

图文信息技术

基于不同空间结构 Hadamard 融合的边缘提取算法

邵东¹, 刘志广²

(1.大连东软信息学院, 大连 116023; 2.大连理工大学, 大连 116024)

摘要: **目的** 针对图像边缘提取算法中噪声对边缘的影响, 易导致边缘定位精度不高, 出现虚假边缘与漏检等不足, 设计一种不同空间结构 Hadamard 融合的边缘提取方案。**方法** 首先, 通过计算像素与相邻点之间的方差来分析像素的结构, 得到边缘点的最大概率分布矩阵 (MPDM), 利用 MPDM 来表示候选边缘集。其次, 通过分析邻域点之间的亮度, 计算像素与其 4 个相邻像素之间的最大和最小差值, 得到相应的差异矩阵, 并引入 Logistic 回归分析对 2 种矩阵归一化处理, 得到一个权重矩阵 (WM)。然后, 通过 Hadamard 乘积模型将 MPDM 与 WM 进行融合, 从而设计边缘分割阈值函数。最后, 通过比较 WM 和分割阈值, 去掉非边缘点, 检测出真实图像边缘。**结果** 实验表明, 与当前边缘提取方法对比, 文中方法能够有效抑制噪声, 得到的边缘清晰、完整, 边缘细化度与平滑度良好, 在客观评价 FOM 与 ROC 中具有更大的优势。**结论** 所提算法具有良好的边缘提取精度, 在图像处理与包装条码领域具有良好的应用价值。

关键词: 图像边缘提取; Hadamard; 最大概率分布矩阵; 权重矩阵; Logistic 回归分析

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)17-0208-07

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.17.035

Image Edge Extraction Algorithm Based on Hadamard Fusion of Different Spatial Structures

SHAO Dong¹, LIU Zhi-guang²

(1.Dalian Neusoft Information University, Dalian 16023, China; 2.Dalian University of Technology, Dalian 116024, China)

ABSTRACT: The work aims to design an image edge extraction scheme based on Hadamard fusion of different spatial structures, regarding the effect of noise on the edge in the image edge extraction algorithm, thus easily leading to such defects as low edge location accuracy, false edges and missing detection. Firstly, by calculating the variance between pixels and adjacent points, the structure of pixels was analyzed, and the maximum probability distribution matrix (MPDM) of edge points was obtained, representing candidate edge sets by means of MPDM. Secondly, by analyzing brightness between neighborhood points, the maximum and minimum differences between pixels and their 4 adjacent pixels were calculated, and the maximum and minimum difference matrices were obtained. The Logistic regression analysis was introduced to normalize the two matrices, and a weight matrix (WM) was obtained. Then, MPDM and WM were fused by Hadamard product model, and thus the edge segmentation threshold function was designed. Finally, the edge of the real image was detected by removing the non edge points based on the comparison of the WM and the segmentation threshold. The experiment showed that, compared with the current edge extraction method, the proposed method could effectively suppress the noise, and get clear and complete edges, good edge thinning degree and smoothness, and achieve greater advantages in the FOM and ROC objective evaluation. The proposed algorithm has good edge extraction accuracy, and good application value in image processing and packaging barcode.

KEY WORDS: image edge extraction; Hadamard; MPDM; weight matrix; Logistic regression analysis

收稿日期: 2017-10-09

基金项目: 国家虚拟重点实验示范中心对外资助项目 (LN09BYO35NJ005); 辽宁省教育科学规划项目 (ZX2013SK006); 辽宁省高等学校优秀人才支持计划 (LR2014003)

作者简介: 邵东 (1982—), 男, 硕士, 大连东软信息学院副教授, 主要研究方向为图像处理、三维动画设计。

边缘是图像区域属性出现突变的部位,含有图像的主要特征,描绘了目标物体轮廓,作为目标识别与判断的主要依据^[1],因此,边缘是其最基本特征,其被广泛应用于特征描述、识别、分下一步图像处理的性能,对特征描述、识别与理解影响巨大。边缘一般出现在目标与背景、目标与目标之间,边缘提取的原理是通过一定的技术获取图像中目标和背景的边界。通过边缘提取,将目标与背景分割,突出目标特征,便于理解与识别。边缘提取是图像处理与分析的热点问题,在应用中占有举足轻重的地位,因此,其具有重要的实际意义^[2-3]。

在边缘提取中,边缘与噪声均属于区域属性剧烈变化的部位,因此,在提取中,容易将噪声误识别为边缘或者出现真实边缘漏检现象,并且可能会影响边缘的提取精度。对此,在噪声存在的情况下,需要对噪声抑制并保持边缘信息,一般情况下,噪声抑制和边缘保持难以有效兼顾。传统的基于 Laplace, Canny, Sobel 等边缘提取算子具有操作简单^[4],但其对噪声抑制性较弱,对噪声与边缘同时存在时提取效果不佳,获得的边缘定位与连续性还有待提高^[4],在实际的边缘提取应用中,难以满足人们的需求。

