

RGB 空间下结合高斯曼哈顿距离图的 彩色图像边缘检测

贾 迪¹, 孟祥福¹, 孟 ■², 董 娜¹

(1. 辽宁工程技术大学电子与信息工程学院, 辽宁葫芦岛, 125105; 2. 东北大学信息科学与工程学院, 辽宁沈阳, 110004)

摘 要: 为了更好地利用彩色图像的信息进行边缘检测, 提出一种 RGB 空间下结合高斯曼哈顿距离图的彩色图像边缘检测方法. 首先分析了彩色图像到灰度图像转换的信息损失, 并给出一种 RGB 空间下边缘的度量方法. 其次, 通过引入高斯曼哈顿距离, 分别在 RGB 三个通道进行处理, 并通过新的边缘度量法统一获得彩色图像的距离图. 最后将距离图映射到 0~255 的灰度范围内, 得到最终的边缘检测结果. 实验结果表明, 本文方法具有较高的处理速度和较好的处理结果.

关键词: 曼哈顿距离; 边缘检测; RGB 空间; 距离图

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 0372-2112 (2014)02-0257-07

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn>

DOI: 10.3969/j.issn.0372-2112.2014.02.008

Color Image Edge Detection Combining with Gauss Manhattan Distance Map in RGB Space

JIA Di¹, MENG Xiang-fu¹, MENG Lu², DONG Na¹

(1. School of Electronic and Information Engineering Liaoning Technical University, Huludao, Liaoning 125105, China;

2. College of Information Science and Engineering, Northeast University, Shenyang, Liaoning 110004, China)

Abstract: In order to make better use of information for edge detection of color image, an approach of color image edge detection which combines Gauss Manhattan distance map into RGB space is proposed in this paper. Firstly, the loss of information generated from color image to gray image conversion is analysed and a method of RGB space edge measurement is raised. Then, a new unified distance map is got from separately Gauss Manhattan distance map of color image by the measurement in three channels of RGB. Finally, a new unified distance map is mapped to range of 0~255, and the result of edge detection is obtained. Experimental results show the approach proposed in this paper has higher processing speed and better treatment effect.

Key words: Manhattan distance; edge detection; RGB space; distance map

1 引言

在数字图像处理技术中, 图像的边缘检测尤为重要, 它是模式识别、图像分析等深层次处理的基础. 图像边缘由不同性质区域边界构成, 反映了局部区域内特征的差别. 在灰度图像处理中, 常用的边缘检测法利用了多种微分检测算子^[1,2]. 与灰度图像相比, 彩色图像包含着更丰富的信息, 对于彩色图像边缘提取方法而言, 常采取的方法是将其先转化为灰度图像再进行处理, 优点是数据处理起来更加直观方便, 而这种作法也损失了部分信息, 文献[3~7]给出了这类方法的相关应用. 文

献[8]给出一种基于欧式距离图的图像边缘检测方法, 其算法优点是可以克服其它背景干扰, 对目标的轮廓区域检测效果较好, 但该算法存目标边缘被“加粗”的问题, 检测结果并不是准确的区域边缘, 且只能应用于灰度图像上.

借鉴该算法原理, 本文提出一种 RGB 空间下结合高斯曼哈顿距离图的彩色图像边缘检测方法, 主要创新点有两个: (1) 引入高斯曼哈顿距离在 RGB 空间下完成边缘区域信息检测; (2) 统一各通道信息获得彩色图像的距离图. 与欧式距离图相比, 高斯曼哈顿距离考虑了区域内像素位置不同, 对于中心像素的贡献度不同, 通

过添加高斯模板赋予不同位置像素的不同权值,同时,曼哈顿距离的计算速度快于欧式距离,且通过实验结果验证了高斯曼哈顿距离图边缘检测的细致程度强于欧式距离图.本文给出的彩色图像的距离图直接利用了 RGB 空间信息,因此边缘检测结果更为准确.

