

一种自适应多阈值直方图均衡方法

何 昕, 李晓华, 周激流

(四川大学计算机学院, 成都 610065)

摘 要: 传统的直方图均衡方法不能很好地增强图像的局部细节。针对该问题, 在多通道分块直方图均衡方法的基础上, 提出一种自适应多阈值直方图均衡方法, 根据图像的具体内容自适应地确定通道的数目及分割阈值。实验结果证明, 该方法能增强图像的整体和局部细节, 有效降噪, 耗时较少。

关键词: 多阈值; 对比度增强; 直方图均衡; 图像增强

Adaptive Multi-thresholds Histogram Equalization Method

HE Xin, LI Xiao-hua, ZHOU Ji-liu

(College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

[Abstract] The traditional histogram equalization method can not enhance the local details of the image. Aiming at this problem, this paper proposes an adaptive multi-thresholds histogram equalization method on the basis of multilevel component-based histogram equalization method. It makes an adaptive selection of channels and thresholds based on the analysis of input image. Experimental results demonstrates that the proposed method not only enhances both global and local details better, but also reduces the processing time and noise.

[Key words] multi-thresholds; contrast enhancement; histogram equalization; image enhancement

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.17.069

1 概述

直方图均衡是图像增强中的经典方法之一, 其思想为: 高质量的图像具有更均匀的灰度分布, 据此修改图像的直方图, 可以获得一个具有丰富灰度级别且动态范围大的增强图像。传统的直方图均衡是全局增强法, 图像中局部细节常常得不到增强, 对于那些在直方图中表现为低百分比的局部小细节, 在均衡过程中往往被其邻域灰度值级别融合, 反而导致了图像对比度的降低。

鉴于以上不足, 研究者提出了很多基于直方图均衡的改进方法以增强局部细节, 如定义一个特定邻域分别进行局部直方图均衡化、对直方图均衡函数进行加权处理和对图像进行灰度修正等方法。在局部均衡化中, 又有很多不同的方法, 如文献[1]提出基于局部均值和标准差增强图像细节的算法, 增强低对比度低灰度的区域而保持其他区域不变; 文献[2]提出基于子图直方图均衡的方法 BPBHE, 将原始图像分成 2 个子图分别进行直方图均衡, 在一定程度上保护了平均亮度; 文献[3]提出基于二元相等区域子图均衡化方法 DSIHE, 使用图像灰度中值来分割原始图像, 减小了图像处理后的质量损害。但是这 2 种方法都没有实现对图像局部信息的增强。文献[4]提出多通道分块直方图均衡化图像增强法, 采用多灰度级分割、子图均衡和连通域分析的技术实现了图像整体和局部的对比度增强。该方法简单高效且能够有效减少图像质量的损害, 与其他方法相比具有更好的增强效果。但是该方法在多灰度级分割的级别数目及阈值选取上未考虑待增强图像的实际特点, 对任何图像都采用相同的级别数及均匀阈值选取方法。实际上不同的图像具有不同的灰度分布, 这种统一的方法常常会造成分割出的多通道与图像中实际对象不相符, 这种不合理的分割不仅会消耗大量处理时间, 而且会影响最终的增强效果。

为此, 本文提出一种自适应多阈值直方图均衡图像增强方法, 通过分析输入图像的灰度直方图来自适应确定多灰度级分割的通道数目及其对应阈值。

2 多通道分块直方图均衡化图像增强方法

多通道分块直方图均衡化图像增强方法 MCBHE^[4]将多灰度级分割、子图均衡和连通域分析的技术综合入直方图均衡化中, 均衡之后生成的图像整体和局部的对比度均有提高。对于一幅大小为 $M \times N$ 像素的输入图像, 该方法步骤如下:

(1) 使用输入图像的平均亮度 u_0 将原图分解成 2 个子图: 背景矩阵 I_b , 前景矩阵 I_f :

$$I_b(m, n) = \{I(m, n) | I(m, n) < u_0, \forall I(m, n) \in I\} \quad (1)$$
$$I_f(m, n) = \{I(m, n) | I(m, n) \geq u_0, \forall I(m, n) \in I\}$$

