

一种基于色差的 Canny 边缘检测算子^①

薛东伟, 舒欣, 李东新, 张芳玲

(河海大学 计算机与信息学院, 南京 211100)

摘要: 为了更加清晰准确地检测出彩色图像的边缘, 提出了一种改进的 Canny 边缘检测方法, 将彩色图像从 RGB 颜色空间转换到颜色均匀的 L*a*b*空间, 用色差 Canny 算子来计算彩色图像的色差和色差方向. 彩色直线和曲线道路图像的边缘检测效果证明了改进算子的有效性.

关键词: Canny 算子; 色差; L*a*b*空间; 边缘检测; 道路图像

A Kind of Canny Edge Detection Operator Based on Color Difference

XUE Dong-Wei, SHU Xin, LI Dong-Xin, ZHANG Fang-Ling

(College of Computer and Information, Hohai University, Nanjing 211100, China)

Abstract: In order to detect the edge of color image more clearly and accurately, this paper presents an improved Canny edge detection method, that Canny operator based on color difference is used to calculate the color difference and color directions of color image by converting color image from RGB color space to the L*a*b*space of uniform color. The edge detection results of line and curve road color image prove the effectiveness of the improved operator.

Key words: canny operator; color difference; L*a*b*space; edge detection; road image

图像边缘是图像中梯度发生急剧变化的像素的集合, 两个具有不同灰度值的相邻区域之间总存在着边缘. 边缘检测的算子有很多种, 几种常用的算子包括 Roberts 算子^[1]、Sobel 算子^[2]、Prewitt 算子^[3]和 Canny 边缘检测算子^[4,5]等.

在现有的这些边缘检测算子中, Canny 算子是相对较好的一种, 但是传统的 Canny 边缘检测算子在采用基于梯度赋值的双阈值法^[6,7]检测和连接边缘时, 尽管抑制了噪声, 但同时也损坏了部分低强度边缘. 为解决这一问题, 本文提出了一种改进的基于色差的 Canny 算子^[8,9]来计算彩色图像的色差和色差方向, 并利用结构化道路图像的仿真效果验证了改进算子的有效性.

1 Canny算子介绍

Canny 边缘检测算子是一阶微分算子, 对图像进行 Canny 边缘检测的原理是: 用准高斯函数对原始图像 $f(x,y)$ 作平滑运算得到处理后的图像 $f_s = f(x,y) \times G(x,y)$, 用一阶微分算子求取导数的最

大值. 二阶导数的零交叉点不仅对应着一阶导数的极大值也对应着一阶导数的极小值, 也就是说, 灰度变化剧烈的点(强边缘)与灰度变化缓慢的点(弱边缘)都对应着二阶导数零交叉点. 通过使用两个阈值来分别检测强边缘和弱边缘, 而且仅当强边缘和弱边缘相连时, 弱边缘才会包含在输出中.

平滑处理后图像 $f_s(x,y)$ 的梯度可以使用 2×2 的一阶有限差分近似式:

$$P[i,j] \approx (f_s[i,j+1] - f_s[i,j] + f_s[i+1,j+1] - f_s[i+1,j]) / 2 \quad (1)$$

$$Q[i,j] \approx (f_s[i,j] - f_s[i+1,j] + f_s[i,j+1] - f_s[i+1,j+1]) / 2 \quad (2)$$

在这个 2×2 正方形内求有限差分的均值, 就可求出图像中的点沿 x 轴方向和沿 y 轴方向的偏导数梯度. 梯度幅值和方向角可用如下公式来计算:

$$M[i,j] = \sqrt{P[i,j]^2 + Q[i,j]^2} \quad (3)$$

$$\theta[i,j] = \arctan(Q[i,j] / P[i,j]) \quad (4)$$

^① 收稿时间:2013-03-04;收到修改稿时间:2013-04-08

式中, $M[i, j]$ 表示了图像边缘的强度, $\theta[i, j]$ 表示了边缘的方向.

2 Canny算子的改进

传统 Canny 边缘检测算子只能用于灰度图像的边缘检测, 并且使用高斯滤波器抑制噪声时会平滑图像的边缘细节. 为此, 将灰度 Canny 算子扩展到彩色颜色空间, 提出一种彩色 Canny 边缘检测方法. 该算法是将彩色图像从 RGB 颜色空间转换到颜色均匀的 $L^*a^*b^*$ 空间, 用色差 Canny 算子来计算彩色图像的色差和色差方向.

