文章编号:1008-1542(2010)05-0433-04

改进的形态学航空图像边缘检测算法

段培超[1],赵志强[2],高国明[1]

(1. 中国民航大学理学院,天津　300300;2. 河北师范大学文学学院,河北石家庄　050091)

摘　要:为有效提取噪声较大的航空图像的边缘信息,对基于数学形态学的图像边缘检测算法进行改进:一是利用 1 种自适应加权复合数学形态学滤波器对图像进行滤波,二是结合图像特点和结构元素的自然属性,自适应确定权重,构造出 1 种具有较强抗噪能力的数学形态学梯度边缘检测算法。实验结果表明,该算法边缘定位准确,能检测出相对完整的边缘图像,且对噪声有较好地抑制作用。

关键词:数学形态学;结构元素;边缘检测;自适应权重

中图分类号:TN911.73　　**文献标志码**:A

Improved aerial image edge detector based on mathematical morphology

DUAN Pei-chao[1], ZHAO Zhi-qiang[2], GAO Guo-ming[1]

(1. Science College, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China; 2. Literature College, Hebei Normal University, Shijiazhuang Hebei 050091, China)

Abstract: Traditional edge detection methods are very sensitive due to much noise of the aerial image, therefore an improved edge detector based on mathematical morphology is proposed. First, a compound mathematical morphology filter is applied by weighting. Then through considering structure element sets and determining the weight by self-adaptive method, a new methematical morphology gradient edge detection algorithm with noise suppressed is presented. The experiment results show the method is superior to some old methods, and effectively inhibit the noise.

Key words: mathematical morphology; structure element; edge detection; adaptive weight

航空图像的判读效率在军事、生活中具有十分重要的意义。边缘是图像最基本的特征,携载了许多重要的信息,是图像处理和景物识别的重要依据。但复杂的航空图像往往含有大量噪声,难以得到"定位准确"的边缘图像。由于边缘和噪声均表现为灰度突变,经典的边缘检测算子如 Sobel 算子、Roberts 算子、Canny 算子等都不能很好地抑制噪声,从而对噪声较大的航空图像不能进行准确的边缘提取。

数学形态学是一门建立在集论基础上的学科,是几何形态学分析和描述的有力工具[1-2]。它是 1 种基于集合的非线性滤波方法,克服了常用的多尺度分析方法易对图像细节造成模糊的缺点。针对航空图像景物复杂,噪声大等特点,提出 1 种基于改进的数学形态学的边缘检测算法。仿真实验结果表明,通过选择合适的结构元素和构造新的形态学梯度算子,可以达到比较理想的边缘检测效果。

收稿日期:2009-12-03;修回日期:2010-05-19;责任编辑:李　穆

基金项目:中国民航大学校立基金资助项目(04-CAUC-15S);中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(ZXH2009D021)

作者简介:段培超(1977-),女,河北衡水人,讲师,硕士,主要从事小波分析、形态学在图像处理中的应用方面的研究。

1 基于数学形态学的边缘检测算法

数学形态学是20世纪60年代由SERRA提出的[1]，近年来在数字图像处理和计算机视觉领域中得到广泛应用。由于实际的物理过程往往是非线性的，用线性近似难以刻画其主要性质，而数学形态学是以形态为基础对图像进行分析的数学工具。它的基本思想是用具有一定形态的结构元素去度量和提取图像中的对应形状以达到对图像进行分析和识别的目的，更符合图像的实际特点。

数学形态学基本运算有：膨胀(dilate)、腐蚀(erode)、开启(open)和闭合(close)[2]。

用结构元素 b 对输入图像 $f(x,y)$ 进行灰度膨胀记为 $f\oplus b$，其定义[2]如下。

定义1(膨胀)

$$(f\oplus b)(x,y)=\max_{(i,j)}\{f(x-i,y-j)+b(i,j)\mid(x-i,y-j)\in D_f,(i,j)\in D_b\},\tag{1}$$

