

基于极大灰度频数抑制结合动态直方图均衡的图像增强算法

胡正平 刘博 王成儒

(燕山大学信息科学与工程学院 秦皇岛 066004)

摘要: 现有的直方图均衡技术存在两方面不足: 虽然使得增强图像有高的对比度, 但是其对比度的提升程度严重依赖于灰度频数分布, 这样常常导致容易过度增强高频数灰度级, 而压缩低频数灰度级; 另外, 增强对象缺乏目的性, 难以满足感兴趣灰度区域的特殊要求。针对这个问题, 该文提出基于极大灰度频数抑制结合动态直方图均衡的图像增强算法。首先通过分析图像直方图的灰度分布情况来分割图像, 并根据用户感兴趣灰度范围确定各子层图像的灰度映射范围及频数控制阈值; 然后利用各自阈值重新定义子层直方图, 并采用直方图均衡算法构造灰度转换函数, 将子层灰度映射到指定范围内; 最后综合各个子层的增强结果得到最后的增强图像。实验结果表明, 该算法既能抑制过度增强的情况, 又能对于用户感兴趣的灰度进行控制, 能更好地满足用户对图像对比度增强可控的应用要求。

关键词: 图像增强; 极大灰度频数抑制; 直方图均衡; 动态直方图均衡

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2009)06-1327-05

Image Enhancement Algorithm Combines Maximum Gray Frequency Restrict with Dynamic Histogram Equalization

Hu Zheng-ping Liu Bo Wang Cheng-ru

(College of Information Science and Engineering, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China)

Abstract: General histogram equalization technology have two drawbacks, it makes the enhanced image have a higher contrast while improvement of contrast depends on heavily the distribution of gray frequency. So it often leads to enhance high frequency gray level excessively while compresses low frequency gray level. In addition, the enhance process lacks purpose, so it is difficult to meet the special requirements such as to enhance the specified interesting gray level. In order to solve this problem, image enhancement algorithm combines maximum gray frequency restrict with dynamic histogram equalization is proposed in this paper. Firstly, according to analyzing the image histogram and the interested in gray range, the gray range of each sub-level mapping and the frequency control threshold are selected. Then histograms of sub-level after restricting the maximum gray frequency are redefined, by adopting histogram equalization algorithm to construct gray transfer function, mapping sub-level gray to the appointed range. Finally the enhancement result of sub-level is composed. The experimental results demonstrate that this image enhancement algorithm not only could change the situation of the excessive enhancement, but also could control the interest gray level range, and it solves the application requirement that the image contrast enhancement could be controlled.

Key words: Image enhancement; Maximum gray frequency restrict; Histogram equalization; Dynamic histogram equalization

1 引言

图像增强是图像处理的一个重要分支, 图像增强的目的是通过采用一系列技术改善图像的视觉效果, 或者将图像转换成一种更适合于人或机器进行分析处理的形式。基于映射的直方图均衡化处理由于其有效性和简单易用性是图像增强的常用方法^[1], 其基本思想是根据输入图像的灰度概率分

布构造映射函数来确定对应的输出图像灰度值, 通过映射变换扩展了图像灰度的动态范围, 达到了提升图像对比度的目的。由于图像本身的复杂性以及人类视觉评价本身的模糊性, 对于给定图像内容如何建立合适的映射函数以达到较好的增强效果一直是众多研究者多年关注的问题, 合适的映射函数决定了最终的增强效果, 因此映射函数的研究是直方图增强技术的关键和核心。

目前, 随着应用范围的扩大, 图像增强技术的研究出现了一些新的要求: 文献[2,3]提出了部分特性保持的增强处理思路, 例如亮度保持; 文献[4-6]提出了基于内容特征的增强

