

基于模糊神经网络的红外图像边缘提取算法

崔素梅¹, 赵美蓉¹, 宋乐¹, 王力强², 陈炎华¹

(1. 天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072; 2. 天津职业技术师范大学工程实训中心, 天津 300222)

摘要:针对现有图像边缘提取算法存在的噪声平滑能力与边缘精确定位之间的矛盾,以及红外图像自身信噪比低、视觉效果模糊和对比度差等缺陷,利用模糊神经网络的学习、自适应和模糊处理等优点,提出了一种基于模糊神经网络的红外图像边缘提取方法。计算各像素点8个方向的基本梯度、左关联梯度和右关联梯度,并将其组成梯度数组,把8个方向的梯度数组作为模糊神经网络的输入信号,通过学习和模糊处理最终可获得相对精确的红外图像边缘。实验结果表明,该方法抗噪能力强,边缘保留完整且为单像素宽,在处理红外图像边缘提取上要优于其他算法。

关键词:边缘提取; 红外图像; 关联梯度; 模糊神经网络; 隶属度

中图分类号:TP391.41 **文献标识码:**A **DOI:**10.3969/j.issn.1001-5078.2012.09.022

Infrared image edge extraction based on fuzzy neural network

CUI Su-mei¹, ZHAO Mei-rong¹, SONG Le¹, WANG Li-qiang², CHEN Yan-hua¹

(1. State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
2. Engineering Training Center, Tianjin University of Technology and Education, Tianjin 300222, China)

Abstract: With regard to the contradiction between noise-smoothing capabilities and accurate positioning of image edge, which results from the existing image edge detection algorithms, a new infrared image edge detection method based on fuzzy neural network is proposed utilizing the fuzzy neural network's learning, adaptive and fuzzy processing. We calculate basic gradient, left associated gradient and right associated gradient of each pixel in eight directions, which constitutes gradient array. The gradient arrays in eight directions are then set as input of fuzzy neural network. Finally the relatively precise infrared image edge is obtained by learning and obfuscation. Experimental results show that this method has powerful denoising capability. It can retain intact edge whose edge width is single-pixel level. That indicates the method is superior to other algorithms in dealing with infrared image edge.

Key words: edge extraction; infrared image; associated gradient; fuzzy neural network; membership

1 引言

图像边缘包含图像的轮廓、位置等主要特征,为进行目标识别、特征描述、图像复原等图像分析与处理提供了有价值的特征参数。因此,图像边缘提取在机器视觉领域和其他图像分析与处理领域中起着重要的作用。传统的图像边缘提取方法有 Prewitt 算子、LOG 算子、Canny 算子和零交叉方法等^[1],现代的图像边缘提取方法有基于形态学的边缘提取方

法和基于模糊理论边缘提取方法等,但这些方法均存在噪声平滑能力和边缘精确定位之间的矛盾。加之红外图像具有噪声成分复杂且较大、空间相关

基金项目:国家自然科学基金项目(No. 60874106);(No. 51175377)资助。

作者简介:崔素梅(1987-),女,在读硕士,主要从事光电传感、视觉检测,三维尺寸测量等方面的研究。E-mail: cuisumei001@163.com

收稿日期:2011-12-29

性强、目标和背景对比度差,视觉效果模糊等特点^[2-3],使得这些常用的图像边缘提取方法无法准确地提取出红外图像的边缘。

模糊神经网络是模糊理论与神经网络的有效结合,充分考虑了两者的互补性,具有学习、识别、自适应和模糊处理等功能^[4]。为了克服已有边缘提取算法中难以克服的噪声平滑和边缘准确定位之间的矛盾,将模糊神经网络引入到红外图像边缘提取中。首先计算各个像素点 8 个方向的基本梯度^[5]和左右关联梯度,并将每个方向的 3 个梯度组合成梯度数组,将 8 个方向梯度数组作为神经网络的输入信号,通过学习、自适应和模糊信息处理最终可准确提取到红外图像的边缘。

2 基本梯度和关联梯度

对于二维红外图像中的任意一像素点 $f(x, y)$, 每个邻域对应一个方向^[6], 分别记为 $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8$, 图 1 为 d_1 方向的示意图, 其基本梯度为 $\nabla_{d1}f(x, y) = |f(x-1, y-1) - f(x, y)|$, 则左关联梯度为 $\nabla_{d1}f(x+1, y-1) = |f(x, y-2) - f(x+1, y-1)|$, 右关联梯度为 $\nabla_{d1}f(x-1, y+1) = |f(x-2, y) - f(x-1, y+1)|$ 。表 1 列出了像素点 $f(x, y)$ 的 8 个方向的基本梯度和左右关联梯度。

