

改进的 HSI 空间形态学有噪彩色图像边缘检测

毛若羽, 陈相宁

(南京大学 电子科学与工程学院, 南京 210093)

摘要: 针对在 RGB 空间中很难有效区分颜色相似性问题, 选择了更加符合颜色视觉特性的 HSI 颜色空间进行图像处理, 提出了一种改进的形态学有噪彩色图像边缘检测方法, 将开闭的迭代运算和双结构元多尺度运算应用到传统形态学梯度算子中, 然后计算图像 H 、 S 、 I 三个分量的边缘信息, 根据 H 、 S 、 I 所占比重对三分量进行加权融合得到彩色图像边缘。实验结果表明, 该方法所检测的边缘符合人眼视觉特性, 在抗噪声方面的效果比传统方法及其他多种方法更佳, 能够更完整地保留原彩色图像的轮廓, 计算量相对较小, 有很好的实用性和通用性。

关键词: 彩色图像; 边缘检测; HSI 空间; 形态学梯度; 双结构多尺度元

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2013)02-0635-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2013.02.088

Noise color image edge detection based on improved morphology in HSI space

MAO Ruo-yu, CHEN Xiang-ning

(School of Electronic Science & Engineering, Nanjing University, Nanjing 210093, China)

Abstract: Since it was difficult to effectively distinguish the similarity between colors in RGB space, this paper implemented color image processing in HSI color space which reflected the features of human vision, proposed a method of noise color image edge detection based on improved morphology. By applying the iterative operation of open and close and the operation of double-structure and multi-scale elements to traditional morphological gradient operator, it calculated the edge information of H , S , I , then obtained the edge information of color image by combining three components' edge information according to their specific weights. The experimental result shows that the edge which detected by the proposed method meets human visual characteristics, this algorithm is better than traditional ones and others in the terms of resistance to noise, and is able to keep more complete outline of the original color image, it has a relatively small amount of calculation and better practicality and versatility.

Key words: color image; edge detection; HSI space; morphology gradient; double-structure and multi-scale elements

0 引言

边缘是图像灰度值变化不连续的部分, 在图像中表现为局部灰度的剧烈变化, 主要存在于目标与目标、目标与背景、区域与区域(包括不同色彩)之间, 是图像分割、纹理特征和形状特征等图像分析的重要基础。根据图像中边缘区域的灰度在空间中的变化形式, 边缘一般可以分为三种类型: a) 阶跃型边缘(step-edge), 即图像强度在不连续处的两边像素灰度值有着显著的差异; b) 屋脊型边缘(roof-edge), 即灰度是慢慢增加到一定程度然后慢慢减小; c) 线条型边缘(line-edge), 即图像强度突然从一个值变化到另一个值, 保持一个较小的行程后又返回到原来的值。

传统的边缘检测方法很多, 如 Canny、Sobel、Roberts、Laplacian 等, 但这些边缘检测算子对方向性敏感、抗噪能力差、效果不理想^[1]。数学形态学建立在集合论的基础上, 其基本思想是用一定形状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分析和识别的目的。基于形态学的边缘信息提取

不像微分算法那样对噪声敏感, 同时计算量较小, 并且可以通过改变结构元素和形态尺度的大小来克服噪声。

边缘按其颜色特征可分为灰度边缘和彩色边缘。长期以来, 人们主要致力于灰度边缘研究, 并取得了很好的效果, 而对彩色图像的研究较少。在现实生活中的大部分图像是彩色图像, 许多情况下, 人的视觉系统是把彩色而不是把轮廓或者纹理作为主分辨特征。与灰度图像相比, 彩色图像能够提供更多的信息。有研究表明, 彩色图像中有 90% 的边缘和灰度图像中的边缘相同, 有 10% 的边缘在灰度图像中检测不到^[2], 因此, 将形态学应用于彩色图像的边缘检测越来越受到人们的重视。

1 形态学边缘检测算子

数学形态学的主要内容是设计一整套变换规则来描述图像的基本结构或基本特征^[3]。腐蚀和膨胀是两种最基本、最重要的变换, 它们互为对偶运算, 其他变换都是这两种变换的组合。腐蚀是一种消除边界点, 使边界向内部收缩的过程。膨

收稿日期: 2012-06-03; 修回日期: 2012-07-16

作者简介: 毛若羽(1988-), 女, 浙江岱山人, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、通信(maoruoyu2007@163.com); 陈相宁(1967-), 男, 江苏南京人, 副教授, 主要研究方向为无线通信、网络技术、信息安全、图像处理等。

