘的检测算子,Roberts算子对边缘定位准确,但对噪声敏感。Sobel算子具有平滑噪声的作用,但平滑噪声的同时也平滑了图像的边缘信息。LOG算法是利用图像灰度值中二阶微分的零交叉点来检测边缘的算子,虽然能够提取出图像的边缘信息,但由于进行二阶微分,因此对噪声更加敏感,图像中含有较多噪声时,极易受噪声的影响。经典的边缘检测方法有其优势,同时也有其劣势,在利用经典的边缘检测方法时,根据提取的边缘特点的需要,选择适合的方法,或在传统方法基础上加以改进,达到提取理想边缘的目的。

1.1 数学形态学

数学形态学是一门以数学理论为基础的学科。基本思想是用具有一定的数学形态的结构元素去提取和度量影像中的信息,除去不相干的结构,达到分析和识别影像的目的^[7]。形态学主要包括膨胀、腐蚀、开启、闭合四种运算,各运行定义如下^[8]:

- 1) 膨胀运算: $f \oplus b = \max\{f(x, y) + b(m, n)\}$
- 2) 腐蚀运算: $f \ominus b = \min\{f(x, y) - b(m, n)\}$
- 3) 开运算: $f \circ b = (f \ominus b) \oplus b$

4) 闭运算: $f \bullet b = (f \oplus b) \ominus b$

式中: $f(x, y)$ 为影像的灰度级; $b(m, n)$ 为结构元素; \oplus 、 \ominus 、 \circ 、 \bullet 分别为运算符号。

1.2 Laplace算子

Laplace算子是对二维函数 $f(x, y)$ 进行二阶运算的算子,建立 3×3 区域窗口,利用 Laplace 算子与像素中心点所在的 3×3 区域做卷积,求得 Laplace 算子影像,从而提取边缘。其数学公式定义如下^[9]:

$$G(x, y) = |f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1) - 4f(x, y)| \quad (1)$$

式中: $f(x, y)$ 为像素点的灰度级; $G(x, y)$ 为处理后 (x, y) 点的灰度级。

通常情况下, Laplace 算子写为四邻域与八邻域的形式如下:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

1.3 灰色关联度原理

灰色系统指信息不完全或者不完全确定的系统,灰色系统理论可以根据无任何规律的样本来建立数学模型,并且能够从中找出影响系统发展趋势的因素,从而掌握事物的重要特征^[10]。

灰色关联度方法是灰色理论中的重要方法之一,它是根据系统各因素间的联系或发展趋势的相似度来衡量因素之间的关联程度。基本方法是通过对参考序列和系统序列曲线间的几何形状的对比分析,在系统序列中搜索和参考序列曲线形状最相似的序列,即认为这两条曲线形状相似,关联度较大;反之,关联度较小。利用灰色关联度法计算出灰色关联矩阵,给出一定的阈值条件,从而提取出影像边缘^[11]。在数字图像边缘检测中,一般选取 3×3 或 5×5 邻域较合适,基本算法简述为^[12]:

1) 确定参考序列与系统序列。设参考序列为 $X_0(x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n))$, 其中 $x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)$ 为确定的参考序列数值,对于一幅大小为 $M \times N$ 的影像,系统序列为 $X_i(x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n))$, $i=1, 2, \dots, M \times N$, 其中 $x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(n)$ 是由 $M \times N$ 影像中任意一个像素点及其周围相邻位置的像素值构成的序列。求 X_0 与 X_i 的初值像:

$$X'_0 = \frac{X_0}{x_0(1)} = (x'_0(1), x'_0(2), \dots, x'_0(n)) = \left(1, \frac{x_0(2)}{x_0(1)}, \dots, \frac{x_0(n)}{x_0(1)}\right) \quad (3)$$

$$X'_i = \frac{X_i}{x_i(1)} = (x'_i(1), x'_i(2), \dots, x'_i(n)) = \left(1, \frac{x_i(2)}{x_i(1)}, \dots, \frac{x_i(n)}{x_i(1)}\right) \quad (4)$$

X'_0 与 X'_i 分别为 X_0 与 X_i 的初值像。

2) 求差序列。记 $\Delta_i(k) = |x_0'(k) - x_i'(k)|$, $\Delta_i = (\Delta_i(1), \Delta_i(2), \dots, \Delta_i(n))$, $i=1, 2, \dots, M \times N$, $k=1, 2, \dots, n$ 。

3) 计算以各个像素点为中心所形成的参考序列与系统序列间的灰色关联系数:

$$\gamma_{0i}(k) = \frac{m + \xi M}{\Delta_i(k) + \Delta M}, \quad \Delta \in (0, 1) \quad (5)$$