2.1 彩色空间转换

通常, 彩色图像以 RGB 方式存储. RGB 空间不是一种均匀的颜色空间. 本文提出的改进 Canny 边缘检测算子将使用 $L^*a^*b^*$ 颜色空间. $L^*a^*b^*$ 颜色空间是一种近似的均匀彩色空间, 也是一个与设备无关的颜色空间, 无论使用何种设备创建或输出图像, 该颜色模型所产生的颜色都是保持一致的.

RGB 颜色空间可以通过线性转换到 $L^*a^*b^*$ 颜色空间.

设在 RGB 颜色空间中, 某种颜色的颜色值为 (R, G, B) , 则从 RGB 颜色空间到 $L^*a^*b^*$ 颜色空间的转换公式如下:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.430 & 0.342 & 0.178 \\ 0.300 & 0.590 & 0.110 \\ 0.020 & 0.130 & 0.939 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.430 & 0.342 & 0.178 \\ 0.300 & 0.590 & 0.110 \\ 0.020 & 0.130 & 0.939 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 255 \\ 255 \\ 255 \end{bmatrix} \quad (6)$$

式(5)、(6)中, X 、 Y 、 Z 分别表示红、绿、蓝三种基色, X_0 、 Y_0 、 Z_0 是依据国际照明委员会(CIE)标准, 照明体在能完全反射的漫反射物体上照射后, 将反射到人眼中的白色物体刺激的刺激值, 有:

$$L^* = 116(Y/Y_0)^{\frac{1}{3}} \quad Y/Y_0 > 0.01 \quad (7)$$

$$a^* = 500 \left[(X/X_0)^{\frac{1}{3}} - (Y/Y_0)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (8)$$

$$b^* = 200 \left[(Y/Y_0)^{\frac{1}{3}} - (Z/Z_0)^{\frac{1}{3}} \right] \quad (9)$$

式中, L^* 是米制明度, a^* 和 b^* 是米制色度.

2.2 基于色差的彩色 Canny 边缘检测算子

在 $L^*a^*b^*$ 颜色空间中, 区别两个颜色可以通过该两个颜色点间的欧几里德距离表示, 即通过色差来表示. 色差是一种用数值的方法能够使人在色彩感觉上区别两种颜色.

$L^*a^*b^*$ 空间中计算像素点 A 和像素点 B 之间色差 CD 如下式所示:

$$CD(A, B) = \sqrt{(L_A^* - L_B^*)^2 + (a_A^* - a_B^*)^2 + (b_A^* - b_B^*)^2} \quad (10)$$

基于色差的 Canny 算子的色差分量 D_x 和色差分量 D_y , 计算公式如下:

$$D_x = [CD(f_{i,j+1}, f_{i,j}) + CD(f_{i+1,j+1}, f_{i+1,j})] / 2 \quad (11)$$

$$D_y = [CD(f_{i,j}, f_{i+1,j}) + CD(f_{i,j+1}, f_{i+1,j+1})] / 2 \quad (12)$$

因此, Canny 色差幅值和方向为:

$$CDC = \sqrt{D_x^2 + D_y^2} \quad (13)$$

$$\varphi = \arctan(D_y / D_x) \quad (14)$$

在 $L^*a^*b^*$ 颜色空间中, 两个颜色点之间的色差距离包含了图像的亮度和色度的差异信息, 图像的色差也反映了图像边缘的梯度. 在彩色图像的边缘处图像的亮度和色度都有很大的变化, 从而图像边缘处的梯度幅值很大, 图像边缘处的色差值也很大. 因此利用基于色差的 Canny 边缘检测算子的方法可以检测出彩色图像的边缘.

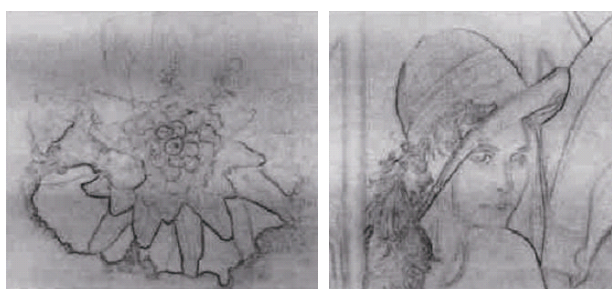
2.3 实验结果分析

图 1 是对两幅彩色图像分别用传统 Canny 和色差 Canny 检测边缘的结果. 从图 1(a)与图 1(b)的边缘检测结果可以看出, 采用传统的 Canny 对图 1(a)待检测图像进行边缘检测, 由于图像中有的地方灰度差别很小, 检测不到清晰的边缘, 而采用色差 Canny 之后, 由于其充分利用了颜色信息, 得到的边缘比较清晰. 总之在对图 1(a)和图 1(b)各自的边缘检测对比中, 可以明显看出运用色差 Canny 可以更清晰准确地检测出彩色图像边缘.

