

文章编号: 1003-501X(2007)03-0068-04

模拟频域滤波重构直方图均衡的图像增强方法

刘焕雨^{1,2}, 万秋华¹, 熊文卓¹, 楚广生¹, 吴永芝^{1,2}

(1. 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 针对传统图像增强方法的不足, 提出一种基于模拟频域滤波重构直方图均衡的图像增强方法。将频率域滤波的思想引入空间域直方图运算当中, 在模拟频率直方图统计中进行频率信息的统计, 利用这些频率信息建立模拟频率域坐标, 进行模拟频域滤波, 对滤波处理后的直方图进行均衡化处理。实验表明: 与传统方法相比, 该方法优化了灰度级的动态分布范围, 能得到更清晰的增强效果, 且在图像中没有视觉明显的噪声放大。

关键词: 图像增强; 模拟频率直方图统计; 模拟频域滤波; 重构直方图均衡

中图分类号: TN911.73

文献标识码: A

Image enhancing method based on reconstructed histogram equalization after simulated frequency domain filter

LIU Huan-yu^{1,2}, WAN Qiu-hua¹, XIONG Wen-zhuo¹, CHU Guang-sheng¹, WU Yong-zhi^{1,2}

(1. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
the Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: In view of the faults of traditional image enhancing method, a new method based on reconstructed histogram equalization after simulating frequency domain filter is presented. Frequency domain filter algorithm is applied to spatial domain histogram operation. Frequency information is acquired statistically in simulated frequency histogram statistic first, then simulated frequency domain coordinates are constituted with this frequency information, and simulated frequency domain filter is done. Last, histogram filtered is equalized. Experimental results show that, compared with general methods, the new way can optimize dynamic range of the gray level, enhance image more clearly, and amplify noise unobviously in processed image.

Key words: Image enhancement; Simulated frequency histogram statistic; Simulated frequency filter; Reconstructed histogram equalization

引 言

图像增强技术在医学、工业检测、地貌学以及军事等多个领域都有着极其广泛的应用。由于成像系统成像器件的灵敏度、分辨率和噪声特性以及环境照度等因素, 致使图像存在模糊、噪声大等缺点。为改善图像的视觉质量, 通常需要对图像进行对比度增强处理。改善图像的质量应不丢失图像细节, 不引入过大噪声及不引起细节失真。此外, 为提高方法的实用性, 应使增强方法具有较强的自适应能力^[1]。

对比度增强方法可分为基于频率域滤波的方法和基于空间域像素值处理的方法^[2]。频率域滤波的方法首先将图像映射至频率域, 进行滤波处理后再逆映射到空间域, 变换方法如付氏变换、小波变换等。此类

收稿日期: 2006-04-18; 收到修改稿日期: 2006-12-05

作者简介: 刘焕雨(1979-), 男(汉族), 黑龙江佳木斯人, 博士生, 主要研究方向是光电检测及视频图像处理。E-mail: liuhuanyu6986@sohu.com

方法具有很强的频率处理能力,但是计算量很大。空间域方法通常都是先求取图像的灰度直方图,对灰度直方图处理后,求得映射函数,将原图像进行灰度映射。该类方法适用于对灰度级动态范围的控制,计算量较小,其中的直方图均衡方法(HE)^[3]和平台直方图均衡方法(PE)^[4],具有一定的自适应性,但对于灰度直方图的调整能力有限,在一定情况下会损失图像细节或降低图像对比度。

提出一种基于模拟频域滤波重构直方图均衡的图像增强方法。将频率域滤波的思想引入空间域直方图运算当中,在直方图统计中进行频率信息的统计,利用这些频率信息建立模拟频率域坐标,并进行模拟频率滤波,最后对滤波处理后的直方图进行直方图均衡化。从而使得空间域直方图运算具有了一定的频率处理能力,同时增强了传统直方图均衡化灰度级动态范围的控制能力。

1 算法原理及算法流程

传统直方图统计中,只考虑到图像各灰度级的像素数量,与图像的信息无关^[5]。此外,在灰度级调整过程中,并不能对灰度级动态范围进行有效调整^[6]。针对于以上两个问题,将频率滤波的思想应用到直方图统计和调整中。利用模拟频率直方图进行频率信息的统计,通过模拟频率滤波调整灰度级的动态范围。

