

基于均值滤波分频的直方图均衡方法*

褚 玉, 李妮妮, 刘军清, 郭 青, 徐光柱
(三峡大学计算机与信息学院, 湖北 宜昌 443002)

摘 要: 提出了一种分频直方图均衡化方法。该方法首先利用均值滤波将图像分为高频和低频两部分; 然后对低频信息, 利用各种经典方法实现均衡化, 采用一种新的方法选取适当的调节因子处理滤波后的高频信息, 对不同强度的噪声实现不同的抑制效果; 最后对均衡后的低频分量和高频分量进行重构。实验表明, 该方法能够有效拉伸图像灰度级的动态范围, 在增强对比度的同时, 能很好留图像细节, 还能避免噪声放大以及过增强效应。

关键词: 均值滤波; 过增强; 直方图均衡

中图分类号: TN713 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2013)04-0071-06

A Histogram Equalization Method Using Mean Filtering for Frequency Division

CHU Yu, LI Nini, LIU Junqing, GUO Qing, XU Guangzhu

(College of Computer and Information Technology, China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: A histogram equalization method is proposed. Firstly, The image is divided into low and high frequency use mean filtering. Then, various classical histogram equalization methods can be selected to deal with Low-frequency information and high-frequency information respectively, a new method of selecting appropriate adjustment factor is presented to suppress noise from different extent. Finally, the low and high frequency information is combined to reconstruct the whole image. Experiments show that the dynamic range of the image gray levels is stretched effectively with improving contrast, image detail is well retained, noise amplification and over-enhancement are also avoided.

Key words: mean filtering; over-enhancement; histogram equalization

直方图均衡化因其简单、高效成为图像增强中的常用方法。直方图均衡化通过增加灰度级的动态范围, 拉伸对比度, 改善图像细节的可视化程度, 便于图像、视频等内容的后期处理。直方图均衡化研究中面临三个主要问题, 一是如何在增强图像对比度的同时解决灰度级减少造成的细节丢失问题, 二是如何解决图像中噪声放大问题, 三是如何避免图像均匀区域处理后出现的亮度饱和问题, 即过增

强。针对第一个问题, Kim 提出了亮度保持的双直方图均衡算法 (BBHE)^[1], Chen 提出了一种基于平均亮度值递归分解直方图的均衡方法 (RM-SHE)^[2]。而后又出现了利用全局直方图多个波峰分段均衡的方法, 引入加权因子改进灰度映射关系的方法等。这些全局处理方法虽然保持了输入图像的亮度, 但是对比度增强能力较弱, 且放大了噪声信号, 在对比度较强的情况下, 处理结果并不理

* 收稿日期: 2013-02-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61272237); 湖北省自然科学基金资助项目 (2011CDC100); 湖北省教育厅重点项目 (D20131306)

作者简介: 褚玉 (1989年生), 女; 通讯作者: 刘军清; E-mail: junqingliu@ctgu.edu.cn

想。局部直方图均衡算法把图像分割成一系列子块^[3], 在子块内部做均衡化处理, 分为子块重叠、子块不重叠以及子块部分重叠三种, 利用图像的局部均值、标准差等特征可修改局部直方图, 实现局部直方图拉伸等。局部方法能够增强图像细节, 同时也存在过增强、方块效应等问题。目前出现了很多方法解决细节丢失问题, 如区间可变的直方图均衡^[4]。还有基于小波分频的直方图均衡化方法^[5], 其主要思路是将图像分为低频和高频部分^[6-7], 仅对图像的低频成分采用传统的均衡处理, 高频成分不处理, 这样使得图像低频部分灰度分布基本均匀, 相比于空间域的直方图均衡化, 很好的保留了图像中的细节成分, 避免了噪声放大。但是这种均衡化方法只适用于高亮图像, 对于暗图像的处理效果并不理想, 对比度拉伸的效果不明显。

根据上述情况, 本文提出了一种基于均值滤波分频的直方图均衡方法。基本思想就是通过低通滤波器——均值滤波算子, 将图像分为两部分: 低频部分和高频部分。低频部分主要是图像中的均匀区域, 对低频部分采用经典的直方图均衡化算法增强对比度, 提高了灰度级的动态范围, 拉伸图像的对比度。高频部分主要是图像的细节以及噪声, 对这部分信息做去噪处理, 也就解决直方图均衡化的第二个问题, 即噪声放大问题, 同时保留了图像的细节。其次, 对图像进行均值滤波分频后分别处理还能解决图像均匀区域的过增强问题, 避免了图像中的高亮部分映射到更亮的灰度级而产生的过增强问题。虽然有学者提出过采用低通滤波的方式来进行直方图均衡化^[8], 但是在高频处理部分仅仅采用简单的线性加权, 且缺乏一定的理论依据。而本文选取均值滤波作为低通滤波器, 不仅在低频部分可选取不同的均衡处理方法, 还采用一种新的方法对去噪图像进行估计, 从而推导出高频部分的调节因子以达到抑制图像的噪声的效果。实验结果表明, 该算法框架相有较好的通用性, 不仅保留了图像的细节, 也有效避免了噪声放大的影响以及均匀区域的过增强。