2 RGB 空间下的边缘度量

彩色图像空间的边缘检测方法包括基于 RGB 空间边缘检测、基于 HSI、基于 CIE-Lab 的检测^[9]. RGB 空间

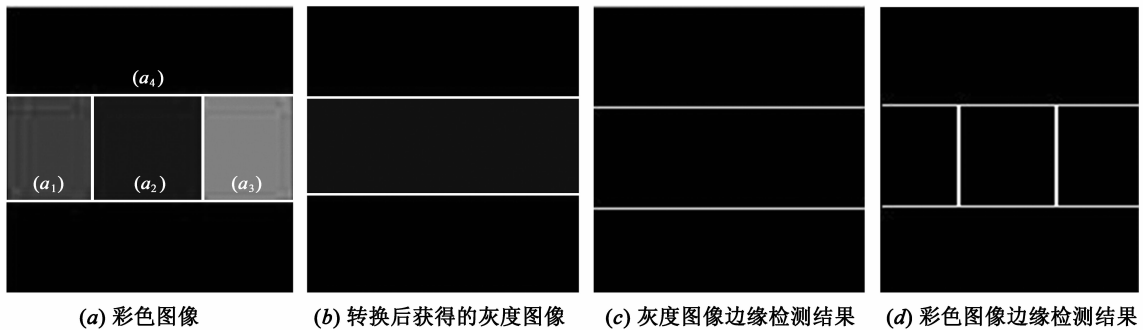


图1 彩色图像转灰度图像的信息损失

图 1(a) 由红、绿、蓝、黑四种颜色构成,分别用 $(a_1), (a_2), (a_3), (a_4)$ 表示每种颜色的 RGB 值分别为 $(76, 0, 0), (0, 39, 0), (0, 0, 200), (0, 0, 0)$. 通过如下公式(1)进行图像灰度转换:

$$I_g(x, y) = I(x, y, 0) \times 0.299 + I(x, y, 1) \times 0.587 + I(x, y, 2) \times 0.114 \quad (1)$$

式(1)中, $I_g(x, y)$ 为 (x, y) 位置上的灰度像素值, $I(x, y, 1), I(x, y, 2)$ 与 $I(x, y, 3)$ 分别为 (x, y) 位置上的 R、G、B 通道上的像素值. 图像 1(b) 是图像 1(a) 经上公式(1)处理得到的灰度图像. 其中红色与绿色、绿色与蓝色区域的边缘在灰度图像中没有体现出来,这是由于转换后得到的灰度值都是 23,由此可见,这种转换的确损失了部分信息. 为了能够直接在 RGB 空间下实现检测边缘,给出如下距离公式计算像素间的梯度:

$$I_D(x_m, y_n) = \sum_{k=1}^3 |I(x_m, y_n, k) - I(x_i, y_j, k)| \quad (2)$$

上式中 $I_D(x_m, y_n)$ 为 (x_m, y_n) 与 (x_i, y_j) 位置上 RGB 空间下区域差异的度量值,计算邻域水平像素间的梯度可以令 $i = m + 1$ 及 $j = n$. 通过式(2)的计算,图像 1(a) 中红色与绿色、绿色与蓝色区域的梯度值为 115 和 239,而区域内的值为 0,图 1(d) 为图 1(a) 得到的边缘检测结果,与图 1(c) 相比,提取出的边缘信息更加丰富.

3 彩色图像的边缘检测

通过计算当前像素与周围像素的差异来进行边缘检测是最为常用的方法,这种方法的优点是算法简单,

是最为常见的色彩空间,这是一种三维空间模型, R、G、B 分别对应空间内的三个坐标值. HSI、CIE-Lab 空间都是由 RGB 空间经非线性变换得到的,但由于非线性变换的原因,因此计算量较大,且颜色空间存在奇异点等问题. 由于 RGB 空间不需要经过空间转换,因此计算量相对较小.

彩色图像的边缘检测通常需要先要将这种图像转换为灰度图像,再进行边缘检测,而这种做法损失了部分彩色信息,图 1 给出了一个相关示例.

处理速度快,缺点是阈值的确定很难把握,且存在误判弱边缘的问题. 如果能够将小范围内邻域特征考虑进来,通过比较相邻区域内所有像素的差异来确定中心位置的梯度^[10],则可以较好地避免上述问题.