近年来,学者提出了较多的边缘提取方案。例如,张闯等^[5]设计一种利用欧氏距离图的边缘提取。该方法通过边缘的小范围的距离计算获得距离图,较好地表达了物体的轮廓信息。通过利用 Canny 算子对距离图提取边缘,能够清楚获得物体的轮廓特征。通过 Euclidean 距离降低了背景的影响,可提高边缘强度。该算法能够获得优异的主要轮廓边缘,缺点是没有考虑不同位置的像素对中心的影响,对弱边缘提取不佳,易出现边缘漏检。石美红等^[6]定义了一种保角相位的图像边缘提取技术。该技术通过保角信号表达不同维与噪声,提高边缘提取的精确。然后采用 Poisson 核在空域中有解析表示,提高算法效率。Sun 等^[7]设计了结合灰度矩算子和光滑样条算子的图像边缘提取方案,该方案对图像中的加性噪声和乘性噪声具有不变性。利用 Sobel 检测边缘区域,获得连续模糊的边缘模型。然后利用模糊边缘模型推导出二维情况下的灰度矩。这种新的检测方法对高斯白噪声和斑点噪声具有较强的鲁棒性,且与灰度矩和空间矩算子很接近。该方法需要对每个像素计算灰度矩,其操作较为复杂,算法效率较低。

边缘是由一系列阶跃变化的像素点组成,其提取与像素点具有密切的关系,因此,对图像中像素点的分析与计算具有重要作用^[8]。为了提高图像边缘的提取质量,文中根据边缘像素点,提出一种不同空间结构 Hadamard 融合的边缘提取方案,并对提出的方案进行验证。

1 文中图像边缘提取算法

提出的边缘提取方案过程见图 1。首先,计算每个像素周围的 3×3 邻域点之间的差异,得到了边缘点的最大概率分布。同时,计算了该点及其 3×3 邻域点之间的差异,得到最大和最小的差异,获得了每个点的差异权重,并构建表示边缘点概率的权矩阵。将上述 2 个结果通过乘法融合在一起,从而在权重矩阵中消除非边缘点。通过阈值分割得到最终的边缘点。

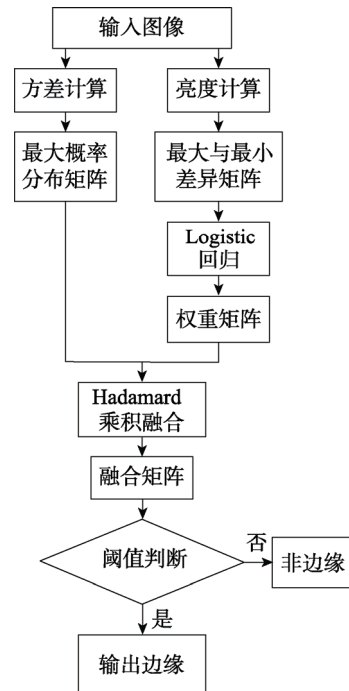


图 1 文中算法流程

Fig.1 Flow chart of proposed algorithm

1.1 基于空间结构的方差矩阵

边缘提取的目的是识别数字图像中亮度急剧变化或有不间断的像素点^[9]。亮度变化剧烈的点连接在一起,通常称为边缘的曲线线段。根据这一定义,提出了一个边缘点的弱约束描述,只要其具有明显的差异,那么该边缘点作为候选边缘集。为了避免噪声干扰,计算了相邻点之间的方差来分析图像中对应像素的结构,而不是直接计算梯度。

设当前像素为 $p_{(x,y)}$,见图 2。在一个 3×3 大小的窗口中,与 $p_{(x,y)}$ 相连接像素为 $p_{(x-1,y)}$, $p_{(x,y-1)}$, $p_{(x,y+1)}$, $p_{(x+1,y)}$,这 4 个点对应的亮度分别为 $b_{(x-1,y)}$, $b_{(x,y-1)}$, $b_{(x,y+1)}$, $b_{(x+1,y)}$ 。为描述像素 $p_{(x,y)}$ 的变化,计算其方差 $V_{(x,y)}$:

$$V_{(x,y)}^2 = \frac{1}{4}(b_{(x-1,y)} - \bar{b})^2 + \frac{1}{4}(b_{(x,y-1)} - \bar{b})^2 + \frac{1}{4}(b_{(x,y+1)} - \bar{b})^2 + \frac{1}{4}(b_{(x+1,y)} - \bar{b})^2 \quad (1)$$

