

基于视觉注意的动态阈值分割算法

赵立龙¹ 詹煜¹

摘要

提出一种基于视觉注意机制的动态阈值选取方法. 首先按人眼视觉注意特点计算各图块的显著性特征值, 根据显著性特征值将图像块进行分类, 然后利用最大类间方差法和多尺度的自适应阈值方法分别实现不同灰度特性区域的图像动态分割. 实验结果表明: 该方法能够实现图像多阈值的自动选取, 不受照明条件的影响, 能够获得满意的二值分割效果.

关键词

图像分割; 视觉注意; 自适应阈值

中图分类号 TP391

文献标志码 A

收稿日期 2011-03-03

资助项目 江苏省自然科学基金(BK2008437);

江苏省高校自然科学基金(07KJB510066);

南京信息工程大学科研基金(90205)

作者简介

赵立龙, 男, 博士, 讲师, 研究方向为光学/

数字图像处理. nk_endy@163.com

0 引言

阈值分割^[1-4]是图像处理的基本问题, 在图像分析和识别中起着重要作用. 如何选取最优阈值, 保证最好的分割效果, 一直是阈值分割研究的重点和热点. 目前有多种阈值选取方法, 其中最大类间方差的 Otsu 方法^[5]由于其计算简单, 在一定条件下不受图像对比度与亮度变化的影响, 一直被认为是较好的阈值自动选取方法, 但面对千差万别的图像, Otsu 算法并不会在所有情况下都得到理想的结果. 相对于一维分割算法, 二维灰度直方图能更清晰地反映出图像的灰度聚类分布信息. 因此有学者^[6-8]提出二维 Otsu 法, 即通过图像的邻域平均灰度的二维直方图来选取阈值, 分割效果有了一定的提高. 但是当照明不均匀、有突发噪声, 或者背景灰度变化较大时, 一二维 Otsu 方法难以得到好的分割效果. 为实现目标与背景的有效动态分割, 本文提出一种基于视觉注意的自适应多尺度分割算法, 算法的优点是有效地消除了不良照明对图像的影响, 可以实现自动尺度分割.

1 视觉注意的图像区域分类

人类的视觉注意机制在面对一个复杂场景时, 能够迅速地将注意力集中到少数几个显著区域上, 使其能够在复杂的视觉环境中快速定位感兴趣目标. 由于人类视觉注意的焦点是基于目标的, 因此视觉选择性注意模型往往能更好地对图像中的特定目标进行检测. 如果某个视觉刺激(目标) 足够显著, 它会从一幅画面中凸显出来, 这种显著性与观察目的无关, 它是以一种快速的、自底向上的方式起作用的. Itti 等^[9-10]在视觉生理基础上提出视觉注意计算模型. 该模型详细叙述了从图像提取亮度、方向和颜色等初级视觉的特征. 利用该思想可以将不同图像区域分成视觉显著性区域和不显著区域, 显著区域也就是人眼能够分离目标和背景的区域, 不显著区域是灰度平坦区域. 由于处理的是灰度图像, 故对于区域分类仅利用视觉显著性中的多尺度梯度特征和对比度特征.

利用低通滤波和间隔采样得到一个尺度由细至粗的多尺度的图像序列, 分别计算对应不同尺度图像区域的梯度和对比度特性, 然后根据图像块区域显著性特征对图像块进行分类. 本文构造如下多尺度塔式图像数据结构: 首先将图像进行低通滤波, 然后以间隔取样方式将图像 I 分解为由若干 1×1 , 2×2 , 3×3 大小分块组成的图像,

¹ 南京信息工程大学 物理与光电工程学院, 南京 210044

分别记为 $I(1)$ 、 $I(2)$ 、 $I(3)$, 该塔式分解示意如图 1 所示. 其特点是图像尺寸随着尺度水平的增加而下降, 粗尺度图像是细尺度图像的子集, 不同尺度间图像的像素在位置上仍保持着相应的几何拓扑关系.

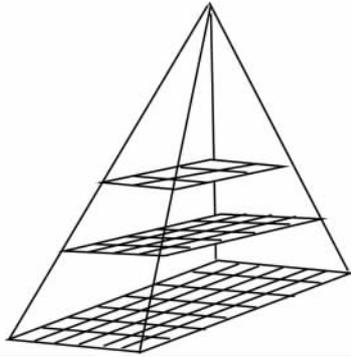


图 1 多尺度分解

Fig. 1 Multi-scale decomposition

在塔式分解的基础上, 计算不同尺度下各图像区域的梯度和对比度特性. 假设目标中心位置为 0, 利用梯度算子 $[-1 \ 0 \ 1]$ 与图像卷积得到当前像素区域的梯度幅值, 计算 0° 、 45° 、 90° 、 135° 4 个方向的梯度和, 则幅值 $Gx(i, j)$ 的表达式为

$$Gx(i, j) = |x(i+1, j) - x(i-1, j)| + |x(i+1, j+1) - x(i-1, j-1)| + |x(i, j+1) - x(i, j-1)| + |x(i-1, j+1) - x(i+1, j-1)| \quad (1)$$