图 2(a~c) 和图 2(d~f) 为图 1(a) 的局部放大矩阵,由红与绿两种颜色组成. 其中图 2(a~c) 为当前中心像素的 RGB 通道值,图 2(d~f) 为邻域像素的 RGB 通道值. 通过第一节给出的公式(2)计算中心像素的差异值为 115,而如果能够通过计算图 2(a~c) 与图 2(d~f) 中每个通道对应区域的差异,则可以更好地描述中心像素间的差异,因此给出如下的曼哈顿距离公式:

$$D = \sum_{n=1}^3 |v_n[P_i] - v_n[P_j]| \quad (3)$$

式中, $v_n[P_i]$ 是以 P_i 为中心邻域内的 n 通道值, $v_n[P_j]$ 是以 P_j 为中心邻域内的 n 通道值, D 是中心像素的距离值. 通过式(3)计算图 2(a~c) 的中心像素与图 2(d~f) 中心像素距离得到 805,与二者中心像素的差值 115 相比,边缘信息得到了增强. 考虑到邻域内不同距离的像素对中心像素的贡献不同,因此引入高斯函数并给出如下方程计算距离:

$$D = \exp\left(\frac{\sum_{n=1}^3 |v_n[P_i] - v_n[P_j]|}{h^2}\right) \quad (4)$$

式中参数 h 为方差,用于调节高斯函数的形状, h 取值越大,则邻域像素被赋予的贡献度越多. 通过积累 RGB 三个通道不同距离像素间的差异作为距离值,可

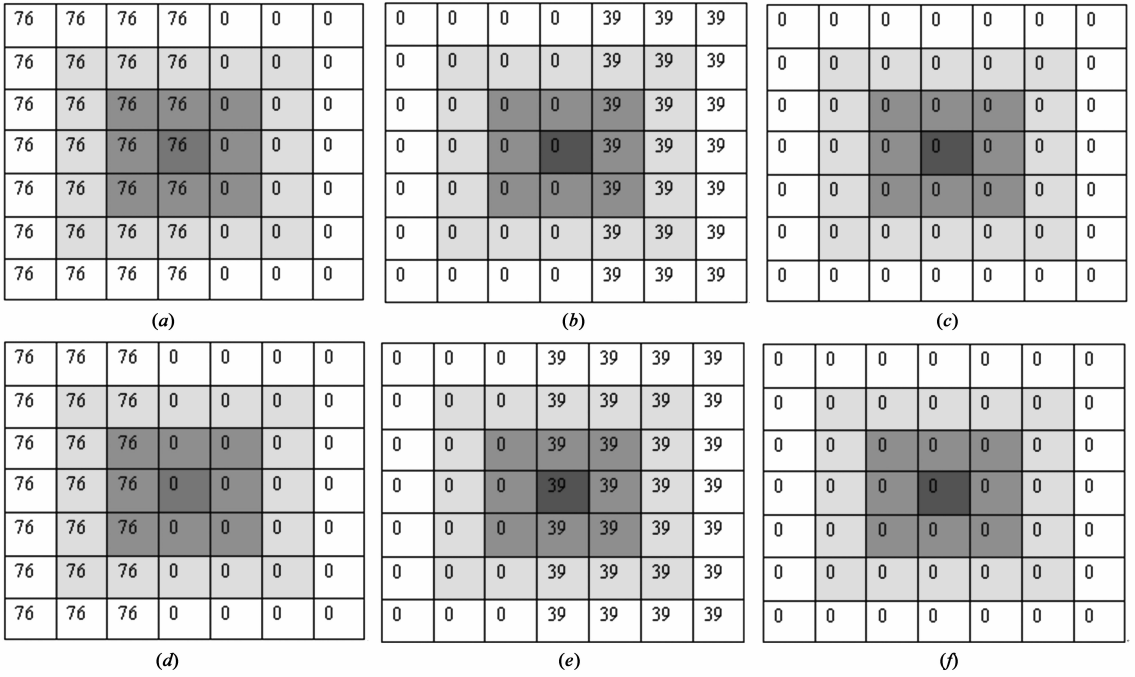


图2 图1(a)的局部放大矩阵

以更好地利用彩色图像区域信息,更加细致地完成边缘检测.计算每个位置上的 D 值构建距离矩阵,以此得到高斯曼哈顿距离图,具体生成方法如下所述:

(1)令输入图像为 I_{RGB} ,区域距离为 D_C ,高斯曼哈顿距离图为 D_M ,累计区域距离为 D ,区域半径为 R .

(2)计算图像 I_{RGB} 的尺寸 m 与 n , $D=0$.

(3)取出未处理过的点 I_u ,以 I_u 为中心点,获得边长为 $(2R+1)$ 的矩形区域 $\text{Rect}(I_u, R)$,并申请一个空集合 C_p .

(4)取出一个 $\text{Rect}(I_u, R)$ 内的像素点 $I_p(I_p \neq I_u \cap I_p \notin C_p)$,得到以 I_p 为中心,边长为 $2R+1$ 的矩形邻域 $\text{Rect}(I_p, R)$,将 I_p 加入 C_p 中.