式中: $\bar{b}$ 为 $b_{(x-1,y)}$, $b_{(x,y-1)}$, $b_{(x,y+1)}$, $b_{(x+1,y)}$ 的平均值, 表示为:

$$\bar{b} = \frac{1}{4}(b_{(x-1,y)} + b_{(x,y-1)} + b_{(x,y+1)} + b_{(x+1,y)}) \quad (2)$$

$P_{(x-1,y-1)}$	$P_{(x-1,y)}$	$P_{(x-1,y+1)}$
$P_{(x,y-1)}$	$P_{(x,y)}$	$P_{(x,y+1)}$
$P_{(x+1,y-1)}$	$P_{(x+1,y)}$	$P_{(x+1,y+1)}$

图2 3×3 窗口像素结构
Fig.2 3×3 window pixel structure

利用像素 $p_{(x,y)}$ 描述对应像素的变化, 可计算图像中每个像素的4个相邻像素的方差, 以此建立图像像素的方差矩阵 V :

$$V = \begin{bmatrix} v_{1,1} & \cdots & v_{1,N} \\ \vdots & v_{x,y} & \vdots \\ v_{M,1} & \cdots & v_{M,N} \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: M, N 为图像尺寸; $v_{(x,y)}$ 为像素 $p_{(x,y)}$ 的4个相邻点的方差值。通过方差矩阵, 可以了解相邻像素距离其中心像素的距离。如果方差较大, 这表明这些像素距离对方有较大间隙。边缘一般出现在灰度变化剧烈的地方, 显示了局部特征的不连续性, 因此, 相邻点远离扩散分布的点为边缘上的点。使用方差估计边缘点亮度变化的另一个原因是, 计算出的方差具有良好的稳定性, 因为方差计算包括多个方向, 其对亮度变化方向和噪声的鲁棒性较好^[10]。根据 $v_{(x,y)}$ 和设置一个阈值 T_v , 联合转方差矩阵, 利用最大概率分布 (MPD) 来标签的所有候选边缘点, 表示为:

$$P = \begin{bmatrix} f_{1,1} & \cdots & f_{1,N} \\ \vdots & f_{x,y} & \vdots \\ f_{M,1} & \cdots & f_{M,N} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: M, N 为图像尺寸; $f_{x,y}$ 为一个判别函数, 表示为:

$$f_{x,y} = \begin{cases} 1, & v_{x,y} \geq T_v \\ 0, & \text{否则} \end{cases} \quad (5)$$

如果 $f_{x,y}$ 为 1, 表示了该点都标记为候选边缘上的点。对于阈值 T_v 的确定, 表示为:

$$T_v = 1.6 \frac{\sum_i^M \sum_j^N v_{x,y}}{M \times N} \quad (6)$$

1.2 基于像素与邻域空间结构的权重矩阵

在选择所有的候选边缘后, 为了对边缘点空间结构的理解, 计算像素与其4个相邻像素之间的最大和最小差值, 通过分析归一化最大值与最小值差异值,

可以计算出权重矩阵, 该矩阵中的每个分量表示图像中对应像素的概率。

1.2.1 最大和最小差异矩阵

对于图像中的每个像素, 根据该像素与其相邻的4个像素间的亮度差异, 可以获得4个微分值。一般而言, 边缘上像素的先验知识, 必须至少有一个差异比其他的要大得多, 且至少还有一个比其他小得多的差异。根据这一特性, 可以定义2个矩阵: 最大的差异矩阵 $D_{\max}$ 和最小的差异矩阵 $D_{\min}$, 分别定义为:

$$D_{\max} = \begin{bmatrix} d_{\max x1,1} & \cdots & d_{\max x1,N} \\ \cdots & d_{\max xi,j} & \cdots \\ d_{\max xM,1} & \cdots & d_{\max xM,N} \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$D_{\min} = \begin{bmatrix} d_{\min x1,1} & \cdots & d_{\min x1,N} \\ \cdots & d_{\min xi,j} & \cdots \\ d_{\min xM,1} & \cdots & d_{\min xM,N} \end{bmatrix} \quad (8)$$

