

基于 C-Canny 算子与灰度空间的彩色图像边缘检测

杜文亮, 刘晓东, 吕园园

(西安交通大学 电子与信息工程学院, 陕西 西安 710049)

摘 要: 提出了利用灰度图像边缘检测结果完成彩色图像边缘检测的算法, 并对 Canny 算子进行了改进, 在计算梯度幅值时采用了 3×3 邻域, 改进后的 Canny 算子对噪声抑制效果明显, 且检测边缘更加精细. 采用了两种算法将彩色图像转换为灰度图像, 利用 C-Canny 算子对转换后的灰度图像进行边缘检测, 在灰度图像边缘检测结果基础上, 完成彩色图像的边缘检测. 经实际测试证明, 该算法检测出的图像边缘连续性好, 准确性高, 对颜色数不多的彩色图像有较好的边缘检测结果.

关键词: 彩色图像; 边缘检测; 灰度空间; C-Canny 算子

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)04-0017-04

Color Image Edge Detection Based on C-Canny Operator and Gray Space

DU Wen-liang, LIU Xiao-dong, LV Yuan-yuan

(School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: Based on gray space and C-Canny operator, an edge detection algorithm of color image is proposed. And the Canny operator has been improved, using 3×3 neighborhood to calculate the gradient magnitude. The improved Canny operator gets a good effect on the noise suppression, and the detected edges are much more refined. Two transformation algorithms of color image to gray image are used. Execute C-Canny operator on the transformed image, and the result will help us complete edge detection on the color image. Based on our algorithm, the experiment showed that we will get good continuity and high veracity of image edge, and better edge detection will obtained on the color image of small number of colors.

Key words: color image; edge detection; gray space; C-Canny operator

1 引言

图像边缘检测在图像处理和计算机视觉中有着重要的作用, 通过检测图像边缘可以完成对图像的分割. 在灰度图像中, 不同灰度值的相邻区域之间总存在灰度边缘, 对于比较复杂的图像, 可以借助阈值法、数学形态学、模糊 C 均值等方法^[1]、四相位差分图像法^[2]、遗传算法^[3]等检测到. 在彩色图像中, 图像中的每个像素点由 R、G、B 三个颜色值决定, 其他常用颜色空间有 YIQ、YUV、HIS、CIE、XYZ 等等, 都可由 RGB 颜色空间进行线性变换或非线性变换得到. 灰度图像边缘检测到彩色图像边缘检测, 颜色空间由一维变成了三维, 用于边缘检测的信息也更

加丰富. 相应地, 彩色图像边缘的定义也是基于三维空间的不连续性. 所以对于彩色图像边缘检测, 颜色空间和检测策略成为影响检测结果的关键因素. 现有的方法多是将灰度图像边缘检测策略直接应用于彩色图像所选颜色空间的三个分量 (或者某一分量), 再将检测结果根据一定的方法组合、合并, 完成彩色图像边缘检测. 即大部分在灰度图像上的边缘检测策略都可以扩展到彩色图像上, 但检测结果往往不尽人意.

文中运用 Color2Gray 算法对彩色图像进行降维, 转换为灰度图像, 结合 Canny 算子在灰度空间检测边缘连续性好优点, 在转换后的灰度图像上用改进的 Canny 算子进行边缘检测, 利用灰度图像

的边缘检测结果来完成彩色图像的边缘检测. 克服了彩色颜色空间三分量的相关性, 较好地利用了比较成熟的灰度图像边缘检测策略.

2 Color2Gray 算法与改进 Canny 算子

对于彩色图像边缘检测, 目前尚无标准算法与策略. 已有的边缘检测方法可以归为两类: 一是选用合适的颜色空间, 将灰度图像边缘检测策略用于某一颜色分量, 完成边缘检测; 二是结合特定理论工具和模型, 如小波分析、模糊数学、神经网络和物理模型等算法^[4], 在一定程度上也可以取得较好的效果, 泛化能力差. 文中采用 Color2Gray 算法将彩色图像转换为灰度图像, 在灰度空间运用改进的 Canny 算子进行边缘检测, 进而完成彩色图像边缘检测.