对于图像块 A 的梯度幅值, 定义为图像块内所有像素点的梯度幅值的均值:

$$G = \frac{1}{N^2} \sum_{(i, j) \in A} Gx(i, j) \quad (2)$$

图像块 A 最终梯度幅值为 3 个不同尺度下梯度幅值的乘积, 即 $G_f = G_1 \times G_2 \times G_3$. 这样可以减少噪声对显著特性的干扰. 根据计算的不同尺度梯度和灰度特性值, 可将图像区域分成两类, 其中 E 类区域是属于视觉显著区域, 在该区域目标和背景能够区分, U 区域属于灰度均匀区域, 不能确定是属于目标还是背景.

$$\begin{cases} G_f \geq a, & A \in E; \\ G_f < a, & A \in U. \end{cases} \quad (3)$$

2 自适应阈值分割算法

首先将输入图像 $f(x, y)$ 分割成 $L \times L$ 大小的块. 如果区域满足背景, 目标能够区分条件, 即当前区域属于 O 类, 则直接利用 Otsu 算法实现该区域图像二

值化, 如果属于 B 类, 就用自适应尺度的动态阈值方法进行阈值分割.

例如将图像 $f(x, y)$ 均匀地分成 $W \times H$ 块大小为 $L \times L$ 的小区域, 由实验结果测定 L 大小为 20 时, a 取值 0.23 效果较好. 其中 $M = W \times L$, $N = H \times L$, 如图 2 所示. 每个图像被标记为 block 1, block 2, ..., block $W \times H$. 计算每个小区域的不同尺度下的梯度和灰度特性, 根据式 (3) 判断每块区域的属性. 如果区域满足背景目标能够区分条件, 即当前区域属于 E 类, 则直接利用 Otsu 算法实现该区域图像二值化, 同时分别记录下当前图像块内属于目标区域和属于背景区域中的出现概率最高的像素灰度值 O_i 和 B_i , 以及选择该阈值时的最大类间方差值 V_i , 这些值用于计算灰度均匀区域的分割阈值. 如果属于 U 类, 例如图 2 所示第 K 块小区域为灰度均匀区域, 则搜索离 K 区域最近的 8 邻域小区 $\{K-W-1, K-W, K-W+1, K-1, K+1, K+W-1, K+W, K+W+1\}$, 如果其中有属于 E 类的小区出现, 则搜索区域不再扩大. 然后计算当前区域的分割阈值.

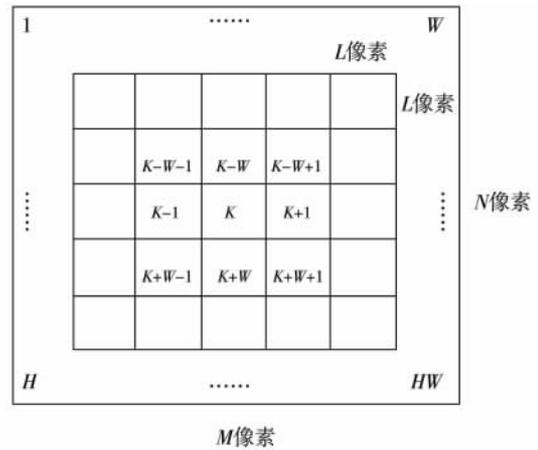


图 2 自适应分割特征

Fig. 2 Feature graph of adaptive segmentation

本文对当前区域的图像分割采用的是模糊分割算法. 首先利用当前搜索区域中 E 类图像块的 O_i 和 B_i 值算出当前区域内的明确的目标像素值 O_f 和明确的背景像素值 B_f . 其中每个属于 E 类图像块中的 O_i 和 B_i 值在 O_f 和 B_f 值中的权重由各块的最大类间方差值 V_i 决定, 方差值越大, 所起的作用越大, 权重越高. 计算公式为

$$O_f = \frac{\sum_{j=1}^n V_j O_j}{\sum_{i=1}^n V_i}; \quad B_f = \frac{\sum_{j=1}^n V_j B_j}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad (4)$$

其中 n 为当前搜索范围内属于 E 类的图像块数量. 然后计算当前分割区域内每个像素值与 O_f 和 B_f 的距离值, 如果当前像素值与 O_f 值的距离小于与 B_f 的距离, 则当前像素为目标像素, 反之则为背景像素.

$$\begin{cases} P_i = 0, & |P_i - O_f| \geq |P_i - B_f|; \\ P_i = 1, & |P_i - O_f| < |P_i - B_f|. \end{cases} \quad (5)$$

如果搜索的 8 邻域小区范围内没有出现属于 E 类目标的小区, 则进一步扩大搜索范围到 16、24 邻域小区, 直到该搜索范围内出现属于 O 类的小区, 最差的情况是搜索范围扩大到整个图像.