式中 D_f 和 D_b 分别表示 f 和 b 的定义域。

定义2(腐蚀)

$$(f\otimes b)(x,y)=\min_{(i,j)}\{f(x+i,y+j)-b(i,j)\mid(x+i,y+j)\in D_f,(i,j)\in D_b\}。\tag{2}$$

定义3(开启)

$$f\circ b=(f\otimes b)\oplus b。\tag{3}$$

定义4(闭合)

$$f\cdot b=(f\oplus b)\otimes b。\tag{4}$$

1.1 数学形态学滤波

由于航空图像含有大量噪声，首先对图像进行形态学滤波。文献[3]提出的复合形态学滤波公式 $\frac{1}{2}[(f\cdot b)\circ b+(f\circ b)\cdot b]$ 取得了较好的滤波效果，受其启发，提出一种改进的加权复合形态学滤波公式，并且开、闭运算采用不同的结构元素：

$$F=\lambda(f\circ b_1)\cdot b_2+(1-\lambda)(f\cdot b_1)\circ b_2,\quad 0\leqslant\lambda\leqslant1,\tag{5}$$

其中 λ 为权重系数。因形态学开运算会删去图像中那些比结构元素更小的几何结构，而闭运算则会填充图像中那些比结构元素小的断裂、凹入等等，为克服开、闭运算单独应用时的缺陷，故而考虑结合图像特点，采用自适应加权的方法构造复合形态学滤波器[4]，依如下方法确定权重值 λ：设输入图像为 f，给定 λ 的一个初始值，得到输出图像 F。

记 $e=|f-F|$ 为误差图像，$f_1=(f\circ b_1)\cdot b_2$，$f_2=(f\cdot b_1)\circ b_2$，则输出图像的均方差为

$$E(e^2)=E(|f-F|^2)=E((f-\lambda f_1-(1-\lambda)f_2)^2)。\tag{6}$$

取单个误差样本的平方 e^2 作为 $E(e^2)$ 的估计，并计算其对权系数的导数

$$\frac{\partial(e^2)}{\partial\lambda}=-2e(f_1-f_2)。\tag{7}$$

利用最速下降法[5-6]，求得最佳权重系数的迭代公式为

$$\lambda(n+1)=\lambda(n)-\mu\frac{\partial(e^2)}{\partial\lambda},n=1,2,\cdots,\tag{8}$$

其中 μ 为控制收敛速度的参量。

1.2 数学形态学梯度边缘检测算法

陶洪久等人提出多种灰度形态学梯度边缘检测算子[7]。若采用膨胀运算，则边缘检测算子记为 E_d：

$$E_d(x,y)=(f\oplus b)(x,y)-f(x,y)=\max_{(i,j)}\{f(x-i,y-j)+b(i,j)\}-f(x,y)=\max_{(i,j)}(f(i,j)-f(x,y))。\tag{9}$$

若采用腐蚀运算，边缘检测算子记为 E_e：

$$E_e(x,y)=f(x,y)-(f\otimes b)(x,y)=f(x,y)-\min_{(i,j)}\{f(x-i,y-j)-b(i,j)\}=\max_{(i,j)}(f(x,y)-f(i,j))。\tag{10}$$

但上述2种方法对噪声比较敏感，因此提出1种复合梯度边缘检测算子。由于形态学闭合运算能从外部平滑图像，则考虑将其与膨胀运算相结合，得到如下的边缘检测算子为

$$E_{c-d}(x,y)=[f(x,y)\cdot B]\oplus B-[f(x,y)\cdot B]。\tag{11}$$

又形态学开启运算能从内部平滑图像，则考虑将其与腐蚀运算相结合，得到如下的边缘检测算子为

$$E_{o-e}(x,y)=[f(x,y)\circ B]-[f(x,y)\circ B]\otimes B。\tag{12}$$

综合考虑式(11)、式(12)两种梯度算子的优势，提出一种复合梯度边缘检测算子：

$$E=vE_{o-e}+(1-v)E_{c-d}。\tag{13}$$

其中权重值 v 的选取类似于 λ 的选取。由数学形态学腐蚀、膨胀和开、闭运算组成的式(13)是较为有效的抗噪型边缘检测算子，既能在一定程度上抑制噪声，又可以得到比较完整、定位准确的边缘图像。