1.1 模拟频率直方图统计

在灰度级统计中,引入频率因子 $T(i, j)$,使直方图统计时每一个像素点的累加因子变为 $1 \times T(i, j)$,从而使单一的对灰度级像素数量的统计,转化为对灰度级像素所包含频率信息量的统计。模拟频率直方图统计的公式为

$$P_r(r_k) = \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} Q(r_k)(i, j) T(i, j) \quad (k = 0, 1, 2, \dots, L-1) \quad (1)$$

式中 $P_r(r_k)$ 表示图像中灰度级为 r_k 的像素所包含的频率信息量, $Q(r_k)(i, j)$ 为灰度级累加系数,统计过程中当前像素灰度级为 r_k 时为 1 否则为 0, $T(i, j)$ 表示当前像素所对应的频率因子,当 $T(i, j)$ 恒为常数 1 时此公式即为传统的直方图统计, L 为图像中的灰度级总数, M 、 N 分别为图像的行数和列数。

模拟频率直方图统计是依据不同像素点所对应的频率信息调整统计权重,因此,需要找到一个能客观反映像素点频率信息的测算因子。像素点频率信息计算主要分为基于一阶微分的方法和基于二阶微分的方法^[2]。在图像处理中,这两种方法分别通过拉普拉斯变换和梯度变换来实现。梯度变换在灰度变化区域的响应要比拉普拉斯变换更为强烈,而梯度变换对小细节的响应要比拉普拉斯变换弱,考虑到对图像中小细节部分的保护,采用拉普拉斯变换的方式。具体实现中,频率因子 $T(i, j)$ 采用拉普拉斯算子进行计算,计算公式为

$$T(i, j) = |f(i+1, j) + f(i-1, j) + f(i, j+1) + f(i, j-1) - 4f(i, j)| \quad (2)$$

式中 $f(i, j)$ 表示统计过程中当前像素的灰度值, $f(i+1, j)$ 、 $f(i-1, j)$ 、 $f(i, j+1)$ 和 $f(i, j-1)$ 分别表示图像中与此像素行、列相邻的像素灰度值。

1.2 模拟频域滤波器的设置

以模拟频率直方图中统计的各灰度级所包含的频率信息量为横坐标,建立模拟频率域坐标系,如图 1 所示。 P_{\min} 、 P_{\max} 分别为模拟频率直方图中各灰度级所对应的最小频率信息量和最大频率信息量。取 $\Delta = \frac{1}{3}(P_{\max} - P_{\min})$,以 Δ 为间隔,将模拟频率域分为三个频段,即低频、中频和高频段。其中,高频段对应于图像中占有像素较多的细节和景物边缘,中频段对应相对较少像素的细节和景物边缘以及背景和物体内部的非平滑部分,低频段对应于包含很少像素的细节和景物边缘以及背景和物体内部的平滑部分。为了在下一步的处

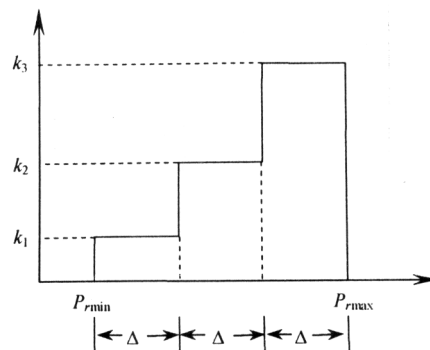


图 1 模拟频率域坐标系中的滤波器设置

Fig.1 Filter setting in simulated frequency domain coordinates

理中,更好地调整模拟频率直方图中灰度级的动态分布范围,在模拟频率域坐标系中,采用分段常值滤波器,按频段调整频率信息量的值。以 $k_1 \sim k_3$ 为滤波器系数,当滤波器系数为图 1 中所示关系时,为高频增益放大滤波器,其作用是在一定程度上突出图像中的主要细节和边缘。模拟频率滤波器的公式如下:

$$\begin{aligned} p_r(r_k) &= K_1, & P_{r\min} \leq p_r(r_k) \leq P_{r\min} + \Delta \\ p_r(r_k) &= K_2, & P_{r\min} + \Delta < p_r(r_k) < P_{r\min} + 2\Delta \\ p_r(r_k) &= K_2, & P_{r\min} + 2\Delta \leq p_r(r_k) \leq P_{r\min} + 3\Delta \end{aligned} \quad (3)$$