(5)计算当前高斯曼哈顿距离 $D_C = \exp\left(\frac{\sum_{n=1}^3 \sum_{i=1}^{2R+1} \sum_{j=1}^{2R+1} |I_{uR}(i, j, n) - I_{pR}(i, j, n)|}{h^2}\right)$ (I_{uR} 代表 $\text{Rect}(I_u, R)$ 图像, I_{pR} 代表 $\text{Rect}(I_p, R)$ 图像)

$$D(i, j) = D(i, j) + D_C.$$

(6)令 $\text{Rect}(I_u, R)$ 内不包含 I_u 的所有像素的集合为 C_u ,如果 $C_u \subseteq C_p$ 继续执行步骤(7),否则转步骤(4).

(7)计算 I_u 的平均高斯曼哈顿距离 $\bar{D} = \frac{D}{(2R+1)^2}$,以此作为 D_M 内相应位置上的差异值.

(8) I_{RGB} 内 $m \times n$ 个像素点未处理完转步骤(3).

(9)获得高斯曼哈顿距离图 D_M ,以此作为边缘检测结果进行输出.

4 实验分析

4.1 模拟图像实验

为了直观地验证本文方法的有效性,首先采用一幅结构简单的模拟图像进行实验,如图3所示.图3(a)为原始图像,颜色构成与图1(a)相同,图3(b)是图3(a)转化后的灰度图像.图3(c~f)是由图3(b)经不同算法处理后得到的边缘检测结果.对比图3(c)与图3(d)可见,曼哈顿距离图对边缘信息的检测强度优于欧式距离图,而加入了高斯模板的曼哈顿距离图对边缘提取的细致程度更好,如图3(e)所示,与图3(f)的Canny边缘图相比,角点附近的边缘形状保持更贴近目标的真实边缘.图3(g)为采用本文方法得到的边缘检测结果,与上述结果相比,由于直接在RGB空间下完成边缘检测,因此避免了由于图像转化而带来的信息损失.实际上,对于这种信息结构简单的图像,图3(g)的结果可以直接通过公式(2)获得,而在面对信息结构较为复杂的图像时,就需要采用第2节介绍的方法检测彩色图像的边缘了,在4.2节中给出了这部分的实验内容.

4.2 真实图像实验

采用CPU主频为3.2GH,内存2G的计算机作为实验环境.选用几类不同的图像作为实验数据,包括人物、风景、建筑和动物.对本文算法进行边缘检测,令区

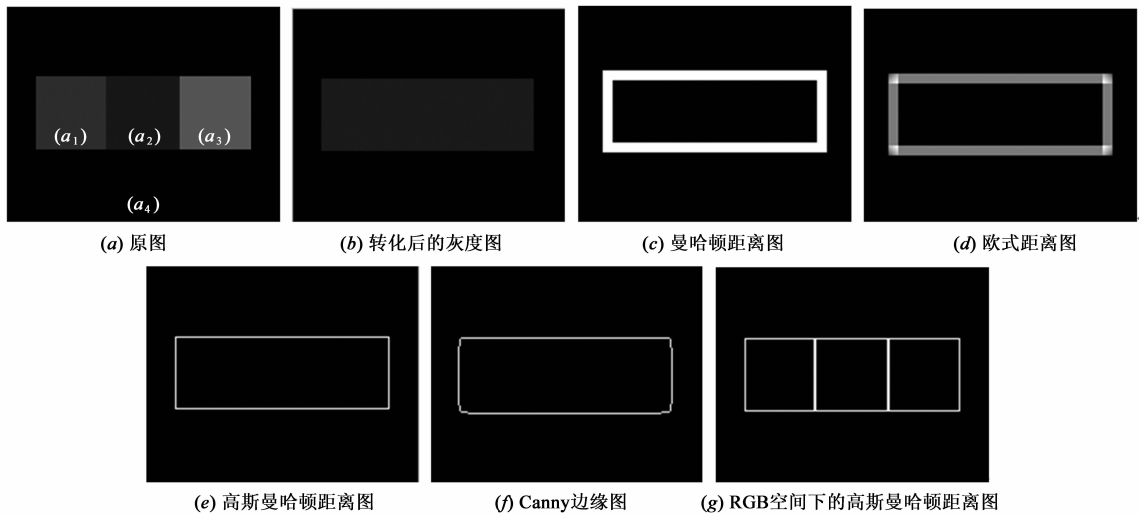


图3 模拟图像实验结果对比

域半径 R 为 3, 高斯模板的方差 h 取 1, 实验结果如图 4 ~ 7 所示.