图像形态变换的结果与结构元素的形状和尺寸密切相关，结构元素的形状和大小都会影响边缘检测结果。故而在对图像进行边缘检测时应尽量选取与物体形状相似的结构元素，既有利于保护图像的边缘信息，又能在一定程度上抑制噪声。对复杂航空图像进行边缘检测，采用多结构元素应包括形状和尺寸 2 个方面[8]。设结构元素集为$\{B_{ij}\}$，$i=1,2,\cdots,m$；$j=1,2,\cdots,n$。m 代表尺寸序列，n 代表形状序列。则

$$B_1=\{B_{11},B_{12},\cdots,B_{1n}\}$$
$$\vdots$$
$$B_m=\{B_{m1},B_{m2},\cdots,B_{mn}\}。$$

若选择图 1 所示的 3×3 线形结构元素，可在此基础上构造出不同尺寸的结构元素序列，从而完成结构元素集的选取。当然也可构造圆形结构元素序列进行形态学运算，这主要依据图像的景物特征而定。

利用结构元素腐蚀 1 幅图像时，相当于对可以填入的结构元素的位置作标记的过程。利用相同尺寸、不同形状的结构元素探测 1 幅图像时，它们可填入的次数是不同的[8]。如果结构元素的选取适合图像边缘信息，则可填入的次数多，反之则少。利用形态学的“探针”原理，进一步考虑对不同形状的结构元素赋以权重值。设不同形状的结构元素权重值分别为 $\alpha_1,\alpha_2,\cdots,\alpha_n$，腐蚀过程当中不同结构元素的填入次数分别为 $\beta_1,\beta_2,\cdots,\beta_n$。则自适应的权重值为

$$\alpha_1=\frac{\beta_1}{\beta_1+\beta_2+\cdots+\beta_n},\ \alpha_2=\frac{\beta_2}{\beta_1+\beta_2+\cdots+\beta_n},\ \cdots,\ \alpha_n=\frac{\beta_n}{\beta_1+\beta_2+\cdots+\beta_n}。\tag{14}$$

2　改进的航空图像边缘检测算法

考虑到航空图像的特点，笔者采用如下线形结构元素，尺寸分别为 3×3(如图 1 所示：从左至右依次为 b_1,b_2,b_3,b_4)和 5×5(形状同图 1)。

b_1：{(0,−1),(0,0),(0,1)}；

b_2：{(−1,0),(0,0),(1,0)}；

b_3：{(−1,−1),(0,0),(1,1)}；

b_4：{(−1,1),(0,0),(1,−1)}。

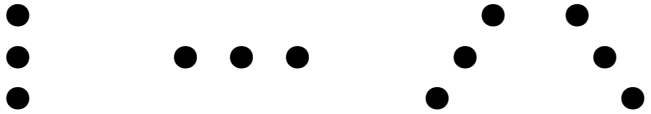


图 1　4 种 3×3 线形结构元素

Fig. 1　Four basic linear 3×3 structure elements

由于航空图像中含有大量建筑物、道路等人工目标，而由以上 4 种基本结构元素组成的线形、L 形、V 形、矩形等结构元素，适合检测机场、楼房、道路等人造景物的边缘。

考虑到航空图像灰度变化丰富，信息量大，噪声复杂，边缘密度大等特点，提出以下改进算法，主要步骤如下。

1) 输入噪声图像，利用式(5)的自适应加权复合形态学滤波器对其进行滤波以降低噪声。

2) 选择合适的结构元素集，根据图像特点和结构元素的自然属性，对结构元素集合 $B_1=\{B_{11},B_{12},\cdots,B_{1n}\},B_2=\{B_{21},B_{22},\cdots,B_{2n}\},\cdots,B_m=\{B_{m1},B_{m2},\cdots,B_{mn}\}$ 中的每一不同尺寸、不同形状的结构元素 B_{ij}，$i=1,2,\cdots,m$；$j=1,2,\cdots,n$。