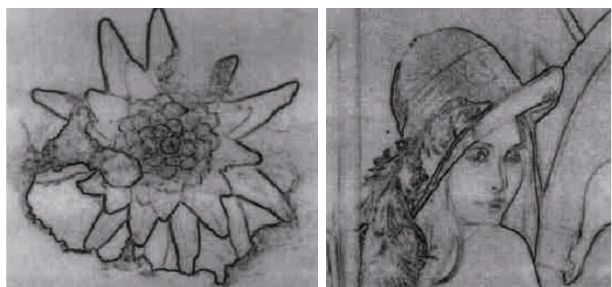


(a) 待检测图像

(b) 待检测图像



(a) 传统 Canny 检测边缘 (b) 传统 Canny 检测边缘



(a) 色差 Canny 检测边缘 (b) 色差 Canny 检测边缘

图 1 传统 Canny 和色差 Canny 边缘检测效果比较

3 改进算子的应用

改进的 Canny 算子广泛用于彩色图像的边缘检测, 现以结构化道路的边缘检测为例进一步验证改进算子的有效性. 结构化道路是指高速公路、城市中的重要道路等这类具有清晰的车道线和道路边界的道路. 结构化道路的边缘检测^[10]功能, 在技术逐步成熟的智能车载系统中起着很重要的作用.

使用基于色差的 Canny 算子对彩色图像进行边缘检测, 首先将在 RGB 颜色空间中的彩色图像, 通过颜色空间变换成为 L*a*b*颜色空间中二维彩色图像 $g(x, y)$. 用坐标 (x, y) 表示彩色图像 $g(x, y)$ 中一个像素位置, 则在 (x, y) 处沿 x 轴方向和 y 轴方向的色差 D_x 和 D_y 表达式如下:

$$D_x = (CD[(x, y+1), (x, y)] + CD[(x+1, y+1), (x+1, y)]) / 2 \quad (15)$$

$$D_y = (CD[(x, y), (x+1, y)] + CD[(x, y+1), (x+1, y+1)]) / 2 \quad (16)$$

点 (x, y) 处的色差表达式如下:

$$CDC(x, y) = \sqrt{D_x^2 + D_y^2} \quad (17)$$

梯度方向角表达式如下:

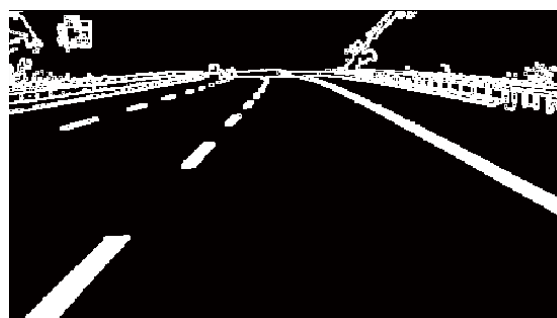
$$\theta(x, y) = \arctan(D_y / D_x) \quad (18)$$

综上所述, 用式(17)和(18)分别对彩色直线道路和彩色曲线道路图像的边缘进行边缘检测. 检测效果如

图 2 和图 3 所示:



(a) 彩色直线道路图像



(b) 色差 Canny 边缘检测后图像

图 2 直线道路图像中检测边缘线效果图



(a) 彩色曲线道路图像



(b) 色差 Canny 边缘检测后图像

图 3 曲线道路图像中检测边缘线效果图

仿真结果表明,改进的基于色差的 Canny 算子准确地检测出直线道路边缘线和曲线道路边缘线,彩色图像中结构化道路边缘检测性能稳定。

4 结 语

基于色差的 Canny 边缘检测算法将 RGB 颜色空间转换到颜色均匀的 $L^*a^*b^*$ 空间,计算彩色图像的色差和色差方向,充分利用了颜色信息,与传统方法相比,能够得到的更加清晰的图像边缘。直线道路图像和曲线道路图像边缘线检测的仿真实验,进一步证明了改进算子的有效性和应用价值。

