

基于空间复杂度掩盖的边缘检测算法

王磊 杨付正 常义林 王蓉

(西安电子科技大学综合业务网理论及关键技术 (ISN) 国家重点实验室, 西安 710071)

摘要 通常边缘检测算法仅仅考虑到图像本身信息, 而未考虑人眼对规则图像的感知能力比对非规则图像更强。结合人眼的视觉特性, 本文提出了一种基于空间复杂度掩盖的边缘检测算法。给出了一种空间复杂度的测度以及双门限机制, 利用图像空间复杂度来体现图像的规则程度, 并根据图像的纹理信息矫正图像的梯度方向, 确定边缘宽度, 准确定位空间复杂度的计算区域。实验结果表明, 本文提出的算法可以有效地检测规则图像的边缘, 抑制复杂纹理区域的边缘。因此, 该算法更符合人眼的视觉特性, 有利于复杂情况中信息的提取。

关键词 边缘检测 人类视觉系统 空间复杂度

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)01-0100-04

An Edge-detection Algorithm Based on Spatial Activity Masking

WANG Lei, YANG Fu-zheng, CHANG Yi-lin, WANG Rong

(National Key Laboratory on ISN, Xidian University, Xi'an 710071)

Abstract Based on the characteristics of human vision, an edge-detection algorithm based on masking the image with the spatial activity is presented. Edge-detection algorithms usually deal with the image's original information without the characteristics of human eyes, more powerful perceiving ability on regular images than the other parts. In this paper, methods for measuring the spatial activity and a double-thresholds mechanism are proposed. The regular extent is represented using the spatial activity and the masking area of the spatial activity is located accurately by correcting gradient direction and determining edge widths. The results show that this algorithm effectively detects edges of regular images and depress the edges of the others. So, this algorithm is more consistent with characteristics of human vision and beneficial to information extraction under complex condition.

Keywords edge detection, HVS, spatial activity

1 引言

图像边缘检测算法广泛应用于图像分割、纹理特征提取和形状特征提取等图像分析与处理领域。一般的边缘检测方法是基于微分门限的边缘检测, 如 Robert 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子和 Canny 算子等^[1-3], 但不能很好地反映人眼对图像边缘的感知程度与图像内容间的密切关系^[4]。

我们首次提出了一种符合 HVS (human vision system) 特性的梯度门限边缘检测算法^[5]。该方法

通过对梯度图像进行亮度掩盖和空间复杂度掩盖, 改善了边缘检测算法的效果。本文针对上述算法的核心——空间复杂度掩盖, 做出了更深入的研究。

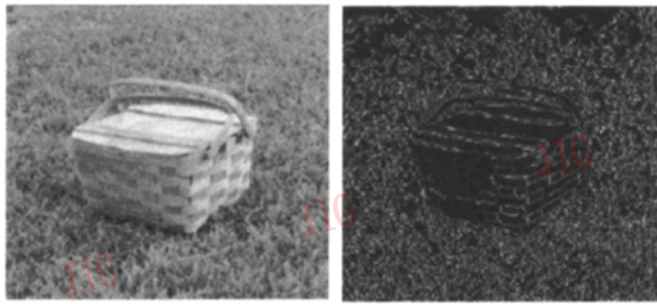
2 空间复杂度掩盖的基本思想

边缘的可见性与其所在区域的空间纹理复杂度有关, 这种视觉特性称为空间复杂度掩盖。具体的特征是, 对于边缘两侧较平滑的区域, 边缘的视觉可见性强。图 1(a) 是 Basket 原始图像, 图 1(b) 是 Canny 算法检测效的边缘图。检测效果并不理想,

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60172030); 华为科技基金项目 (YJCB2003017MU)

收稿日期: 2006-07-17; 改回日期: 2006-09-04

第一作者简介: 王磊 (1982~), 男, 现为西安电子科技大学硕士研究生。主要研究方向为多媒体通信、图像处理。E-mail: a7356@



(a) 原始图 Basket (b) Canny算法检测的边缘图

图 1 原始图及 Canny检测的边缘图

Fig 1 The original image and edge map detected by canny

没有检测出篮子中部的格子图案, 却出现了人眼并不敏感的背景细纹。

空间复杂度掩盖的微分门限边缘检测算法如下:

