

彩色遥感图像的一种边缘检测算法研究*

李刚¹,董世都¹,王森¹,汪林林²

(1.重庆理工大学 计算机学院,重庆 400050;2.重庆邮电大学 计算机学院,重庆 400065)

摘要: 针对彩色遥感图像的复杂性、模糊性和噪声强等特点,提出了一种基于多方向模糊形态学梯度的彩色遥感图像边缘检测算法。算法在模糊域中用多个不同方向的结构元素,对彩色遥感图像进行模糊形态学梯度运算以检测彩色遥感图像边缘,不但能检测出具有方向性的真实边缘,还能有效抑制无方向性的噪声。实验证明,该算法对彩色遥感图像进行边缘检测的有效性。

关键词: 遥感图像;彩色;边缘检测;模糊形态学;多方向

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

Research on an edge detection algorithm of color remote sensing image

LI Gang¹, DONG Shi Du¹, WANG Sen¹, WANG Lin Lin²

(1.School of Computer, Chongqing University of Technology, Chongqing 400050, China;

2.School of Computer, Chongqing University of Post & Tele., Chongqing 400065, China)

Abstract: Aiming at color remote sensing image with complexity, fuzziness and strong noise, a color remote sensing image edge detection algorithm based on multi-direction fuzzy mathematical morphology gradient is put forward. It employs fuzzy mathematical morphology gradient operation with multiple different direction structure elements on color remote sensing image to extract the edge of color remote sensing image, and it can not only detect real edge with directionality but also restrain non directional noise effectually. Experiments show the algorithm is effective to detect the edge of color remote sensing image.

Key words: remote sensing image; color; edge detection; fuzzy mathematical morphology; multi-direction

遥感图像是一种非常特殊的数字图像,其复杂程度远超过普通图像,其边缘反映图像局部区域内特征的差别,表示了遥感信息的某种不连续性^[1]。灰度遥感图像的边缘是灰度不连续造成的,彩色遥感图像边缘则是由于亮度、色度、饱和度、梯度等不连续性共同造成的。长期以来,对遥感图像边缘检测算法的研究多集中在灰度遥感图像上,但由于彩色遥感图像提供了更丰富的信息,应用越来越广泛,因此,彩色遥感图像的边缘检测也日益受到人们的重视。

本文针对彩色遥感图像的复杂性、模糊性和噪声强等特点,提出了一种基于多方向模糊形态学的彩色遥感图像边缘检测算法。该算法在模糊域中用多个不同方向的结构元素对模糊彩色遥感图像进行模糊形态学梯度

运算以检测彩色遥感图像边缘,不但能很好地检测出具有方向性的真实边缘,还能有效抑制无方向性的噪声。

1 彩色遥感图像边缘的特点

彩色遥感图像边缘检测是彩色遥感信息分析与理解的基础,它给数字图像处理技术提出了一种挑战。目前,许多学者还在不断提出新的边缘检测理论和方法,但就已发表成果,主要集中于解决普通图像、灰度图像的检测问题,将这些方法应用于彩色遥感图像难度还很大,主要原因在于^[1-2]:

(1)彩色遥感图像信息量丰富,与一般图像相比,其包含的内容远比普通的图像多,因而内容非常“拥挤”,模糊性十分明显,不同地物间信息的相互影响与干扰使得要提取出感兴趣的目标变得非常困难。

(2)彩色遥感图像在成像过程中受传感器、太阳位置等诸多因素的影响,图像中所提供的目标地物信息不仅

* 基金项目:重庆市科技攻关项目(CSTC 2009AC2068);重庆理工大学科研启动基金项目;重庆市九龙坡区科技计划项目

不完全,而且含有大量噪声。边缘和噪声在空间域都表现为灰度的较大起落,在频率域则反映为同是高频分量,执行边缘检测的结果常常把噪声当作边缘点检测出来,而真正的边缘反而存在丢失的可能。

(3)相对于灰度遥感图像,彩色遥感图像还存在颜色空间复杂、边缘亮度与色度差异信息丰富等特点,体现了其更大的边缘信息差异性,能用于边缘检测的信息更加丰富。如亮度相同但色调不同的区域之间,在彩色图像中存在明显的边缘,但如果将其转换为灰度图像,某些边缘信息就可能丢失。