3 实验结果和讨论

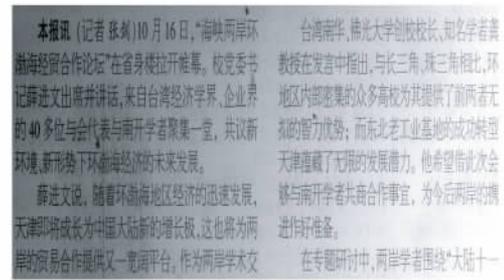
本文提出的基于视觉注意特性的动态阈值算法既考虑了人眼的注意特性, 也考虑到了图像分割的空间尺度问题. 为了验证本文算法的分割效果, 对不均匀照明的灰度图像做了阈值分割实验, 并同 Otsu 算法和二维 Otsu 阈值方法进行比较, 发现了本文方法的明显优势.

图 3a 是原始的不均匀光照扫描得到的图像. 从图 3a 中明显可以看出图像的左侧偏黑, 并且左侧中部有一块污染区, 右侧偏亮, 左右灰度值差别很大. 图 3b 是单独使用 Otsu 算法得到的分割结果; 图 3c 是使用二维 Otsu 方法得到的分割结果; 图 3d 是使用本文方法所得到的图像的分割结果. 由图 3 可以看出: 使用 Otsu 算法对于这种非均匀光照图像进行分割, 不能准确地把目标分割出来, 其原因是未考虑不同图像区域的目标和背景的灰度差异, 进而产生目标和背景的错误分割; 二维 Otsu 方法结果与一维算法相比有一定的改进, 但仍然存在着将大量背景误分割成目标, 使得背景和背景误分很严重, 同时图像中伴随大量的噪音出现, 例如在图像左侧部位明显出现大块的黑色区域; 本文提出的基于视觉注意机制的多尺度的动态阈值方法对非均匀光照图像给出了很准确的分割结果, 符合人眼视觉分割效果, 很好地消除了不均匀照明的影响.

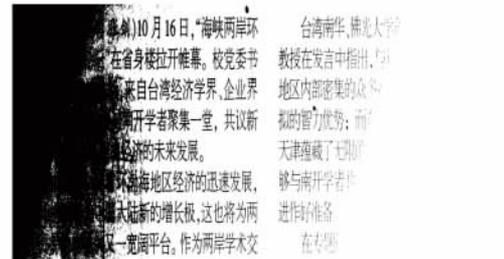
图 4a 由细线、虚线、文字和大面积灰度均匀区域构成, 在不均匀光照下, 不恰当的阈值算法很容易导致细线曲线断裂和虚线丢失. 图 4b 是本文算法的分割结果. 从图 4 可以看出: 本文算法可以很好地滤除背景噪声, 且分割后的图像保留了图像信息, 细线没有断, 虚线细节很清晰.

4 结论

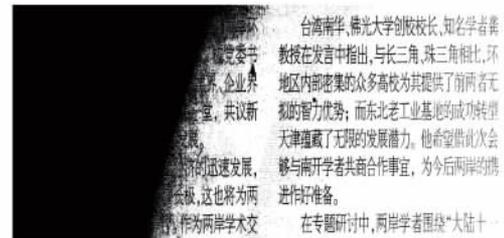
本文提出一种新的基于视觉注意特性和多尺度



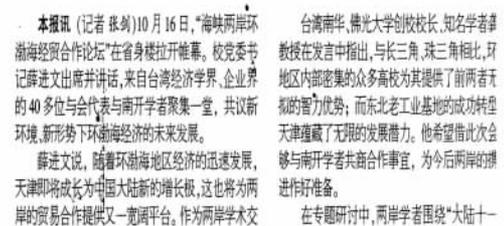
a. 原始图像



b. Otsu方法结果



c. 二维Otsu算法



d. 本文算法结果

图 3 3 种算法的分割效果

Fig. 3 Segmentation results of three methods

的动态自适应阈值分割方法. 该方法主要利用视觉注意特性实现对不同灰度图像区域分类, 对于具有明显的背景和背景共存特点的区域利用 Otsu 算法实现图像分割, 对于灰度均匀区域利用多尺度动态自适应阈值算法分割. 首先搜索出距离该区域最近的能够区分出背景和目标的区域, 然后根据每个图像区域的特点自适应地计算出当前区域内较明确的背景和背景像素值, 根据计算值与均匀区域像素值的距离关系实现灰度均匀区域的模糊分割. 实验结果表明了该方法的有效性.