后续步骤对前景和背景子图进行同样的灰度级别分割, 连通域分析, 基于连通域分析的子图均衡。

(2) 灰度级别分割: 利用一系列分割阈值将子图(背景或前景)分割为多级别通道, 按下式定义分割的阈值增量:

$$S_x = \left\lfloor \frac{(\max(I_x) - \min(I_x))}{(N_x + 1)} \right\rfloor \quad (2)$$

其中, N_b 、 N_f 是用户定义的参数分别来指明子图 b 、子图 f 的阈值数目(分割通道数-1); x 表示子图, 从而得到分割阈值序列:

$$T_x = \min(I_x) + iS_x, \quad i = 1, 2, \dots, N_x \quad (3)$$

(3) 在每一个阈值分割下, 使用 8 邻域连通算法^[5]来标记所有的连通域 C_{xi} :

作者简介: 何 昕(1988—), 男, 本科生, 主研方向: 图像处理, 模式识别; 李晓华, 副教授、博士; 周激流, 教授、博士、博士生导师

收稿日期: 2011-03-24 **E-mail:** hex1988@foxmail.com

$$C_{xi} = C_{xLi} \cup C_{xGi} \quad (4)$$

其中, C_{xLi} 是低于当前阈值的像素点的连通区域; C_{xGi} 是高于当前阈值的像素点的连通区域。

对于每一个连通区域, 应用直方图均衡化算法, r_k 为输入像素级, S_k 为输出像素级, 公式如下所示:

$$S_k = L_{\min} + (L_{\max} - L_{\min}) CDF_{x(G/L)_{ij}}(r_k) \quad (5)$$

其中, L_{\min} 和 L_{\max} 是由被处理子图所决定的, 即将像素值 r_k 延伸到它所属的连通域 C_{xLi} 或 C_{xGi} 的范围之内。

(4)将不同阈值下增强后的图像各点像素的灰度值累加起来, 并且求其平均值, 实现局部对比度增强的目标。

$$I_o(m, n) = I_o(m, n) + \bar{C}_{xi}(m, n), \forall (m, n) \in C_{xi} \quad (6)$$

$$I_o(m, n) = I_o(m, n) / N_x, \forall (m, n) \in I_x(m, n) \quad (7)$$

(5)为了进一步增强整体的细节, 使用全局的直方图均衡化与上述多通道均衡的结果进行协同, 协同因子为 a , 由此得到了最终的增强结果:

$$I_o(m, n) = aI_o(m, n) + (1-a)I_{HE}(m, n) \quad (8)$$

该方法确实能够在一定程度上增强输入图像的整体和局部对比度, 但是对不同的输入图像必须人为选择阈值的数目 N_b 、 N_f , 然而选择 N_b 、 N_f 并不是一件简单的事情, 往往需要较多的经验和实验。一般来说, 较小的 N_b 、 N_f 会需要较少的处理时间, 但增强效果可能不够理想, 反之亦然。笔者对该方法进行仿真实验发现, 对于不同的图像, 需要的 N_b 、 N_f 值是完全不同的, 有些图像在较小的 N_b 、 N_f 下即可达到理想的增强效果, 较大的 N_b 、 N_f 不但不能提高增强效果, 而且会增加耗时。而有些图像就需要较大的 N_b 、 N_f 才可达到较好的效果。另外, 式(2)的均匀阈值增量 S_x 也无法与实际待处理图像的内容相对应, 常常会将图像中的一个对象分割到 2 个相邻通道中, 甚至会造成较多零碎连通域的产生, 在均衡之后成为噪声, 影响生成图像质量。

3 自适应多阈值直方图均衡方法

针对文献[4]的不足, 本文提出一种自适应多阈值直方图均衡方法, 通过分析图像的灰度直方图, 根据其谷点个数自适应地确定分割通道数及分割阈值, 代替式(2)的人工确定分割通道数及均匀阈值选取方式。

