

# 结合蚁群搜索与边缘检测的红外轮廓提取算法

王 凤

(中山大学新华学院, 广东 广州 510520)

**摘 要:** 现有的边缘检测算法对红外图像进行边缘提取的过程中, 容易出现边缘模糊和噪声残留等现象; 针对这种现象, 提出了一种结合蚁群搜索与边缘检测的红外轮廓提取算法。根据小波变换后各高频子带间的相关性, 引入了图像的相关性因子来对图像信号进行分类; 并对提取的边缘信号进行基于蚁群算法的边缘检测算法进行边缘提取, 来去除其中的噪声信号并对弱边缘信号进行保护。实验结果表明, 其实验结果与预期效果基本相符, 在不同复杂背景的红外图像中, 都具有较好的边缘保护效果与抗干扰能力。

**关键词:** 边缘检测; 蚁群算法; 小波变换; 相关性

**中图分类号:** TP391      **文献标识码:** A      **DOI:** 10.3969/j.issn.1001-5078.2015.06.025

## Infrared contour extraction algorithm based on ants search and edge detection

WANG Feng

(Xinhua College of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510520, China)

**Abstract:** There are edge blur and noise residues in the course of edge extraction for infrared image by existing edge detection algorithm. In response to this phenomenon, an infrared contour extraction algorithm based on ants search and edge detection is put forward. The correlation factor of the image is introduced to classify image signals based on the wavelet transform correlation between each high frequency sub-band. The edge detection algorithm based on ant colony algorithm is used to extract the weak edge signal, then small noise signals are removed and the weak edge signals are protected. Experimental results show that the results are basically consistent with the expected results. It has a good anti-interference ability and edge protective effect in different complex background infrared images.

**Key words:** edge detection; ant colony algorithm; wavelet transform; correlation

### 1 引 言

红外图像的去噪与边缘信号的强化是红外图像处理的重要研究内容, 但两者存在着很难协调的矛盾, 在处理过程中, 如何合理地进行去噪与边缘强化一直都是研究热点。迄今为止, 人们已经提出了许多边缘检测方法, 如拉普拉斯算子<sup>[1-2]</sup>、Canny 算子<sup>[3]</sup>、Sobel 算子<sup>[4]</sup>和 Prewitt 算子<sup>[5]</sup>等。但在实际的处理过程中, 这些边缘检测算子在抗噪性和边缘

保护等方面都不尽人意<sup>[6]</sup>。基于小波变换的边缘检测算法具有良好的局域化特性<sup>[7-8]</sup>, 能够根据能量的大小来对边缘信号与噪声信号进行区分, 使其在抗噪声与边缘定位方面有着较大的优势。但当含噪声时, 该算法依然存在着边缘清晰度与抗干扰能力的不足问题。而红外图像在获取的过程中, 一般都存在着一些干扰与边缘模糊等现象; 因此, 若采用基于小波变换的边缘检测算法对红外图像进行处

**作者简介:** 王 凤(1984 - ), 女, 讲师, 硕士, 主要研究方向为图像处理, 信号处理, 嵌入式系统, 电子与信息技术。E-mail: 78133090@qq.com

**收稿日期:** 2014-10-13; **修订日期:** 2014-11-03

理,依然无法满足人们的需求。

为了弥补基于小波变换的边缘检测算法清晰度不高与抗干扰能力低的不足,本文根据小波变换后各高频子带间边缘信号的相关性<sup>[9]</sup>,对图像信号进行分类,来提高边缘算法对边缘信号搜索效率;与此同时,对于图像的弱边缘信号,根据蚁群算法鲁棒性强等特点,并与传统的边缘检测算法相融合,使其在搜索的过程中具有较强的针对性,来提高算法对边缘的搜索准确性。

## 2 传统的边缘模糊检测算法

传统的边缘模糊检测算法是在小波变换的基础上,将图像的多尺度信号用模糊矩阵的形式进行表示,通过利用模糊集的并交运算与 $\lambda$ 截矩阵来对图像的边缘信号进行求取的<sup>[10-11]</sup>。