2.1 Color2Gray 算法

工程应用中经常遇到彩色图像转换为灰度图像的问题, 目的是为了降低图像表示的维数, 加快图像处理的速度. 在介绍 Color2Gray 算法之前, 先介绍一个很著名的心理学公式:

$$\text{Gray}(i, j) = 0.299R(i, j) + 0.587G(i, j) + 0.114B(i, j) \quad (1)$$

一般情况下彩色图像的每个像素都用三个字节表示, 每个字节对应着 R 、 G 、 B 分量颜色值, 转换后的每个像素由一个字节来表示该点的灰度值. $\text{Gray}(i, j)$ 表示转换后的灰度图像 (i, j) 处的灰度值. 另外该公式的变形(式(2))也经常用于彩色图像转灰度图像中:

$$\text{Gray}(i, j) = 0.11R(i, j) + 0.59G(i, j) + 0.3B(i, j) \quad (2)$$

关于此公式的变形还有很多, Adobe Photoshop 亮度标准采用的是式(3):

$$\text{Gray}(i, j) = 0.3R(i, j) + 0.59G(i, j) + 0.11B(i, j) \quad (3)$$

上述公式仅仅考虑了图像的彩色信息, 没有考虑图像空间信息, 这样产生的灰度图像往往不尽人意, 一些在彩色图像中的显著变化, 变换到灰度空间后就不再明显. 用式(3)完成的彩色图像转换在本文中称为 P-Gray 算法.

为了减少转换的视觉信息损失, 使转换后的灰度图像尽可能地保留彩色图像的显著变化信息. Amy A. Gooch 等人于 2005 年提出了 Color2Gray 算法^[5], 文中称 C2G 算法, 该算法有效地改善了这一缺点, 尤其对于颜色信息比较少的彩色图像, 转换效

果比较好. 在 C2G 算法中, 使用者通过设定三个简单参数 θ, α, μ , 控制彩色差异到灰度差异的映射.

θ : 用来控制彩色差异是增加或减少亮度值;

α : 决定有多少颜色变化被允许改变原始亮度值;

μ : 为彩色计算和亮度梯度设定邻域大小.

算法中使用 $\delta_{i,j}$ 来表示对象差别, 如果亮度差别的绝对值小于彩色差别, 那么 $\delta_{i,j}$ 被赋值为彩色差别的度量; 否则, $\delta_{i,j}$ 被设定为亮度差别的度量.

已知: $\text{Crunch}(x) = \alpha * \tanh(x/\alpha)$

$$v_\theta = (\cos\theta, \sin\theta)$$

$$\delta_\theta(\alpha, \theta)_{ij} =$$

$$\begin{cases} \Delta L_{ij}, & \text{if } |\Delta L_{ij}| > \text{Crunch}(\|\Delta C_{ij}\|) \\ \text{Crunch}(\|\Delta C_{ij}\|), & \text{if } \Delta C_{ij} v_\theta \geq 0 \\ \text{Crunch}(-\|\Delta C_{ij}\|), & \text{otherwise} \end{cases}$$

式中, v_θ 是 Δa^* 方向上的单位向量; $\Delta L_{ij}(L_i - L_j)$ 表示为像素点 i, j 的亮度差, 同理分别定义 $\Delta A_{ij}(a_i^* - a_j^*)$, $\Delta B_{ij}(b_i^* - b_j^*)$, ΔC_{ij} 定义为 $(\Delta A_{ij}, \Delta B_{ij})$.

C2G 算法分三个步骤:

(1) 变换彩色空间. 将输入的彩色图像由 RGB 颜色空间转换到 XYZ 颜色空间, 然后再变换到 CIE $L^* a^* b^*$ 颜色空间;

(2) 计算对象差别. 通过设定参数, 利用色度和亮度不同, 在相邻像素间, 创建灰度级的对象差别, 计算 ΔL_{ij} , ΔC_{ij} , 以及 $\delta(\alpha, \theta)_{ij}$;

(3) 解决最优化问题. 有计划、有选择地调整灰度等级, 将其描述为原始图像色度变换函数, 找到一个 g , 使目标函数 $f(g) = \sum_{(i,j) \in \Psi} ((g_i - g_j) - \delta_{ij})^2$ 最小化, 从而得到灰度图像 g . 其中, Ψ 表示有序像素点对 (i, j) 的集合.

2.2 C-Canny 算子

边缘检测常借助空域微分算子进行, 通过将其模板与图像卷积完成. 常用的边缘检测微分算子有 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、高斯-拉普拉斯算子等. Canny 算子是另外一类边缘检测算子, 它不是通过微分算子检测边缘, 而是在满足一定约束条件下推导出的边缘检测最优化算子.

Canny 算子把边缘检测问题转换为检测单位函数极大值的问题^[6-7]. John Canny 认为一个好的边缘检测算子应该具有三个指标: 一是低失误率, 既要少将真正的边缘丢失也要少将非边缘判为边缘; 二是高位置精度, 检测出的边缘应在真正的边界上; 三是

对每个边缘有唯一的响应,得到的边界为单像素宽.

