

一种有效的彩色边缘检测算法研究

胡耀武, 周平, 周浩

(浙江理工大学信息学院, 杭州 310018)

摘要: 对于彩色图像边缘检测技术给出了一种基于改进的梯度算子和 RGB 颜色空间色差函数的边缘检测算法。该算法首先使用改进的梯度算子得到 RGB 颜色空间中各个分量的梯度值, 然后使用一个新的色差函数计算中心像素与邻域像素之间的色差距离, 最后结合梯度值和色差距离, 综合判断得到完整的彩色图像边缘信息。实验表明该方法是有有效的和鲁棒的。

关键词: 彩色图像; 边缘检测; 梯度; 色差

中图分类号: TP319 **文献标识码:** A

0 引言

边缘检测在图像处理中意义重大, 准确的边缘信息将直接作用于工件测量、织物识别、航天科技以及机器视觉系统的理解等方面。而对于彩色图像, 文献[1]表明其中 90% 的边缘信息与灰度图像相同, 而另外 10% 的边缘信息则包含在彩色信息中, 如何获得彩色图像中完整的边缘信息, 仍然是目前研究的热点。现存的彩色图像边缘检测算法主要可以分为以下三类。

a) 传统方法 首先将彩色图像转化为灰度图像, 然后使用经典边缘检测算子得到彩色图像边缘信息。Chen Xin 等^[2] 改进了 Sobel 算子, 通过得到 RGB 颜色分量梯度值的最大值, 得到边缘信息。Bouda 等^[3] 介绍了一个基于立方矩和虚拟电场模型的新算子得到梯度值, 进行边缘检测。刘循等^[4], 雒涛等^[5] 分别改进了形态学算子和 Canny 算子, 但只适用于灰度图像。他们都没有考虑色差的影响, 因此边缘信息残缺。

b) 合成方法 这类方法主要是在不同颜色空间中使用经典算子对每一个颜色通道进行边缘检测, 然后将得到的边缘信息合并得到最终边缘信息。

Wojciech 等^[6] 基于角点检测提出了一个观念函数, 并结合 Canny 算法进行边缘检测, 由于他忽略了非角点位置像素的边缘信息, 因此精确性不高。

c) 矢量方法 通过提取三维空间的颜色矢量特征来得到边缘信息。Sun 等^[7] 提出了一种基于 HIS 颜色空间的边缘检测方法, 该方法结合 H, S, I 三个成分中的边缘信息, 得到真正的边缘图像。Dony 等^[8] 提出了一种基于计算 RGB 颜色空间中两个像素之间矢量角度信息的边缘检测方法。Niu Lian-qiang 等^[9] 定义了一种基于 HSV 颜色空间的方向信息测量方法, 通过这种方法来得到彩色图像的边缘信息。Ji Runsheng 等^[10] 提出了一种基于 YUV 颜色空间的最小决策树判断算法, 进行彩色图像的边缘检测。

笔者提出一种基于改进的梯度算子和色差函数相结合的彩色图像边缘检测算法。该方法结合了梯度算子的优点, 同时补充了色差函数对边缘检测的影响, 具有较高的准确性和鲁棒性。

1 边缘检测算法

1.1 改进的梯度算子 IGO(improved gradient operators)

在 RGB 颜色空间中, 彩色图像包括 R, G, B 3

个颜色分量。Bouda 等^[3]提出了一种 CVVEFM 梯度算子,如图 1 所示。这种方法只考虑了 XYZ 坐标空间的三维信息,笔者将其对应扩展到 RGB 颜色空间中的八个方向上的梯度模版,如图 2 所示。

$\sqrt{2}$	$2\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	0	$-\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	$-2\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$
0	0	0	$2\sqrt{2}$	0	$-2\sqrt{2}$	0	0	0
$-\sqrt{2}$	$-2\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	0	$-\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$2\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$

图 1 CVVEFM 梯度模版

$\sqrt{2}$	$2\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$2\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	0
0	0	0	$\sqrt{2}$	0	$-\sqrt{2}$
$-\sqrt{2}$	$-2\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	0	$-2\sqrt{2}$	$-2\sqrt{2}$