在定义尺度 $2^j$ 时,函数 $f(x,y)$ 小波变换小波系数模与幅角表示函数如下所示:

模:

$$M_{2^j f}(x,y) = \sqrt{|W_{2^j f}^1(x,y)|^2 + |W_{2^j f}^2(x,y)|^2} \quad (1)$$

幅角:

$$A_{2^j f}(x,y) = \arctan\left(\frac{W_{2^j f}^2(x,y)}{W_{2^j f}^1(x,y)}\right) \quad (2)$$

建立 $M_{2^j f}(x,y)$ 隶属函数:

$$U[M_{2^j f}(x,y)] = \begin{cases} 1 & , M_{2^j f}(x,y) \geq \beta \\ (1 + (\text{Max} - M_{2^j f}(x,y))^2)^{-1} & , \alpha < M_{2^j f}(x,y) < \beta \\ 0 & , M_{2^j f}(x,y) \leq \alpha \end{cases} \quad (3)$$

其中,Max为梯度方向上的小领域中的最大值, $\alpha$ 与 $\beta$ 根据图像的不同而进行改变;并利用模糊子集的交-并运算合成各尺度模糊矩阵 $U_{2^j f}(x,y)$ ,最终得到 $Uf(x,y)$ 为合成后的模糊矩阵,并结合 $\lambda$ 截矩阵完成边缘图像的获取,设 $Uf(x,y) = (U_{ij})_{m \times n}$ , $\forall \lambda \in [0,1]$ ,可以记 $U_\lambda f(x,y) = (U_{ij}(\lambda))_{m \times n}$ ,其中:

$$U_{ij}(\lambda) = \begin{cases} 1 & , U_{ij} > \lambda \\ 0 & , U_{ij} < \lambda \end{cases} \quad (4)$$

则 $U_\lambda f(x,y)$ 为 $Uf(x,y)$ 的 $\lambda$ 截矩阵。最后得到图像最终的边缘信号。

通过采用上述算法,能够有效地将图像中的边缘信号与非边缘信号提取出来;但通过对红外图像进行研究可以发现,红外图像是利用景物的辐射差来生成的,虽然具有穿透烟雾、积雪以及识别伪装的能力,且不受光线的干扰等优点;但其图像信号同时

具有对比度低、边缘模糊和噪声大等缺点,如果仅仅采用传统的边缘检测算法,是无法很好地对红外图像进行描述的。如图1所示,采用传统的边缘检测算法所获得的边缘图像中边缘信号过多,同时所得的图像中含有过多的干扰,不利于人们对有效信息的获取。

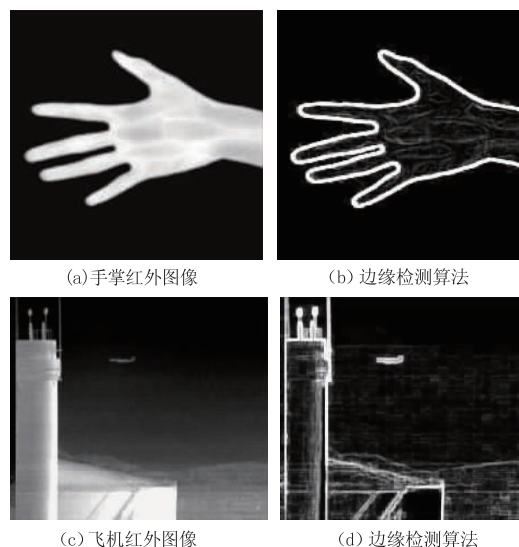


图1 边缘检测算法的实验图

## 3 本文算法

### 3.1 图像的相关性因子

小波变换虽然具有去相关性质,但红外图像经过小波分解后,其高频子带中相邻尺度间的小波系数依然存在着很强的相关性,而噪声的小波系数则呈弱相关或不相关关系;根据这一特性,在本文算法中引入了图像的相关性因子。其方法如下所示。