3)对所有结构元素边缘检测信息进行加权求和：$E_i=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\alpha_{ij}E_{ij}$。

4) 对上述边缘图像进一步细化平滑，连接间断边缘点，消除假边缘点，获得单一连续平滑的输出边缘。

3 实验结果及结论

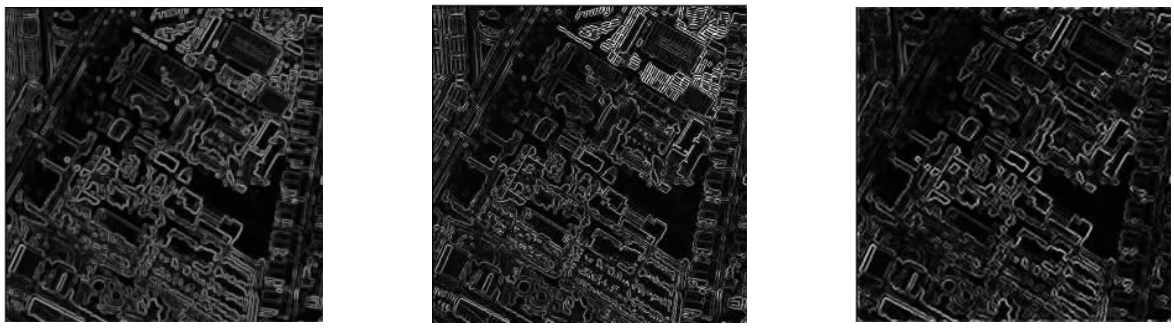
文献[3]采用的复合形态学滤波结果(如图 2b))比单独使用开-闭或闭-开滤波器效果有所改善,但还是隐约可见有少量噪声没有被滤除,用加权复合形态学滤波的实验结果见图 2c),基本上看不出原图像中的噪声点,滤波效果较好。

a)原始噪声图像 b)复合形态学滤波结果 c)加权复合形态学滤波结果

图 2 航空图像滤波结果比较图

Fig. 2 Aerial image filter comparing results

图 3 是在 Windows XP 环境下用 MATLAB 6.5 编程所得到的图像边缘检测结果对比图,图 3c)为多结构元素的数学形态学自适应权重方法检测的边缘图像,采用多结构元素有利于保持图像中更多有用的几何信息,能得到相对较好的轮廓和边缘。可以看出,与 Canny 算子和一般的形态学梯度边缘检测图像比较,该方法提取的图像边缘定位较准,且清晰完整,去噪效果好,更适合人眼视觉特点。



a)Canny 算子边缘检测图像 b)一般形态学梯度算子边缘图像 c)复合梯度算子边缘检测图像

图 3 航空图像边缘检测结果比较图

Fig. 3 Aerial image edge detection comparing results

对于不同算法所得边缘检测图像从噪声点、信噪比(SNR)(详见文献[9])、均方差(MSE)等方面进行定量分析,所得结果如表 1 所示。

表 1 3 种不同边缘检测方法的定量分析和比较

Tab. 1 Comparisons and quantity analysis of three different edge detection methods

检测算法评价指标	噪声点数	信噪比	均方差
Canny 算子检测边缘图	15 541	1.500 8	1 235.5
一般形态学梯度算子边缘图	17 147	1.537 0	2 781.8
复合梯度算子边缘图	11 642	1.565 2	1 159.2

(下转封三)