式中: M, N 为图像尺寸; $d_{\max xi,j}$, $d_{\min xi,j}$ 分别为 ij 与其相邻的4个像素亮度的最大差与最小异值。

1.2.2 Logistic 回归分析与每个点的差异权重

根据前面的章节中描述, $d_{\max xi,j}$, $d_{\min xi,j}$ 为像素点 ij 与其相邻的4个像素亮度的最大差与最小异值。如果像素在边缘, 那么 $d_{\max xi,j}$, $d_{\min xi,j}$ 可被准确计算得出, 并且当像素处于边缘, $d_{\max xi,j}$ 与 $d_{\min xi,j}$ 的差距最大。为此, 通过归一化 $d_{\max xi,j}$ 与 $d_{\min xi,j}$ 计算最大差异与最小差异的间隙。文中采用 Logistic 回归对这2个变量归一化计算^[11]:

$$L(x) = \frac{1}{1 + \exp(\alpha x + \beta)} \quad (9)$$

式中: α, β 为常量, 根据经验^[12], 设置为 $\alpha = -0.1$, $\beta = 2$ 。那么像素 i, j 的归一化最大差异值 $b_{\max xi,j}$ 定义为:

$$b_{\max xi,j} = \frac{1}{1 + \exp(-0.1 \times d_{\max xi,j} + 2)} \quad (10)$$

像素 i, j 的归一化最小差异值 $b_{\min xi,j}$ 定义为:

$$b_{\min xi,j} = \frac{1}{1 + \exp(-0.1 \times d_{\min xi,j} + 2)} \quad (11)$$

通过上述计算, 可分别得到归一化最大差异矩阵 $B_{\max}$ 与归一化最小差异矩阵 $B_{\min}$:

$$B_{\max} = \begin{bmatrix} b_{\max x1,1} & \cdots & b_{\max x1,N} \\ \vdots & b_{\max xi,j} & \vdots \\ b_{\max xM,1} & \cdots & b_{\max xM,N} \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$B_{\min} = \begin{bmatrix} b_{\min x1,1} & \cdots & b_{\min x1,N} \\ \vdots & b_{\min xi,j} & \vdots \\ b_{\min xM,1} & \cdots & b_{\min xM,N} \end{bmatrix} \quad (13)$$

根据联合式 (12—13), 可得到其权重矩阵 B ,

函数表达为：

$$\mathbf{B} = \mathbf{B}_{\max} - \mathbf{B}_{\min} \quad (14)$$

1.3 边缘检测

为了获得准确的边缘，文中通过乘法模型将最大概率分布矩阵与权重矩阵进行融合。设融合矩阵为 $\mathbf{I}_F$ ，则 $\mathbf{I}_F = \mathbf{B} \circ \mathbf{P}$ 。其中， $\mathbf{B}$ 为权重矩阵； $\mathbf{P}$ 为边缘点的最大概率分布； $\circ$ 为 Hadamard 积^[13]。在 Hadamard 积中，设 $\mathbf{A}$ 为 $m \times p$ 的矩阵； $\mathbf{B}$ 为 $p \times n$ 的矩阵， $\mathbf{A}$ 与 $\mathbf{B}$ 的 Hadamard 积定义为 $\mathbf{C}$ ，那么 $\mathbf{C} = \mathbf{A} \circ \mathbf{B}$ 。令 $\mathbf{C}$ 中的第 i 行第 j 列元素表示为：

$$C(i, j) = \sum_{k=1}^p a_{ik} b_{kj} = a_{i1} b_{1j} + a_{i2} b_{2j} + \dots + a_{ip} b_{pj} \quad (15)$$

在 Hadamard 积中，要求矩阵 $\mathbf{A}$ 的列数与矩阵 $\mathbf{B}$ 的行数相同。乘积 $\mathbf{C}$ 的第 i 行第 j 列的值等于 $\mathbf{A}$ 中的第 i 行的元素与 $\mathbf{B}$ 的中第 j 列元素乘积之和，例如，2 个矩阵 $\mathbf{A}$ 与 $\mathbf{B}$ 具有相同的维数，那么 $\mathbf{A}$ 与 $\mathbf{B}$ 的 Hadamard 积表示为： $\mathbf{A} \circ \mathbf{B}(i, j) = \mathbf{A}(i, j) \cdot \mathbf{B}(i, j)$ 。在 Hadamard 积中，通过将许多数据紧凑的集中到一起，可以简便地表示复杂的模型，可使矩阵的能量集中，减少原始信号失真。在 $\mathbf{I}_F = \mathbf{B} \circ \mathbf{P}$ 中， $\mathbf{I}_F$ 的大小范围为 0 到 T ，其在最大概率分布矩阵的约束下，去掉非边缘点，从而等于权值矩阵。在 $\mathbf{I}_F$ 中的 0 元素对应于非边缘点，而非零元素对应的最终候选边缘点的概率。

为了提取边缘，获取一个自适应阈值 T_F ，以进行计算融合结果 $\mathbf{I}_F$ ， T_F 的数学表达式为：

$$T_F = \frac{\sum_i^M \sum_j^N \mathbf{I}_F(i, j)}{\sum_i^M \sum_j^N \mathbf{P}(i, j)} \quad (16)$$

