

基于多尺度空间分析的图像阈值分割方法

江 柳¹ 沈未名¹ 种衍文¹ 段汉文¹

(1 武汉大学多媒体网络通信工程湖北省重点实验室, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要: 在通过一阶差分确定阈值的基础上, 依据多尺度滤波思想, 提出一种基于多尺度空间分析的阈值分割方法对图像进行分割。将该方法与其他分割方法进行了比较, 证明了本文算法的有效性。

关键词: 图像分割; 阈值; 灰度直方图; 多尺度空间

中图法分类号: TP751

图像分割在医学图像、模式识别、图像压缩等领域占据重要的地位。众多学者及科研人员在图像分割方面也进行了大量的研究^[1]。王浩军等人采用多尺度滤波的一阶差分零交叉点作为分割阈值, 但是此算法对图像的分割精度有待改善^[2]。本文在文献[2]的基础上提出了多尺度下二阶差分零交叉点位置跟踪的阈值分割方法, 实现更精确的目标分割。首先从图像(RGB 格式)中获取亮度信息, 然后对亮度信息的直方图进行多尺度滤波, 得到多尺度空间图。根据其反映出的直方图多尺度滤波的特性, 确定滤波尺度的范围, 从而提高算法的效率。然后以从粗到细的尺度逼近原始直方图, 得到不同尺度下拐点的位置, 根据最高尺度下确定的拐点数目及其与灰度值的对应关系, 得到大尺度下拐点的精确位置, 将其作为最终的分割阈值, 对原始图像进行多阈值分割, 并对分割出来的目标进行后处理。

1 多尺度空间的图像直方图分析

1.1 直方图分析

直方图是反映一幅图像中灰度级与出现这种灰度的概率之间关系的图形。设 r 代表图像中像素灰度级, 概率密度函数 $P_r(r)$ 表示原始图像的灰度分布, 或表示成灰度级 r 与出现此灰度的像素个数的函数:

$$P_r(r) = n_r/n \quad (1)$$

$$h(r) = n_r \quad (2)$$

式中, n_r 表示像素值为 r 的像素出现的个数; n 表示整幅图像中像素的个数。这样可以对一幅图像在坐标系中作一个密度分布曲线。本文中直方图的表示采用第二种方式。分别作出一幅彩色图像(RGB 格式) R (红)、 G (绿)、 B (蓝)的一维灰度直方图(图 1(a))。 y 轴表示像素值为 r 的像素出现的个数($\times 10^4$)即 n_r 。从图 1(a)中可以看出三色通道的灰度分布在亮区(230~250)相似, 但是在暗区的分布不同, 导致 R 通道的图像较暗, B 通道图像整体较亮。在 R 和 B 通道图像中出现灰度相差不大的目标混为一体的现象, 导致了分割效果的下降。因为人眼对亮度的敏感度较色度高, 为了使分割后的物体在主观上取得较好效果, 可根据亮度与 RGB 的线性关系^[3], 从 R 、 G 、 B 中提取彩色图像的亮度信息, 然后对亮度信息的直方图 y 轴单位($\times 10^4$) (如图 1(b))进行分析。图 1(b)综合了 R 、 G 、 B 通道直方图的特征, 像素灰度分布平均。图 1(c)是原始图像的亮度图像。

1.2 多尺度空间及多尺度滤波

直方图的多尺度空间是由尺度空间核与原始直方图做卷积后得到的, 这样在完成对直方图尺度变换的同时, 也完成了直方图的平滑滤波过程。高斯滤波器是惟一随着尺度的变化不会产生新的零交叉点的线性滤波器^[4], 而且在保持原信号的主要结构上有良好的表现, 同时高斯函数满足所谓的尺度定理, 因此在多尺度滤波中被广泛使用。

对连续的一维信号, 其连续尺度空间表征的表达式参见文献[2]。

在离散空间中推广, 对于一维的离散信号

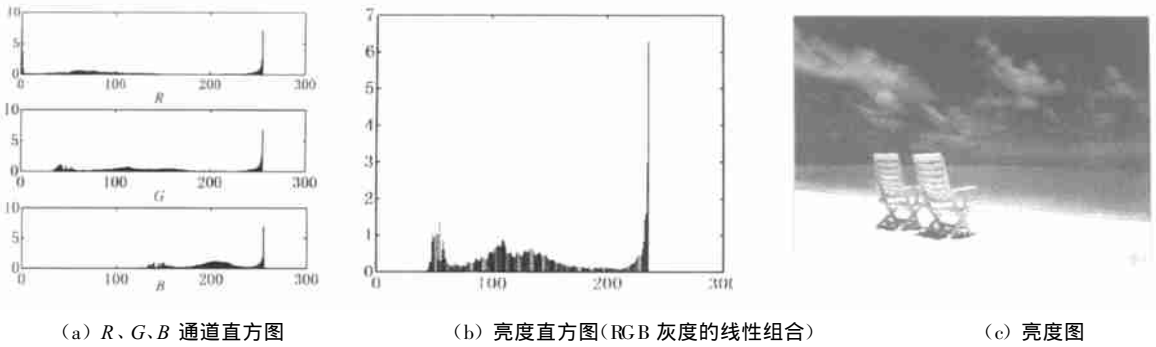


图 1 直方图分析

Fig. 1 Analysis of Histogram

$h(n)$, 满足 $h: \mathbf{Z} \rightarrow \mathbf{Z}$ 平方和性质, 其离散多尺度空间表征为:

$$G(n, \sigma) = h(n) * g(x, \sigma) = \sum_{-\infty}^{+\infty} h(r) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp\left[-\frac{(n-r)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (3)$$

$(n \in \mathbf{Z}, \sigma > 0)$

式中, $g(r, \sigma)$ 是高斯函数的尺度空间核; 方差 σ 为尺度变量; $h(n)$ 为灰度分布函数; n 为灰度级. $G(n, \sigma)$ 为直方图在离散空间中与不同尺度的高斯函数作卷积的结果, 此过程称为多尺度滤波. 选取不同的尺度变量 σ , 对直方图进行多尺度滤波(从效率和分割性能折中的角度出发, 高斯滤波可选择 1 000 个随机点与原始直方图作卷积)得到的结果如图 2 所示. 其中 x 轴代表灰度 n , y 轴代表卷积结果 ($\times 10^4$). 从图 2 可以看到, 随着

尺度变量 σ 的增加, 曲线 $G(n, \sigma)$ 越来越平滑, $h(n)$ 中的小波峰逐渐消失(图 2(c)、图 2(d)所示). 根据式(3)得到如图 3 所示的尺度空间. 它描述了在不同尺度下的直方图的特性, 其中 x 轴代表灰度级; y 轴代表尺度 σ ; z 轴代表 $G(n, \sigma)$ ($\times 10^4$); 平行于灰度 n 轴的横截面就是直方图在相应尺度下的滤波.

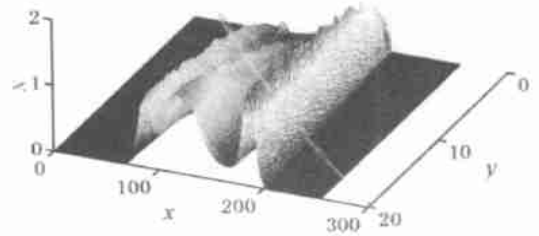


图 3 多尺度空间图

Fig. 3 Multi-scale Space Figure

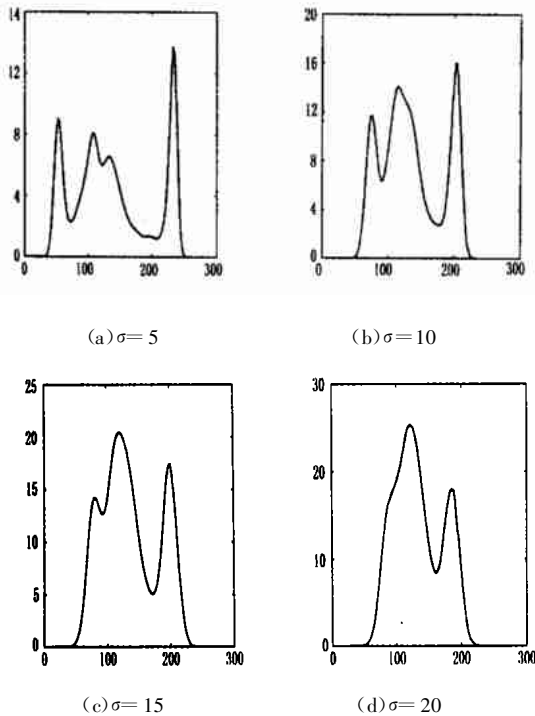


图 2 直方图的多尺度滤波

Fig. 2 Multi-scale Filtering to Histogram

1.3 二阶差分图的零交叉点的分析

对于任意一个固定尺度, $\frac{\partial F}{\partial x}$ 的零交叉点通常代表平滑信号的局部极值(波峰、波谷); $\frac{\partial^2 F}{\partial x^2}$ 的零交叉点则代表像素灰度值变化最强烈的位置. 多尺度滤波的二阶导数 F_{xx} 的表达式如下:

$$F_{xx}(x, \sigma) = \frac{\partial^2}{\partial x^2}[F(x, \sigma)] = f * \frac{\partial^2 g}{\partial x^2} \quad (4)$$