(1) 用 2 维高斯滤波器对图像进行平滑滤波, 以降低噪声的影响得到图像 $I(x, y)$ 。在直角坐标系下沿坐标轴方向, 图像与微分算子卷积 (用 * 表示) 求得梯度, 本文用高斯函数的一阶导数:

$$\frac{\partial I(x, y)}{\partial x} = I(x, y) * \frac{\partial G(x, y)}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial I(x, y)}{\partial y} = I(x, y) * \frac{\partial G(x, y)}{\partial y} \quad (2)$$

高斯滤波器为

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3)$$

(2) 计算图像梯度 $\mathbf{grad}(x, y)$ 和梯度方向 $\varphi(x, y)$

$$\mathbf{grad}(x, y) = \sqrt{\left|\frac{\partial I(x, y)}{\partial x}\right|^2 + \left|\frac{\partial I(x, y)}{\partial y}\right|^2} \quad (4)$$

$$\varphi(x, y) = \arctg\left|\frac{\partial I(x, y) / \partial y}{\partial I(x, y) / \partial x}\right| \quad (5)$$

(3) 在原有梯度图像基础上, 考虑空间复杂度掩盖后的梯度图像为

$$\mathbf{grad}_m(x, y) = \frac{\mathbf{grad}(x, y)}{a + \left|\frac{m(x, y)}{\bar{m}}\right|^r} \quad (6)$$

其中, $m(x, y)$ 表示所在区域的空间复杂度, \bar{m} 为该帧图像的平均空间复杂度, r 是用来控制掩盖效果的参数。

(4) 设定高低两个门限, 将梯度值大于高门限的点确定为边缘点, 舍弃梯度值小于低门限的点; 如果在两个门限间的像素点与其他边缘点连通, 则判定其为边缘点, 否则舍弃。

(5) 沿梯度方向即垂直于边缘的方向, 找到梯

度值最大的点并设为最终的边缘点, 其余的设为零。这样就得到了边缘宽度均为 1 个像素的边缘图。

3 空间复杂度的测度

如图 2 所示, 对于图像上的任意一点 (x^*, y^*) , 将此点的梯度方向上的两个矩形区域 R_1, R_2 作为空间复杂度的求解区域。则有

$$m(x, y) = \min(m_{R_1}(x, y), m_{R_2}(x, y)) \quad (7)$$

其中, $m_{R_1}(x, y), m_{R_2}(x, y)$ 分别表示区域 R_1, R_2 的空间复杂度。 $\min()$ 表示取两者的较小值。因为仅一侧规则的边缘也适宜人眼检测, 应作为复杂度较低点, 如图 1 的原始图像篮子外边框。

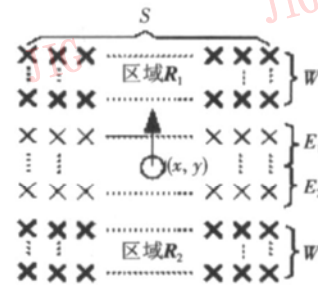


图 2 空间复杂度掩盖

Fig 2 Spatial activity masking

以 $S \times W$ 大小的矩阵区域 R_1 为例 (S 和 W 分别为以像素为单位的长和宽), 其长度为 S 的边垂直于梯度方向。对此矩形的每排像素求平均值可得 $mean(i), i = 1 \dots W, \overline{mean}$ 代表所有像素的平均值, 将其标准差定义为此区域的空间复杂度:

$$m_{R_n}(x, y) = \sqrt{\frac{1}{W} \sum_{i=1}^W (mean(i) - \overline{mean})^2} \quad (8)$$

3.1 梯度方向的矫正

考虑到图像噪声的存在可能影响梯度方向, 从而严重影响到区域 R_1 和区域 R_2 的定位, 本文利用了一定范围内边缘点的位置信息来矫正梯度方向。根据一般图像边缘的宽度和算法特点, 将此范围定为 9×9 的像素矩阵。