根据式 (16) 计算的自适应阈值 T_F ，可判断出图像的真实边缘 I_e ，表示为：

$$I_e(i, j) = \begin{cases} 1 & I_e > T_F \\ 0 & \text{否则} \end{cases} \quad (17)$$

通过式 (17) 得知，如果 $I_e > T_F$ ，那么说明该点为像素点，反之，则为非像素点。

2 仿真与分析

为了对提出方案进行测试，选择灰度图像进行测试。测试平台为：Intel (R) Core (TM) I5-4150，四核 3.2 GHz CPU，4 GB 内存，Win7 系统 PC。借助 VC++6.0 工具对图像边缘提取仿真分析。选取 3 个常用的边缘提取技术进行对比：文献[5]、文献[6]、文献[7]。在文中，通过多次试验得到了最优参数，设置为： $\alpha = -0.1$ ， $\beta = 2$ ， $T_F = 0.08$ ， $M \times N = 384 \times 256$ ， $\tau = 1/9$ 。

2.1 定量评价指标

为准确衡量图像边缘提取性能，选取常用的

Pratt's figure of merit (F_{OM}) 与受试工作特征 (ROC) 曲线。 F_{OM} 越大，表示边缘越清晰，细节详细，函数定义为^[14]：

$$F_{OM} = \frac{1}{\max(I_D, I_T)} \sum_{k=1}^{I_D} \frac{1}{(1 + \tau d_k^2)} \quad (18)$$

式中： I_D 、 I_T 分别为总像素与被提取像素数量； τ 为补偿常量； d_k 为提取边缘与理想边缘距离。 F_{OM} 的范围从 0 到 1，当 $F_{OM} = 1$ 时，表示提取的边缘与实际边缘重合，效果最好；反之，当 $F_{OM} = 0$ 时，提取的边缘与实际边缘相差巨大。

ROC 曲线^[15]表示分类正确率 (R_{TP}) 与虚警率 (R_{FP}) 的关系， x 轴为 R_{FP} ， y 轴为 R_{TP} 。在二维空间中不同的 R_{TP} 与 R_{FP} 对应的点连接一起形成一条曲线。ROC 曲线反应了 R_{TP} 与 R_{FP} 的关系，能够准确反应分类性能， R_{TP} 与 R_{FP} 的定义分别为：

$$R_{TP} = \frac{T_p}{T_p + F_N} \quad (19)$$

$$R_{FP} = \frac{F_p}{F_p + T_N} \quad (20)$$

式中： T_p 为真实边缘判断为真实边缘； F_N 为真实边缘判断为虚假边缘； F_p 为虚假边缘判断为真实边缘； T_N 为虚假边缘判断为虚假边缘。

2.2 实验结果

一幅不含噪声灰度图像的边缘提取结果见图 3。图 3a 为源图像，图 3b—e 依次为文献[5]、文献[6]、文献[7]、文中方法得到的图像边缘。根据图 3 看出，对于不含噪声的“恐龙”图像，4 种算法均获得了较好的边缘，能够较清晰地反应目标的轮廓，便于物体的理解与识别。这 4 种方法存在一些细微差异，例如图 3b 中“恐龙”背部与腹部提取效果不理想，提取的边缘细滑度不足；图 3c 中“恐龙”的尾部出现了断裂，边缘光滑度还有待提高。图 3d—e 中得到的边缘效果相对较好，能够清晰、完整表示图像的轮廓结构与局部灰度突变区域，但是文中方法得到的效果更优，边缘的细滑度与光滑度良好，而文献[7]得到了一些弱边缘与虚假边缘。主要原因是文中充分考虑了图像的不同空间结构信息，通过对像素点与相邻像素之间的灰度方差计算和亮度计算，分别统计图像像素的最大概率分布与最大与最小差异矩阵，从灰度方差与亮度变化 2 个不同的空间结构对像素表示，从而能够准确反映了像素点与临域像素的关系。文献[5]中没有考虑不同位置的像素对中心的影响，对弱边缘提取不佳，易出现边缘漏检。文献[6]中采用的保角相位对图像局部结构表达力不强，易导致边缘丢失与不连续。文献[7]中通过计算对每个像素计算灰度矩，计算复杂，并且对弱边缘提取性能不高。