图 4(a) 是一幅含有人物的彩色图像, 图 4(b) 为采用 Canny 算法处理的结果, 可见边缘检测结果较为凌乱. 图 4(c) 为欧式距离图, 与图 4(b) 相比, 人物边缘得到了较好的突出. 图 4(d) 是先将彩色图像转换成灰度图像, 再利用高斯曼哈顿距离得到的边缘检测结果, 与图 4(e) 本文的方法相比丢失了部分信息, 如人物手提的潜水工具, 人物的边缘检测细致程度也较弱.

图 5(a) 为一幅景色图像, 由植被、楼房、路灯、组成. 图 5(b) 是由 Canny 算法处理得到的结果, 该幅图像中较好地突出了高层楼房和路灯的边缘, 而底层楼房

的边缘部分与植被边缘相混淆. 图 5(c) 为相应的欧式距离图, 尽管已经将边缘检测出来, 但边缘部分的“加粗”使得到的结果不够准确. 与图 5(c) 相比, 图 5(d) 边缘部分提取细致, 但建筑边缘不连续, 丢失了部分信息. 图 5(e) 较好地突出了各类楼房、路灯, 且边缘检测结果细致, 连续性好于图 5(d).

图 6(a) 是一幅建筑类图像. 对比图 6(b) 与图 6(c) 可见, 前者边缘检测较为细致, 但细节部分如门窗边缘提取不够准确. 后者边缘检测结果较为工整, 但边缘部分的细致程度不够. 图 6(c) 的边缘检测结果与实际边缘结果吻合, 但由于损失了较多信息, 部分边缘出现了“破损”. 图 6(e) 由于利用了彩色信息, 使得边缘检测结

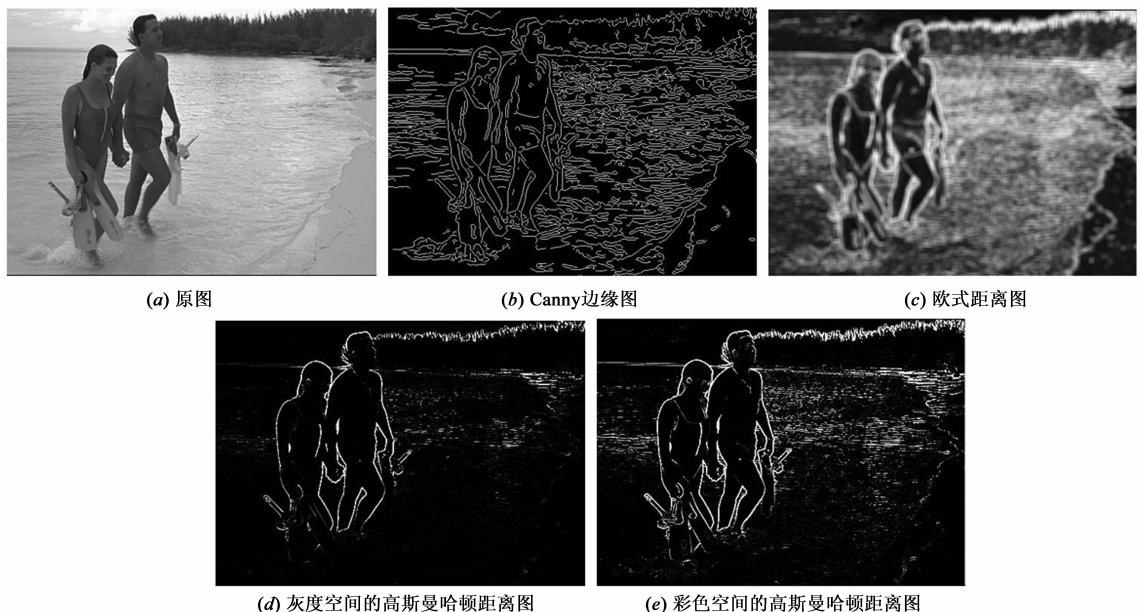


图4 人物边缘提取结果对比

果的连续性与准确程度都得到了较好的效果.