胀是将与目标区域接触的背景点合并到该目标物中,使目标边界向外部扩张的处理。虽然腐蚀处理可以将粘连的目标物进行分离,膨胀处理可以将断开的目标物进行接续,但都存在一个问题:经过腐蚀处理后,目标物的面积小于原有面积;经过膨胀处理之后,目标物的面积大于原有面积。开、闭运算就是为了解决这个问题而被提出来的。使用同一个结构元素对图像先腐蚀后膨胀的过程称为开运算,它具有消除小对象物、在纤细点处分离物体、平滑较大物体边界的同时并不明显改变其面积的作用。使用同一个结构元素对图像先膨胀后腐蚀的过程称为闭运算,它具有填充目标内细小空洞、连接断开的邻近目标、平滑其边界的同时并不明显改变其面积的作用^[4]。其定义分别为:

腐蚀运算:

$$(F \ominus B)(x, y) = \min \{ F(x+i, y+j) - B(i, j) \mid (x+i, y+j) \in D_F; (i, j) \in D_B \} \quad (1)$$

膨胀运算:

$$(F \oplus B)(x, y) = \max \{ F(x-i, y-j) + B(i, j) \mid (x-i, y-j) \in D_F; (i, j) \in D_B \} \quad (2)$$

开运算:

$$F \circ B = (F \ominus B) \oplus B \quad (3)$$

闭运算:

$$F \cdot B = (F \oplus B) \ominus B \quad (4)$$

其中: $F(x, y)$ 表示输入图像; $B(x, y)$ 表示结构元素; D_F 、 D_B 分别是输入图像和结构元素的定义域。

依据所用的形态学算法的不同,可得到不同的边缘检测方法^[5]。设 $E(x, y)$ 为图像的边缘函数,根据膨胀运算构造边缘检测算子:

$$E_d(x, y) = (F \oplus B)(x, y) - F(x, y) \quad (5)$$

根据腐蚀运算构造边缘检测算子:

$$E_e(x, y) = F(x, y) - (F \ominus B)(x, y) \quad (6)$$

根据膨胀腐蚀型运算构造边缘检测算子(又称为形态学梯度):

$$E_g(x, y) = (F \oplus B)(x, y) - (F \ominus B)(x, y) \quad (7)$$

2 HSI 模型

HSI 模型由色调(hue)、饱和度(saturation)、亮度(intensity)三个属性组成,是以一个描述亮度的属性和两个描述颜色属性的值来表示彩色图像的。亮度与物体的反射率成正比,通常将亮度值转换为灰度值来描述,对于无色图像,就只有亮度一个量的变化;对于彩色图像,颜色中掺入白色越多就越明亮,掺入黑色越多亮度就越小。色调是与混合光谱中主要波长相联系的,表示了感官上感受到的不同颜色。饱和度与一定色调的纯度有关,纯光谱色是完全饱和的,随着白光的加入饱和度逐渐减少。人在区分颜色时常用 H 、 S 、 I 三种基本特征量,但已有的彩色边缘检测算法基本都基于 R 、 G 、 B 颜色空间。由于 R 、 G 、 B 三个分量的相关性很强,其仅利用了亮度信息而几乎没有利用颜色信息,因此不适用于彩色边缘检测任务。 H 、 S 、 I 颜色空间克服了 R 、 G 、 B 颜色空间的缺点,把亮度分量和颜色信息分开,HSI 三分量之间相互独立,且与人感受彩色的方

式紧密联系。

3 改进的 HSI 空间形态学梯度有噪彩色图像边缘检测

3.1 改进的形态学梯度算子

形态学梯度虽能加强图像中尖锐的灰度过渡区,受边缘方向的影响小,但其滤噪效果差,而先开后闭运算却能很好地消除噪声^[6],并且比文献^[7,8]的先闭后开运算去噪能力更强。因此,本文将两者相结合,提出了一种改进的形态学梯度算子:

$$E(F) = (M \cdot A) \oplus A - (M \cdot A) \ominus A \quad (8)$$

$$M(F) = (F \circ B) \cdot B \quad (9)$$

3.2 双结构元多尺度形态学算法

结构元素是数学形态学中一个最重要、最基本的概念,它的选择直接影响了图像边缘检测的结果,不同的结构元素可用于提取不同的图像特征。由于只采用单一结构元素,只能提取出与结构元素形状、大小完全相同的特性,而与结构元素即使有微小差别的其他特性都无法获取。同时,考虑到采用多结构元素计算的复杂度^[8],本文采用双结构元素^[9]。 A 和 B 分别为钻石型 5×5 结构元素和十字型 3×3 结构元素:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