式中: $M = \max_i \max_k \Delta_i(k)$, $m = \min_i \min_k \Delta_i(k)$, $k=1, 2, \dots, n$. ξ 是分辨系数, 事先给定的常数, 通常情况下 $\xi \leq 0.5$ 。

4) 计算以各像素点为中心形成的参考序列与系统序列间的灰色关联度 γ :

$$\gamma = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \gamma_{0i}(k) \quad (6)$$

2 本文算法的具体实现与结果分析

2.1 本文的边缘检测算法

由于红外热像仪获取的热红外影像受多种环境因素的影响, 影像中存在大量的噪声, 如果直接对影像进行边缘检测, 会受噪声的影响检测出大量的噪声与伪边缘, 因此本文针对含有大量噪声的热红外影像采用形态学方法先对其进行去噪滤波处理。具体算法流程如图 1 所示。

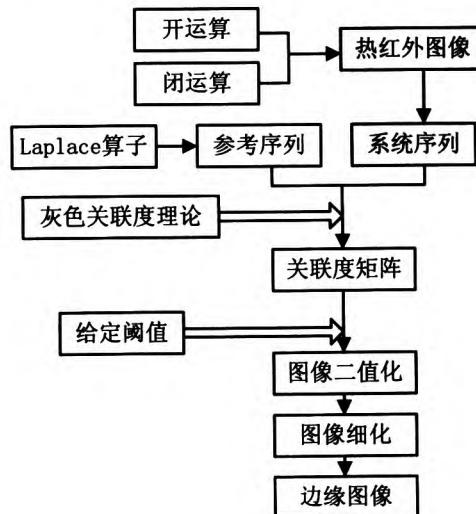


图 1 算法流程图

Fig.1 Procedure of algorithm

1) 首先利用开运算可以消除形状小于结构域元

素的目标点, 然后利用闭运算连接邻近物体及平滑影像边缘。分别采用两个不同尺度的结构元素对影像进行开闭运算, 可以有效地消除噪声的影响。本文选取的两个开闭结构元素分别为 3×3 的圆形结构元素 S_1 和 2×3 的矩形结构元素 S_2 , 如下所示:

$$S_1 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad S_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

运用圆形结构元素进行开运算可去除影像中小于结构元素尺寸的亮点, 同时又能保留灰度和较大亮度区域特性不变; 再利用矩形结构元素进行闭运算, 可除去影像中小于结构元素尺寸的暗点, 同时又能保留原来较大的亮度特征。依次运用两个形态学结构元素对影像进行开闭运算, 能很好地去除噪声, 保留更多的边缘细节特征。

2) 将 Laplace 算子的八邻域模板作为参考序列 $X_0 = (1, 1, 1, 1, -8, 1, 1, 1, 1)$, 从待检测影像中提取系统序列, 基于灰度关联度原理计算影像的关联度矩阵。

3) 边缘点的判断: 给定阈值 ε , 若 $\gamma \geq \varepsilon$, 提取出的像素赋值为 1 (白色), 若 $\gamma \leq \varepsilon$, 提取出的像素赋值为 0 (黑色), 最终形成二值影像, 再将二值影像细化, 得到最终的边缘影像。

2.2 仿真实验与结果分析

本文采用的是日本进口非制冷焦平面红外热像仪, 型号为 TH9100 MV/WV 所获取的热红外影像。热红外影像像素为 $320(H) \times 240(V)$, 可见光影像为 $640(H) \times 480(V)$, 可测温度范围为 $-40 \sim 120^\circ\text{C}$ 。利用的热红外影像是电路元件的一个组成部分, 实际操作环境温度是 29°C , 环境湿度是 60% 左右, 热红外影像的温度范围为 $26.9 \sim 107.6^\circ\text{C}$ 。为了使仿真效果对比明显, 对影像增加 2% 的椒盐噪声, 同时分辨系数 $\xi = 0.5$, $\varepsilon = 0.79$ 进行仿真实验, 实验结果如图 2 所示。

由图 2 可得: 1) 由于热红外影像中存在大量的噪声点, 这对利用传统算子 (Roberts、Sobel、LOG) 进行边缘检测的难度较大, Sobel 算子和 LOG 算子检测出大量的噪声, 受其干扰较严重, Roberts 算子甚至无法检测出边缘信息, 而本文算法经过形态学去噪后, 滤除大量的噪声, 同时又不影响边缘信息的检测。2) LOG 算法检测出的边缘比较粗糙, 甚至存在伪边缘及多像素边缘, 影像效果不清晰, 这不利于后续的影像识别和判读。本文算法对检测出的影像进行了细化处理, 检测出的边缘多为单像素的, 边缘较细, 影像的边缘信息细节特征描述较好。3) Sobel 算子和 LOG 算子检测的边缘由于受大量噪声点的影响, 提取

