

一种提取 SAR 图像边缘的改进算法

谭海峰, 赵文杰, 李德军, 杨 桃

(空军航空大学, 吉林 长春 130022)

摘 要:传统的边缘提取算法不能解决合成孔径雷达(SAR)图像小边缘、赘余边缘多的问题。针对 SAR 图像特点,提出一种改进的基于过渡区模糊增强边缘提取方法。通过分析经典模糊增强算法和改进的模糊增强算法的缺陷,在图像增强中引入过渡区概念,很好地克服了原来模糊增强算法渡越点选择不当造成的丢失目标边缘信息、边缘连通性不好、小边缘多等缺点。能够有效地提取出感兴趣目标的丰富的边缘信息,并且去除了很多小边缘赘余信息。对比实验结果证明该方法效果好。

关键词:边缘提取;模糊增强;过渡区;SAR 图像;边缘连通性

中图分类号:TP391

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2008)04-0022-03

An Improved Algorithm of Edge Detection of SAR Image

TAN Hai-feng, ZHAO Wen-jie, LI De-jun, YANG Guang

(Aviation University of Air Force, Changchun 130022, China)

Abstract: At present, classic image edge extraction algorithm is not very suitable for SAR image. Give a new fuzzy enhance algorithm for edge detection, based on analyzing the default of classic and improved fuzzy edge detecting ways. The algorithm adding one new parameter that transition region information for the image enhancement. The algorithm not only overcome the weakness that original algorithms miss the informations of target, but also overcome the weakness that edge connectivity is not fine, it can detect completely information of interesting target. The simulation result proves that the algorithm is efficient, and the principle can be used for the other image processing algorithm.

Key words: edge detection; fuzzy enhancement; transition region; SAR image; edge connectivity

0 引 言

边缘总是以强度突变形式出现的,图像的边缘包含图像中大量的有用信息,有时单凭一条粗糙的边缘就能识别出目标^[1]。所以在 SAR 图像中,如何较好地提取边缘去除小边缘成为人们关注的焦点。而图像增强能够很好地突出图像中某些灰度之间的对比度,对经过图像增强后的图像再进行边缘提取能够达到更好的应用效果。目前,已经提出了很多增强方法,如对数增强、直方图增强,以及频率域的傅里叶变换增强。1980 年 Pal 和 King^[2]首次将模糊理论引入到图像领域,提出了一种模糊增强算法,该方法在图像处理中取得了很好的效果,它能够使要提取主要目标边缘封闭性更好,而且减小了小边缘的影响。由于方法本身存在一些缺陷,近年来许多人在这种方法的基础上提出

了很多改进,见文献[3,4]。

但是现在的很多方法都是单一的利用灰度值作为阈值选择和增强的依据,造成许多缺陷无法摆脱,例如对典型目标的边缘提取还不够完整清晰,图像连通性不好。

1 经典 Pal 和 King 算法分析

设一幅图像表示为大小为 $M \times N$ 的矩阵 X ,其具有 L 个灰度级,那么它所对应的模糊矩阵^[2]为:

$$\bar{X} = \bigcup_{i=1}^M \bigcup_{j=1}^N \mu_{ij}/x_{ij} \quad (1)$$

矩阵中的元素 μ_{ij}/x_{ij} 表示为图像中像素点 (i, j) 的灰度相对于某一特定灰度级 x 的隶属度,通常 x 取最大灰度级 $L-1$ 。

1.1 定义隶属函数

$$p_{ij} = G(x_{ij}) = [1 + \frac{(L-1) - x_{ij}}{F_d}]^{-F_e} \quad (2)$$

上式中参数 F_d, F_e 与 p_{ij} 的形状有关,通常取 $F_e = 2$ 。(2) 式中当 $p_{ij} = G(x_c) = 0.5$ 时,称 x_c 为渡越点,

收稿日期:2007-07-30

基金项目:国家自然科学基金(40401003)

作者简介:谭海峰(1983-),男,硕士研究生,研究方向为模式识别、SAR 图像处理。

有如下公式:

$$G(x_c) = [1 + \frac{(L-1) - x_c}{F_d}]^{-F_e} = 0.5 \quad (3)$$

$$F_d = \left[\frac{(L-1) - x_c}{2F_e - 1} \right] \quad (4)$$

从上式可以看出,参数 F_d 由 F_e 、 x_c 确定。实际计算中,渡越点 x_c 和参数 F_d 、 F_e 的选取在很大程度上影响图像处理结果,它们一般凭先验知识来确定。

可以看出在此算法中,当像素灰度值为 0 时,对应的隶属函数为: $x_0 = [1 + \frac{L-1}{F_d}]^{-F_e} > 0$, 即图像在向模糊域变换时,隶属函数值在 $[a, 1]$ 之间取值,而不是在 $[0, 1]$ 之间(这样造成了后来的信息丢失)。