寻找谷点的基本原理是: 作为谷点, 最明显的特征是该灰度值处像素频数应为局部最小。而在实际应用中, 由于直方图是由离散像素级别与概率密度构成的, 直方图会出现毛躁等干扰, 因而本文选用了基于直方图指数平滑的阈值和峰值自动检测方法^[6]来选取谷点。

对于一幅图像, P_j 表示灰度值为 j 的像素出现的频数, 谷点自动检测算法如下:

(1)一次指数平滑的递推公式为:

$$E'_j = aP_j + (1-a)E'_{j-1} \quad (9)$$

确定初始值 E'_0 的最简便且常用的方法是令 $E'_0 = P_0$, a 为平滑系数设为 $1/3$ 。

(2)二次指数平滑后直方图频数为 E''_j (即处理后的 P_j) 序列, 递推公式为:

$$E''_j = aE'_j + (1-a)E''_{j-1} \quad (10)$$

同理, $E''_0 = P_0$, a 为平滑系数设为 $1/3$ 。

(3)对经过平滑后的 P_i 序列进行局部最小值的选择, 即与其相邻的局部邻域 P_s 做比较, S 为以 P_i 为中心的 6 元素邻域, 根据函数 $g(i)$ 选取谷点, 是谷点的值为 1, 否则为 0, $g(i)$ 为:

$$g(i) = \begin{cases} 1 & P_i < P_{s\min} \text{ or } P_i = P_{s\min}, P_i < P_{s\min s} \\ 0 & P_i > P_{s\min} \end{cases} \quad (11)$$

其中, $P_{s\min}$ 为最小值; $P_{s\min s}$ 为次小值。

(4)处理之后, 在 $g(i)$ 序列中不为 1 的元素所对应的位置就是谷点。检测到谷点后, 谷点的总个数就是阈值数目, 谷点所对应的灰度值就是分割阈值。

笔者在实验中还发现分割过程中不可避免地会产生一些零碎的小连通域(像素数目小于 9), 如果对这些小连通域依然采取式(5)进行直方图均衡处理, 将会导致小连通域内像素点灰度值突变, 在最终的增强图像中表现为明显的噪声。本文对分割中出现的小连通域采用修正均值滤波进行处理, 具体为: 对该连通域的每一像素点, 用它的 8 邻域中非本连通域的、已均衡化处理的像素点的均值来代替。

4 实验与分析

实验在 Microsoft Visual C++ 6.0 平台下进行。以大小为 256×256 像素的 2 幅灰度图像(Einstein 图、Couple 图)作为实验对象, 从增强效果、处理时间、噪声产生 3 个方面将本文方法与 MCBHE 方法进行了对比。

在实验中, MCBHE 方法取与原文一致的 $N_x=4$, 本文方法的分割阈值序列为自适应选取(Einstein 图: 67、132、183; Couple 图: 10、25、46、82)。2 种方法的全局均衡协同因子 a 均为 0.5。实验结果如图 1、图 2 所示。



图 1 Einstein 图的处理结果



图 2 Couple 图的处理结果

可以发现, 本文方法可有效增强输入图像的整体和局部对比度, 而且增强后的噪声也有显著减少, 为量化图像细节增强程度, 计算图像的离散信息熵, 结果如表 1 所示。2 种方法的处理时间如表 2 所示。

表 1 图像的离散信息熵值

图像	原始图像	MCBHE 方法	本文方法
Couple	4.43	4.97	4.99
Einstein	4.77	5.13	5.16

表 2 2 种方法的处理时间

图像	MCBHE 方法	本文方法	ms
Couple	3 026	2 079	
Einstein	2 329	1 281	

可以看出, 本文方法较 MCBHE 方法处理后图像的熵值更大, 表明本方法对于图像的对比度增强效果有所改善; 在耗时上, 本文方法也有明显的改善。

5 结束语

本文提出了一种自适应多阈值直方图均衡方法, 通过(下转第 210 页)