通过小波分解后,图像的相关性:

$$\text{Corr} = W_n \times W_{n+1}$$

计算可得第 $n$ 层相关性的总功率和小波系数的总功率。

相关性的总功率:

$$P_c = \sum \text{Corr} \times \text{Corr}$$

小波系数的总功率:

$$P_w = \sum W_n \times W_n$$

进而得到如下形式的相关值:

$$\text{Corr}_n = \text{Corr} \times \sqrt{P_w / P_c} \quad (5)$$

即可用到上面的相关值的最小的绝对值:

$$\text{Corr}_{n\min} = \min\{|\text{Corr}_n|\};$$

相关值的最大绝对值:

$$\text{Corr}_{n\max} = \max\{|\text{Corr}_n|\};$$

由于图像的噪声信号是随机分散的,并不具备

图像的相关性,所以本文通过判断其相关性的大小来对图像进行图像降噪,并且将介于最大相关值与

最小相关值之间信号定为模糊边缘信号,得到如下公式:

$$U[M_{2lf}(x,y)] = \begin{cases} 1, & \text{Corr}_{\min} > M_{2lf}(x,y) \\ (1 + (\text{Max} - M_{2lf}(x,y))^2)^{-1}, & \text{Corr}_{\min} \leq M_{2lf}(x,y) \leq 0.45\text{Corr}_{\max} \\ 0, & 0.45\text{Corr}_{\max} < M_{2lf}(x,y) \end{cases} \quad (6)$$

但通过研究发现,采用该算法对红外图像进行边缘提取时,依然存在边缘模糊与干扰等问题,不适应于红外图像的边缘提取,因此,本文结合蚁群算法<sup>[12-13]</sup>,提出了一种基于蚁群算法的边缘检测算法来对图像中的边缘信号进行提取。将蚁群算法的思想引入了边缘检测算法中,进行提高算法对弱边缘信息的提取效果。

### 3.2 弱边缘的提取

改造蚁群算法,通过将其蚁群的搜索概率与边缘检测的隶属函数  $M_{2lf}(x,y)$  进行结合,从而提高算法的搜索效率与准确度。

#### 3.2.1 初始化蚂蚁分布

一般来说,蚂蚁的数量设置为  $K = M \times N$  ( $M, N$  分别表示图像的长度和宽度),  $K$  只蚂蚁随机分布在像素点上。

#### 3.2.2 搜索的分工机制

##### (a) 侦察蚁

侦察蚁负责对网络中局部的侦察,根据边缘检测算法中的隶属函数  $M_{2lf}(x,y)$  来构成侦察素,并作为信息素标记在该像素点上。定义,  $\Delta_{\max} M_{2lf}(i,j)$  为相邻像素网络格中模值的最大值,通过对这网络中模值比较,来避免出现搜索过程中对弱边缘的遗漏问题。其函数表达为:

$$\tau_{i,j}(0) = \begin{cases} \frac{M_{2lf}(i,j)}{\Delta_{\max} M_{2lf}(i,j)}, & \Delta_{\max} M_{2lf}(i,j) \neq 0 \\ 0, & \Delta_{\max} M_{2lf}(i,j) = 0 \end{cases} \quad (7)$$

##### (b) 搜索蚁

搜索蚁的任务则是对全局的搜索,通过像素网络中进行搜索,而为了提高其搜索效率,在结合隶属函数  $M_{2lf}(x,y)$  的同时,还加入了幅角函数  $A_{2lf}(x,y)$ ; 其中每只蚂蚁按照的路径规则如下所示:

$$s = \begin{cases} \arg \max_{j \in \Omega} [(\tau_{i,j})^\alpha \cdot (\eta_{ij})^\beta \cdot \omega_{ij}(A_{2lf}(i,j))] & q \leq q_0 \\ S & \text{其他} \end{cases} \quad (8)$$

其中,  $q$  是一个介于  $[0,1]$  之间的随机数;  $q_0$  ( $0 < q_0 < 1$ ) 是预先设定的数值;  $S$  表示根据  $P_{ij}$  的概率选择的一

个随机数,  $P_{ij} = \frac{(\tau_{i,j})^\alpha \cdot (\eta_{ij})^\beta \cdot \omega_{ij}(A_{2lf}(i,j))}{\sum_{i,j \in \Omega} (\tau_{i,j})^\alpha \cdot (\eta_{ij})^\beta \cdot \omega_{ij}(A_{2lf}(i,j))}$ 。