(a)0°

$\sqrt{2}$	0	$-\sqrt{2}$	0	$-\sqrt{2}$	$-2\sqrt{2}$
$2\sqrt{2}$	0	$-2\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	0	$-\sqrt{2}$
$\sqrt{2}$	0	$-\sqrt{2}$	$2\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	0

(c)90°

$-\sqrt{2}$	$-2\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	
	0		$-\sqrt{2}$	0	$\sqrt{2}$
$\sqrt{2}$	$2\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$		$\sqrt{2}$	$2\sqrt{2}$

(e)180°

$-\sqrt{2}$		$\sqrt{2}$		$\sqrt{2}$	$2\sqrt{2}$
$-2\sqrt{2}$	0	$2\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	0	$\sqrt{2}$
$-\sqrt{2}$		$\sqrt{2}$	$2\sqrt{2}$	$-\sqrt{2}$	

(g)270°

图 2 IGO 算子

对于 R, G, B 不同的颜色空间,都包含不同的颜色信息。为了得到完整的边缘信息,使用改进的梯度算子 IGO 单独计算每一个颜色空间的梯度值,算法公式如下所示:

$$G_R(i, j) = \max\{G_{R(0^\circ)}, G_{R(45^\circ)}, G_{R(90^\circ)}, G_{R(135^\circ)}, G_{R(180^\circ)}, G_{R(225^\circ)}, G_{R(270^\circ)}, G_{R(315^\circ)}\} \quad (1)$$

$$G_G(i, j) = \max\{G_{G(0^\circ)}, G_{G(45^\circ)}, G_{G(90^\circ)}, G_{G(135^\circ)}, G_{G(180^\circ)}, G_{G(225^\circ)}, G_{G(270^\circ)}, G_{G(315^\circ)}\} \quad (2)$$

$$G_B(i, j) = \max\{G_{B(0^\circ)}, G_{B(45^\circ)}, G_{B(90^\circ)}, G_{B(135^\circ)}, G_{B(180^\circ)}, G_{B(225^\circ)}, G_{B(270^\circ)}, G_{B(315^\circ)}\} \quad (3)$$

其中 $G_R(i, j), G_G(i, j)$ 和 $G_B(i, j)$ 分别表示 (i, j) th 位置像素在 R, G, B 颜色分量上的梯度值。 $G_{R(\text{degree})}, G_{G(\text{degree})}, G_{B(\text{degree})}$ 分别表示不同颜色分量上不同方向的梯度模版。

得到 R, G, B 颜色分量上不同的边缘信息之后,通过算法 1 来剔除其中的虚假边缘信息,得到真正的边缘信息。

算法 1:对于 (i, j) th 位置的像素,如果 $G_R(i, j), G_G(i, j), G_B(i, j)$ 中至少有两个值使用相同的梯度方向模版得到,则该像素可能是边缘像素,否则不

是。如式(4)所示。

$$G(i, j) = \max\{G_R(i, j), G_G(i, j), G_B(i, j)\} \quad (4)$$

改进梯度算子 IGO 和 CVVEFM 算子实验结果如图 3 所示,图 3 为图像特例,更容易显示差异效果。从图 3 中可以看到, CVVEFM 算子对于红色一行和深蓝色一行的颜色渐变基本没有检测到边缘信息,而改进的 IGO 算子则可以得到较为完整的边缘信息。