如图 3 所示, 以矫正点 P 的梯度方向 a 为例。在以 P 点为中心的 9×9 的矩形范围内, 对未加掩盖的梯度图像, 应用较低的双门限检测出未经细化的边缘图, 找出与边缘方向相一致的矩形对角线上的点。以这些点为基准, 均沿方向 a 找出梯度值最大的点。其连线的法线方向 b 就是矫正后的梯度方向。因此, 矫正后梯度方向就严格与边缘方向垂直。

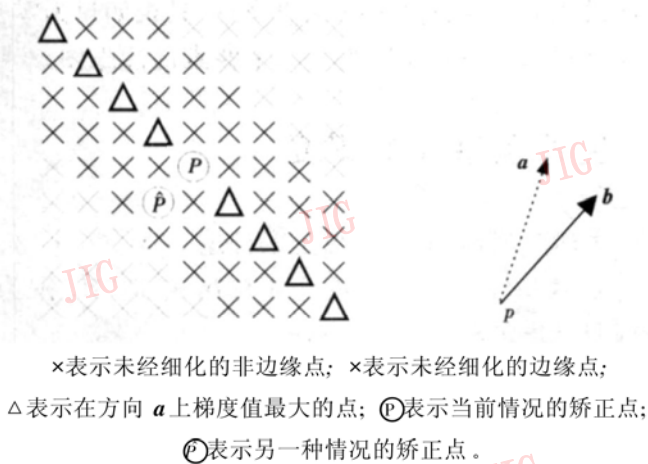


图 3 矫正示意图及矫正方向

Fig 3 Correcting gradient direction and the direction

进而排除了噪声的影响。另外, 梯度值最大点的连线不一定经过当前矫正点 P, 若 P 在 P-hat 的位置上, 也可能有完全相同的计算结果。

3.2 边缘宽度的确定

边缘本身就存在一定宽度, 而 2 维高斯滤波器对图像噪声滤波也在一定程度上扩展了边缘宽度, 对于边缘上的点, 其邻近区域亮度变化比较剧烈, 空间复杂度比较高。因此包含了边缘点的区域不能用于体现边缘附近空间复杂度。这就要求空间复杂度求解区域 (如图 2 所示的 R_1, R_2) 排除边缘区域。为此本文定义了边缘点的两个边缘宽度 (如图 2 所示的 E_1, E_2)。

如图 4 所示, 弧线表示边缘点 A 附近梯度值的变化。门限值 S 用来指示边缘宽度, 即只有梯度值高于 S 才认定为边缘上的点。过 S 的虚线与弧线相交在 CD 处。B 为弧线 CD 上的任意一点。可见 B 点处于弧线 CD 上不同位置时, 具有不同的边缘宽度, 但其空间复杂度的求解区域是相同的。故弧线 CD 上的点的梯度值大小关系在掩盖后也不会改

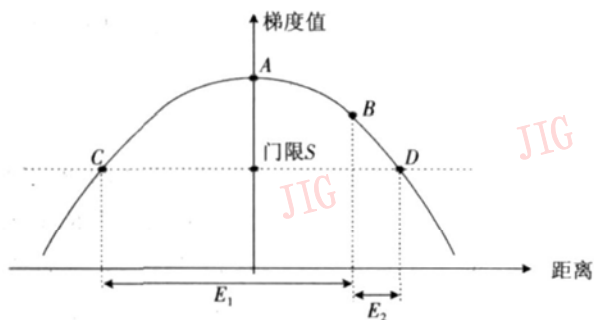


图 4 梯度方向的截面梯度图

Fig 4 The cross-section map of gradient along gradient direction

变, 经过检测 细化后, 边缘仍然能定为在 A 处。

3.3 双门限机制

Canny 提出了在微分门限边缘检测算法中应用双门限检测边缘的方法^[3]。然而门限的高低直接关系到检测边缘的多少, 较高的门限会屏蔽较多的边缘, 反之亦反。因此, 双门限的确定也是非常重要的。故本文提出了针对梯度图像掩盖的双门限确定机制。