因此,将普通图像、灰度图像的处理方法应用于彩色遥感图像,通常都不能达到预期的效果,必须从理论体系、技术框架等方面对彩色遥感图像的边缘检测进行深入研究,同时采取恰当的抗噪措施对于遥感图像的边缘检测也是非常重要的^[3]。

2 彩色遥感图像边缘检测的基本原理

研究表明,彩色图像中,有90%的边缘和灰度图像中的边缘相同,其余10%的边缘在灰度图像中却检测不到。因此,要进行彩色图像的边缘检测,首先要选择合适的彩色空间^[4]。

如果把彩色遥感图像的边缘检测看成是灰度遥感图像边缘检测技术在各种颜色空间上的应用,则彩色遥感图像的边缘检测主要体现在3个方面:(1)颜色空间的选择;(2)边缘检测策略的选择;(3)采用合适的边缘检测方法。

2.1 颜色空间的选择

目前有多种颜色空间可用于彩色图像处理,如RGB空间、HSI空间、CIE L*a*b*空间等。由于各种颜色空间具有各自不同的特点,因此在不同条件下的彩色边缘检测中拥有一定的应用前景,但目前无论哪一种颜色空间都无法替代其他的颜色空间而适用于所有彩色图像处理,必须根据具体的图像和检测方法选择合适的彩色空间^[5]。

对于常规的边缘检测,RGB颜色空间仍将是最常用的,本文讨论的彩色遥感图像边缘检测问题也是在RGB空间中进行的。

2.2 边缘检测策略的选择

彩色图像边缘检测通常采用输出合成、梯度合成和矢量法3种基本策略^[5]。本文采用梯度合成策略,其过程如图1所示。首先将RGB颜色空间中的彩色遥感图像分解为R、G、B3个分量,再分别检测得到各个分量的模糊形态学梯度,最后通过梯度合成以获得彩色遥感图像的梯度边缘。

2.3 边缘检测方法的选择

常用的边缘检测算子如微分算子Roberts、Prewitt、Sobel、Kirsch、二阶微分算子Laplace等都是通过计算图像中局部区域内的梯度来获得图像边缘,这类边缘检测

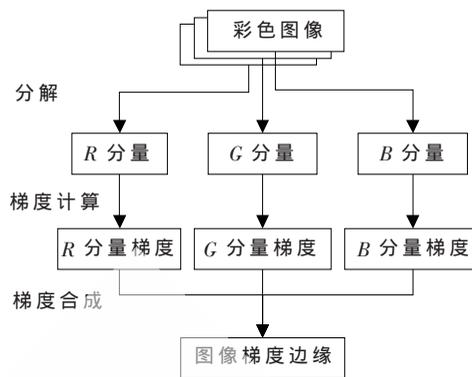


图1 梯度合成法

算子对噪声比较敏感并且常常会在检测边缘的同时放大噪声。平滑滤波算子LOG、最优算子Canny带有平滑滤波,有一定的去噪能力,但这种平滑也会造成真实边缘信息的模糊和损失。

现有的彩色图像边缘检测算法大多基于多维向量处理和梯度模板,主要区别在于所使用的具体方法和判定依据:参考文献[6]使用多维向量矢量和作为判定依据,在梯度矢量绝对值相近而方向相反时无法得到满意的结果;参考文献[7]使用多维向量角度差作为判定依据,虽然能有效地检测出不同色度区域的边缘,但忽略了图像的灰度信息,对于图像不同灰度域的边缘检测效果不佳。目前很多彩色图像边缘检测算法引入了小波分析、启发式算法、矢量统计排序、模糊逻辑等方法^[8-9],虽然可以提高边缘检测的精确性,但计算复杂度大幅度提高,并且没有充分地利用图像梯度向量的方向信息。

形态学边缘检测主要用形态学梯度算子来检测边缘,虽也对噪声比较敏感但不会加强或放大噪声,如果选择合理的形态学算子和多方向结构元素,完全可以做到对噪声不敏感甚至具有较强的噪声抑制能力。考虑到图像边缘具有很强的方向性而噪声没有方向性这一特点,根据彩色遥感图像模糊性强、噪声强的特点,本文介绍了在模糊域中利用多方向模糊形态学方法获取图像的模糊形态学梯度以检测彩色遥感图像的边缘。