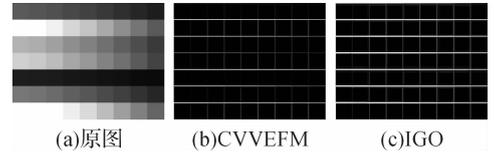


图 3 CVVEFM 和 IGO 实验结果对比

1.2 色差函数

如果仅仅通过梯度值来得到边缘像素,有可能出现虚假边缘像素的误判,因此笔者提出一个色差函数对边缘信息进行约束。

在 RGB 颜色空间中,基于欧拉公式的色差如式(5)~式(8)所示:

$$\Delta D = \sqrt{\Delta R^2 + \Delta G^2 + \Delta B^2} \quad (5)$$

$$\Delta R = R_1 - R_2 \quad (6)$$

$$\Delta G = G_1 - G_2 \quad (7)$$

$$\Delta B = B_1 - B_2 \quad (8)$$

其中, R_1, R_2 是 R 分量上两个不同像素的通道, G_1, G_2 是 G 分量上两个不同像素的通道, B_1, B_2 是 B 分量上两个不同像素的通道。

由于 RGB 颜色空间是非均匀颜色空间, RGB 立方体中的欧氏距离与人眼的色差感觉相差较大,而一般的图像灰度化如式(9)所示,式(9)比较符合人眼的视觉感官,因此,基于式(9)对式(5)进行修正,如式(10)所示。

$$\text{Gray}(i, j) = 0.114B + 0.587G + 0.299R \quad (9)$$

$$\Delta D = 0.299 |\Delta R| + 0.5 |\Delta G| + 0.114 |\Delta B| \quad (10)$$

在式(10)中,由于人眼对蓝色的亮度不敏感,但是对蓝色的色度具有较强的分辨能力,因此,结合相邻像素之间 R, B 分量之间的差异,确定比重 r, b ,增加蓝色分量,并相应削弱红色分量,对应如式(11)所示。

$$\Delta D = \left[\left(0.299 - \frac{r}{255} \right) |\Delta R| + 0.5 |\Delta G| + \left(0.114 + \frac{b}{255} \right) |\Delta B| \right] \quad (11)$$

$$r = \frac{|R_1 - R_2|}{2}, b = \frac{|B_1 - B_2|}{2} \quad (12)$$

其中 $Gray(i, j)$ 是 (i, j) 位置像素的灰度值, R, G 和 B 是不同的颜色分量。

对于像素 (i, j) , 使用一个 3×3 的模版, 如图 4 所示。在每一个颜色分量中使用式(11)来计算中心像素 (i, j) 和其邻域像素的色差距离, 如图 5 所示。

$(i-1, j-1)$	$(i, j-1)$	$(i+1, j-1)$
$(i-1, j)$	(i, j)	$(i+1, j)$
$(i-1, j+1)$	$(i, j+1)$	$(i+1, j+1)$

图 4 邻域模版

$Dis1$	$Dis2$	$Dis3$
$Dis4$	0	$Dis5$
$Dis6$	$Dis7$	$Dis8$

图 5 色差距离

最后使用式(13)来得到色差的极大值。对于中心像素 (i, j) 如果 M 足够大, 则该像素可能是边缘像素。因此, 设置阈值 T 来判断当前像素是否可能为边缘像素。如算法 2 所示。

$$M = \max\{Dis1, Dis2, \dots, Dis8\} \quad (13)$$

算法 2:

```

if ( $M > T$ )
    {  $pixel(i, j)$  maybe  $\in$  edge }
else
    { impossible }
    
```

T 的选取由经验所定, 算法 2 的实验结果如图 6 所示。



图 6 算法 2 实验结果

1.3 边缘像素判断算法

结合梯度信息和色差信息, 可以滤除虚假边缘像素, 得到真实的边缘信息。算法如下:

算法 3:

```

if ( $pixel(i, j) \in$  Algorithm1  $\cap$  Algorithm2)
    {  $pixel(i, j) \in$  edge }
    
```