2008-05-24 收到, 2008-10-13 改回

河北省自然科学基金(F2008000891)和燕山大学博士基金(B287)资助课题

技术,例如方向特征、低对比度小目标特征、结合视觉注意模型的增强算法。同时,一些学者将模糊映射理论引入到图像增强算法中,提出了包括模糊松弛^[7]、模糊熵^[8]、模糊类相似度^[9]增强算法,来解决增强算法中映射函数选择问题,并且随着交互式图像增强技术的应用,可以主观控制图像增强效果。同时,利用直方图均衡技术的图像增强也有许多新的进展:文献[1,2]提出了多层次直方图结合亮度保持的均衡算法,文献[10,11]提出了基于加权门限直方图的自适应直方图均衡算法,文献[12,13]提出了动态分层直方图均衡算法。这些算法通过分割图像,然后在子层图像内做均衡处理,较好地解决了直方图均衡过程中的对比度过拉伸问题,并且可以控制子层灰度映射范围,增强效果较好。但对于含有较多高频数和低频数灰度级的子层,均衡效果不够理想,并且增强对象缺乏目的性,难以满足感兴趣灰度区域的特殊要求。充分借鉴目前国内外直方图均衡新的思路,解决过度增强高频数灰度级,而压缩低频数灰度级以及增强对象缺乏目的性的问题是本文工作的出发点。基本思路是:利用极大灰度频数抑制策略解决均衡过程中过度增强高频数灰度级,而压缩低频数灰度级的问题;利用灰度分层的动态直方图均衡思路来解决增强对象缺乏目的性的问题。

2 直方图均衡原理

直方图均衡增强算法利用图像灰度分布信息,对给定的数字图像进行对比度拉伸或者压缩处理。其处理步骤首先计算原图像的灰度级直方图;然后求得原图像各灰度级的累积概率分布函数,并由此构造灰度转换函数;最后根据灰度转换函数将原图像所有像素灰度值映射到输出图像。

对于灰度级范围为 $[0, L-1]$ 的图像,直方图均衡化灰度映射定义为

$$s_k = C(r_k) = \sum_{i=0}^k P(r_i) = \sum_{i=0}^k \frac{n_i}{n} \quad (1)$$

其中 $0 \leq s_k \leq 1$, $k = 0, 1, 2, \dots, L-1$ 。 n_i 是灰度级为 r_i 的像素个数, n 为图像中像素点的总和, $P(r_i)$ 为灰度级的概率密度函数, $C(r_k)$ 为累积概率密度函数。最终映射所得的灰度值为

$$S_k = s_k(L-1) \quad (2)$$

其中 S_k 的范围是 $[0, L-1]$ 。

因为全局直方图信息的使用限制了图像中某些局部区域的对比度拉伸力度,使某些细节与背景之间的对比度难以得到有效增强,甚至出现退化。因此,一些研究者提出了局部自适应直方图处理算法,本文的工作本质也是针对分层图像的局部直方图灰度调整映射增强算法。

3 极大灰度频数抑制结合动态直方图均衡的图像增强算法

动态直方图均衡增强算法的提出,在一定程度上克服了增强过程缺乏目的性的不足,但是不能解决过度增强高频灰

度,压缩低频数灰度级的问题。为此引入极大灰度频数抑制策略,通过两者的结合来解决增强过程中缺乏目的性和过度增强高频灰度,压缩低频数灰度级的问题。

3.1 直方图动态分割与映射范围设定

为使图像增强过程更具目的性,并且能够在一定程度上克服直方图均衡过程中高频数灰度对低频数灰度的支配现象。首先通过分析图像直方图,利用直方图局部最小值对应的灰度级将原图分割成几个子层图像,这样低频数灰度像素点数量在子层图像中所占比例相对于整幅图像所占比例有所增加,从而避免过度增强高频数灰度级,压缩低频数灰度级的问题,然后根据子层区域对增强效果的特殊要求,为每一个子层图像分配灰度映射动态范围,原理示意图如图1所示。

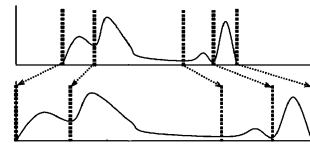


图1 基于局部最小值的分割与灰度映射范围分布示意图

将图像分割为子层图像后,为各子层图像分配灰度映射范围时应考虑子层图像直方图均衡的特殊要求,注意各子层的灰度累计频数的影响。因此,当利用直方图局部最小值将图像分割为 n 个子层图像后,其中的第 i 个子层的灰度映射范围定义为

$$\text{span}_i = m_i - m_{i-1} \quad (3)$$

$$\text{factor}_i = \text{span}_i (\log CF_i)^x \quad (4)$$

$$\text{range}_i = \frac{\text{factor}_i}{\sum_{k=1}^n \text{factor}_k} \cdot 255 \quad (5)$$