采用 Canny 算法的双门限值 T_{high} 和 T_{low} 。然后, 对于 $S \times W$ 矩形区域, 设定一个空间复杂度的经验值 \tilde{m} , 作为空间复杂度是否有利于人眼检测边缘的分界值。低于 \tilde{m} 认定为有利于人眼检测; 高于 \tilde{m} 认定为不利于人眼检测。

根据不同图像的平均空间复杂度 \bar{m} , 此掩盖算法的双门限如下所示:

$$T_{high} = \frac{T_{high}}{a + \left| k \frac{\bar{m}}{m} \right|^r} \quad (9)$$

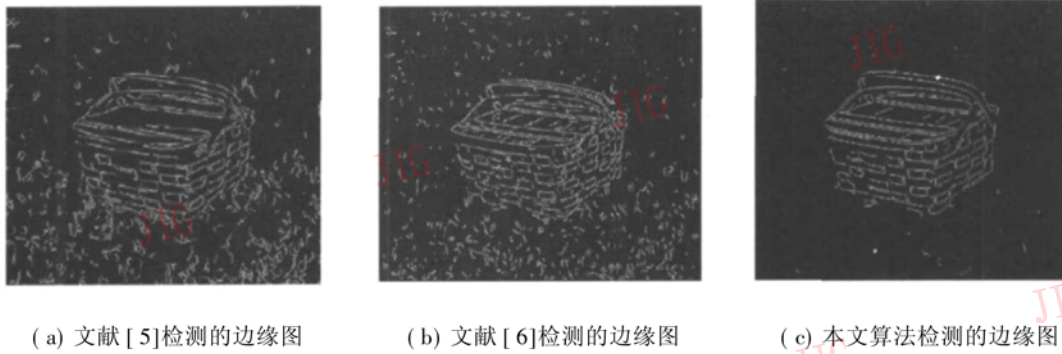
$$T_{low} = \frac{T_{low}}{a + \left| k \frac{\bar{m}}{m} \right|^r} \quad (10)$$

本文以像素值在 [0 255] 范围内为例, 将 \tilde{m} 定为 20 此经验值是依据式 (8) 在一定矩形范围内, 以主观测度的方式来认定空间是否复杂的标准差阈值。由于它仅是人眼对此矩形范围的空间复杂度感知阈值, 与图像内容和类型无关。故不同图像可以应用相同的经验值。 $a = 0.5$ 用于限制掩盖后的梯度变化程度, $r = 2$ 以平方的形式加强掩盖效果, $k = 1$ 用于补偿该经验值与特定图像之间的不一致。

本双门限公式与梯度图像掩盖公式具有一致性。并可以根据不同图像的平均空间复杂度, 求解出相对应的双门限。本方法具有一定的自适应性, 在较低要求的场合, 无需人为地调节此掩盖算法的双门限值。

4 实验结果及结论

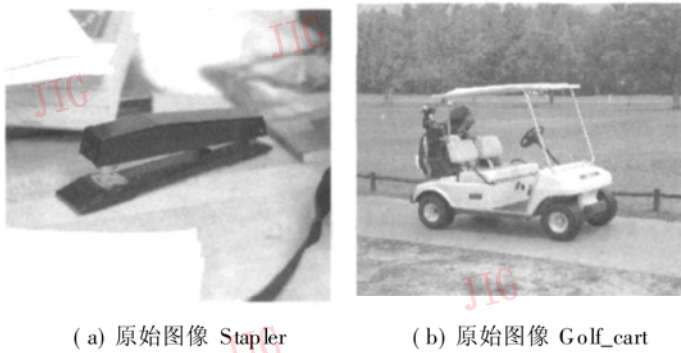
本文实现了改进的空间复杂度掩盖算法。图 5(a) 和图 5(b) 是使用文献 [5] 和文献 [6] 中算法对 Basket 边缘检测的结果, 图 5(c) 是本文算法实现后对 Basket 检测的边缘图。所使用的微分算子和双门限思想沿用了 Canny 边缘检测算法^[3], 故本文还给出了两幅图像, 同 Canny 边缘检测算法做比较, 如图 6~ 图 8。