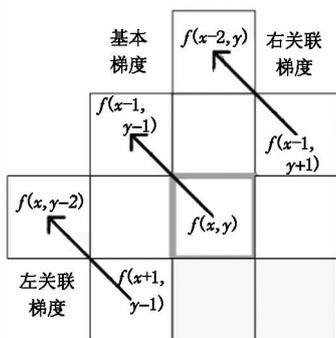


图 1 d_1 方向示意图

表 1 像素点 $f(x, y)$ 的基本梯度和左右关联梯度

方向	基本梯度	左关联梯度	右关联梯度
d_1	$\nabla_{d1}f(x, y)$	$\nabla_{d1}f(x+1, y-1)$	$\nabla_{d1}f(x-1, y+1)$
d_2	$\nabla_{d2}f(x, y)$	$\nabla_{d2}f(x, y-1)$	$\nabla_{d2}f(x, y+1)$
d_3	$\nabla_{d3}f(x, y)$	$\nabla_{d3}f(x-1, y-1)$	$\nabla_{d3}f(x+1, y+1)$
d_4	$\nabla_{d4}f(x, y)$	$\nabla_{d4}f(x-1, y)$	$\nabla_{d4}f(x+1, y)$
d_5	$\nabla_{d5}f(x, y)$	$\nabla_{d5}f(x-1, y+1)$	$\nabla_{d5}f(x+1, y-1)$
d_6	$\nabla_{d6}f(x, y)$	$\nabla_{d6}f(x, y-1)$	$\nabla_{d6}f(x, y+1)$
d_7	$\nabla_{d7}f(x, y)$	$\nabla_{d7}f(x-1, y-1)$	$\nabla_{d7}f(x+1, y+1)$
d_8	$\nabla_{d8}f(x, y)$	$\nabla_{d8}f(x-1, y)$	$\nabla_{d8}f(x+1, y)$

引入左右关联梯度是为了有效的抑制噪声进而

准确地得到红外图像边缘。例如像素点 $f(x, y)$ 在 d_1 方向的基本梯度和左右关联梯度值均为正值且都大, 则认为该点是边缘点的可能性大, 且边缘方向与 d_1 方向垂直; 若像素点 $f(x, y)$ 的基本梯度的绝对值大且左右关联梯度的绝对值小, 则该点的噪声可能性大。

3 模糊神经网络结构

模糊神经网络一般可划分为逻辑模糊神经网络、算术模糊神经网络和混合模糊神经网络^[8]等。目前应用和研究最多的一类模糊神经网络是结构上类似神经网络, 功能上是模糊系统的模糊神经网络。本文采用五层式模糊神经网络系统, 具体的拓扑结构如图 2 所示。

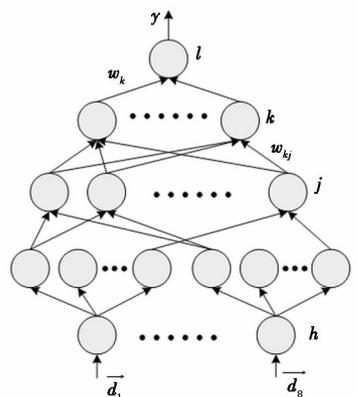


图 2 模糊神经网络拓扑结构图

第一层为输入层, 本层的节点数为 8, 输入值 $x = (\vec{d}_1, \vec{d}_2, \vec{d}_3, \vec{d}_4, \vec{d}_5, \vec{d}_6, \vec{d}_7, \vec{d}_8)$ 为确切值。其中, $\vec{d}_i (i=1, 2, \dots, 8)$ 为各个方向的梯度数组, 例如 $\vec{d}_1 = [\nabla_{d1}f(x, y), \nabla_{d1}f(x+1, y-1), \nabla_{d1}f(x-1, y+1)]$ 。为了消除各数据间数量级的差别, 避免因数量级差别太大而产生较大误差的预测值, 需要对数据进行归一化处理。常用方法有最大最小法, 平均数方差法等, 在此选用最大最小法进行数据归一化处理, 函数形式如下:

$$x_k = (x_k - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min}) \tag{1}$$

式中, x_{\max} 为数据序列中的最大值; x_{\min} 为序列中的最小值。

第二层为输入变量的隶属度函数层, 用于实现输入变量的模糊化, 即根据隶属度函数求出每一个输入值的模糊变量值。工程应用中一般选择梯形函数, 本文中有 2 个模糊子集, “大”, “小”, 表示像素点隶属于噪声的程度, 其模糊向量为 $\{a, a'\}$ 。如图 3 所示。