同时, 笔者介绍一种自适应阈值选择算法来得到算法 2 中的阈值 T , 如式(14)~式(15)所示。

$$T = (\sum_{i=1}^8 Dis_i) / 8 + Min \quad (14)$$

$$Min = \min\{Dis1, Dis2, \dots, Dis8\} \quad (15)$$

整个边缘检测算法的实验结果如图 7 所示。



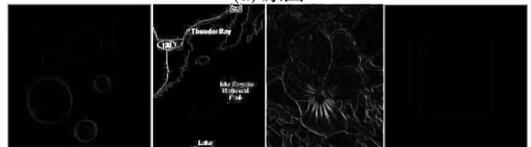
图 7 笔者方法实验结果

2 实验结果

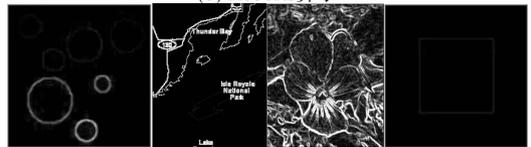
在 Intel(R) 酷睿双核 PC 上进行实验, CPU 为 2.66 GHz, 2 G 内存, Win7 系统。对比经典算子, CVVEFM^[3] 和 Chen^[2] 几种方法, 其中高斯噪声均值为 1.35, Canny 算子的低, 高阈值分别为 20, 100, 实验结果如图 8 所示。



(a) 原图



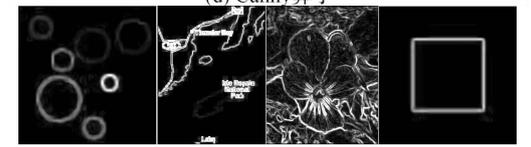
(b) Roberts算子



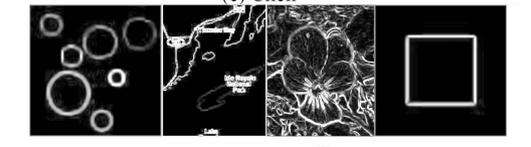
(c) Sobel算子



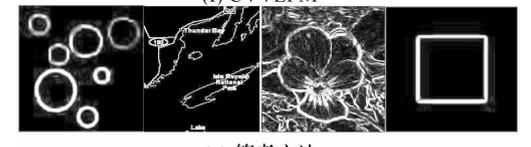
(d) Canny算子



(e) Chen^[2]



(f) CVVEFM^[3]

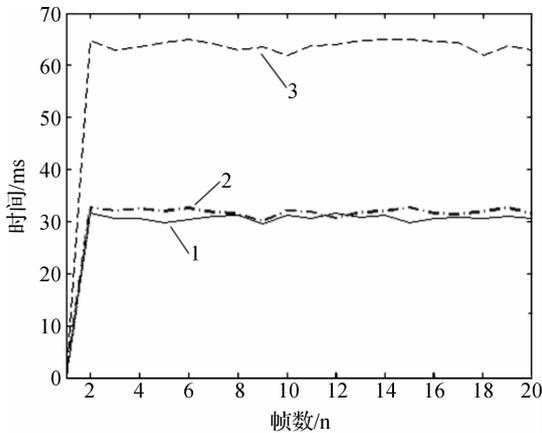


(g) 笔者方法

图 8 不同方法实验结果

在图 8 中,对比的经典算子包括 Roberts, Sobel, Canny 算子,从第 1 列和第 4 列对比图中,可以清楚地看到经典算子丢失了大部分的边缘信息,而笔者方法可以在保留边缘信息的同时增强了边缘的灰度。整体而言,Canny 算子丢失了较多的边缘信息,Roberts 和 Sobel 算子也不同程度的丢失了许多边缘像素,CVVEFM^[3]方法与 Chen^[2]方法相比,可以得到较多的边缘信息,但是这两种方法与笔者方法相比,笔者方法得到的边缘图像具有较强的边缘强度,更为完整的边缘信息。

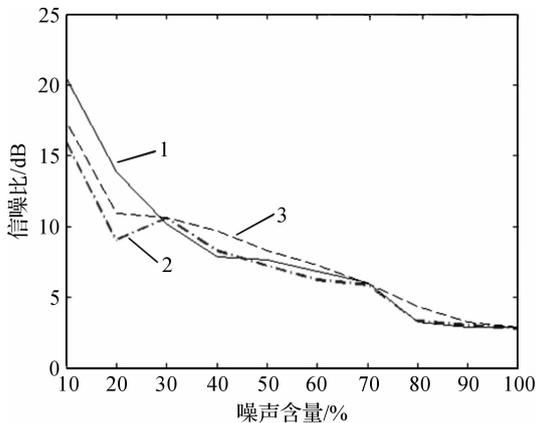
在时间消耗方面,对比了 20 张图像不同方法的时间消耗,如图 9 所示,检测图像的大小为 320×240 。从图 9 可以看到,笔者方法平均耗时为 32 ms, CVVEFM^[3]耗时 31 ms,两者基本相同,而 Chen^[2]方法明显劣于笔者方法。