(a) 文献 [5] 检测的边缘图 (b) 文献 [6] 检测的边缘图 (c) 本文算法检测的边缘图

图 5 相关文献及本文算法检测的边缘图

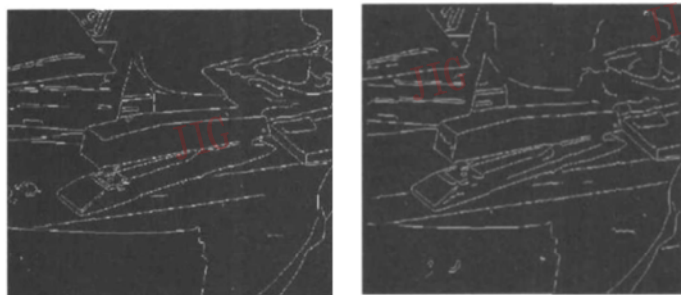
Fig 5 Edge map detected by associated reference and this paper



(a) 原始图像 Stapler (b) 原始图像 Golf_cart

图 6 用于对比 Canny 算法的原始图

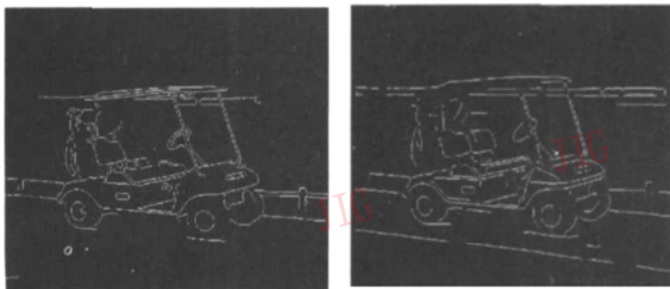
Fig 6 Two original images for comparison against Canny algorithm



(a) Canny 算法检测的边缘图 (b) 本文算法检测的边缘图

图 7 Canny 及本文算法检测实例 1

Fig 7 The first example detected by Canny and this paper



(a) Canny 算法检测的边缘图 (b) 本文算法检测的边缘图

图 8 Canny 及本文算法检测实例 2

Fig 8 The second example detected by Canny and this paper

图 5 中, 无论是规则图像边缘的检测, 还是对人眼不敏感的杂乱区域的抑制, 改进后的空间复杂度掩盖算法的检测效果都得到了明显的提升。图 7 中, 调高 Canny 算法的阈值, 在还未很好抑制杂乱区域时就已经开始丢失目标物体边缘了。图 8 中, 对背景相同的抑制程度下, 本算法检测的边缘更完整, 由座背可见。故本文提出的算法具有很强的规则图形边缘提取能力和复杂背景的抑制能力, 在图像分割、目标区域的识别、区域形状提取等图像分析领域将具有很高的应用价值。

参考文献 (References)

- 1 Djemel D Z, Tabbone S. Edge detection techniques—an overview [J]. International Journal of Pattern Recognition and Image Analysis 1998, 8(4): 537~ 559
- 2 Mitra B. Gaussian-based edge-detection methods—a survey [J]. IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C, 2002, 32(3): 252~ 260
- 3 Canny J. A computational approach to edge detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679~ 698
- 4 Heath M D, Sarkar S, Sanocki T, et al. A robust visual method for assessing the relative performance of edge detection algorithms [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1997, 19(12): 1338~ 1359
- 5 Yang Fu-zheng, Chang Y r-lin, Wan Shuai. Gradient-threshold edge detection based on HVS [EB/OL]. http://spie.org/app/Publications/journals/pdfs/OE_L040586R_Online.pdf nov.
- 6 Peter Meer, Bogdan georgescu. Edge detection with embedded confidence [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2001, 23: 1351~ 1365