Canny 算子的思想:首先对图像运用高斯滤波器进行平滑滤波,然后采用非极大值抑制方法对平滑后图像处理,最后运用双阈值算法得到边缘图像.

Canny 算子检测图像边缘的步骤如下:

(1) 用高斯滤波器平滑图像,图像与高斯平滑滤波器卷积.

高斯滤波器:

$$H(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}}$$

(2) 用一阶偏导数的有限差分来计算梯度的幅值和方向;

(3) 对梯度幅值应用非极大值抑制. 仅仅得到全局的梯度并不足以确定边缘,因此为确定边缘,必须保留局部梯度最大的点,而抑制非极大值;

(4) 用双阈值算法检测和连接边缘. 双阈值算法对非极大值抑制图像作用两个阈值 τ_1 和 τ_2 , 且 $2\tau_1 \approx \tau_2$.

文中主要对 Canny 算子步骤(2)中计算梯度幅值做了改进,传统的 Canny 算子在 2×2 邻域内求有限差分均值来计算梯度幅值^[8],对边缘的定位比较准确,但对噪声过于敏感,容易检测出假边缘和丢失一些真实边缘的细节部分. 而文中改进后的 Canny 算子选用 3×3 邻域,通过计算 x 方向、 y 方向、 45° 方向、 135° 方向、 225° 方向、 315° 方向一阶偏导数有限差分来确定像素梯度幅值,降低了 Canny 算子对噪声的敏感性,检测的边缘更加精细. 八邻域内梯度幅值计算公式如下:

$$M(i, j) = \sqrt{P_x(i, j)^2 + P_y(i, j)^2 + P_{45}(i, j)^2 + P_{135}(i, j)^2 + P_{225}(i, j)^2 + P_{315}(i, j)^2}$$

运用 c++ 语言编程实现两种算子,程序运用了面向对象的思想,为了提高代码的重用性,单独设计函数来计算梯度幅值,改进后的 Canny 算子计算梯度幅值的部分代码如下:

```
Void DirGrad (unsigned char * pUnchSmthdImg, int
nWidth, int nHeight, int * pnGradX, int * pnGradY, int *
pnGradX45, int * pnGradX135, int * pnGradX225, int *
pnGradX315)
```

```
{ //unsigned char * pUnchSmthdImg 经过高斯滤波后的
图像
```

```
int y; int x; //循环控制变量
```

```
for(y=1; y<nHeight-1; y++)
```

```
{
```

```
for(x=1; x<nWidth-1; x++)
```

```
{
    pnGradX[y * nWidth + x] = (int)
    (pUnchSmthdImg[y * nWidth + x + 1] -
    pUnchSmthdImg[y * nWidth + x]);
    //计算 x 方向的方向导数
    pnGradX45[y * nWidth + x] = (int)
    (pUnchSmthdImg[(y + 1) * nWidth + x + 1] -
    pUnchSmthdImg[y * nWidth + x]);
    //计算 45° 方向的方向导数
    pnGradX135[y * nWidth + x] = (int)
    (-pUnchSmthdImg[(y + 1) * nWidth + x - 1] +
    pUnchSmthdImg[y * nWidth + x]);
    //计算 135° 方向的方向导数
    pnGradX225[y * nWidth + x] = (int)
    (-pUnchSmthdImg[(y - 1) * nWidth + x - 1] +
    pUnchSmthdImg[y * nWidth + x]);
    //计算 225° 方向的方向导数
    pnGradX315[y * nWidth + x] = (int)
    (pUnchSmthdImg[(y - 1) * nWidth + x + 1] -
    pUnchSmthdImg[y * nWidth + x]);
    //计算 315° 方向的方向导数
}
}
for(x=1; x<nWidth-1; x++)
//计算 y 方向的方向导数,
{
    for(y=1; y<nHeight-1; y++)
    {
        pnGradY[y * nWidth + x] = (int)
        (pUnchSmthdImg[(y + 1) * nWidth + x] -
        pUnchSmthdImg[y * nWidth + x]);
    }
}
}
```

对标准测试图像 Lena(灰度)边缘检测结果图如图 1 所示.