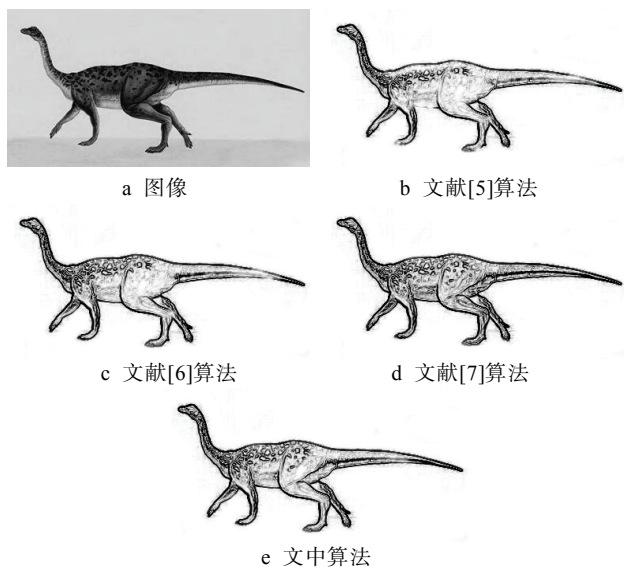


图3 无噪声图像边缘提取

Fig.3 Edge extraction of images without noise

在低噪声密度(5%)下的实验结果见图4。图4a为含密度5%的椒盐噪声的图像。图4b—e分别为文献[5]、文献[6]、文献[7]以及文中算法的对低噪声下提取边缘结果。根据图4看出,在低噪声(5%)图像中,4种算法能够提取物体的轮廓,反映了物体的基本结构,但是各种算法存在一些差别。图4b—c在边缘检测的同时也出现了较多的噪声点,影响了边缘提取效果。图4d中对边缘的细节保留不足,得到了边缘的细化度比图4e差。图4e为文中方法得到的边缘图,依据图4e中得出,在低噪声下仍能够获得较好的物体边缘,降低背景干扰,保留了边缘的细节信息。从图4中得知,文中算法具有一定的抗噪声性,在噪声情况下仍能输出清晰、丰富的边缘,降低了噪声的干扰。

高噪声(20%)图像测试结果见图5。依据图5可看出,在20%的噪声密度中,提出的方案获得了相对较优的边缘提取结果,对物体的轮廓边缘有较好显示,边缘细节较丰富,能够较清晰、完整地提取目标特征。其他3种对照组中,图5b—c中,对较高噪声无法有效抑制,在提取边缘的同时对噪声点同样也被提取出来,影响了物体的视觉效果,降低了边缘精度与平滑度。图5d中对噪声的影响稍微小,但是在高噪声下,边缘容易出现漏检,没有很好区分背景与目标。依据图5实验得知,文中算法在高噪声情况下具有较好的边缘提取能力,能够较处理好噪声抑制与边缘提取的矛盾关系,获得了良好的边缘提取效果。

为了定量评估提出方案边缘提取的性能,利用 F_{OM} 与ROC曲线对实验结果进行测量,见图6—7。首先,通过对图4a源图像加入不同密度的椒盐噪声(5%, 10%, ... 40%),再分别利用文献[5]、文献[6]、文献[7]以及文中方案进行边缘提取测试,从而得到相应