将上式在离散空间中推广, 表达式如下:

$$G_{nn}(n, \sigma) = \text{diff}_m[G(n, \sigma)] = h(n) * \text{diff}_m g(n, \sigma) \quad (5)$$

式中, diff_{nn} 表示对 n 求二阶差分. G_{nn} 表示多尺度滤波 G 关于 n 的二阶差分, 计算 G_{nn} 的零交叉点时, 关于 n 的三阶差分 G_{nnn} 的符号反映该点的不同特性:

- ① $G_{nnn} < 0$ 时, 该点对应的位置为一个峰的上升沿拐点;
- ② $G_{nnn} > 0$ 时, 该点对应的位置为一个峰的

下降沿拐点。

对直方图进行多尺度滤波后, 计算其二阶差分, 以获得零交叉点。图 4 是通过计算图 2 的二阶差分得到的。其中, x 轴代表灰度级; y 轴代表二阶差分结果($\times 10^4$)。从图 4(a)可以看出: $\sigma=1$ 时, $G_m(n, \sigma)$ 二阶差分的零交叉点数目非常多, 这是由于在小尺度下图像细节保持得较好, 随着尺度 σ 的逐渐增大, 图像被较大程度地平滑, 甚至造成较小波峰的消失(如图 2(c)、图 2(d)), 这意味着图像中阈值变化强烈的部分越来越少, 从而导致零交叉点数目的减少。

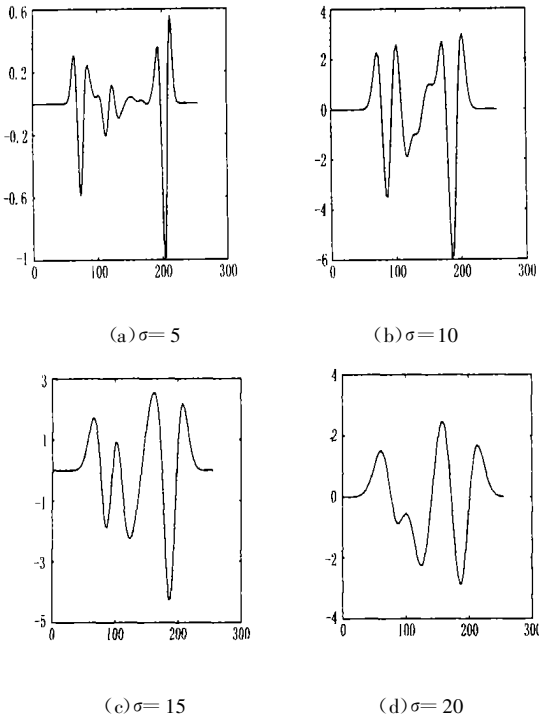


图 4 不同尺度下的二阶差分图

Fig. 4 Second Difference of Filtered Histogram at Different Scales

2 基于多尺度空间分析的阈值分割方法的实现

根据上述思想及多尺度空间的直方图分析, 将多阈值分割算法归纳为如图 5 所示的流程图。算法具体实现过程如下。

1) 作出原始直方图的多尺度空间图, 通过其反映出的曲面特性, 确定多尺度滤波的尺度范围, 避免尺度无限制地递减(增)而出现无意义的阈值, 同时提高了算法的精确度和效率。对于直方图较平滑的情况, 可通过观察多尺度空间图, 选择一个直方图的主要波峰保持较好的尺度, 将其尺

度作为结束尺度。试验得到的尺度 $\sigma=5$ 和 $\sigma=20$ 在实际应用中可作为初始尺度和结束尺度, 步长选用整数值递增。

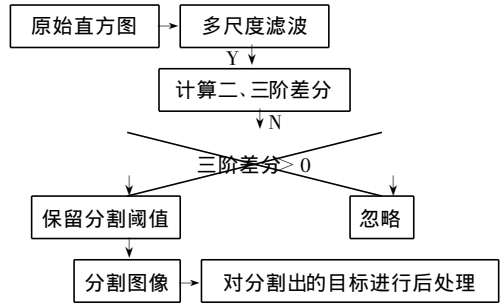


图 5 算法流程图

Fig. 5 Flow Chart of Proposed Algorithm

2) 在已确定的尺度范围内, 以由粗到细的尺度逼近原始直方图, 计算每个尺度下直方图(卷积后)的二阶差分, 由此得到对应于每个尺度下的零交叉点的集合:

$$gray_{\sigma} = \{g_i, i = 1, 2, \dots, j\}$$

j 取决于尺度的大小。为了从零交叉点中分离出下降沿拐点, 可以加一个判断条件: $G_{nmm} > 0$, 保留相应尺度下满足判断条件的零交叉点。根据各尺度下拐点特征值与灰度值的对应性, 在初始拐点集合 $gray_5$ 中找到最高尺度下确定的拐点在初始尺度平滑图像的精确位置, 将这些位置作为分割阈值, 对图像进行分割。