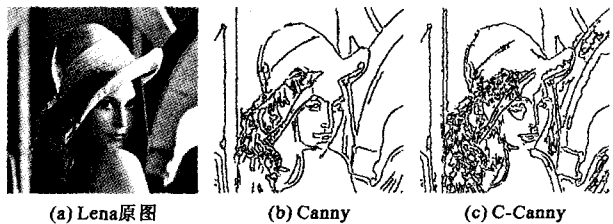


图1 Canny 算子与 C-Canny 算子检测结果

通过图 1 可以看出,运用 Canny 算子进行边缘检测时,图 1(b)中有些边缘未检测到,如帽顶边缘非闭合,但检测边缘比较光滑.改进后的 Canny 算子检测到的边缘比较精细,能较好地检测出边缘,但

可能会引入一些原图中肉眼无法识别的边缘.如图 1(c)中 Lena 右眼下方类似三角形边缘,原图放大 6 倍可见.文中将改进后的 Canny 算子简称 C-Canny 算子.

3 文中算法步骤

按照对图像的处理顺序,算法分为四个步骤:

(1) 读入原图像,运用 Color2Gray 算法将输入图像转换为灰度图像.

默认参数 $\theta = 45^\circ$, $\alpha = 15$, $\mu = 9$;

(2) 将步骤(1)中输出图像像素点由 24 为表示转换为 8 位表示;

(3) 运用 C-Canny 算子对步骤(2)中的输出图像进行边缘检测;

(4) 运用步骤(3)中结果图像对原图(彩色图像)进行边缘标记,彩色图像边缘检测完成;

彩色图像边缘检测完成后,如果用户对结果不满意,可以重新设置步骤(1)中参数,重复步骤(1)~(4),直到满意为止.

4 结束语

文中对 Canny 算子进行了改进,将改进后的 C-Canny 算子应用于灰度图像边缘检测,提高了边缘检测的准确性,获得了比较理想的边缘检测结果.测试中选取了标准测试图像 Lena(彩色),运用 Microsoft visual c++ 6.0 和 Matlab 7.0 工具,实现了图像转换和边缘检测.通过实验比较了彩色图像边缘检测的三种方法,其中,彩色图像转换为灰度图像的 C2G 算法与 C-Canny 算子的结合,有效地检测出了彩色图像的边缘,是一种非常实用的边缘检测方法.

实际测试结果表明,文中所提出的利用灰度空间进行彩色图像边缘检测的 P-Gray 边缘检测和 C2G 边缘检测结果优于 HSV 彩色空间边缘检测结果,且算法时间复杂度相当.虽然两种彩色图像转换灰度图像的算法不同,边缘检测结果不同,但在用于检测彩色图像边缘时,两种算法都不占绝对优势,边缘检测结果的好坏与颜色数相关. C2G 算法比较适合于

颜色数不多的彩色图像,转换后的灰度图像较好地保留了彩色图像的显著变化,有利于边缘检测.在颜色数较多,对边缘要求不严格的情况下,采用 P-Gray 算法或直接在彩色空间进行边缘检测都是不错的选择.在以后的研究中,寻找最佳分割颜色空间与分割策略仍是重点.

参考文献:

- [1] Cheng H D, Jiang X H, Sun Y, et al. Color image segmentation: advances and prospects[J]. Pattern Recognition, 2001, 34(12):2259-2281.
- [2] 张海建,陈向东,王世海.一种遗传算法优化的图像模糊边缘检测方法[J].微电子学与计算机,2008,25(4):105-107.
- [3] 赵天云,郭雷,陈亮.四相位差分图像边缘检测算法[J].微电子学与计算机,2008,25(8):72-75.
- [4] 林开颜,吴军辉,徐立鸿.彩色图像分割方法综述[J].中国图象图形学报,2005,10(1):1-10.
- [5] Amy A Gooch, Sven C Olsen, Jack Tumblin, et al. Color 2 Gray: salience-preserving color removal[J]. ACM Transactions on Graphics (TOG), 2005, 24(3):634-639.
- [6] John Canny. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698.
- [7] Wang Xun, Jin Jianqiu. An edge detection algorithm based on improved CANNY operator[C]// Seventh International Conference on Intelligent Systems Design and Applications. Brazy, IEEE, 2007: 623-628.
- [8] Rafael C Gonzalez, Richard E Woods. Digital image processing[M]. 2nd ed. Boston: Prentice Hall, 2002: 567-612.

作者简介:

杜文亮 男,(1985-),硕士研究生.研究方向为数字图像处理.

刘晓东 男,(1954-),副教授.研究方向为人工智能与虚拟现实技术.

吕园园 男,(1985-),硕士研究生.研究方向为软件工程与虚拟现实技术应用.