$\eta_{ij}$  为蚁群的启发信息,而  $\omega_{ij}(A_{2lf}(i,j))$  为权重函数,其中与蚁群原来的方向,其权重值越大;而越是方向偏离越大,其值越小;  $\alpha$  和  $\beta$  分别表示启发因子和信息素在选择下一特征时的相对重要程度。

#### 3.2.3 信息素更新

当蚂蚁从一个像素点移动到另外一个像素点时,信息素按照以下函数进行更新:

$$\tau_{i,j} = (1 - \rho) \cdot \tau_{i,j} + \rho \cdot \Delta \tau_{i,j} + c \cdot \tau_{i,j}(0), \quad \Delta \tau_{i,j} = \eta_{i,j} \quad (9)$$

通过引入侦察蚁来进一步提高搜索的准确性,而当搜索蚁每次迭代结束后,则对所有像素点的信息素进行全局更新:

$$\tau_{i,j} = (1 - \xi) \cdot \tau_{i,j} + \xi \cdot \tau_0$$

其中,  $\xi$  ( $0 < \xi < 1$ ) 表示全局信息素挥发率;  $\tau_0$  是一个常数。

#### 3.2.4 弱边缘提取

在完成预先设置的迭代次数后,选择一个阈值  $T$ , 根据每个像素的信息素强度判断该点是否为边缘点。

最终得到边缘检测表达函数为:

$$U(t) = \begin{cases} 1, & \text{Corr}_{\min} > M_{2lf}(x,y) \\ ph_{ij}(t), & \text{Corr}_{\min} \leq M_{2lf}(x,y) \leq 0.45\text{Corr}_{\max} \\ 0, & 0.45\text{Corr}_{\max} < M_{2lf}(x,y) \end{cases} \quad (10)$$

### 3.3 算法流程

Step 1: 初始化处理。

Step 2: 对图像的像素点进行小波分解,将图像信号分解为高频信号与低频信号。

Step 3: 根据公式(5)计算出各高频子带间的相关性,并根据其相关性对图像信号进行分类,即采用公式(6)提取出图像的强边缘信号与模糊边缘信号;此时,保留图像的强边缘信号,而对模糊边缘信号进行再处理,即转至 Step 4。

Step 4: 对提取出来的模糊边缘信号进行基于蚁群算法的边缘检测算法的边缘提取,通过结合侦察蚁公式(7)与搜索蚁公式(8)来对其边缘信号进行搜索,并结合公式(9)对蚁群路径的信息素进行更新。

Step 5:通过结合预先设定的迭代次数,完成对弱边缘信号提取。

Step 6:将提取出来的边缘信号进行整合,最终得到去噪效果好且细节度较高的边缘图像。

#### 4 仿真实验

为了对算法进行验证,本文选取了两组不同类型的红外图像进行了实验,第一组采用简单且纹理比较少的红外图像,而第二组则采用纹理较多的红外图像,并选取基于小波变换的边缘检测算法<sup>[14]</sup>、文献算法<sup>[15]</sup>来与本文算法进行对比,实验在 MATLAB 7.10.0 环境中进行。

实验一:使用飞机的红外图像,该图为背景简单的图像,来检验算法的边缘获取效果。如图 2 所示。



图2 简单红外图像的仿真图像

通过观察图 2 可以看到,基本小波变换边缘检测算法处理后的飞机 A 与飞机 B 的边缘图像存在较多的噪声信号,进而影响到图像的清晰度;而通过采用文献算法所得的图像,虽然很大程度的减少了噪声信号,但其边缘信号存在不连续的现象。