为了克服直方图阈值方法只考虑灰度特性, 而不考虑各像素间空间信息的固有缺点, 可对分割出的目标实施基于邻域灰度特性的松弛方法^[9]。首先对每一个分离出来的目标取其具有一定邻域中具有最大概率的灰度值, 并以该值代替原值, 从而消除阈值分割造成的目标中的小空洞。

3 试验结果

选取不同的尺度对原始图像进行云朵分割, 得到的结果如图 6 所示。大尺度下($\sigma=20$)对云朵和天空进行分离, 亮区为分割出的目标, 分离的效果不够理想(如图 6(a)所示, 目标中混入了远处的天空); 随着尺度的减小, 邻近灰度的物体逐渐被分离出来(图 6(c)), 基本上将云朵从远处的天空中分离出来。采用文献[2]的方法分割出的目标混入了少许相邻灰度的背景(如图 6(a)所示), 而造成分割不精确。采用本文提出的方法可以在一定程度上提高分割精度。不同尺度下的分割阈值如表 1 所示。

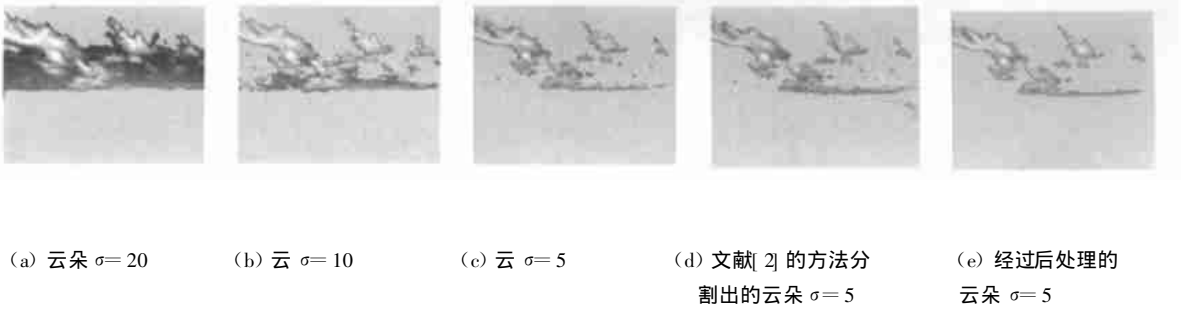


图 6 不同尺度下的图像分割

Fig. 6 Contrast of Segmented Objects at Different Scales

表 1 不同尺度下云朵的分割阈值

Tab. 1 Cloud Segmentation Thresholds Obtained by Multi-scale Filtering to Original Histogram

尺度	阈值	
$\sigma=5$	127.19	175.58
$\sigma=10$	108.53	176.96
$\sigma=20$	105.07	172.12

参 考 文 献

1 Weszka J. A Survey of Threshold Selection Techniques. *Computer Graphics and Image Processing*, 1978, 7(12): 259~265

2 王浩军, 郑崇勋. 基于自适应多尺度的血液细胞图像阈值分割方法研究. *西安交通大学学报*, 2001, 35(4): 390~393

3 Tekalp A M. *Digital Video Processing*. 崔之祜, 江 春, 陈丽鑫译. 北京: 电子工业出版社, 1998

4 Carlotto M. J. Histogram Analysis Using a Scalespace Approach. *IEEE Trans. PAMI*, 1987

5 Ranefall P, Egevad L, Nordin B. A New Method for Segmentation of Color Images Applied to Immunohistochemically Stained Cell Muciei. *Analytical Cellular Pathology*, 1997, 4(15): 145~156

作者简介: 江柳, 硕士生. 主要研究方向为数字视频处理.
E-mail: t. i. n@elong. com

Image Threshold Segmentation Based on Multi-scale Space Analysis

JIANG Liu¹ SHEN Weiming¹ Chong Yanwen¹ DUAN Hanwen¹

(1 The Key Laboratory of Multimedia and Network Communication Engineering, Hubei Province, Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan, China 430079)

Abstract: This paper proposes a method for image threshold segmentation using multi-scale space analysis. Multi-scale space is obtained through multi-scale filtering to original histogram of luminance. On the analysis of multi-scale space, the range of filtering scales is determined so as to avoid scales continually increasing/ decreasing and improve the efficiency of algorithm. Then the original histogram is filtered by coarse-fine scale in the determined range of scales. Locations of significant inflexions at different scales can be obtained as thresholds by computing the second difference of the filtered histogram. According to the number of inflexions at the largest scale and inflexions corresponding to graylevels, the fine locations of inflexions at the largest scale are obtained as thresholds. The result shows that the proposed algorithm is effective by contrast with other image segmentation algorithms.

Key words: image segmentation; threshold; histogram; multi-scale space