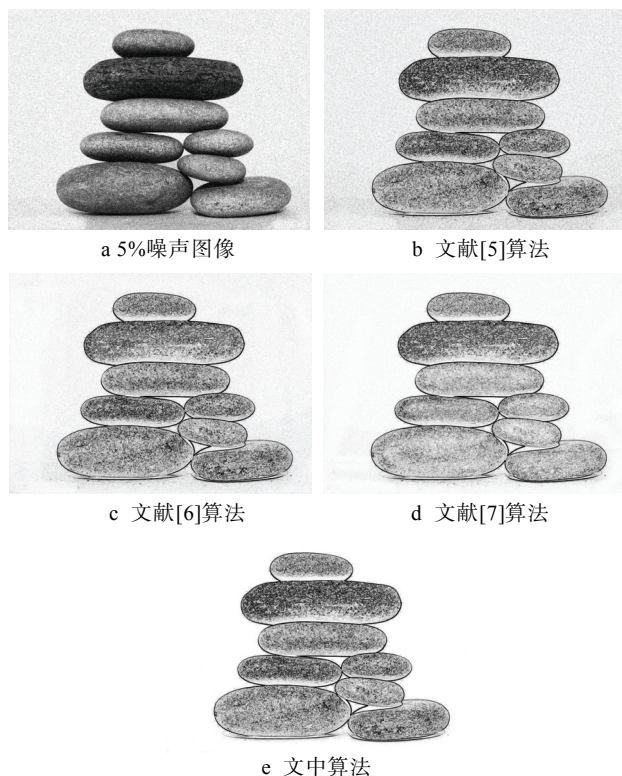


图4 低噪声(5%)图像边缘提取

Fig.4 Low noise (5%) image edge extraction

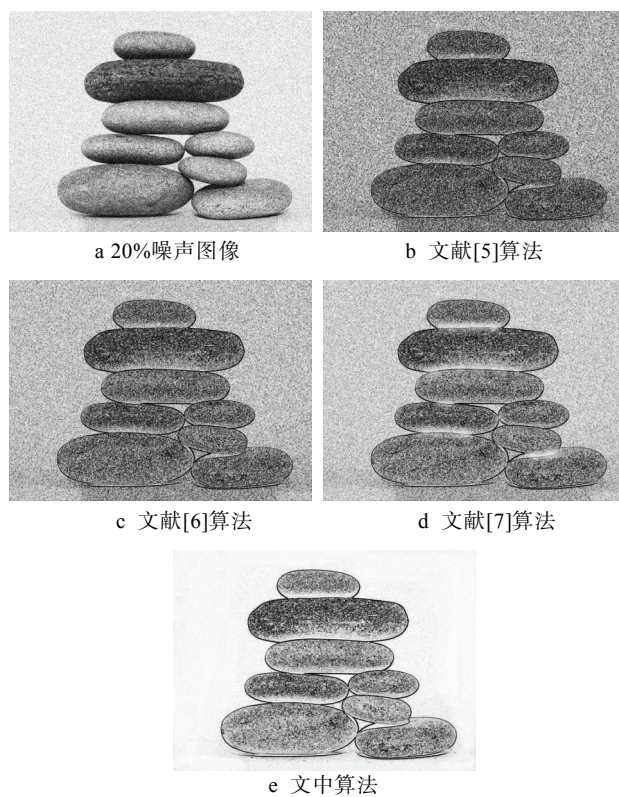


图5 高噪声(20%)图像边缘提取

Fig.5 High noise (20%) image edge extraction

的 F_{OM} 与ROC曲线测量。依据图6看出,随着噪声密度增加, F_{OM} 的衰减最缓慢,在相同的噪声密度下,文中方法的 F_{OM} 值最高,说明获得的边缘质量最优,

边缘平滑度与连续性好。

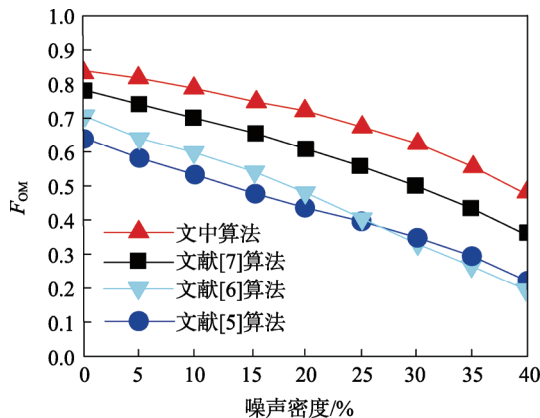


图 6 F_{OM} 客观评价

Fig.6 Objective evaluation of F_{OM}

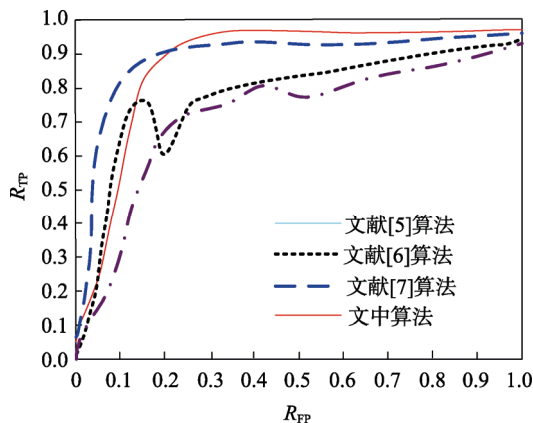


图 7 ROC 曲线客观评价

Fig.7 Objective evaluation of ROC curve

得到的 ROC 图见图 7, 依据图 7 中得知, 文中算法的 ROC 曲线较平稳, 且大部分处于其他曲线的上方, 表明了在一一定的虚警率下, 其正确率较高, 很好地兼顾了 R_{TP} 与 R_{FP} 。文中算法取得如此的效果主要是因为通过像素的 2 种不同结构, 并将这 2 种结构融合, 有效反应了像素的局部关系。同时定义了一种自适应阈值计算函数, 自动完成对边缘像素与非边缘像素的识别, 提高了边缘定位精度。

3 结语

通过计算 2 种不同的像素的 4 个邻域的空间属性, 得到不同的像素空间结构, 文中设计了一种基于不同空间结构 Hadamard 乘积融合的边缘提取方案。为了降低噪声对边缘的影响, 减少虚假边缘与弱边缘, 提高边缘定位精度, 根据像素的方差与亮度, 计算了 2 种不同的像素空间结构: 最大概率分布矩阵与权重矩阵。为了对最大概率分布矩阵与权重矩阵进行融合, 引入了 Hadamard 乘积, 减少原始信号失真, 有效完成了对 2 种像素空间结构结合, 充分考虑了相邻像素间的亮度与方差关系。同时定义一种自适应的