其中 span_i 为原直方图第 i 个子层图像的灰度范围, m_i 为原直方图的第 i 个局部最小值, CF_i 为第 i 个子层直方图灰度频数总和, range_i 第 i 个子层经动态均衡后的灰度映射范围, x 为子层图像灰度映射范围控制参数。 x 的值可以根据对增强效果的要求调整,通常在 $[0, 5]$ 范围内取值即可对大多数图像有较好的增强效果。

3.2 基于极大灰度频数抑制的直方图重调整

为更好解决直方图均衡过程中高频数灰度对低频数灰度的支配现象,本节为每一个子层直方图设定一个灰度频数控制阈值,并利用这个阈值重新定义各子层直方图。具体过程为:当子层直方图中灰度级 k 的频数 $P(k)$ 大于阈值 T 时,使频数等于 T ,否则频数不变化。对于第 i 个子层,将子层直方图重新定义:

$$P_T(k) = \begin{cases} P(k), & P(k) \leq T \\ T, & P(k) > T \end{cases} \quad (6)$$

其中 k 代表第 i 个子层图像的灰度级, $m_{i-1} < k \leq m_i$, $P_T(k)$

为新定义的子层直方图。

阈值 T 的选取非常重要, 合适的阈值能够产生好的增强效果, 并且不同类型的图像对 T 值的要求也不一样。将其应用在分层图像中时, 当 T 大于子层图像灰度级最大频数时, $P_T(k) = P(k)$, 灰度频数变化均衡就变为对子层图像的直接均衡, 增强效果与动态均衡一致。当 T 小于子层直方图灰度级最小频数时, 等于将子层灰度线性映射到指定灰度范围内, 不具备直方图均衡后图像对比度较大的优点, 效果不佳。因此, 子层图像的频数阈值选取要既能够使增强后的子层图像有较高的对比度且不压缩灰度信息, 又能够体现直方图均衡增强算法的优点, 使图像达到有较好的视觉效果。对于灰度级频数最大值和最小值相差不是很大的子层图像, 将阈值取为子层图像直方图各灰度级频数的中值, 此值的要求精度不是很高, 可适当大于或小于频数中值。对含有频数很高和很低灰度级的子图像, 即最大灰度频数与最小灰度频数差很大的子图像, 频数控制阈值应较小, 这样在使用新直方图构造灰度转换函数时可以减少对低频数灰度级的压缩。

3.3 子层直方图均衡增强

直方图均衡技术使增强图像有高的对比度和多变的灰度色调, 给人以良好的视觉效果。为了充分吸取这些优点, 利用重新定义的新子层直方图, 结合直方图均衡算法, 构造转换函数, 将各子层灰度映射到指定范围内。

在均衡过程中, 设第 1 个子层的灰度映射范围起始值为 0, 最后一个子层的灰度映射范围终止值为 255, 则对第 i 个子层的动态均衡定义为

$$p_i(k) = \frac{n_i(k)}{n_i}, \quad k = m_{i-1} + 1, m_{i-1} + 2, \dots, m_i \quad (7)$$

$$C_i(k) = \sum_{j=m_{i-1}+1}^k p_i(j) \quad (8)$$

$$\left. \begin{aligned} Y_i(k) &= \text{range}_i C_i(k), & i &= 1 \\ Y_i(k) &= \sum_{j=1}^{i-1} \text{range}_j + \text{range}_i C_i(k), & i &\geq 2 \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

其中 $n_i(k)$ 是图像中灰度级 k 的像素个数, n 为第 i 个子层图像的灰度像素点总和, $p_i(k)$ 为子层图像各灰度级的概率函数, $C_i(k)$ 为子层图像累积概率函数, $Y_i(k)$ 为原子层图中的灰度值 k 的映射灰度值。