3 多方向模糊形态学梯度边缘检测算法

3.1 图像模糊化

按照模糊集的概念,1个大小为 $M \times N$ 像素、 L 级灰度的图像:

$$X = \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N x_{mn} \quad (1)$$

可以看作1个模糊集,集内的每1个元素均具有相对于某个特定灰度级 x_k (通常取 x_k 为最大灰度级 $L-1$)的隶属度 μ_{mn} ,该模糊集称为图像的等效模糊集或图像的模糊特征平面,记为:

$$U = \bigcup_{m=1}^M \bigcup_{n=1}^N \mu_{mn} x_{mn} \quad (2)$$

为了保留更多的边缘信息,本文选择直线隶属函数,将原始彩色图像映射到模糊集中得到模糊图像:

$$\mu_{mi} = G(X_{mi}) = \frac{X_{mi} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

式中, μ_{mi} 为点 (m, n) 的隶属度; X_{mi} 为像素点 (m, n) 的原灰度值; X_{\min} 、 X_{\max} 分别为原始图像的灰度最小值和最大值。

3.2 模糊形态学梯度边缘

与数学形态学一样,模糊形态学也有膨胀和腐蚀两种基本算子,并且在模糊集下可以有多种定义形式,参考文献[10]中定义的模糊膨胀和模糊腐蚀分别为:

$$\mu_{F \oplus B}(x) = \max_{y \in B} [\max[0, \mu_F(x-y) + \mu_B(y) - 1]] \quad (4)$$

$$\mu_{F \ominus B}(x) = \max_{y \in B} [\max[1, 1 + \mu_F(x+y) - \mu_B(y)]] \quad (5)$$

式中, μ_F 为模糊图像; μ_B 为模糊结构元素。

类似地可以定义模糊开、闭等形态学运算:

$$\mu_{F \circ B} = (\mu_{F \oplus B}) \ominus B \quad (6)$$

$$\mu_{F \bullet B} = (\mu_{F \ominus B}) \oplus B \quad (7)$$

进而可定义多种模糊形态学梯度,如:

$$g = \mu_{F \oplus B} - \mu_{F \ominus B} \quad (8)$$

或 $\mu_{F \oplus B} - \mu_F$ 、 $\mu_F - \mu_{F \ominus B}$ 等作为图像的模糊形态学边缘。

可见,模糊形态学边缘检测方法的基本思想是:先用隶属函数将灰度图像转化成模糊图像,再对模糊图像作模糊膨胀、模糊腐蚀、模糊开闭等模糊形态学运算,这个过程相当于增强(或减弱)了原图像的灰度,增强前后的图像相减即得到形态学梯度,形态学梯度大的地方就是边缘。

如图2所示,从上往下依次为原始模糊斜坡边缘(左)和阶跃边缘(右),相应的模糊膨胀(点划线)与模糊腐蚀(虚线)结果,以及相应的模糊形态学梯度。由图可见,不管是阶跃边缘还是斜坡边缘,模糊形态学梯度都能很好地将其反映出来,并且对于斜坡边缘还能够比较容易根据模糊形态学梯度准确定位边缘位置。

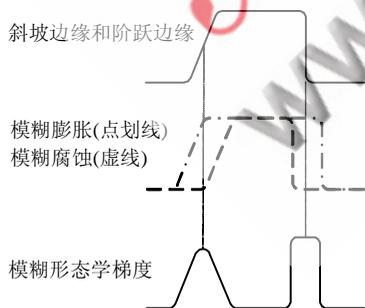


图2 模糊形态学梯度

3.3 多方向模糊形态学梯度边缘

无论是基于微分算子梯度的边缘检测方法还是基于形态学梯度的边缘检测方法,本质上都是检测信号的高频分量,但是信号的高频分量与信号的噪声很难分开。传统的形态学梯度算法采用单结构元素,典型的单

结构元素如图3所示。这种单结构元素能对各个方向上的灰度变化同时进行探测,没有考虑图像边缘具有方向性而噪声无方向性这一特点,适应能力和抗噪能力仍然较差。

0	1	0
1	1	1
0	1	0

图3 单结构元素

正是考虑到图像边缘在各个方向上的不同,本文的多方向模糊形态学边缘检测算法才运用不同的结构元素来体现这种差别。由于具有特定方向的形态学结构元素对其他方向的变化敏感,能够较好地检测出其他方向的边缘,并且能有效地排除那些无方向性的噪声,针对图像的真实边缘具有方向性而噪声具有多向一致性(即无方向性)的特点,如果采用多个不同方向的结构元素来探测图像在各个方向上的灰度变化,不但具有较强的抗噪能力,还具有很好的适应实际图像边缘方向性的能力^[11]。

