

多分辨率二维直方图阈值分割方法

何书前^{1,2}, 吴丽华¹, 王建新¹, 吴淑雷¹

HE Shu-qian^{1,2}, WU Li-hua¹, WANG Jian-xin¹, WU Shu-lei¹

1.海南师范大学 信息科学技术学院, 海口 571158

2.中山大学 信息科学与技术学院, 广州 510275

1.School of Information Science and Technology, Hainan Normal University, Haikou 571158, China

2.School of Information Science and Technology, Sun Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

E-mail: heshuqian05@126.com

HE Shu-qian, WU Li-hua, WANG Jian-xin, et al. Threshold segmentation method with 2-D histogram based on multi-resolution analysis. Computer Engineering and Applications, 2009, 45(35): 182-184.

Abstract: This paper proposes an auto-adaptive threshold method of two-dimensional(2-D) histogram based on Multi-Resolution Analysis(MRA), decreasing the calculation complexity of 2-D histogram whereas improving the searching precision of multi-resolution threshold method. Such method originates from the extraordinary segmentation effects achieved by 2-D histogram threshold segmentation method through the spatial correlation of gray level and the flexibility as well as efficiency of the threshold searching of multi-resolution threshold segmentation method. Experiments results demonstrate that such method can obtain segmentation results similar with the exhaustive 2-D histogram method, whereas the calculation complexity decreases exponentially with the increase of resolution level.

Key words: histogram; multi-resolution; threshold; image segmentation

摘要: 鉴于二维直方图阈值分割方法利用灰度的空间相关性取得高的分割效果和多分辨率阈值分割方法具有阈值搜索灵活高效的特点, 提出了一种基于多分辨率的二维直方图自适应阈值分割的结合方案, 降低了二维直方图计算复杂度, 提高了多分辨率阈值方法的搜索精度。实验结果表明, 该方法取得的分割结果与二维直方图方法基本一致, 计算复杂度随分辨率的级数成指数下降。

关键词: 直方图; 多分辨率; 阈值; 图像分割

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.35.055 **文章编号:** 1002-8331(2009)35-0182-03 **文献标识码:** A **中图分类号:** TN911.73

1 前言

在计算机视觉和图像分析应用中, 图像分割起到了非常重要的作用。在进行图像处理之前往往需要把目标从图像中分离出来, 而基于图像特征分布的阈值分割方法具有简单高效适于实时应用得到了广泛的使用。

近年来, 各种各样的阈值技术得到了长远的发展, 提出了大量的阈值选取方法, 如基于最大类间方差法(Otsu)^[1-2]、基于最大熵法^[3-4]、基于模糊集和多分辨率^[5]等多种阈值选取方法。这些方法都是依赖于给定图像的灰度直方图的分布信息来选取阈值。其中, 对于目标突出的图像, 一维直方图^[6]由于计算量少, 可获得接受的分割效果而得到广泛的应用; 但一维直方图不能反映图像的局部信息, 在受到噪声影响下容易出现过分割和欠分割现象。因此, 为了提高分割的精度, A.S.Abutaleb 等人把一维直方图扩展到二维^[6], 除了采用像素的灰度级分布信息, 还利用了体现空间局部信息的邻域平均灰度信息, 从而同时保

留了图像全局和局部信息, 提高了分割效果; 但是, 直方图信息扩展到二维之后, 处理数据量急剧增长, 最优阈值的搜索存在像素点的重复计算, 整个计算量成指数增加, 难以用于实时应用。

为了解决现有方法存在的问题, 把图像阈值分割问题描述为一个求解误差最优化问题, 现有的一些快速搜索算法, 主要存在两个主要问题: (1) 最优化函数存在多个局部次优解, 不容易达到全局最优值; (2) 最优阈值搜索算法所涉及的计算量非常大, 不适合实时应用。用多分辨率的方法可以解决这些问题, Byung-Gyu Kim 等人提出的基于小波变化的多分辨率方法, 可以有效地降低最优阈值搜索的数据量, 且搜索算法可以通用, 如一、二维的最大熵和 Otsu 法^[5,7]。但是, 该方法没有直接利用相邻分辨率级之间的空间相关性, 在低分辨率图像中得到最佳阈值之后, 直接扩展到高分辨率图像, 容易嵌入局部最优阈值, 造成图像错误分割。在该方法的基础上, 结合二维直方图最大熵