结构元素不仅有形状的不同,而且有大小的差异。因此,可以在双结构元的基础上对图像进行多尺度形态学边缘检测。多尺度形态学边缘检测主要利用大小不同的结构元素提取图像的边缘特征,然后将各尺度下的边缘图像结合起来,进而得到新的边缘图像。小尺度的结构元素能检测到好的细节边缘,但去噪能力弱;而大尺度的结构元素去噪能力强,但检测到的边缘较粗糙。所以为了有效抑制噪声,得到理想的边缘检测结果,需要合理调节结构元素尺度的大小。

若 B 为有限的结构元素,并将多尺度结构元素定义为 $B_n = B \oplus B \oplus \dots \oplus B$, n 为尺度参数,即共进行 n 次小尺度结构元素的膨胀得到大尺度结构元素。

在本文中,将双结构元多尺度形态学算法应用到改进的形态学梯度算子中,得到如下算子:

$$E(x, y) = \sum_{i=1}^n a_i E_i(x, y) \quad (10)$$

$$E_i(x, y) = (M_i(x, y) \cdot A) \oplus A - (M_i(x, y) \cdot A) \ominus A \quad (11)$$

$$M_i(x, y) = (F(x, y) \circ B_i) \cdot B_i \quad (12)$$

其中, $a_i(i=1, 2, \dots, n)$ 为权重系数。 a_i 的选取很重要,对于一般无噪声或噪声较小的图像, a_i 可以取平均值,即 $a_i = \frac{1}{n}$;对于含噪声较大的图像,采用非均匀权重,按如下方式计算^[10]:

a) 计算不同尺度下的标准差:

$$\Delta_i = |F - M_i| \quad (13)$$

b) 由不同尺度下的标准差确定权重:

$$a_i = \frac{\Delta_{n-i}}{\sum_{i=1}^n \Delta_i} \quad (14)$$

3.3 算法的具体实现步骤

a) 将 RGB 空间的彩色图像转换为 HSI 空间的彩色图像,

并将彩色图像分解为 H 、 S 、 I 三个分量。

b) 对 H 分量按式(11)(12)计算多尺度边缘 $EH_i(x, y)$ 。

c) 根据式(13)(14)计算权重系数 a_i 。

d) 根据式(10)计算融合后 H 分量的边缘检测信息 $EH(x, y)$ 。

e) 对 S 和 I 分量重复步骤 b) ~ d), 分别得到 S 和 I 分量的边缘检测信息 $ES(x, y)$ 、 $EI(x, y)$ 。

f) 将三个分量的边缘检测信息按式(15)进行融合, 得到最终的边缘检测结果, 其中 p 为加权因子。

$$ET(x, y) = \frac{1}{2}p \cdot [EH(x, y) + ES(x, y)] + (1 - p) \cdot EI(x, y) \quad (15)$$

4 实验结果及分析

在 MATLAB 7.1 的环境下, 对 512×512 的 peppers 图像和 450×250 的 islands 图像分别加入 5% 的椒盐噪声后, 采用传统经典的 Sobel 和 Canny 边缘检测算子以及文献[7~9]、本文算法(设定 $n=4, p=0.3$)进行基于 HSI 颜色空间有噪彩色图像边缘检测实验, 比较结果如图 1 和 2 所示。