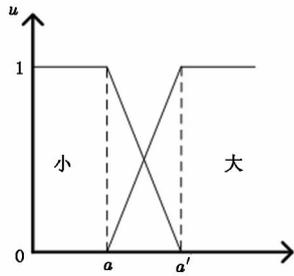


图3 隶属度曲线

隶属度函数 $\mu_i(x)$ 计算公式^[9-10]如下:

$$\text{当 } i = \text{“小”} \text{ 时, } \mu_{\text{小}}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq a \\ \frac{a' - x}{a' - a} & a < x < a' \\ 0 & x \geq a' \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{当 } i = \text{“大”} \text{ 时, } \mu_{\text{大}}(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x - a}{a' - a} & a < x < a' \\ 1 & x \geq a' \end{cases} \quad (3)$$

在训练中 a 和 a' 两个参数可以进行调节。该层的输出为像素点 $f(x, y)$ 在 8 个方向上的隶属度, 该隶属度是由梯度数组各元素的隶属度以及表 2 的模糊规则决定的。该层节点数为 16。

表 2 单个方向噪声隶属度模糊规则

$\nabla_{\text{上}} f(x, y)$	小	大	大	大	大
$\nabla_{\text{下}} f(x + 1, y - 1)$		小	小	大	大
$\nabla_{\text{左}} f(x - 1, y + 1)$		小	大	小	大
噪声隶属度	小	大	大	大	小

第三层为“与”层, 该层的每个节点与第二层中 8 组 2 个节点中各一个节点相连接, “与”层的节点数即为像素点 $f(x, y)$ 在 8 个方向噪声隶属度决定该像素点噪声隶属度的模糊规则数, 共 2^8 条规则。

第四层为“或”层, 节点数为输出变量的模糊集个数, 在此用两个模糊集分别表示大、小, 即该层节点数为 2。该层中各节点与第三层的各个节点全相互连接, 连接的权值为 $w_{kj} (k = 1, 2; j = 1, 2, \dots, 2^8)$, 权值代表了每条模糊推理规则的置信度, 训练中可以进行调节。

第五层为清晰化层, 该层的输出为精确的输出变量, 节点数为输出变量个数, 在此只有一个输出变量, 故该层节点数为 1。该层节点与第四层各节点的连接也为全相互连接, 连接权值为 $w_k (k = 1, 2)$, 该权值在训练中亦可进行调节。

4 模糊神经网络参数确定

参数的调节是通过网络输出与预测输出的差值来反向调节连接权值, 减小网络输出误差的。对某一样本 $(x_{1p}, x_{2p}, x_{3p}; t_p) (p = 1, 2, \dots, P, P \text{ 为样本数})$, y_p 为实际输出, y_c 为预测输出, 则模糊神经网络的输出误差为:

$$d_p = y_d - y_c \quad (4)$$

误差的计算公式为:

$$e_p = \frac{1}{2} (y_d - y_c)^2 \quad (5)$$

模糊神经网络的学习过程就是不断调整连接权值 w_{kj}, w_k , 提供网络计算精度的过程, 即沿着误差 e_p 随权值 $W (W \text{ 在此为 } w_{kj}, w_k \text{ 的统称})$ 变化的梯度下降方向修正 W 的过程。设 ΔW 为 W 的修正值, 则:

$$\Delta W = -\eta \frac{\partial e_p}{\partial W} \quad (6)$$

式中, η 为学习效率, 取 0 ~ 1 之间的数。

隶属度函数参数的修正的计算公式为:

$$a^{(n)} = a^{(n-1)} - \beta \frac{\partial e}{\partial a} \quad (7)$$

$$a'^{(n)} = a'^{(n-1)} - \beta \frac{\partial e}{\partial a'} \quad (8)$$

式中, $a^{(n)}, a'^{(n)}$ 为第 n 次迭代的参数; $a^{(n-1)}, a'^{(n-1)}$ 为第 $(n - 1)$ 次迭代的参数; β 为动量因子, 一般取接近于 1 的数, 在此取 0.8。

5 实验结果

采用本文方法, 为了有效地抑制噪声并提取红外图像边缘, 实验中将单个方向单个梯度的隶属度函数中的参数初步设置为 $a \in [50, 80], a' \in [100, 150]$ 。输出变量“大”、“小”两个模糊集的参考值初步分别设置为 0.2, 0.8。由 8 个方向的噪声隶属度来判断该像素点的噪声隶属度, 模糊规则定为: 若 8 个方向的噪声隶属于模糊集“大”的个数大于 4, 则将该像素点 $f(x, y)$ 置黑, 否则置白。