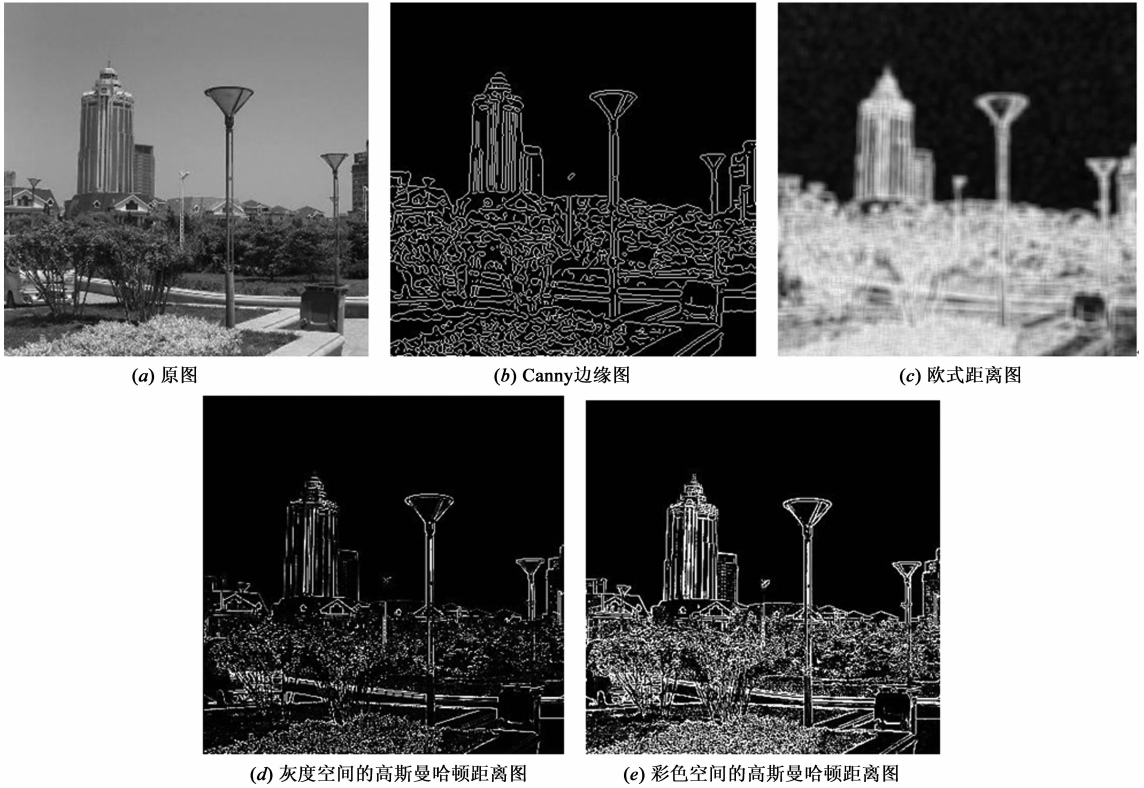


图5 风景边缘提取结果对比

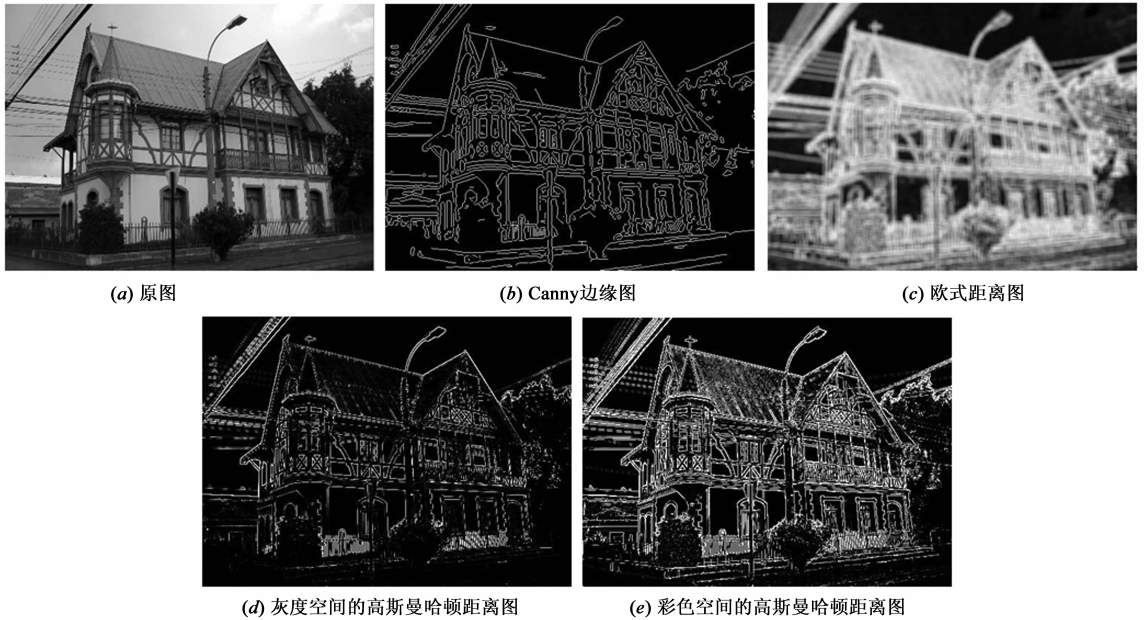


图6 建筑边缘提取结果对比

图 7(a)是一幅动物类图像,由草原及两只斑马组成.由于 Canny 算法是一种基于算子的操作,因此在检测结果中混淆了斑马与草原的边缘,如图 7(b)所示.图

7(c)为相应的欧式距离图,斑马纹理检测较为模糊.对比图 7(d)与图 7(e),图 7(e)的边缘检测结果不仅连续细致、斑马纹理清晰,且与草原的区分度明显.

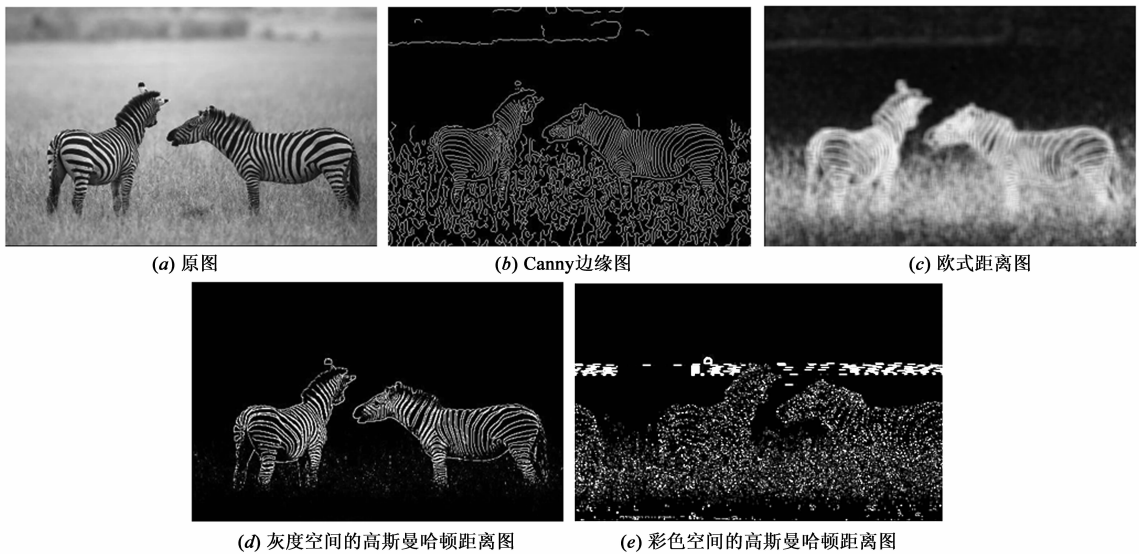


图7 动物边缘提取结果对比

以上几组实验中,图4~7的(b~d)为采用灰度图像得到的边缘检测结果.其中,由于Canny算法只利用了像素8邻域信息,检测结果易受到周围区域的影响,当邻域信息较为密集时,边缘信息检测过于凌乱.采用欧式距离图的方法考虑了小范围内邻域特征,通过比较相邻区域内所有像素的差异来确定中心位置的梯度,因此图像中的边缘部分得到了增强,但由此也引入了边缘“加粗”的问题,同时欧式距离的计算也增加了时间开销.为了解决这一问题,通过引入曼哈顿距离提高运算速度,并利用高斯核调整邻域权重获得更为精细的边缘检测结果.图(4~7)中(e)的结果为本文方法的检测结果,与(d)相比,由于直接在RGB空间下直接完成的,因此边缘信息的检测更为完整、准确,这一点可以从实验结果中直接观察到.