3.4 实现步骤

基于极大灰度频数抑制的动态直方图均衡图像增强算法的具体步骤如下。

(1) 分析图像直方图, 确定对应于直方图灰度频数的极小值的灰度值点, 将图像分为若干个子层图像。由于该算法在对子层图像均衡时有灰度频数阈值的作用, 可使极小值点的选取较灵活, 只要在频数极小值点的灰度值附近即可。同时可将灰度频数局部最小值对应灰度级较接近, 而且相邻区间中无较大灰度频数出现的区间合并, 以扩大子层图像灰度范围, 便于提高对比度。有时为实现更好的增强效果, 可以根

据图像类型适当扩大第 1 个子层和最后一个子层的灰度范围, 即式(3)中的 m_0 可以小于原图像的灰度最小值, m_n 可以大于原图像的灰度最大值。

(2) 根据图像类型和分层情况, 式(3)–式(5)为各子层图像选择合适的动态均衡增强灰度映射范围, 同时分析子层图像直方图, 设置各子层直方图灰度级频数控制阈值。

(3) 通过阈值建立新的子层直方图, 根据这个直方图利用式(7)–式(9)为子层图像构造灰度转换函数, 将原子图灰度映射到指定范围内, 使增强图像有较好的视觉效果。

4 仿真实验

为了验证本文算法在图像增强中效果, 选择了两幅多层次图像进行仿真实验对比。为达到较好的增强效果, 通过分析图 2 的原始图像和图像直方图, 将灰度频数局部最小值对应灰度级较接近, 而且相邻区间中无较大灰度频数出现的区间合并, 因此图像可分为 3 个层次, 选定 3 个子层图像的灰度分界点为: $m_0 = 30$, $m_1 = 100$, $m_2 = 175$, $m_3 = 220$, 并且令(3)式中的 $x = 3$ 。通过这些值可计算出各子层图像增强后的灰度映射范围, 然后分析各子层图像直方图, 由于第 1 个子层中含有频数较高和较低的灰度级, 为防止均衡过程中灰度信息压缩, 频数阈值应小于频数中值, 选择为 $T_1 = 100$, 第 2 和第 3 个子层各级灰度频数相差不是很大, 选择为 $T_2 = 40$, $T_3 = 10$ 。图 3 为图 2 的直方图均衡输出图像, 图中块效应非常明显, 而且图中船体过亮, 视觉效果较差。图 4 为按照设定的子层范围动态均衡的输出图像和图像直方图, 与图 3 相比视觉效果有所改观, 但图中仍存在块效应, 且部分区域对比度不够, 视觉效果不是很好。图 5 为本文算法的增强结果, 增强后的图像不仅比原图对比度高, 而且清晰, 与图 3 和图 4 相比, 不存在明显的块效应, 图像也更自然, 给人的视觉效果较好。通过观察 4 幅图像的直方图, 明显看出本文的算法不仅增加了图像对比度, 而且达到控制高频数灰度过度增强的效果。