实验二:采用背景比较复杂的红外图像,来检验算法对抗干扰能力。如图 3 所示。

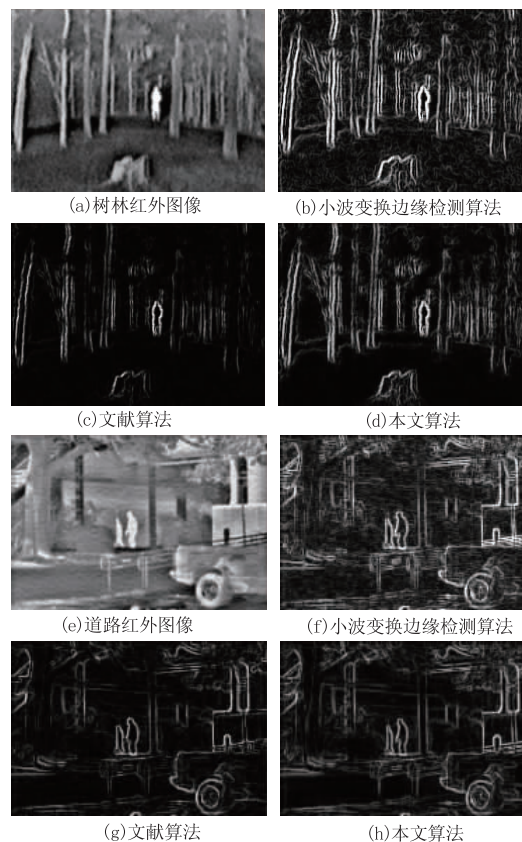


图3 复杂红外图像的仿真图像

通过观察图 3 可以看到,在图像较为复杂的情况下,基于小波变换边缘检测算法的边缘检测效果依然容易受到噪声信号的影响,而采用文献算法所获得的边缘图像其边缘出现了大规模的缺失,如树林在的树木框架基本已无法成型。

根据上述两个实验可以看到,本文算法的在边缘提取与去噪效果上优于其他算法,能够在保留其红外图像的边缘信号的情况下减少噪声信号的干扰。传统的小波变换边缘检测算法虽然能够有效地提取出图像的边缘信号,但却存在着较多的干扰信号,使图像清晰度无法得到满足;而文献算法通过结合边缘的择优,虽然能够有效地减少图像的噪声信号,但却使图像信号中的部分细节信号缺失,从而降低了图像的可读性。

各算法的处理速度如表 1 所示。可以看出,在对简单类型的红外进行边缘检测时,本文算法的检测速度与文献算法的速度相近,平均高出小波变换边缘检测算法 0.52 s;而对于复杂类型的红外图像进行边缘检测时,本文算法所需检测的时间都由于其他算法,平均高出文献[15]算法 0.23 s。由此可以看出,本文算法在复杂类型的红外图像边缘检测中具有较大的优势,也证明了算法的可行性。

表 1 各算法的处理时间比较

| 图像   | 时间/s       |          |      |
|------|------------|----------|------|
|      | 小波变换边缘检测算法 | 文献[15]算法 | 本文算法 |
| 飞机 A | 3.21       | 2.65     | 2.63 |
| 飞机 B | 3.77       | 3.25     | 3.31 |
| 树林   | 5.12       | 4.01     | 3.81 |
| 道路   | 5.19       | 4.23     | 3.97 |