1.CVVEFM算法; 2.笔者算法; Chen算法

图 9 不同方法的耗时

在抗噪性能方面,对比结果如图 10 所示。由图 10 可知,当噪声百分比高于 30% 时,笔者算法略优于 CVVEFM^[3]和 Chen^[2]的方法,具有一定的抗噪性能。



1.Chen算法; 2.CVVEFM算法; 3.笔者算法

图 10 不同方法的信噪比

3 结 语

笔者主要介绍了一个改进的梯度模型和一个基于 RGB 颜色空间的色差函数,并以此为基础提出了一种彩色边缘检测方法。该方法在边缘效果方面,可以得到更为丰富的边缘信息和更强的边缘强度;在耗时方面,具有相对较短的时间消耗。实验证明该方法是有效的和鲁棒的。但是,笔者尚未对该算法的抗噪性能进行深入的研究,未来,如何提高算法的抗噪性,使算法在各种复杂情况下有效检测彩色图像的边缘信息,将是新的研究方向。

参考文献:

- [1] Koschan A. A comparative study on color edge detection [C]//Proceedings of the 2nd Asian Conference on Computer Vision ACCV'95. 1995: 574-578.
- [2] Chen Xin, Chen Hou-jin. A novel color edge detection algorithm in RGB color space[C]//International Conference on Signal Processing Proceedings. Beijing, 2010: 793-796.
- [3] Bouda B, Masmoudi Lh, Aboutajdine D. Cubical voxels and virtual electric field model for edge detection in color images[J]. Signal Processing, 2008, 88(4): 905-915.
- [4] 刘 循, 游志胜. 多尺度形态学图像边缘检测方法[J]. 光电工程, 2003, 30(3): 56-58.
- [5] 雒 涛, 郑喜凤, 丁铁夫. 改进的自适应阈值 Canny 边缘检测[J]. 光电工程, 2009, 36(11): 106-117.
- [6] Wojciech S, Marek A. New edge detection algorithm in color image using perception function [J]. Computer Recognition System, 2009, 3(57): 113-118.
- [7] Sun H X, Zhang Y H, Luo F U. Color edge detection based on HIS color space[J]. Optecal Technique, 2009, 11(35): 221-228.
- [8] Dony R D, Wesolkowski S. Edge detection on color images using RGB vector angles[C]//IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Canada, 1999: 687-692.
- [9] Niu Lian-qiang, Li Wen-ju. Color edge detection based on direction information measure [C]//Proceedings of the World Congress on Intelligent Control and Automation. Dalian, China, 2006: 9533-9536.
- [10] Ji Run-sheng, Bin Kong, Fei Zheng, et al. Color edge detection based on YUV space and minimal spanning tree[C]//IEEE International Conference on Information Acquisition. Hefei, China, 2006: 941-945.

An Effective Edge Detection Algorithm in Color Images

HU Yao-wu, ZHOU Ping, ZHOU Hao

(School of Informatics, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: A new algorithm for edge detection in color images is proposed, which is based on improved gradient operators (IGO) and a new color difference function in the RGB color space. The proposed method firstly uses improved gradient operators (IGO) to get the gradient value for R, G and B color components separately. Then a new color difference function is taken to calculate the distance between the center and neighboring pixels. Finally, the edge information is obtained by a simple judgment algorithm combining the gradient and color difference values. The experimental results show that the proposed algorithm is effective and robust.

Key words: color image; edge detection; gradient; color difference

(责任编辑: 陈和榜)