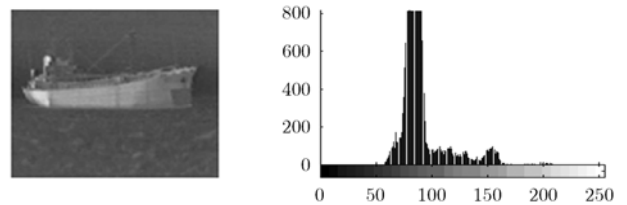


图 2 原始图像和直方图

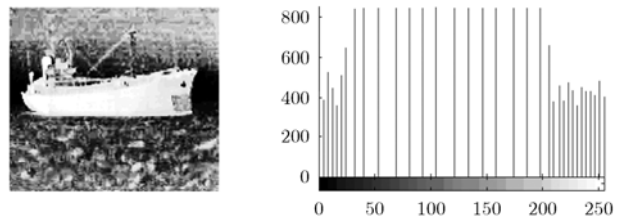


图 3 直方图均衡图像和直方图

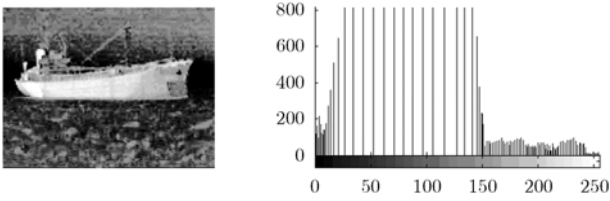


图 4 动态均衡图像和直方图

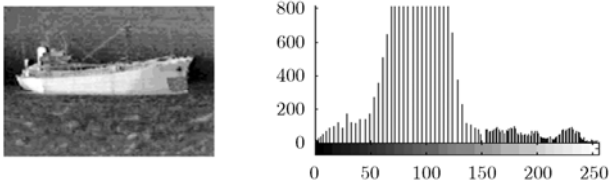


图 5 基于极大频数抑制的动态均衡图像和直方图

通过观察图 6 的原始图像和图像直方图，将图像分为 2 个层次。2 个子层图像的灰度分界点设为： $m_0 = 0$ ， $m_1 = 120$ ， $m_2 = 150$ ，并且令式(3)中的 $x = 3$ 。分析各子层图像直方图，设定第 1 个子层的灰度级频数阈值 $T_1 = 120$ ，第 2 个子层灰度级频数阈值 $T_2 = 15$ 。图 7 为图 5 的直方图均衡输出图像，图中块效应明显，视觉效果不佳。图 8 为按照设定的子层范围不加阈值约束，直接对各子层均衡的输出图像和图像直方图，与图 7 相比，视觉效果相差不多，但从图 7 与图 8 的直方图中可以观察到，图 8 明显比图 7 有更多的灰度级。图 9 为经本文算法处理的结果，增强图像中不再存在很明显的块效应，不仅可以很明显地分辨出原图中的各物件，而且给人的视觉效果明显比图 7 和图 8 要好，并且从 4 幅图的直方图中可以看出，本文的算法较好地拉伸了图像对比度，而且在控制过增强高频数灰度和压缩低频数灰度方面起到较好作用。

通过观察这些对比实验的各图直方图可以发现，直方图

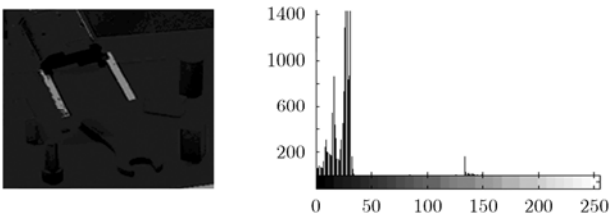


图 6 原始图像和直方图

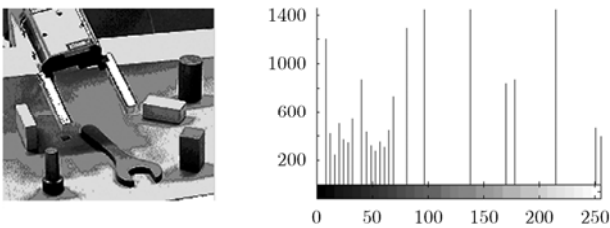


图 7 直方图均衡图像和直方图

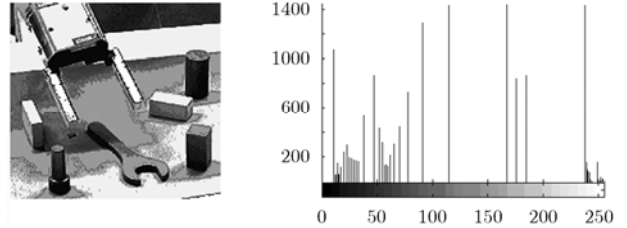


图 8 动态均衡图像和直方图

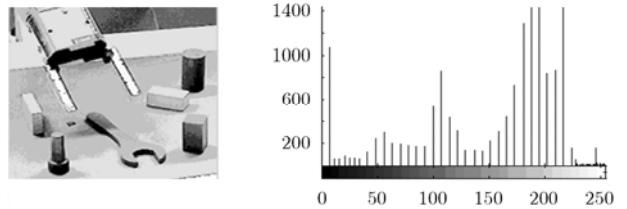


图 9 基于极大频数抑制的动态均衡图像和直方图

均衡算法增强过程缺乏目的性，而且高频数灰度对低频数灰度的支配现象明显，动态分层直方图均衡虽然在一定程度上克服了直方图均衡过程中高频数灰度对低频数灰度的支配现象，但在部分子层内仍会出现过增强高频灰度，压缩低频灰度级数现象。本文算法较好地解决了这些问题，并且具有直方图均衡本身的优点。同时，用户可以根据图像直方图控制图像的分层和各子层的灰度频数控制阈值，实现可控增强。