对于复杂型的红外图像,其中含有较多的细节信号,为此,本文以第二组为例的边缘图像直方图进行分析,其各图像的处理效果直方图如图 4 和图 5 所示。

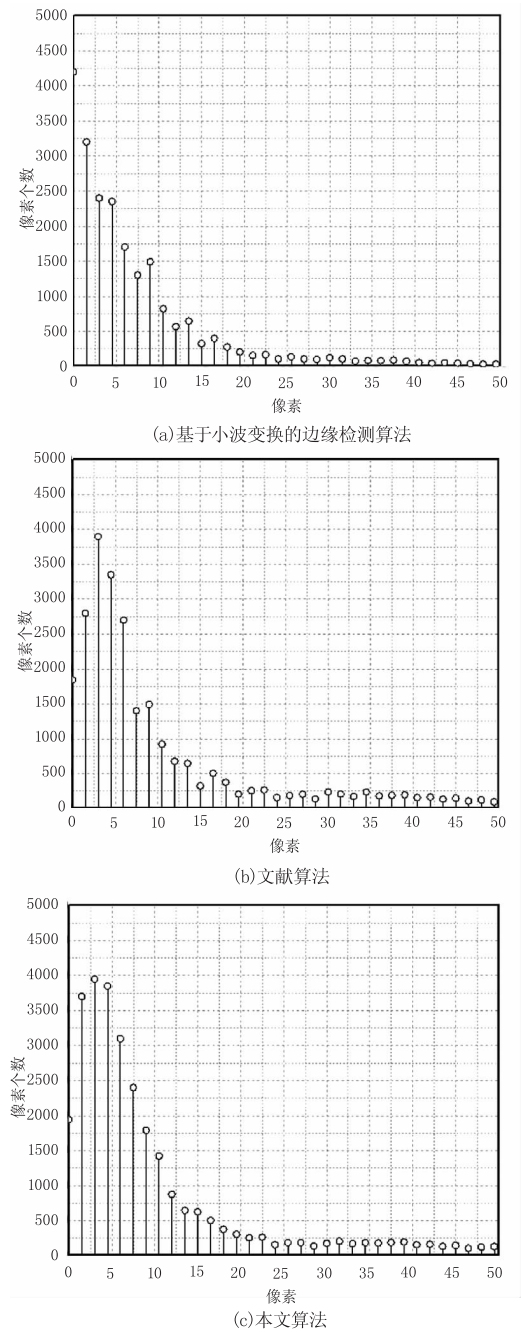


图 4 树林红外图像各算法的直方图

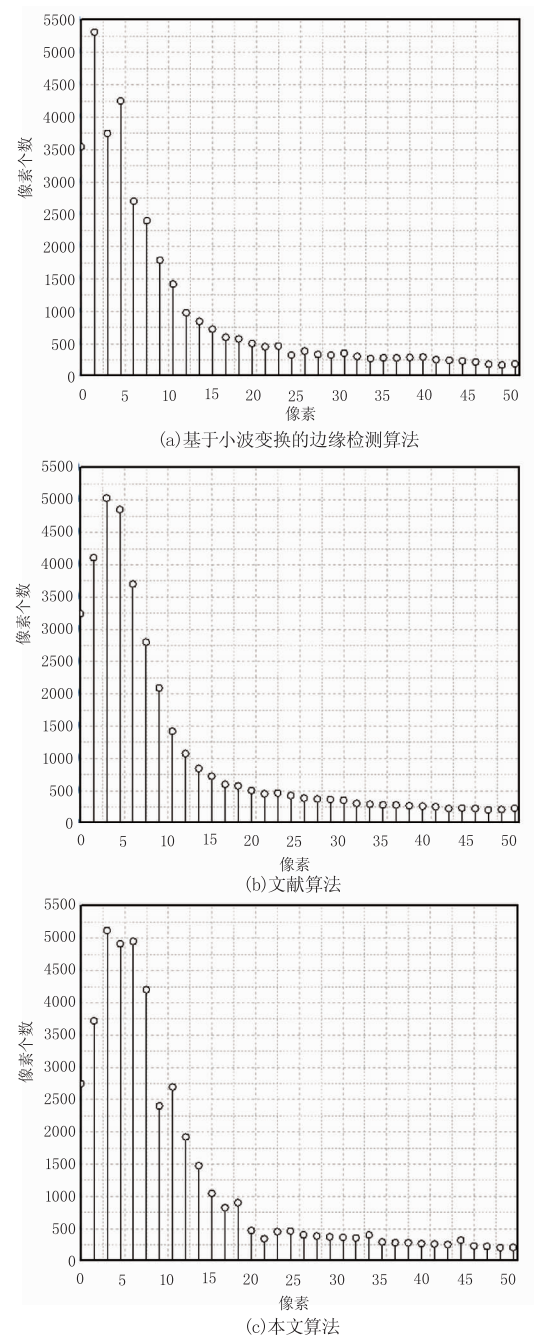


图 5 道路红外图像各算法的直方图

通过观察各算法的直方图可以看到,采用基于小波边缘的边缘检测算法法处理后,图像的灰度值都集中在前面,且呈指数衰减的趋势,这表明了边缘图像的细节较模糊。相较之下,文献算法与本文算法的直方图分布有效地减缓了灰度值的衰减速度,其中,本文算法的直方图灰度值的分布相对较宽,有效地证明算法对于细节的保护能力。