1 基于分频的直方图均衡化方法

1.1 算法框架

本文提出的基于均值滤波分频的直方图均衡化算法框架首先采用均值滤波这种低通滤波器将图像分为低频和高频两部分。低频部分可采用几种经典的直方图均衡化方法, 如局部直方图均衡, 强化细节的直方图均衡化算法、引入加权因子的直方图均

衡等等; 高频部分由于包含了图像的细节以及噪声部分, 均值滤波的过程中去掉了一部分噪声, 因此, 为了提高图像处理后的质量, 选取合适的调节因子对这部分信息加权处理。当噪声强度大时, 加大对高频的抑制程度; 噪声强度较小时, 保留原本的高频信息。这样不仅能够保留图像细节, 又改善了图像的视觉效果。最后对处理后的低频和高频信息重构, 从而得到灰度范围扩大的图像。该算法框架如图 1 所示。

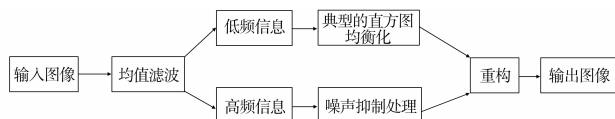


图 1 基于均值滤波分频的直方图均衡化算法框架

Fig. 1 The histogram equalization algorithm framework based on the mean filtering for frequency division

1.2 基于均值滤波的分频处理

由于均值滤波是一种线性低通滤波器^[9], 从频域的角度分析, 滤波后得到的是图像的低频信息。假设对图像 $f(x, y)$ 做傅里叶变换后表示为 $F(x, y)$, $F_l(x, y)$ 为低频部分, $F_h(x, y)$ 为高频部分, 则 $F_l(x, y)$ 和 $F_h(x, y)$ 满足式 (1):

$$F(x, y) = F_l(x, y) + F_h(x, y) \quad (1)$$

所以,

$$F_h(x, y) = F(x, y) - F_l(x, y) \quad (2)$$

对式 (2) 做反变换可得,

$$f_h(x, y) = f(x, y) - f_l(x, y) \quad (3)$$

其中, $f_l(x, y) = f(x, y) * g(x, y)$, $g(x, y)$ 为低通滤波器。传统的直方图均衡化算法由于对整个频域的信息做均衡处理, 可能导致图像中的部分细节丢失, 即细节部分的灰度级映射到出现概率较大的灰度级上, 不能很好地观测到图像的边缘信息。在本文中, 选择均值滤波器将原始图像分为低频和高频两部分。

均值滤波器的原理是选取一个固定的小窗口, 计算每个小窗口内的均值, 以该均值作为窗口中心点的新的像素值, 不断移动窗口直到遍历图像所有像素点。选取均值滤波作为本算法框架滤波器的意义在于利用图像去噪后的估计值推导出高频部分的调节因子, 为高频去噪提供了一定的理论基础。

为了保留图像细节, 在均值滤波并均衡化处理之后, 还应加上去噪的高频信息。若处理后的低频

和低频信息分别为 $f'_l(x, y)$, $f'_h(x, y)$, 则输出图像为:

$$f(x, y) = f'_l(x, y) + f'_h(x, y) \quad (4)$$

1.3 低频均衡处理

对图像做分频后, 低频信息为图像中的均匀区域, 直方图均衡化可以增加灰度级的动态范围, 提高图像的对比度。目前直方图均衡化的方法很多, 有基于 Piecewise 的直方图均衡化^[10], 自适应多阈值的方法^[11], 还有广义的直方图均衡化方法等^[12]。这里介绍一种典型的直方图均衡化方法——引入加权因子法, 并在实验低频处理中与全局直方图均衡化比较本文算法框架下的不同效果。

引入加权因子的直方图均衡化方法采用函数 $f(x) = x^m$ ($0 \leq m \leq 1$, x 为整数), 引入加权因子 m , 改善不同灰度级所占的比重。当 $m = 0$ 时, 对图像不做任何处理, 输出图像与输入图像相同。当 m 接近于 0 时, 可以有效地避免图像中较小的灰度级合并, 使图像的细节得到保持, 但均衡效果不理想, 对比度提高不够。当 m 取值接近于 1 时, 此时图像的对比度得到提高, 亮度也得到保持, 但是图像的细节却保持不够。当 $m = 1$ 时, 由于图像各个灰度级所占的比重没有发生变化, 也就是传统的直方图均衡算法, 此时图像的细节变得模糊, 但是图像的亮度得到了保持。因此需要选取适当的 m 值, 在保持细节和增强对比度之间做一个折中。