为了验证本文提出的基于模糊神经网络的红外图像边缘提取方法的优势性, 将其与 Prewitt 算子、Canny 算子、零交叉方法和基于模糊理论边缘提取方法在原红外图像和加入椒盐噪声的红外图像进行了比较。如图 4 所示为本文方法与 Prewitt 算子、Canny 算子、零交叉方法和基于模糊理论边缘提取方法对原红外图像进行边缘提取的效果比较。

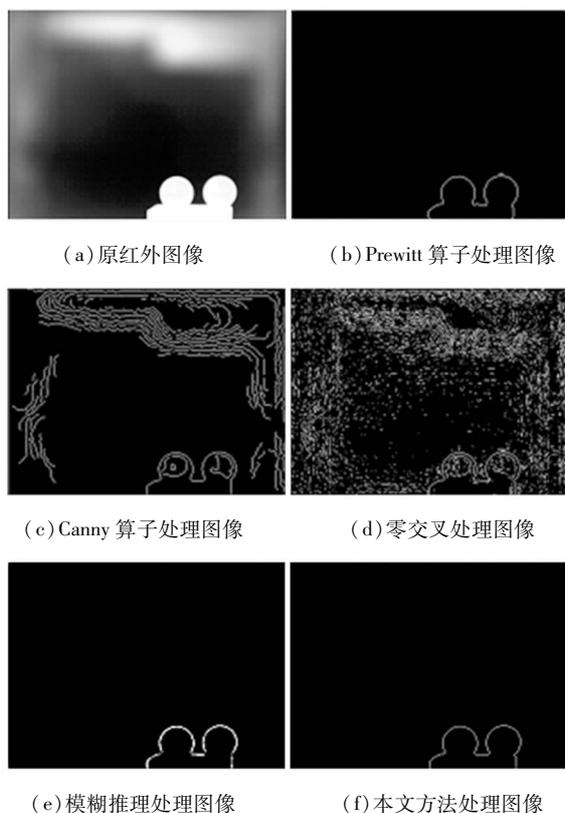


图 4 对原红外图像边缘提取效果对比

为了进一步验证本文方法的抗噪能力,对原红外图像加入了 1% 的椒盐噪声,并进行边缘提取,结果如图 5 所示。

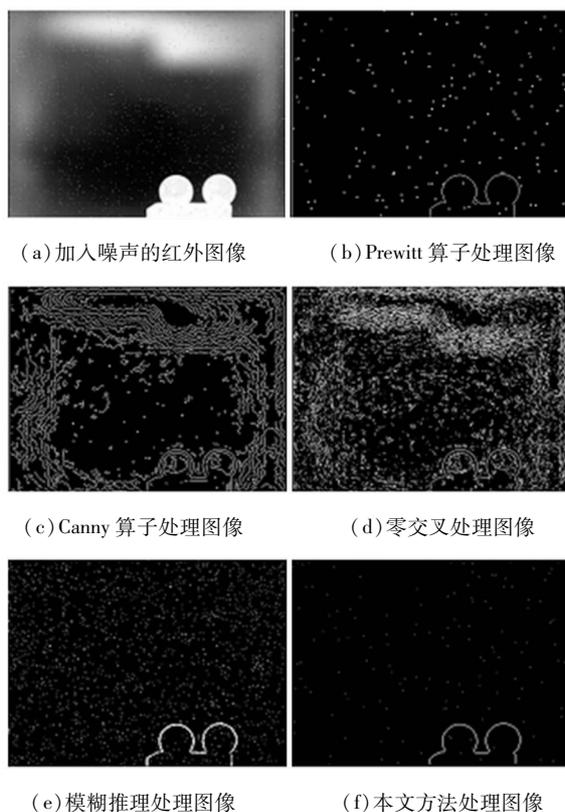


图 5 对加入噪声红外图像边缘提取效果对比

图像边缘提取效果评价的方式有主观和客观两种方式。从主观角度考虑,即视觉直观上看,图 4 和图 5 中本文方法提取图像噪声相对较小,边缘相对更清晰。从客观角度考虑,在此采用边缘点总数 A 、4-连通成分数 B 、8-连通成分数 C 以及它们之间的比值这几个指标,来评价红外图像边缘提取的效果。表 3 给出了图 4 和图 5 中各图像的指标统计图。