5 结 语

提出了一种结合蚁群搜索与边缘检测的红外轮廓提取算法,通过在传统的边缘模糊检测算法的基础上,利用高频子带边缘信号的相关性,先对图像的

边缘信号进行分类处理。同时对图像的弱边缘进行深入处理,通过模拟蚁群搜索食物的方式,来对图像中的弱边缘信号进行提取。实验结果表明,在不同类型背景的红外图像中,该算法能够在保持良好的边缘提取效果的同时,具有较强的抗干扰能力,通过观察最后各算法所得的直方图,与预期的效果基本相符,有效证明了算法的可行性。

#### 参考文献:

- [1] Nashat S, Abdullah A, Abdullah MZ. Unimodal thresholding for laplacian-based canny-deriche filter[J]. Pattern Recognition Letters, 2012, 33(11): 1269 – 1286.
- [2] Ilk HG, Jane O, Ilk O. The effect of Laplacian filter in adaptive unsharp masking for infrared image enhancement [J]. Infrared Physics & Technology, 2011, 54 (5): 427 – 438.
- [3] MEI Yaosong, YANG Shuxing, MO Bo. Improved edge detection algorithm based on canny operator[J]. Laser & Infrared, 2006, 36(6): 501 – 503. (in Chinese)  
梅跃松,杨树兴,莫波. 基于 Canny 算子的改进的图像边缘检测方法 [J]. 激光与红外, 2006, 36 (6): 501 – 503.
- [4] Lopez-Molina C, De Baets B, Bustince H, et al. Multiscale edge detection based on gaussian smoothing and edge tracking [J]. Knowledge-Based Systems, 2013, 44: 101 – 111.
- [5] Zhang H, Zhu Q P, Fan C E, et al. Image quality assessment based on prewitt magnitude [J]. Aeu-International Journal of Electronics and Communications, 2013, 67(9): 799 – 803.
- [6] WAN Z P. Efficient image denoising method based on wavelet-contourlet transform and threshold p [J]. Laser & Infrared, 2013, 43(7): 831 – 836. (in Chinese)
- 万智萍. 一种高效的小波 Contourlet 变换阈值去噪算法[J]. 激光与红外, 2013, 43(7): 831 – 836.
- [7] Nes P G. Fast multi-scale edge-detection in medical ultrasound signals [J]. Signal Processing, 2012, 92 (10): 2394 – 2408.
- [8] Xu P F, Miao Q Q, Shi C, et al. An edge detection algorithm based on the multi-direction shear transform [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2012, 23(5): 827 – 833.
- [9] Yang C H, Olson B, Si J N. A multiscale correlation of wavelet coefficients approach to spike detection [J]. Neural Computation, 2011, 23(1): 215 – 250.
- [10] Mahani MAN, Moghadam M K, Nezamabadi-Pour H. A fuzzy difference based edge detector [J]. Iranian Journal of Fuzzy Systems, 2012, 9(6): 69 – 85.
- [11] Wanpeng P, Che R S, Ye D. An illumination – independent edge detection and fuzzy enhancement algorithm based on wavelet transform for non-uniform weak illumination images [J]. Pattern Recognition Letters, 2008, 29 (3): 192 – 199.
- [12] Mullen R J, Monekosso D N, Remagnino P. Ant algorithms for image feature extraction [J]. Expert Systems With Applications, 2013, 40(11): 4315 – 4332.
- [13] Mullen R J, Monekosso D N, Remagnino P. Ant algorithms for image feature extraction [J]. Expert Systems With Applications, 2013, 40(11): 4315 – 4332.
- [14] Wu Y, He Y J, Cai H M. Optimal threshold selection algorithm in edge detection based on wavelet transform [J]. Image and Vision Computing, 2005, 23 (13): 1159 – 1169.
- [15] Wang W, Yang L J, Xie Y T, et al. Edge detection of infrared image with CNN\_DGA algorithm [J]. Optik, 2014, 125(1): 464 – 467.