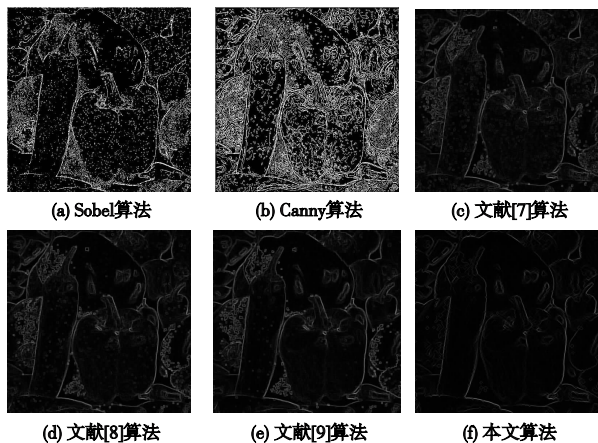


图1 对peppers图像加噪声后实验结果对比

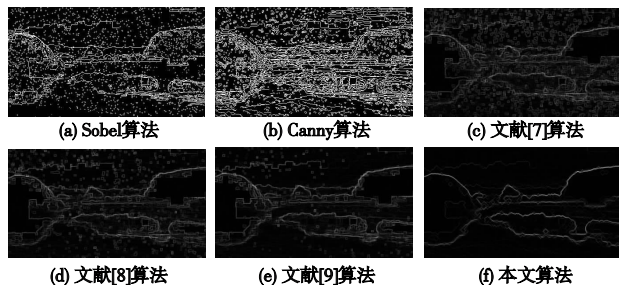


图2 对islands图像加椒盐噪声后实验结果对比

从图 1 和 2 中可以看出, 经典的边缘检测算子对噪声十分敏感, 抑制噪声的能力极差, 不能清晰地反映图像的边缘信息, 而本文提出的算法所检测的边缘将噪声过滤得很干净, 且边缘轮廓清晰完整。

为了进一步说明本文算法的优越性, 用图像峰值信噪比 (PSNR) 进行定量分析:

$$PSNR = 10 \lg \left[\frac{255^2}{\frac{1}{M \times N} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} (f(x, y) - g(x, y))^2} \right]$$

其中: $f(x, y)$ 表示实验结果图像; $g(x, y)$ 表示加入噪声后的原图; $M \times N$ 是量化级为 $0 \sim 255$ 的原始图像的尺寸大小。由公

式可知, PSNR 越小, 提取的边缘质量越高。针对不同图像, 采用两种传统算法 Sobel 和 Canny、文献[7~9]以及本文算法共六种算法的计算结果如表 1 所示。其中, 括号内外数据分别是针对 islands 和 peppers 图像的结果。

表 1 各种算法关于 PSNR 和计算时间的比较

采用算法	PSNR	t/s
本文算法	28.8155(28.9320)	19.3450(18.2170)
文献[7]算法	29.9411(30.5275)	17.9120(17.0740)
文献[8]算法	29.8481(30.4719)	23.8490(23.1370)
文献[9]算法	29.7124(29.9242)	19.9930(19.2150)
Sobel 算法	31.1130(32.1726)	20.8840(20.3010)
Canny 算法	35.6796(35.5239)	21.2150(20.7830)

可见, 采用本文算法所得 PSNR 值比传统边缘检测算法和文献[7~9]算法均小, 说明所提出的方法去噪性能明显优越, 并且计算时间也相对较小, 性能优良。与文献[7]算法比较, 本文算法主要是因为采用了双结构元多尺度算法, 并且将闭开运算改为开闭迭代运算, 由此提高去噪性能; 与文献[8]算法比较, 本文算法主要因为采用了双结构元, 计算复杂度明显减小, 且多尺度的应用, 去噪能力也相应提高; 而与文献[9]算法比较, 本文算法由于采用了开闭的多次迭代, 由此相对提高了去噪性能。

5 结束语

本文将开闭运算的迭代运算和双结构元多尺度运算引入到传统形态学梯度中, 采用改进的形态学梯度边缘检测算子基于 HSI 颜色空间进行彩色图像边缘检测, 根据 H 、 S 、 I 三个分量所占的不同比重进行适当组合, 所得的彩色图像边缘更加符合人眼视觉特性。与传统方法相比, 本文所提出的方法既能有效地消除噪声, 又能有效地保持边缘信息; 与多结构元素形态学运算相比, 所采用的双结构元素计算量明显减小、复杂度明显降低。

参考文献:

- [1] 段瑞玲, 李庆祥. 图像边缘检测方法研究综述[J]. 光学技术, 2005, 31(3): 415-419.
- [2] NEVATIA R. A color edge detector and its use in scene segmentation[J]. IEEE Trans on Systems, 1977, 7(11): 820-826.
- [3] 徐杰. 数字图像处理[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2009.
- [4] 王金凤. 基于数学形态学的彩色图像边缘检测[D]. 秦皇岛: 燕山大学, 2009.
- [5] 张起丽. 基于数学形态学的彩色图像处理研究[D]. 西安: 西北大学, 2009.
- [6] 赵慧. 基于数学形态学的图像边缘检测方法研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2010.
- [7] 高丽, 令晓明. HSI 空间基于形态学的彩色有噪图像边缘检测[J]. 兰州交通大学学报, 2010, 29(6): 96-98.
- [8] 李依令. 基于多尺度多结构元素的数学形态学边缘检测[J]. 科学技术与工程, 2006, 6(10): 1417-1419.
- [9] 罗圣敏. 改进的彩色图像边缘检测算法仿真研究[J]. 计算机仿真, 2011, 28(7): 301-304.
- [10] 付永庆, 王咏胜. 一种基于数学形态学的灰度图像边缘检测算法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2005, 26(5): 685-687.