参 考 文 献

- 1 王冰.用 Roberts 算子进行边缘处理.甘肃科技,2008,24(10):18-20.
- 2 王康泰,戴文战.一种基于 Sobel 算子和灰色关联度的图像边缘检测方法.计算机应用,2006,26(5):1035-1037.
- 3 杨道普,马秋禾,石磊.边缘检测 prewitt 算子的改进算法.测绘科学,2008,33(5):100-103.
- 4 苏连成,王东卫.一种改进的 Canny 边缘检测算子.燕山大学学报,2012,36(5):413-416.
- 5 Canny J. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986,8(6):690-699.
- 6 赵宏中,张彦超.基于 Canny 边缘检测算子的图像检索算法.电子设计工程,2010,18(2):75-78.
- 7 万力,易昂,傅明.一种基于 Canny 算法的边缘提取改善算法.计算机技术与自动化,2003,22(1):24-26.
- 8 张朝阳,冯伍法,张俊华.基于色差的遥感影像海岸线提取.测绘学院学报,2005,22(4):259-262.
- 9 Li J, Ding S. A research on improved canny edge detection algorithm. Communications in Computer and Information Science,2011,228(1):102-108.
- 10 刘献如,蔡自兴.结构化道路车道线的鲁棒检测与跟踪.光子·激光,2010,21(12):1834-1838.
- 11 王冰.用 Roberts 算子进行边缘处理.甘肃科技,2008,24(10):18-20.
- 12 王康泰,戴文战.一种基于 Sobel 算子和灰色关联度的图像边缘检测方法.计算机应用,2006,26(5):1035-1037.
- 13 杨道普,马秋禾,石磊.边缘检测 prewitt 算子的改进算法.测绘科学,2008,33(5):100-103.
- 14 苏连成,王东卫.一种改进的 Canny 边缘检测算子.燕山大学学报,2012,36(5):413-416.
- 15 Canny J. A computational approach to edge detection. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986,8(6):690-699.
- 16 赵宏中,张彦超.基于 Canny 边缘检测算子的图像检索算法.电子设计工程,2010,18(2):75-78.
- 17 万力,易昂,傅明.一种基于 Canny 算法的边缘提取改善算法.计算机技术与自动化,2003,22(1):24-26.
- 18 张朝阳,冯伍法,张俊华.基于色差的遥感影像海岸线提取.测绘学院学报,2005,22(4):259-262.
- 19 Li J, Ding S. A research on improved canny edge detection algorithm. Communications in Computer and Information Science,2011,228(1):102-108.
- 20 刘献如,蔡自兴.结构化道路车道线的鲁棒检测与跟踪.光子·激光,2010,21(12):1834-1838.

(上接第 167 页)

- 1 ption-based adaptive color to gray transformation. In Proc.of Computational Aesthetics, Eurographics Association, 2007:73-80.
- 2 Smith K, Landes PE, Thollot J, Myszkowski K. Apparent greyscale: A simple and fast conversion to perceptually accurate images and video. Computer Graphics Forum, 2008,27(2):193-200.
- 3 Gooch A, Tumblin J, Gooch B. Color2gray: Saliency-Preserving Color Removal,ACM Trans.Graphics,2005,24(3):634-639.
- 4 Rasche K, Geist R, Westall J. Re-coloring Images for Gamuts of Lower Dimension,Computer Graphics Forum, 2005,24(3):423-432.
- 5 Grundland M, Dodgson NA. The Decolorize Algorithm for Contrast Enhancing, Color to Grayscale Conversion. Tech.Rep. UCAM-CL-TR-649, University of Cambridge, 2005.
- 6 ČAdik M. Perceptual Evaluation of Color-to-Grayscale Image Conversions. Comp. Graph. Forum,2008,27(7):1745-1754.
- 7 Song M, Tao D, et al. Color to Gray: Visual Cue Preservation. IEEE Trans.on PAMI,2010,32(9):1537-1551.
- 8 Gonzalez RC, Woods RE. Digital image processing,Prentice Hall,2002.
- 9 Lin W, Kuo CCJ. Perceptual Visual Quality Metrics: A Survey. Journal of Visual Communication and Image Representation, 2011,22(4):297-312.
- 10 张建德,邵定宏.改进的基于彩色空间距离的图像灰度化算法.机械与电子,2008,(1):63-65.
- 11 张全法,杨海彬,任朝栋,李焕.彩色图像的快速高保真灰度化方法研究,郑州大学学报(理学版),2011,43(3):66-69.