表1给出了采用Canny算子、灰度空间下的欧式距离法和本文方法的处理速度对比.由于Canny算子处理算法较为简单,因此在短时间内可以完成边缘检测.在欧式距离图算法中,由于每个像素的处理都涉及到区域半径为 R 的邻域像素,因此这部分的处理耗时较多.本文方法需要处理每个像素的RGB通道邻域像素,因此与前两种算法相比,处理时间较长.

表1 算法处理速度对比

图像编号	图像大小	Canny	欧式距离法[8]	本文方法
1	512 × 384	0.98s	7.69s	16.7s
2	730 × 730	1.34s	21.7s	48.7s
3	1024 × 768	2s	32.2s	72.4s
4	980 × 650	1.56s	26s	58.2s

5 结论

本文直接在RGB空间下以像素点区域的曼哈顿距

离作为新的特征,构造一幅距离图,以此作为彩色图像的边缘检测结果.通过分析彩色图像到灰度图像的信息损失,提出利用RGB通道数据的距离作为图像的边缘检测度量.随后给出了彩色图像曼哈顿距离图的求解方法,并通过实验说明了该方法的优缺点,即边缘提取效果好但速度较慢,适用于对实时性要求不高的应用环境.

参考文献

- [1] Marr D, Hildreth E. Theory of edge detection[J]. Proc R soc lond B, 1980, 207(1167): 187 - 217.
- [2] Nadernejad E, Sharifzadeh S, Hassanpour H. Edge detection techniques: evaluations and comparison[J]. Applied Mathematical Sciences, 2008, 2(31): 1507 - 1520.
- [3] 王延江,袁保宗,唐晓芳.一种快速彩色图像中复杂背景下人脸检测方法[J].电子学报,2002,30(10):1566 - 1569. Wang Y J, Yuan B Z, Tang X F. A fast human face detection method from color images under complex background[J]. Acta Electronica sinica, 2002, 30(10): 1566 - 1569. (in Chinese)
- [4] 陈允杰,张建伟,韦志辉,王平安,夏德深.基于HSV颜色空间的中国虚拟人脑图像自动分割方法[J].计算机研究与发展,2007,44(12):2036 - 2043. Chen Y J, Zhang J W, Wei Z H, et al. Automatic chinese visual human image segmentation in HSV space[J]. Journal of Computer Research and Development, 2007, 44(12): 2036 - 2043. (in Chinese)
- [5] Evans A N, Liu X U. A morphological gradient approach to color edge detection[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(6): 1454 - 1463.
- [6] 刘雅蓉,汪西莉. LUV 色彩空间中多层次化结构 Nystrom 方法的自适应谱聚类算法[J]. 中国图象图形学报, 2012,

17(4):530 – 536.

Liu Y, Wang X L. Adaptive spectral clustering algorithm based on Nystrom method with multi-level structure in LUV color space[J]. Journal of Image and Graphics, 2012, 17(4): 530 – 536. (in Chinese)

- [7] GNANATHEJA R V, SREENIVASULU R. YCoCg color image edge detection[J]. International Journal of Engineering Research and Applications. 2012, 2(2): 152 – 156.
- [8] 张闯, 王婷婷, 孙冬娇, 等. 基于欧式距离图的图像边缘检测[J]. 中国图象图形学报, 2013, 18(2): 176 – 183.

Zhang C, Wang T T, Sun D J, et al. Image edge detection based on the Euclidean distance graph [J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(2): 176 – 183. (in Chinese)

- [9] Gonzalez R C, Woods R E. Digital Image Processing Third Edition[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010.
- [10] Nobuatsu S, Abiko. Method and apparatus for calculating distances and reflection differences between measurement points on printed matter to evaluate image quality: US 7,633,648 B2 [P]. 2009.

作者简介



贾 迪 男, 1982 年生于辽宁沈阳, 辽宁工程技术大学电子与信息工程学院讲师. 2011 年在东北大学信息科学与工程学院获得博士学位, 目前研究领域为图像处理、计算机视觉及模式识别.

E-mail: apple-jiadi@163.com



孟祥福 男, 1981 年出生, 辽宁工程技术大学 电子与信息工程学院 副教授. 2010 年在东北大学信息科学与工程学院获得博士学位, 主要研究方向为模式识别, Web 数据库个性化柔性查询, 查询结果排序与分类.