基金项目: 海南省自然科学基金(the Natural Science Foundation of Hainan Province of China under Grant No.807063, No.807062); 海南省教育厅高等学校科学研究项目(No.Hj2009-99)。

作者简介: 何书前(1978-), 男, 博士生, 讲师, 主要研究方向: 计算机网络, 图像处理; 吴丽华(1963-), 女, 教授, 主要研究方向: 网络信息处理; 王建新(1955-), 男, 高级实验师, 主要研究方向: 图像处理; 吴淑雷(1974-), 女, 副教授, 主要研究方向: 多媒体处理, 计算机网络。

收稿日期: 2009-07-21 **修回日期:** 2009-08-20

阈值, 提出了一种逐级误差补偿的方法, 利用分辨率级间的空间相关性, 进一步提高最优阈值的选取效率, 同时降低了二维直方图方法的计算复杂度, 在最优阈值搜索精度和计算复杂度之间取得了很好的折中。

2 多分辨率图像分割

2.1 多分辨率图像分解

多分辨率方法常用于降低图像数据的维数, 以减少不必要的图像处理。其中, 小波变换是处理图像分析估计、压缩、去噪等方面非常有效的工具, 利用小波的多尺度分解, 对称、正交等特性, 可以用于边缘检测和图像的多分辨率分解。因此, 在分析分割图像的特征分布和小波多分辨率的基础上, 薛伟、Byung-Gyu Kim 和 A.S.Abutaleb 等在他们的文章中提出一种新的基于小波多尺度分辨率基础上的自适应阈值分割方法^[5,8-9]。在预知图像灰度特征函数的前提下, 利用小波变换把图像数据分解为多分辨率的子带图像, 其中, 每分解一级, 可以获得更低的分辨率; 利用各种阈值方法从低分辨率图像数据中得到最优的分割阈值, 以保持原始图像的轮廓不变形, 逐级合并最终获得原始分辨率图像的最优阈值。

在这一节中, 介绍灰度图像的空间多分辨率分解。首先引入一些数学概念, 假设输入灰度图像的分辨率级图像表示为 $f_m(x, y)$, m 指空间分辨率级数, 当 $m=0$ 时代表原始最高分辨率图像。原始图像经过低通滤波器 $F_L(\cdot)$ 得到一个低分辨率图像:

$$f_m(x, y) = F_L(f_{m-1}(x, y)), m=0, 1, \dots, n-1 \quad (1)$$

因此, 在每一分辨率级, 通过频率分解, $f_m(x, y)$ 可分解为两个部分: $f_{m+1}(x, y) = F_L(f_m(x, y))$ 和 $h_m(x, y) = F_H(f_m(x, y))$ 。同理, 如果预知 $f_{m+1}(x, y)$ 和 $h_m(x, y)$, 通过合成函数 $S(\dots)$, 可以重构更高分辨率图像 $f_m(x, y)$, 即

$$f_m(x, y) = S(f_{m+1}(x, y), h_m(x, y)) = h_m(x, y) \oplus f_{m+1}(x, y) \quad (2)$$

在低通和高通滤波器的多分辨率分解中, 每个信号可以看成是每一级独立的各种分辨率的信号。一个复杂的信号可以分成多个简单的子带信号, 每个子带互不重叠。

从信号空间的角度, 多分辨率的每级图像信号可以表示为:

$$F_L(f_m(x, y)) \cap F_H(f_m(x, y)) = \{0\}, m \in Z \quad (3)$$

$$F_L(f_{m+1}(x, y)) \oplus F_H(f_{m+1}(x, y)) = f_m(x, y) \quad (4)$$

其中, 对于第 m 级分解, f_{m+1} 是 f_m 的分解低频信号空间, 在 $m+1$ 级中还有 h_m 高频信号空间, 这两个信号空间可以组合成 f_m 信号。以此类推, 任意的分解级数和空间分解可以表示为: $\{f_n, h_{n-1}, \dots, h_1, h_0\}$ 。