在进行滤波器设置时,为防止被增强部分的图像细节过度增强,并考虑到应使非增强部分所对应的灰度级动态范围不至被压缩的过窄,应满足 $k_i/k_j \leq 4$, 其中 $i \neq j$, $i, j \in \{1, 2, 3\}$ 。

1.3 算法流程

1) 模拟频率直方图统计

a) 依公式(2)计算图像所有像素点的频率因子。

b) 依公式(1)将图像中所有灰度级为 r_k 的像素所对应的频率因子进行累加,计算各灰度级所对应的频率信息量。考虑到图像中最外围的一层像素对处理结果的影响很小,为了计算的方便性,不进行这些像素的统计。

2) 依公式(3)进行模拟频率滤波器的设置。由于滤波器因子间呈比例关系,因此,对于非增强频段的滤波器因子置 1,对于增强频段的滤波器因子置 1~4 之间的值。

3) 对滤波处理过的图像中各灰度级所对应的信息量进行归一化,处理公式为

$$P_r(r_k) = P_r(r_k) / \sum_{k=0}^{L-1} P_r(r_k) \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (4)$$

4) 依据归一化处理后各灰度级所对应的信息量,在设定的显示范围内,对模拟频率直方图进行均衡化处理,并按照处理前后灰度级间的映射关系进行图像像素灰度值映射。处理公式为

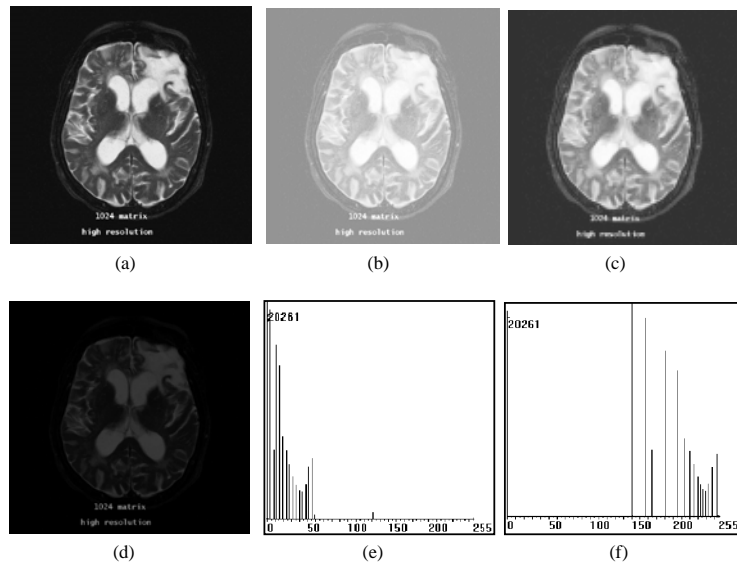
$$s_k = T_l + (T_h - T_l) \sum_{j=0}^k P_r(r_j) \quad k = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (5)$$

式中 s_k 为输出图像像素的灰度级, T_h 为调整后图像的最高灰度值, T_l 为调整后图像的最小灰度值,依据于显示器使用环境光照度对视觉的影响进行调整。

2 实验结果

实验图像为大脑纵向切片照片,分别采用传统的直方图均衡法、带限直方图均衡法和所提出的基于模拟频域滤波重构直方图均衡的方法对其进行处理,对于所提出的算法,参数的设置如下: $k_1=1$, $k_2=2$, $k_3=3$, $T_h=255$, $T_l=0$ 。不同算法增强效果比较的实验结果如图 2 所示。

采用直方图均衡化算法,灰度级集中分布于高灰度值区域,图像呈现一种被冲淡了的效果。原因是其算法中,灰度级的动态分布完全取决于各灰度级在整副图像中的概率,因而缺乏对灰度级动态分布的控制能力。同时,灰度统计中并未考虑到图像细节的因素,致使处



理后图像灰度级兼并明显, 细节信息大量丢失。采用带限直方图均衡化算法, 通过对灰度级概率上限的限定, 对灰度级的动态分布起到一定的调整作用, 但调整能力有限。在局部细节保留和增强方面虽有所改善, 但图像过增强和噪声增加的问题依然存在。