的边缘外部轮廓不连续,不能够体现目标物体的大致形状,内部细节特征表现也不是很好,本文算法检测的影像在外部轮廓方面较连续且清晰,基本能描述物体的大致形状,定位精度较好。4)本文算法最大的优点在于根据需要,人为设定阈值 ε 来控制边缘的信

息量,能够检测出传统算子无法检测出的边缘细节信息,图2(g)可以看出能够检测出影像右侧的电线轮廓,而传统算子则无法检测出来,取得了良好的边缘检测效果。

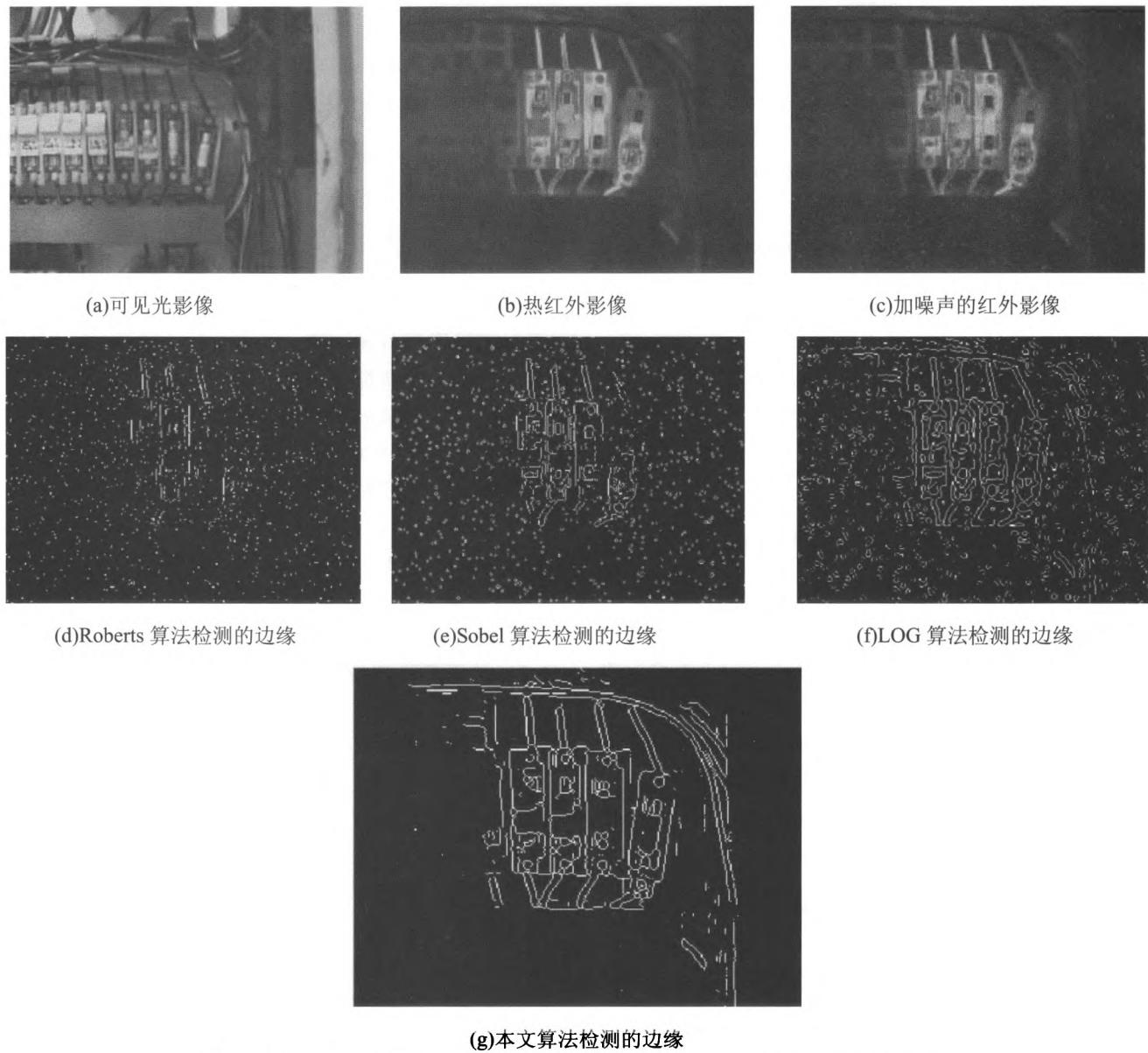


图2 各算法仿真效果图

Fig.2 Simulation diagram of different algorithms

3 结论

本文针对热红外影像中含有大量噪声的特点,提出了一种先对影像进行形态学去噪,然后将 Laplace 算子与灰色关联度相结合的边缘检测方法。结果表明:该方法检测出的边缘轮廓连续且清晰,抗噪效果较好,边缘信息定位准确,多为单像素边缘,同时能根据阈值的设定来控制边缘信息量,检测出传统算法无法检测出的边缘信息,是一种简单、有效的边缘检

测方法。但该方法也有待完善之处,例如对影像边缘点判断的阈值选取上,能否采用自适应的方法,能否综合灰色理论与抗噪原理来自动检测边缘等,这些将是未来研究和改进的方向。

参考文献:

- [1] 孙晓刚,李云红. 红外热像仪测温技术发展综述[J]. 激光与红外, 2008, 32(8): 101-104.