2.2 快速图像分割算法

小波变换把原始图像数据分解为不同分辨率不同尺度的信号, 分解后的低分辨率信号保留了整体的原始特征, C.W. Yang 和 Byung-Gyu Kim 等人提出了一种逐级利用特征分布来选择最优阈值的方法^[3,5], 其步骤如下: (1) 小波分解得到 m 级的多分辨率图像, 分别含有低频的整体图像轮廓 $F_L(f_{m-1}(x, y))$ 和细节的图像信息 $h_{m-1}(x, y)$ 。(2) 在 $F_L(f_{m-1}(x, y))$ 中, 采用通用的阈值方法, 如最大熵、Ostu 等^[1-4], 得到该低分辨率级下的最优阈值 T_i^m , ($i=1, 2, \dots, L$)。(3) 从低分辨率图像往高分辨率图像扩展, 确定原始图像最优阈值; 利用 T_i^m 直接扩展得到原图像阈值:

$$T_i = \tilde{T}_i = T_i^m \times 2^m, \quad i=0, 1, 2, \dots, L \quad (5)$$

在多分辨率的分解过程中, 相邻级之间存在很大的空间相

关性, 该算法利用直接扩展和原始图像的动态分布来取得最优阈值, 没有很好地利用级间相关性, 对于目标轮廓丰富的图像会造成阈值偏离, 达不到应有的分割效果。如图 1 所示。

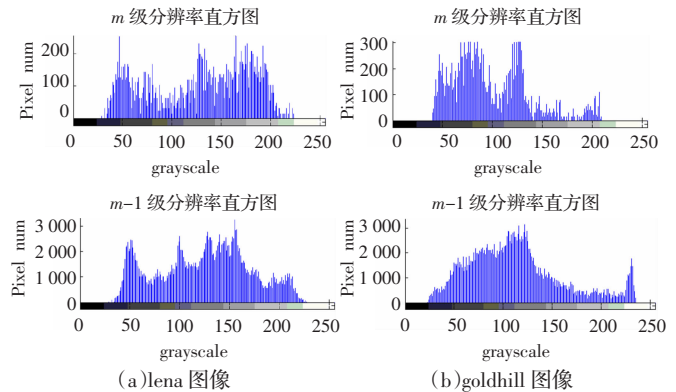


图 1 原始图像多级分辨率直方图

该图是利用一维直方图的逐级阈值扩展的例子, 其中一维直方图阈值分割的主要思想是在直方图满足双峰分布的假设前提下, 才能准确地分离出目标和背景; 对于不满足这种假设前提的图像, m 级分辨率图像一维直方图与 $m-i$ 级的一维直方图没有峰值对应关系, 因此, 采用 $T_i = T_i^m \times 2^m$ 直接扩展, 搜索阈值会嵌入局部最优值, 从而出现错误分割现象。

3 改进的多分辨率图像分割算法

为了解决现有方法存在的问题, 利用相邻级分辨率之间存在的相关性, 采用逐级精细的分辨率小范围内求解最优化问题可以获得全局最优解。首先通过小波分解得到粗分辨率级, 进行穷尽搜索, 以确定在保留粗信息的情况下的最优解的准确性; 得到粗略的目标阈值的解之后, 在下一级较细分辨率图像的阈值搜索中用上一级最优阈值点作为这一级搜索的初始点, 而该级分辨率的最优阈值限制在一个小邻域范围内, 同实际最细分辨率的大范围内直接搜索相比, 搜索的总数可以急剧下降, 从而达到提高搜索精度的同时, 可以降低搜索计算复杂度。

首先, 在具体阈值搜索算法方面, 既要考虑像素本身的概率分布, 又要融合相邻像素之间的相关性, 二维直方图阈值法是一种有效的工具。设 $M \times N$ 图像灰度级为 $0, 1, \dots, L$, 定义像素点 (x, y) 的邻域平均灰度级为 $g(x, y)$ 为:

$$g(x, y) = \frac{1}{2n \times 2m} \sum_{i=-n}^n \sum_{j=-m}^m f(x+i, y+j) \quad (6)$$