表 3 图像提取边缘数据统计表

图像 \ 指标	边缘点总数 A	4-连通成分数 B	8-连通成分数 C	C/A	C/B
图 4(b)	945	76	26	0.0273	0.3405
图 4(c)	9165	1484	489	0.0534	0.3296
图 4(d)	17932	7010	2387	0.1331	0.3405
图 4(e)	1513	241	48	0.0316	0.1987
图 4(f)	441	65	10	0.0226	0.1538
图 5(b)	2211	179	61	0.0276	0.3408
图 5(c)	18530	3033	1000	0.0539	0.3297
图 5(d)	28409	7577	2583	0.1613	0.3409
图 5(e)	3130	501	100	0.0319	0.1996
图 5(f)	571	90	14	0.0228	0.1550

C/A 和 C/B 的值越小,边缘连接性越好。从表 3 中可知,综合考虑边缘点数、完整性及线性连接程度,本文方法更优。实验结果表明,本文提出的基于模糊神经网络的红外图像边缘提取方法在抗噪能力和细节完整性方面要优于现有的常用边缘提取算法,且边缘是单像素宽的,这样有利于提高特征提取和目标识别等的准确度。

6 结 论

本文针对常用的边缘提取算法在噪声平滑能力和边缘精确定位之间的矛盾,以及红外图像对比度低、信噪比低等特点,提出了一种基于模糊神经网络的红外图像边缘提取的方法。分析和实验结果表明,本文提出的针对红外图像边缘提取方法细节保留相对完整,边缘大多为单像素宽,抗噪能力相对较强,即在对红外图像进行边缘提取时本文方法要优于其他算法。后续将针对算法的效率提升及实时性方面开展进一步的研究工作。

参考文献:

- [1] Zhang Chunxue. Research on the method of image edge detection[D]. Wuxi: Jiangnan University, 2011: 8 - 13. (in Chinese)

张春雪. 图像的边缘检测方法研究[D]. 无锡: 江南大

- 学,2011:8-13.
- [2] Zhou Peide, Fu Mengyin, Zhang Changjiang. An approach to extract thermal image edge [J]. *Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2004, 16 (8): 8-13. (in Chinese)
周培德, 付梦印, 张长江. 红外图像边缘提取方法 [J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2004, 16(8): 8-13.
- [3] Liu Zhengqing, Zou Jiwei, Zhang Jun, et al. The homomorphic enhancement of infrared image in fuzzy field [J]. *Laser & Infrared*, 2007, 37(1): 87-90. (in Chinese)
刘政清, 邹继伟, 张骏, 等. 红外图像的模糊域同态增强 [J]. *激光与红外*, 2007, 37(1): 87-90.
- [4] V K Sagai, K Jit. Fingerprint feature by fuzzy logic and neural networks [J]. *IEEE International Conference on Neural Information Processing*, 1999, 3: 1138-1142.
- [5] C W Tao, W E Thompson. A fuzzy if-then approach on edge detection [J]. *IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1993, 2: 1356-1360.
- [6] Guo Fangxia, Liang Juan, Wang Xuan. Edge detection for noisy images based on fuzzy reasoning [J]. *Computer Engineering*, 2010, 36(15): 194-195. (in Chinese)
郭芳侠, 梁娟, 王暄. 基于模糊推理的噪声图像边缘检测 [J]. *计算机工程*, 2010, 36(15): 194-195.
- [7] Wang Zhihui, Zhao Baojun, Shen Tingzhi. Image fusion rule based on PCNN [J]. *Laser & Infrared*, 2008, 38(5): 486-487. (in Chinese)
王志慧, 赵保军, 沈庭芝. 基于 PCNN 的图像融合规则 [J]. *激光与红外*, 2008, 38(5): 486-487.
- [8] Ma Yide, Li Lian, Wang Yafu, et al. Pulse coupled neural network theory and its application [M]. Beijing: Science Press, 2006: 17-24. (in Chinese)
马义德, 李廉, 王亚馥, 等. 脉冲耦合神经网络原理及其应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2006: 17-24.
- [9] Tian Qihua, Du Yixian. The evaluation for the performance of mechanical products based on fuzzy neural network [J]. *MIE of China*, 2004, 33(9): 124-126. (in Chinese)
田启华, 杜义贤. 基于模糊神经网络的机械产品性能评价 [J]. *中国制造业信息化*, 2004, 33(9): 124-126.
- [10] Xi Yifan, Wang Chao, Nie Xingxin. Research on evaluation of supply chain performance based on FNN [J]. *Journal of Information*, 2007, 9: 77-79. (in Chinese)
席一凡, 王超, 聂兴信. 基于模糊神经网络的供应链绩效评价方法研究 [J]. *情报杂志*, 2007, 9: 77-79.