(下转第 388 页)

- Micro-mirror Device[J]. *Infrared Technology*, 2013, 35(2): 97-101.
- [5] D. Brett Beasley, Matt Bender, Jay Crosbys etc. Advancements in the Micromirror Array Projector Technology[J]. *SPIE*, 2003, 5092: 71-82.
- [6] 贾辛, 廖志杰, 刑廷文, 等. 基于 DMD 的动态红外场景投影光学系统设计[J]. 红外与激光工程, 2008, 37(4): 692-696.
Jia Xin, Liao Zhijie, Xing Tingwen, et al. Optical system design of dynamic infrared scene projector based on digital-micromirror device[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2008, 37(4):692-696.
- [7] 关英姿, 杨亮. 数字微镜阵列动态红外景象投射器光学系统设计[J]. 红外与激光工程, 2011, 40(2): 245-248.
Guan Yingzi, Yang Liang. Optical system design of dynamic infrared scene projector based on DMD[J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2011, 40(2): 245-248.
- [8] Joseph P. Rice, Jorge E. Neira, Michael Kehoe, et al.. DMD diffraction measurements to support design of projectors for test and evaluation of multispectral and hyperspectral imaging sensors[J]. *SPIE*, 2009, 7210: 72100D(1-9)
- [9] 许富洋, 李勇, 高志强. 数字微镜器件闪耀特性及其在全息显示中的应用[J]. 光子学报, 2011, 40(3): 332-335.
Xu Fuyang, Li Yong, Gao Zhiqiang. Blazing Characteristics of DMD and Its Applications in Holographic Display[J]. *ACTA Photonica Sinica*, 2011, 40(3): 332-335.
- [10] Dennis R. Page and James A. Carter III .Digital Mirror Device infrared scene projector[J]. *SPIE*, 2223:75-86.
- [11] Julia Rentz Dupuis, David Mansur. Contrast Analysis for DMD-Based IR Scene Projector[J]. *SPIE*, 8015: 801505 (1-10) .
- [12] Easley D B, Bender M, Crosby J. Dynamic infrared scene projectors based on DMD[J]. *SPIE*, 2009, 72100I (1-2) .

(上接第 380 页)

- [2] 夏清, 张振鑫, 王婷婷, 等. 基于改进 Sobel 算子的红外图像边缘提取算法[J]. 激光与红外, 2013, 43(10): 1158-1161.
- [3] 齐英剑, 李青, 吴正朋. 基于灰色相对关联度的图像边缘检测算法[J]. 中国传媒大学学报: 自然科学版, 2010, 17(3): 46-49.
- [4] Huang Ho Chao, Wu J L. Grey system theory on image processing and lossless data compression for HD-media[J]. *The Journal of Grey System Theory and Practice*, 1993, 3(2): 9-15.
- [5] Hsieh ChengHsiung, Shen MengCheng. A grey approach to image hiding based on GDFM model[C]//Proceedings of the 4th National Conference on Grey Theory and Application, Taiwan Kaohsiung, 1999: 161-163.
- [6] 王康泰, 戴文战. 一种基于 Sobel 算子和灰色关联度的图像边缘检测方法[J]. 计算机应用, 2006, 26(5): 1035-1036.
- [7] Jing Xiao-Jun, Ma Yi-Xia, Qu En. Morphological filter based on genetic learning[J]. *Communication and Information Technology*, 2005, 1(12/14): 749-752.
- [8] 陈爱军. 数学形态学及其在图像分析中的应用[J]. 红外与激光工程, 2006, 35: 465-468.
- [9] 王卜堂, 杨善林. 基于 Gauss-Laplace 算子的灰度图像边缘检测[J]. 计算机工程与应用, 2003, 26: 132-134.
- [10] 马苗, 田红鹏, 张艳宁. 灰色理论在图像工程中的应用研究进展[J]. 中国图象图形学报, 2007, 12(11): 1943-1951.
- [11] 胡鹏, 傅仲良, 陈楠. 利用灰色理论进行图像边缘检测[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2006, 31(5): 411-414.
- [12] 邓聚龙. 灰色系统基本方法[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1996.