边缘分割阈值, 通过比较融合矩阵与分割阈值, 准确判断边缘像素点。实验证明, 文中算法能有效提取图像的边缘, 提取精度高、具有优异的边缘细化度与连续性, 降低了虚假边缘, 在边缘提取过程中能有效抑制噪声。

参考文献:

- [1] 何拥军, 余爱民, 曾文权. 霍夫变换耦合蚁群优化图像边缘提取算法[J]. 包装工程, 2017, 23(5): 205—210.
HE Yong-jun, YU Ai-min, ZENG Wen-quan. Image Edge Extraction Algorithm Based on Hof Transform Coupled ant Colony Optimization[J]. Packaging Engineering, 2017, 23(5): 205—210.
- [2] JING X N, LI X J, LI X J. Edge Extraction for Human Body Images Based on ACAFCM Algorithm[J]. Journal of Software, 2014, 9(4): 902—906.
- [3] 胡大辉. 边缘检测算法在污损条码识别中的应用研究[J]. 包装工程, 2013, 18(3): 112—116.
HU Da-hui. Research of Edge Detection Algorithm in Bar Code Identification[J]. Packaging Engineering, 2013, 18(3): 112—116.
- [4] CHEN W, TIAN Q C, LIU J. Non-local Low-rank Matrix Completion for Image Interpolation Using Edge Detection and Neural Network[J]. Signal Image and Video Processing, 2016, 8(4): 657—663.
- [5] 张闯, 王婷婷, 孙冬娇. 基于欧氏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 Chuang, WANG Ting-ting, SUN Dong-jiao. Image Edge Detection Based on the Euclidean Distance Graph[J]. Journal of Image and Graphics, 2013, 18(2): 176—183.
- [6] 石美红, 李青, 赵雪青. 一种基于保角相位的图像边缘检测新方法[J]. 电子与信息学报, 2015, 37(11): 2594—2600.
SHI Mei-hong, LI Qing, ZHAO Xue-qing. A New Approach for Image Edge Detection Based on Conformal Phase[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2015, 37(11): 2594—2600.
- [7] SUN Q C, HOU Y Q, TAN Q C. A Robust Edge Detection Method with Sub-pixel Accuracy[J]. Optik, 2015, 125(14): 3449—3453.
- [8] 王拯洲, 王伟, 王维. 基于多尺度自适应梯度的图像边缘检测方法[J]. 计算机工程与设计, 2014, 33(7): 2442—2446.
WANG Zheng-zhou, WANG Wei, WANG Wei. Image Edge Detection Method Based on Multi-scale Adaptive Gradient[J]. Computer Engineering and Design, 2014, 33(7): 2442—2446.
- [9] YU X L, LIN X, DAI Y Q. Image Edge Detection Based Tool Condition Monitoring with Morphological Component Analysis[J]. Isa Transactions, 2017, 69(7): 315—322.

- [10] 龙鹏, 鲁华祥. 方差不对称先验信息引导的全局阈值分割方法[J]. 智能系统学报, 2015, 10(5): 663—668.
LONG Peng, LU Hua-xiang. Global Threshold Segmentation Technique Guided by Prior Knowledge with Asymmetric Variance[J]. CAAI Transactions on Intelligent Systems, 2015, 10(5): 663—668.
- [11] YE G D, HUANG X L. An Efficient Symmetric Image Encryption Algorithm Based on an Intertwining Logistic Map[J]. Elsevier Science, 2017, 251(12): 45—53.
- [12] JIA X B, HUANG H Y, WANG R Y. A Novel Edge Detection In Medical Images by Fusing of Multi-model From Different Spatial Structure Clues[J]. Bio-Medical Materials and Engineering, 2014, 24(1): 1289—1298.
- [13] RAMIRO V. Visual Impairment Simulator Based on the Hadamard Product[J]. Electronic Notes in Theoretical Computer Science, 2016, 329(25): 169—179.
- [14] 杨婷婷, 顾梅花, 章为川. 彩色图像边缘检测研究综述[J]. 计算机应用研究, 2015, 32(9): 2566—2571.
YANG Ting-ting, GU Mei-hua, ZHANG Wei-chuan. Review of Color Image Edge Detection Algorithms[J]. Application Research of Computers, 2015, 32(9): 2566—2571.
- [15] 刘波, 林焰, 王运龙. 水下图像边缘特征提取的BEMD 自适应算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2013, 45(2): 117—122.
LIU Bo, LIN Yan, WANG Yun-long. Bi-dimensional Empirical Mode Decomposition Algorithm for Underwater Image Edge Detecting[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2013, 45(2): 117—122.