1.2 模糊处理

模糊增强就是对 p_{ij} 进行非线性拉伸变换,变换公式如下:

$$p'_{ij} = T_r(p_{ij}) = T_r(T_{r-1}(p_{ij})) \quad (5)$$

$$r = 1, 2, 3 \dots$$

$$T_r(p_{ij}) = \begin{cases} 2p_{ij}^2 & 0 \leq p_{ij} \leq 0.5 \\ 1 - 2(1 - p'_{ij})^2 & 0.5 \leq p_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (6)$$

以上变换的结果是增大 $p_{ij} > 0.5$ 时的灰度级 X_{ij} 的值,同时减少了 $p_{ij} < 0.5$ 时的灰度级 X_{ij} 的值。这样就增大了图像特定区间的对比度,使图像主要区域之间逐渐失去模糊性。

1.3 模糊空间回到图像空间

通过对 p'_{ij} 进行逆变换将会得到增强后的图像 X' , X' 中的像素 (i, j) 的灰度值为 X'_{ij} :

$$X'_{ij} = G^{-1}(p'_{ij}) \quad (7)$$

上式中, $G^{-1}(\cdot)$ 为 $G(\cdot)$ 的逆变换。因为隶属函数的定义,会出现 $p'_{ij} < a$ 的情况。对于可能出现的 $p'_{ij} < a$ 的情况,算法硬性规定 p'_{ij} 值为 a 。

1.4 边缘提取

采用 Nakagawa 和 Rosenfeld 提出的“min”或“max”算子。定义图像的边缘矩阵为:

$E_{edge} = [X''_{mn}]_{MN}$; 式中 $X''_{mn} = |X'_{mn} - \min\{X_{ij}\}|$, $(i, j) \in Q$; Q 可取为以坐标 (m, n) 为中心的 3×3 窗口。最后输出边缘提取结果。

2 渡越点选择的缺陷分析

同许多图像处理技术一样, T_r 变换中,渡越点 μ_c 取值是由人工设置。实验证实,阈值选取的这种主观性是根据个人平时积累的经验,它不能满足对实际应用中对不同目的的边缘检测的要求^[5],缺乏数学逻辑的严格推理分析,而且使算法更加复杂。同时,方法只选取了一个渡越点,造成其他灰度级上的信息被压缩,

因为一个点的拉伸只是适用于具有两个主要区域的图像,对于信息丰富、区域复杂的图像而言,选择一个渡越点是不合适的。有人提出用过直方图上的波谷来选择渡越点,见文献[6]。这种方法只适用于直方图是双峰的图像,不具有很大的适用性,见文献[7]。针对这些问题,结合已有的方法,提出根据过渡区直方图选择的自动阈值选择方法。

3 引入区域信息的改进方法

针对以上问题的分析,引入过渡区理论作为渡越点的选取依据。首先介绍过渡区的定义。

过渡区是由图像中介于目标与背景或目标与目标之间的部分像素构成的区域^[8],这部分像素的位置位于两者之间,灰度值也位于两者之间。过渡区的选择有多种方法,文中采用高梯度像元定义的过渡区,因为它定义直观,计算速度快。

对图像 I 进行梯度运算,给定适当的梯度门限 T ,则梯度值大于该门限的像素构成的区域为图像的过渡区,即:

$$Q = \{(i, j) \in I \mid \|\Delta f(i, j)\| \geq T\} \quad (8)$$

其中 $\Delta f(i, j)$ 为像素 (i, j) 的梯度。梯度的计算可以使用常见的梯度算子如 Sobel 算子、Laplacian 算子等。

图像模糊增强的意义是将不同性质的区域更清晰地分开,所以选择的渡越点的灰度值要位于不同区域之间,根据灰度直方图能够实现这种选择^[6]。但是当图像的灰度直方图不是明显的双峰的时候,这种方法不再适用,会产生错误。根据过渡区灰度直方图选择渡越点能够避免单一地根据灰度直方图选择渡越点时出现的问题,对于 SAR 图像能够很好使用,而不是只适用于双峰图像。方法首先计算图像的过渡区,对选取的过渡区进行灰度直方图计算,把直方图上的波峰选作渡越点。因为过渡区灰度级是位于目标之间的,所以这样选择渡越点就拉伸了目标之间的灰度差,达到了增强的效果。

文中方法具体步骤如下:

第一步:用梯度算子计算图像的梯度,设定阈值 T ,选出图像的过渡区。

第二步:计算图像的过渡区直方图,找到波峰所在的灰度级 $L_1, L_2 \dots$ 。

第三步:对图像进行隶属度变换。

$$p_{ij} = G(x_{ij}) = \frac{x_{ij}}{L-1}, L = \max(x_{ij}) \quad (9)$$

第四步:进行模糊增强,以两个峰值为例,其他依此类推。见式(11)。

$$p'_{ij} = T_r(p_{ij}) = T_r(T_{r-1}(p_{ij})) \quad r = 1, 2, 3 \dots \quad (10)$$

$$T_r(p_{ij}) = \begin{cases} p_{ij}^2/p_1 & 0 \leq p_{ij} \leq p_1 \\ p_1 + (2(p_{ij} - p_1)/(p_2 - p_1))^{0.5} \cdot (p_2 - p_1)/2 & p_1 \leq p_{ij} \leq (p_1 + p_2)/2 \\ (p_2 + p_1)/2 + (2(p_{ij} - (p_1 + p_2)/2)/(p_2 - p_1))^2 \cdot (p_2 - p_1)/2 & (p_1 + p_2)/2 \leq p_{ij} \leq p_2 \\ p_2 + ((p_{ij} - p_2)/(1 - p_2))^{0.5} \cdot (1 - p_2) & p_2 \leq p_{ij} \leq 1 \end{cases} \quad (11)$$

式(11)中, p_1, p_2 为灰度级为 $L1, L2$ 的隶属度。

第五步:反变换到图像空间。

第六步:边缘提取,这里采用 Canny 算子作为边缘提取算子。因为 Canny 算子作为一种最优算子,在抑制噪声方面具有优势。

4 实验分析

下面利用上述方法对一幅有飞机目标的图像进行模糊边缘提取。原图像见图 1。图像的大小为 495×369 ,可以看到图像中有八架直升飞机及机场,对于目标识别来说,它们提取的边缘效果至关重要。试验工具为 MATLAB。图 2 显示为图像过渡区的灰度直方图。从图中可以看到直方图在 80 和 150 左右处形成两个峰,所以选择这两个灰度值作为渡越点。

下面两幅图像表示了利用原始增强方法和改进增强方法得到的对原图像进行边缘提取得到的不同结果。图 3 是利用原始的模糊增强方法得到的边缘图像,图 4 是利用改进的模糊增强方法得到的边缘图像。

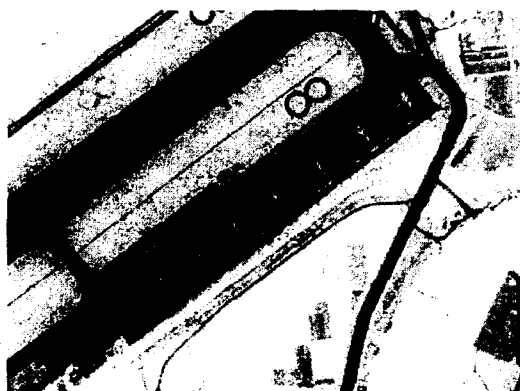


图 1 原始图像

从两幅图像的对比可以看出改进方法更好地提取出了图像中飞机目标的边缘信息,边缘连通性更好。

从表 1 中可以看出,在同样条件下,去除小边缘后本方法的边缘平均长度更长。这就说明本方法获取的边缘图像比原来的方法获取的边缘连通性更好。这种结果有利于图像目标分析与识别。

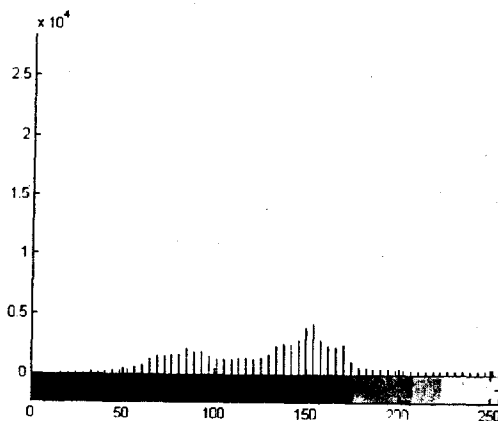


图 2 过渡区直方图



图 3 原始模糊增强方法得到的目标边缘图像



图 4 文中方法得到的目标边缘图像

表 1 实验比较

	像素数	边缘数	边缘平均长度
图 3	44598	1019	43.7668
图 4	38272	559	68.4658

5 结束语

通过分析原有的模糊增强方法存在的缺点,根据 SAR 图像信息特征和目标的信息特征,引入了过渡区的概念,提出了一种改进的模糊增强方法,对处理 SAR 图像时具有良好的效果。实验表明该方法很好