其中 m 和 n 为邻域尺寸大小; 同时, 定义 $r(i, j)$ 满足 $f(x, y) = i$ 和 $g(x, y) = j$ 的像素点个数, 则同时满足的概率为:

$$p_{ij} = \frac{r(i, j)}{\sum_{i=0}^L \sum_{j=0}^L r(i, j)} \quad (7)$$

由 p_{ij} 或 $r(i, j)$ 可生成像素灰度-邻域灰度均值的二维直方图。

如图 2 所示, 二维直方图被划分为 A, B, C, D 四个区域, 沿对角线分布, A 区和 B 区分别代表目标和背景, C 区和 D 区代表边界和噪声(可忽略不计)。这里采用最大熵阈值作为判决准则, 即在 A 区和 B 区二维最大熵法确定最佳阈值, 使得代表两个区的信量最大: $\text{Arg}(\max(H)), H = H(A) + H(B)$, 其中:

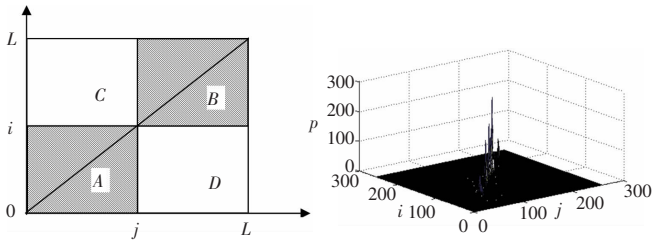


图2 二维直方图区域划分

$$\begin{cases} H(A) = -\sum_{i,j} p_{ij}^A \lg p_{ij}^A \\ H(B) = -\sum_{i,j} p_{ij}^B \lg p_{ij}^B \end{cases} \quad (8)$$

p_{ij}^A, p_{ij}^B 分别为目标 A 和背景 B 像素的概率分布。

其次, 解决多分辨率之间相关性的最优化求解问题。设 $T_m(x, y)$ 为 m 级分辨率获得的最优阈值点。通过逐级重构得到 $m-1$ 级分辨率图像, 设 $\tilde{T}_{m-1}(x, y) = F_H(T_m(x, y))$ 为初始搜索点, 接着确定更新偏移误差: $q_{m-1}(x, y)$, 其判别条件最大熵值为: $H_m = H_m(A) + H_m(B), m \in (0, 1, \dots, n-1)$ 。

$$H_{m-1}(\tilde{T}_{m-1}(x, y) + q_{m-1}(x, y)) > H_{m-1}(T_m(x, y)) \quad (9)$$

因为: $T_{m-1}(x, y) = q_{m-1}(x, y) + \tilde{T}_{m-1}(x, y)$, 代入公式(9)得:

$$H_{m-1}(T_{m-1}(x, y)) > H_{m-1}(T_m(x, y)) \quad (10)$$

以此类推, 在相继的精细化完成之后, 在最精细的分辨率上找到的最优阈值为:

$$\begin{aligned} T(x, y) = & q_0(x, y) + H(q_1(x, y)) + H(q_2(x, y)) + \dots + \\ & H(q_{m-1}(x, y) + T_m(x, y)) \end{aligned} \quad (11)$$

在较粗分辨率下, 最优问题的求解比细分辨率下更容易确定。因为相邻分辨率级之间存在非常高的空间相关性, 所以较粗级分辨率得到的解接近细分辨率的最优解。也就是说, 可以在下一级分辨率图像的误差范围 $q_{m-1}(x, y)$ 内求得全局最优解, 其搜索范围缩小为 $(2q_{m-1}(x, y) \times 2q_{m-1}(x, y))$, $q_{m-1}(x, y)$ 一般为在 2 个像素值, 大大降低了计算复杂度。

4 实施算法与实验结果分析

采用提出的多分辨率二维直方图最大熵的阈值新方法, 对不同类型的灰度图像进行了实验分析; 和该文提到的多分辨率直方图直接扩展阈值方法(MRA)与二维直方图最大熵阈值穷举搜索方法进行比较, 发现改进算法在最优阈值选取的准确性和计算复杂度方面有很好的提升。3 幅各种类型的图像用于各种算法的实验对比, 邻域灰度均值窗口是 3×3 , 小波分解采用 3 级分解。