基于模拟频域滤波重构直方图均衡的方法, 由于在模拟频率直方图构成时加强了对细节区域的灰度级统计, 同时在模拟频率域中进行了高频增益放大滤波, 优化了灰度级的动态分布范围, 因而能得到更清晰的增强效果, 且在图像中没有视觉明显的噪声放大。图 2(e)为图 2(g)在灰度值 175~255 范围内的灰度级局部放大图, 由图中可见, 经所提出的方法处理后, 图像中的小概率灰度级得以保留, 细节信息得到了很好的保护, 同时, 小概率灰度级的动态分布范围得到了一定程度的扩展, 从而使图像的细节获得了增强。

3 结 论

所提出的基于模拟频域滤波重构直方图均衡方法, 在计算量较小的情况下, 使得空间域直方图运算有了一定的频率处理能力, 同时具备较强的对灰度级动态范围调整的控制能力, 因而相比于传统的直方图均衡化及带限直方图均衡化方法具有更好的处理效果和更强的自适应能力。由于在频率直方图统计中不可避免地要受到灰度级像素数量的影响, 使得所统计的模拟频率直方图只能是频率信息的一种近似表示, 这限制了对频率信息调整的精确性, 下一步的工作是寻求一种更加精确的频率信息统计方法, 并同时满足计算量较小的要求。

参考文献:

- [1] 冷寒冰, 王 先, 刘上乾. 基于人眼视觉特性的邻域自适应模糊增强算法[J]. 光电工程, 2004, **31**(1): 62-64, 68.
LENG Han-bing, WAN Xian, LIU Shang-qian. A neighborhood adaptive fuzzy enhancement algorithm based on human visual properties[J]. **Opto-Electronic Engineering**, 2004, **31**(1): 62-64, 68.
- [2] K. R. Castleman. **Digital Image Processing**[M]. Canada: Prentice-Hall Inc, 1996.
- [3] J. Y. Kim, L. S. Kim, S. H. Hwang. An advanced contrast enhancement using partially overlapped sub-block histogram equalization[J]. **IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology**, 2001, **11**(4): 475-477.
- [4] M. Virgil, E. Vickers. Plateau equalization algorithm for realtime display of high-equality infrared imagery[J]. **Optical Engineering**, 1996, **35**(7): 1921-1926.
- [5] H. Zhu, H. Y. Chan, F. K. Lam. Image contrast enhancement by constrained local histogram equalization[J]. **Computer Vision and image Understanding**, 1999, **73**(2): 281-290.
- [6] T. L. Ji, M. K. Sundareshan, H. Roehrig. Adaptive image contrast enhancement based on human visual properties[J]. **IEEE Transactions on Medical Imaging**, 1994, **13**(4): 573-586.

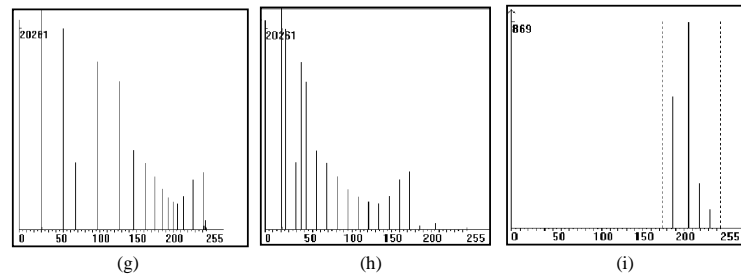


图 2 不同算法增强效果比较的实验结果

(a) 原始图像; (b) HE 方法结果; (c) PE 方法结果; (d) 本文方法结果; (e)

图 2(a)的灰度直方图; (f) 图 2(b)的灰度直方图; (g) 图 2(c)的灰度直方图;

(h) 图 2(d)的灰度直方图; (i) 图 2(h)的局部放大图

Fig.2 Comparison of image enhancement algorithms

(a) Original image; (b) HE algorithm; (c) PE algorithm; (d) Proposed algorithm; (e) Gray

level of Fig.2(a); (f) Gray level of Fig.2(b); (g) Gray level of Fig.2(c); (h) Gray level of

Fig.2(d); (i) Amplificatory part of Fig.2(h)