多方向模糊形态学边缘检测算法采用多个不同方向的结构元素,如图4为8个方向的结构元素,也可以采用4个或更多不同方向的结构元素,结构元素大小可以是3×3,也可以为5×5。结构元素增多、增大,可以提高检测效果和抗噪能力,但运算时间也相应增加,本文采用图4所示的8方向3×3结构元素。

0	0	0
0	1	1
0	0	0

0	0	1
0	1	0
0	0	0

0	1	0
0	1	0
0	0	0

1	0	0
0	1	0
0	0	0

0	0	0
1	1	0
0	0	0

0	0	0
0	1	0
1	0	0

0	0	0
0	1	0
0	1	0

0	0	0
0	1	0
0	0	1

图4 8方向结构元素

3.4 多方向模糊形态学梯度边缘检测算法步骤

基于多方向模糊形态学梯度的彩色遥感图像边缘检测算法,就是通过RGB空间中分别检测彩色遥感图像的R、G、B各个分量的多方向模糊形态学梯度,再采用梯度合成法获得彩色遥感图像的模糊形态学梯度边缘^[3]。具体算法步骤如下:

(1)按式(3)将原始彩色遥感图像转换到模糊域中。

(2)用图4中的1个结构元素对图像的R分量进行模糊开运算得到模糊图像 B_{r1} ,对 B_{r1} 进行模糊闭运算得到模糊图像 C_{r1} ,对 C_{r1} 进行模糊膨胀得到模糊图像 D_{r1} ,计算得到模糊形态学梯度 $E_{r1} = D_{r1} - C_{r1}$ 。

(3)用图4中的其余结构元素和步骤(2),依次得到R分量其他方向的模糊形态学梯度 $E_{r2} \sim E_{r8}$ 。

(4)对各模糊形态学梯度分量 $E_{r1} \sim E_{r8}$ 平均得到R分量的模糊形态学梯度 $E_r = (E_{r1} + \dots + E_{r8})/8$ 。

(5)对彩色遥感图像的G分量和B分量重复步骤(2)~(4)得到模糊形态学梯度 E_g 和 E_b 。

(6)合成 E_r 、 E_g 和 E_b ,得到最终的模糊形态学梯度

作为边缘。

4 实验结果及分析

在 MATLAB 7.8 版本上对本文算法进行了实验验证和分析,使用的彩色遥感图像在 google 卫星地图上截取,大小为 480×480 像素。

图 5 为对原始图像的边缘检测结果。由图 5 可见,传统的梯度算子 Sobel 丢失的边缘较多;平滑滤波算子 Log 梯度边缘十分模糊;Canny 算子直接获得了二值化的边缘图像,在边缘较为稀疏的道路附近比较清晰,但在边缘较为密集的区域检出的边缘就很杂乱,意义不明显;模糊形态学梯度边缘和本文提出的 8 方向模糊形态学梯度边缘获得的边缘更为清晰、细致,意义非常明显。



图 5 原始彩色遥感图像边缘检测

图 6 为对原始彩色遥感图像加入密度为 0.02 的椒盐噪声后的检测结果。由图可见,包括 Sobel 算子、Canny 算子和模糊形态学梯度在内的方法获得的边缘图像噪声非常明显,基本没有实用价值,而本文提出的 8 方向模糊形态学算法不但对噪声有明显的抑制作用,还较好地检测出了多数彩色遥感图像的边缘细节。