(下转第 28 页)

description TO 12012

ip address 61.18.18.5 255.255.255.252

⑦本地 ISP 出口配置以及 NAT 配置。

interface FastEthernet4/34

ip address 61.11.11.11 255.255.255.252

ip nat outside

⑧每个需要策略路由的子网设置 ip policy route—map equal 命令;每个需要 NAT 的子网设置 ip nat inside 命令。

interface vlan 2

ip policy route—map equal

ip nat inside

inter face vlan 3

ip policy route—map equal

ip nat inside

4 应用效果

该方案实施以来效果显著,能够使多连接校园网发挥较大的资源优势,具体表现在以下几个方面:

(1)网络访问速度明显提高。由于本地 ISP 拥有相对较高的出口带宽,通过策略路由之后,访问外部网络的用户都通过本地 ISP 出口,而访问 CERNET 定义的免费站点通过 CERNET 出口,对校园网而言,有效地实现了网络负载均衡。

(2)增加了网络的安全。校园网内部用户通过本地 ISP 访问外部网络时,由于其地址是经过 NAT 转换后的地址,而对于通过 CERNET 访问教育网内部资源的用户,都为其制定了基于源地址策略路由,通过电信出口,外部主机实际上无法访问到校内的任何主机,这些都有效地增强了内部网络的安全性。

(3)减少国际流量费用。策略路由选择了内部网

络用户从教育网这条链路访问的都是免费网站,而其它国际、国内站点都选择包月计费制的 ISP 出口,有效控制了国际流量的费用。

5 结束语

通过综合利用 NAT 和策略路由技术,建立多连接的网络,虽然增加了支付给当地 ISP 的费用,但是大大减少了国际流量费用,校园网的带宽瓶颈得到了很好的解决,网络性能也有很大提高。NAT 技术的应用使通过本地 ISP 进行路由的外部主机无法访问到通过这种连接的内部主机,因此在一定程度上保证了校园网内部主机的安全性。随着校园网络规模的不断扩大,拓扑结构日益复杂,该技术方案优越性会进一步显现出来。

参考文献:

- [1] Smith B, Garcia-Luna-Aceves J. A new Approach to Policy-Based Routing in the Internet[M]. US:Springer, 2006:165-188.
- [2] Akkiraju P, Delgadillo K, Rekhter Y. Enabling Enterprise Multihoming with Cisco IOS Network Address Translation[DB/OL]. 2006-03-15. <http://www.cisco.com/warp/public/cc/pd/iosw/loft/ionetn/tech/emios-wp.htm>.
- [3] 蔡军,王移芝. IPv6 相关路由算法技术的研究[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(5): 91-93.
- [4] 冯凌凌,李陶深. 基于遗传算法的选播 QoS 路由算法研究[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(12): 114-116.
- [5] 王勇智,刘利强. 下一代因特网 QoS 路由机制的研究[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(4): 105-106.
- [6] 黄敏,张卫东. 基于策略路由的网络设计与实践[J]. 计算机应用, 2002, 22(5): 72-73.
- [7] 赵叶红,杨寿保. NAT 环境下基于连接跟踪信息的策略路由[J]. 计算机应用, 2006, 26(7): 1549-1551.

(上接第 24 页)

地弥补了模糊增强因为渡越点的选择不当而致使目标边缘信息提取不够完整这一主要缺点。能够有效地提取出目标丰富的边缘信息,提高了图像边缘的连通性,去除了许多不必要的小边缘,对于典型目标的 SAR 图像有很好的适用性。但是对于一些具有细小简单的目标的 SAR 图像没有达到预期的效果,以后将继续深入研究。

参考文献:

- [1] 刘先锋,郑明杰. 一种检测 SAR 图像边缘的方法[J]. 上海航天, 2001(3): 19-21.
- [2] Pal S K, King R A. One edge detection of X-ray images using

fuzzy sets[J]. IEEE Trans Patt Anal and Machine Intell, 1983, 5(1): 69-77.

- [3] 舒金龙,于振红,朱振福. 一种改进的红外图像模糊增强方法[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(6): 957-959.
- [4] 张世华,宋明. 一种基于模糊增强的图像边缘提取改进方法[J]. 湖南工程学院学报, 2005, 15(3): 49-52.
- [5] 王保平,刘升虎. 基于模糊熵的自适应图像多层次模糊增强算法[J]. 电子学报, 2005, 33(4): 730-734.
- [6] 赵春燕,郑永果,王向葵. 基于直方图的图像模糊增强方法[J]. 计算机工程, 2005, 31(12): 184-186.
- [7] 周德龙. 图像模糊边缘检测的改进算法[J]. 中国图像图形学报, 2001(4): 353-358.
- [8] 闫成新,桑农,张天序. 基于局部复杂度的图像过渡区提取和分割[J]. 红外与毫米波学报, 2005, 16(3): 89-90.