5 结束语

本文提出了一种基于极大灰度频数抑制结合动态直方图均衡的图像增强算法，该算法通过分析图像直方图，利用局部最小值将图像分割为子层图像后，分别设置各子层图像的灰度频数阈值并重新定义各子层图像直方图，并利用这个直方图构造灰度转换函数，将子层灰度映射到指定范围内。这种方法的优点是可使直方图均衡增强过程更具有目的性，而且可以避免直方图均衡过程中过增强高频数灰度级和压缩低频数灰度级的情况，同时，在处理过程中可以根据图像的情况自己选择参数，控制子层图像灰度映射范围，具有很好的交互性。这里，如何自适应地选取灰度层次分解点与频数控制阈值值得进一步深入研究。

参考文献

[1] Kim J Y, Kim L S, and Hwang S H. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2007, 11(4): 475-484.

[2] 江巨浪, 张佑生, 薛峰, 胡敏. 保持图像亮度的局部方图均衡算法. *电子学报*, 2006, 34(5): 861-866.

Jiang Ju-lang, Zhang You-sheng, Xue Feng, and Hu Min. Local histogram equalization with brightness preservation. *Acta Electronica Sinica*, 2006, 34(5): 861-866.

- [3] Menotti D, Najman L, Facon J, and de Araujo A A. Multi-histogram equalization methods for contrast enhancement and brightness preserving. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 2007, 53(3): 1186-1194.
- [4] Mohammad A U K, Phan Tran Ho T, Rabya B, and Sara J. Vessel enhancement using directional-features. *Information Technology Journal*, 2007, 6(6): 851-857.
- [5] Fronthaler H, Kollreider K, and Bigun J. Local features for enhancement and minutiae extraction in fingerprints. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2008, 17(3): 354-363.
- [6] Gasparini F, Corchs S, and Schettini R. Low-quality image enhancement using visual attention. *Optical Engineering*, 2007, 46(4): 040502.
- [7] Zhou Shang-ming, Gan J Q, Xu Li-da, and John R. Interactive image enhancement by fuzzy relaxation. *International Journal of Automation and Computing*, 2007, 4(3): 229-235.
- [8] 王保平, 刘升虎, 范九伦, 谢维信. 基于模糊熵的自适应图像多层次模糊增强算法. *电子学报*, 2005, 33(4): 730-734.
Wang Bao-ping, Liu Sheng-hu, Fan Jiu-lun, and Xie Wei-xin. An adaptive Multi-level image fuzzy enhancement algorithm based on fuzzy entropy. *Acta Electronica Sinica*, 2005, 33(4): 730-734.
- [9] Cheng Heng-da, Xue Mei, Shi Xiang-jin, and Zhang Ming. Novel contrast enhancement approach based on fuzzy homogeneity. *Optical Engineering*, 2007, 46(4): 047002.
- [10] Wang Qing and Ward R K. Fast image/video contrast enhancement based on weighted thresholded histogram equalization. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 2007, 53(2): 757-764.
- [11] Wang Bing-jian, Liu Shang-qian, Li Qing, and Zhou Hui-xin. A real-time contrast enhancement algorithm for infrared images based on plateau histogram. *Infrared Physics & Technology*, 2006, 48(1): 77-82.
- [12] Jacobs K, Loscos C, and Ward G. Automatic high-dynamic range image generation for dynamic scenes. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 2008, 28(2): 84-93.
- [13] Abdullah-Al-Wadud M, Kabir M H, Dewan M A A, and Chae O. A dynamic histogram equalization for image contrast enhancement. *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, 2007, 53(2): 593-600.
- 胡正平: 男, 1970 年生, 博士, 副教授, 研究方向为图像处理、模式识别。
- 刘 博: 男, 1983 年生, 硕士, 研究方向为基于内容的图像可控增强算法。