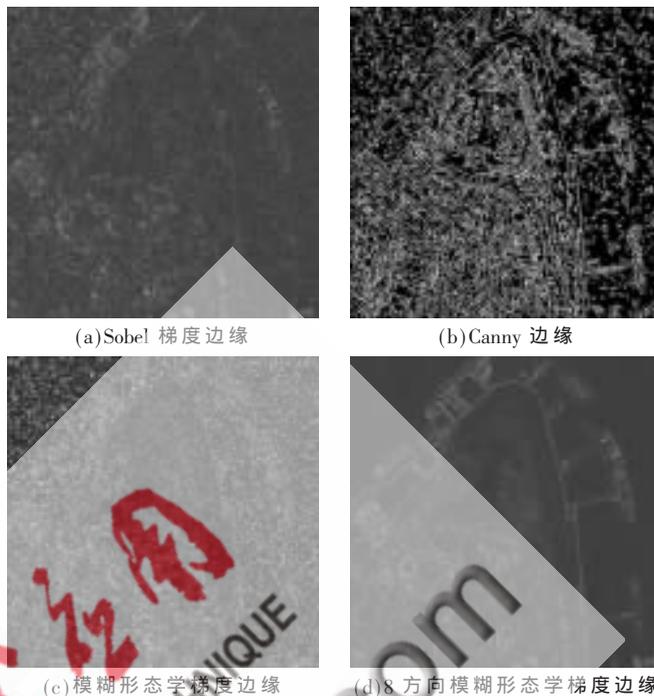


图 6 噪声图像边缘检测

另外,在相同软硬件环境条件下,图 5(b)~(f)的运行时间依次为:0.59 s、0.29 s、1.67 s、1.2 s、6.8 s。虽然本文算法所需时间较长,但从算法的效果和抗噪能力方面考虑,还是值得的。

彩色遥感图像的复杂性、模糊性和噪声强等特点使得用传统方法不能很好地用于检测其边缘,单结构元素的形态学方法虽然边缘检测效果较好,但抗噪能力较差。本文提出基于多方向模糊形态学梯度的彩色遥感图像边缘检测算法,充分考虑了以下因素:

(1) 实际图像中的边缘具有方向性,模糊形态学采用多个不同方向的结构元素,很好地适应了这一特点,有利于检测出不同方向的边缘。

(2) 噪声不具有方向性,多个不同方向的结构元素具有抑制这种无方向性噪声的能力,相当于在算法中隐含地实现了滤波,但这种滤波又不会对真实边缘起平滑作用,保护了真实边缘,提高了算法的抗噪能力。

因此,本算法获得了检测效果和抗噪性能的较好折中,并最终通过梯度合成实现了彩色遥感图像的边缘检测。从抗噪声、边缘检测效果和运算速度,本文算法有一定优势且是可行的彩色遥感图像边缘检测算法。

参考文献

- [1] MAKKEASORN A, CHANG N B, LI J. Seasonal change detection of riparian zones with remote sensing images and genetic programming in a semi-arid watershed[J]. Journal of Environmental Management, 2009,90(2):1069-1080.
- [2] DEMIRCI R. Similarity relation matrix-based color edge de-

- tection [J]. AEU -International Journal of Electronics and Communications, 2007,61(7):469-477.
- [3] 李刚.基于模糊理论和模糊形态学的遥感图像边缘检测研究[D].重庆:重庆大学,2009.
- [4] THEOHARATOS C, ECONOMOU G, FOTOPOULOS S. Color edge detection using the minimal spanning tree[J]. Pattern Recognition, 2005,38(4):603-606.
- [5] HUNTSBERGER T L, DESCALZI M F. Color edge detection[J]. Pattern Recognition Letters, 1985,3(3):205-209.
- [6] DI Z S. A note on the gradient of a multi-image [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1986,33(1):116-125.
- [7] DONY R D, WESOLKOWSKI S. Edge detection on color images using RGB vector angles [C]. Edmonton, Canada: 1999.
- [8] TRAHANIAS P E, VENETSANOPOULOS A N. Color edge detection using vector order statistics [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1993,2(2):259-264.
- [9] SHEIKH A, SORAGHAN J. Fuzzy based multiscale edge detection[J]. Electronics Letters, 2003,39(1):30-32.
- [10] SINHA D, DOUGHERTY E R. Fuzzy mathematical morphology [J]. Journal of Visual Communication and Image Representation, 1992,3(3):286-302.
- [11] 杨帆,汪林林,王佐成.一种新的多方向模糊形态学边缘检测算法[J].微计算机信息,2009,25(3):299-301.

(收稿日期:2009-05-12)

作者简介:

李刚,男,1968年生,博士,副教授,主要研究方向:图像处理、计算机应用。

董世都,男,1973年生,博士生,副教授,主要研究方向:图像分析,图像识别。

王森,男,1977年生,硕士,讲师,主要研究方向:计算机应用。

电子技术应用
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE
www.chinaAET.com