本算法中有些地方还需要进一步研究, 比如分类图像块大小的自适应选取, 根据图像的连接特性

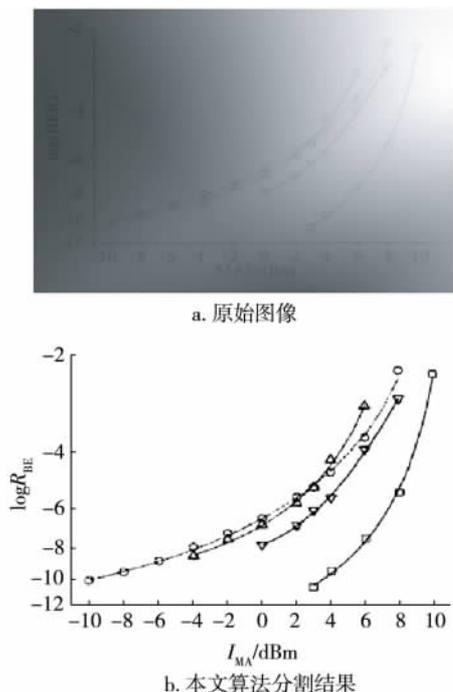


图4 混合图像分割结果

Fig. 4 Segmentation results of hybrid image

对分割后的图像进行后期处理等.

参考文献

References

- [1] Kim I K ,Jung D W ,Park R H. Document image binarization based on topographic analysis using a water flow model [J]. Pattern Recognition 2002 35(1) : 265-277
- [2] 姚畅, 陈后金. 一种新的视网膜网络自动分隔方法

- [J]. 光电子激光 2009 20(2) : 274-278
- YAO Chang ,CHEN Houjin. A novel automated segmentation method for retinal blood vessel network [J]. Journal of Optoelectronics Laser 2009 20(2) : 274-278
- [3] Reddi S S ,Rudin S F ,Keshavan H R. An optimal multiple threshold scheme for image segmentation [J]. IEEE Transactions on Systems ,Man and Cybernetics ,1984 ,14 (4) : 661-665
- [4] 李建美, 路长厚, 李学勇. 一种基于图像分层的标牌压印字符分隔方法 [J]. 光电子激光, 2008 ,19(6) : 818-822
- LI Jianmei ,LU Changhou ,LI Xueyong. A novel segmentation method for characters pressed on label based on layered images [J]. Journal of Optoelectronics Laser , 2008 ,19(6) : 818-822
- [5] Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms [J]. IEEE Transactions on Systems ,Man and Cybernetics ,1978 9(1) : 62-66
- [6] Ng H F. Automatic thresholding for defect detection [J]. Pattern Recognition Letters 2006 27 (14) : 1644-1649
- [7] 刘健庄, 栗文清. 灰度图像的二维 Otsu 自动阈值分割法 [J]. 自动化学报, 1993 ,19(1) : 101-105
- LIU Jianzhuang ,LI Wenqing. The automatic thresholding of gray level picture via two-dimensional Otsu method [J]. Acta Automatica Sinica ,1993 ,19(1) : 101-105
- [8] 潘喆, 吴一全. 二维 Otsu 图像分割的人工鱼群算法 [J]. 光学学报 2009 29(8) : 2115-2121
- PAN Zhe ,WU Yiquan. The two-dimensional Otsu thresholding based on fish-swarm algorithm [J]. Acta Optica Sinica 2009 29(8) : 2115-2121
- [9] Itti L ,Koch C ,Niebur E et al. A model of saliency-based visual attention for rapid scene analysis [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence , 1998 20 (11) : 1254-1259.
- [10] Itti L ,Koch C. Computational modeling of visual attention [J]. Nature Reviews Neuroscience 2001 2 (3) : 194-203

Dynamic threshold segmentation based on visual attention

ZHAO Lilong¹ ZHAN Yu¹

¹ School of Physics and Optoelectronic Engineering ,Nanjing University of Information Science & Technology ,Nanjing 210044

Abstract A dynamic self-adaptive threshold segmentation algorithm based on human visual attention theory and maximum between-class variance method is proposed. First of all ,the pending image is divided into lots of equal-sized square blocks ,then the feature value of every block is calculated respectively according to multi-scale visual attention. Secondly ,all the image blocks are divided into two types by classification algorithm based on feature value of visual attention. Finally ,blocks with different types are binarized by maximum variance algorithm and multi-scale adaptive threshold algorithm respectively. The experimental results show that: compared with the one dimension maximum variance and two dimension maximum variance segmentation methods ,this new proposed method can eliminate the disturbance of the uneven lighting and background noises ,thus achieve superior segmented results for uneven lighting and poor quality document image binarization. These experimental results testify the validity and practical value of the proposed method.

Key words image segmentation; visual attention; adaptive threshold