图 3 列出了 3 种算法得到的实验结果, 分别给出了原始图像、二值分割图像和阈值数据对比。MRA 采用了低分辨率图像阈值的直接扩展, 忽略了空间相关性和级间相关性, 搜索到的阈值和二维直方图最大熵穷举搜索得到的最优阈值相差比较大, 因此得到的全分辨率分割图像效果最差。该文算法得到的最优阈值点与穷举搜索阈值点基本一致, 因此, 得到的分割图像效果主观上没有差别。另外, 计算复杂度方面有比较明显的改善, 设二维直方图最大熵搜索每计算一个点的计算量为 Q , 则穷举搜索计算量为: $256 \times 256Q$, 计算量非常大; 通过多分辨率分解, 最低级分辨率图像的搜索计算量为: $\frac{256 \times 256}{2^m}Q$, 再加上各级

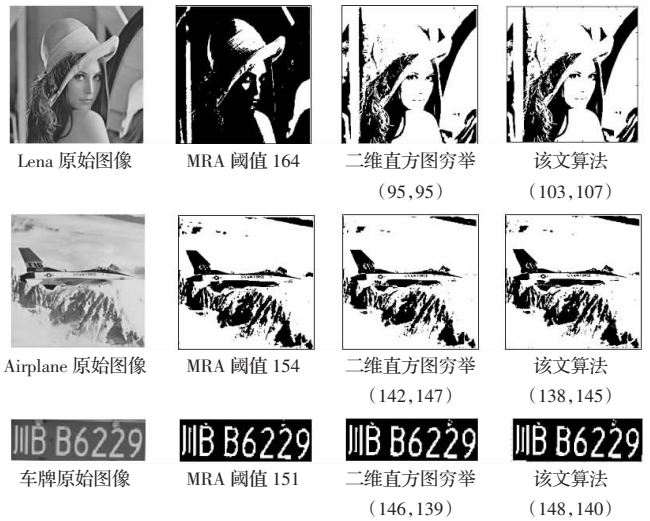


图3 三种阈值方法的分割结果

的小范围搜索: $4q_i^2Q$, 因此, 得到的总计算量为: $\frac{256 \times 256}{2^m}Q +$

$\sum_i 4q_i^2Q$, 随着 m 的增加成指数下降。

5 结论

充分利用多分辨率级之间的空间相关性和二维直方图最大熵阈值的有效性, 提出了多分辨率逐级误差补偿的二维直方图阈值搜索方法, 避免了阈值搜索嵌入局部最优值, 实验结果证明了该方法取得了非常好的分割效果, 能够准确地保留区域目标内部均匀信息和突出边缘形状。在取得高的分割效果的同时, 降低了二维直方图搜索的计算复杂度。

参考文献:

- [1] Otsu N.A threshold selection method from gray-level histograms[J]. IEEE Transactions on System Man and Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [2] 薛伟, 关福宏. 基于一种新的小波阈值函数的雷达信号去噪[J]. 计算机仿真, 2008, 25(8): 319-322.
- [3] Yang C W, Chung P C, Chang C I.A hierarchical fast two-dimensional entropic thresholding algorithm using a histogram pyramid[J]. Optical Engineering, 1996, 35(11): 3227-3241.
- [4] 范九伦, 赵凤. 灰度图像的二维 Otsu 曲线阈值分割法[J]. 电子学报, 2007, 35(4): 751-755.
- [5] Kim B G, Shim J I, Park D J.Fast image segmentation based on multi-resolution analysis and wavelets[J]. Pattern Recognition, 2003, 25(16): 2995-3006.
- [6] 江柳, 沈未名. 基于多尺度空间分析的图像阈值分割方法[J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2002, 27(6): 582-585.
- [7] 吴一全, 潘喆, 吴文怡. 二维直方图区域斜分阈值分割及快速递推算法[J]. 通信学报, 2008, 29(4): 77-83.
- [8] Abutaleb A S. Automatic thresholding of gray-level pictures using two-dimensional entropy[J]. Computer Graph Vis Image Process, 1989, 47: 22-32.
- [9] Silverman J, Rotman S, Cafer C E. Segmentation of multi-dimensional infrared imagery from histograms[J]. Infrared Physics & Technology, 2004, 45(3): 191-200.