1.4 高频噪声处理

在上节中已经分析了均值滤波分频的基本思想, 得到的高频信息包含了图像的细节和噪声, 为了避免噪声放大, 使得本文算法能够较好的处理噪声图像, 提高算法框架的通用性, 还应对高频信息做去噪处理。如何有效调整高频中细节与噪声的关系是对高频信息去噪的关键。参考了 Jone Sen Lee 的滤波思想, 为了方便计算, 假设图像中的噪声为乘性噪声, 可表示为 v_{ij} , 其均值为 1, 方差为 σ_v , 图像实际像素值可表示为:

$$z_{i,j} = x_{i,j}v_{i,j} \quad (5)$$

在 (\bar{x}, \bar{v}) 处一阶泰勒公式展开后, 变换为:

$$z = \bar{v}x + \bar{x}(v - \bar{v}) \quad (6)$$

根据最小二乘估计, 最小化图像的均方差, 去噪后的图像可近似表示为:

$$\hat{x} = \bar{x} + k(z - \bar{v} \cdot \bar{x}) \quad (7)$$

$$\text{其中: } \begin{cases} k = \frac{\text{Var}(x)}{\bar{x}^2 \sigma_v^2 + \text{Var}(x)} \\ \sigma_v = \sqrt{\text{Var}(z) / \bar{z}} \\ \text{Var}(x) = \frac{\text{Var}(z) + \bar{z}^2}{\sigma_v^2 + \bar{v}^2} - \bar{x}^2 \end{cases} \quad (8)$$

当噪声较小时, σ_v 几乎为零, $k = 1$, 相当于高频部分未处理。而 σ_v 越大, k 值越小, 对高频信息的抑制更为明显, 从而起到抑制噪声的作用。

均值滤波的基本思想是在选定的窗口中, 用窗口像素的均值作为窗口中心像素的值^[13]。结合式 (7), 可令 $k(z - \bar{v} \cdot \bar{x})$ 作为图像噪声减弱的高频信息, 那么每个窗口中, 去噪后的像素点可近似表示为:

$$\begin{aligned} f(x, y) &= f_l(x, y) + f_h(x, y) \\ &= \bar{x} + k(f(x, y) - \bar{x}) \end{aligned} \quad (9)$$

2 实验结果

本文提出的基于均值滤波分频的直方图均衡算法框架能够在保留图像细节的同时, 避免噪声放大, 且解决了过增强的问题。在本文的实验中低频处理方法采用传统的直方图均衡化方法以及 1.2 节中介绍的加权因子法, 比较了同一图像进行全局均衡化处理和在本文提出的算法框架下均衡处理的不同结果。

现在对一幅对比度较差的花粉图像 (图 2) 做均衡化处理, 处理结果如图 2 (b) - (f), 图 2 (d)、(f) 分别为传统的直方图均衡化处理 (HE) 和本文算法处理后的直方图。比较两者的直方图, 可以看出图 2 (f) 的灰度级比图 2 (d) 的灰度级的动态范围更广。因此, 基于均值滤波分频的直方图均衡化方法比全局均衡算法更能提高图像灰度级的动态范围, 对比度拉伸的效果更为明显。

图 3 (a) 是一幅 x 光扫描图像, 用 1.3 节中介绍的加权因子的直方图均衡化算法对图 3 (a) 及其低频信息做均衡化处理, 处理后的结果如图 3 (c)、(d)。仔细观察图中圈出的区域可以发现, 图 3 (c) 中部分地方以及边缘区域出现了一些不自然的点, 这就是在拉伸对比度的同时造成的过增强现象, 而图 3 (d) 的效果较为柔和。所以说, 本文算法有效避免了过增强的问题, 处理后的图像更为自然。图 3 (b) 是一幅强噪声场景图像, 用传统直方图均衡化算法 (HE) 对图 3 (b) 及其低频信息分别均衡处理, 处理后的结果如图 3 (e) 和 (f)。选取场景图像中的人脸, 并放大显示可以观察到, 图 3 (e) 中的人脸比较模糊, 噪声影响比较严重, 图 3 (f) 中人脸轮廓相对清晰, 细节丰富。这就是当噪声过强时, 对高频信息的抑制比较明显, 从而避免了噪声放大了问题。

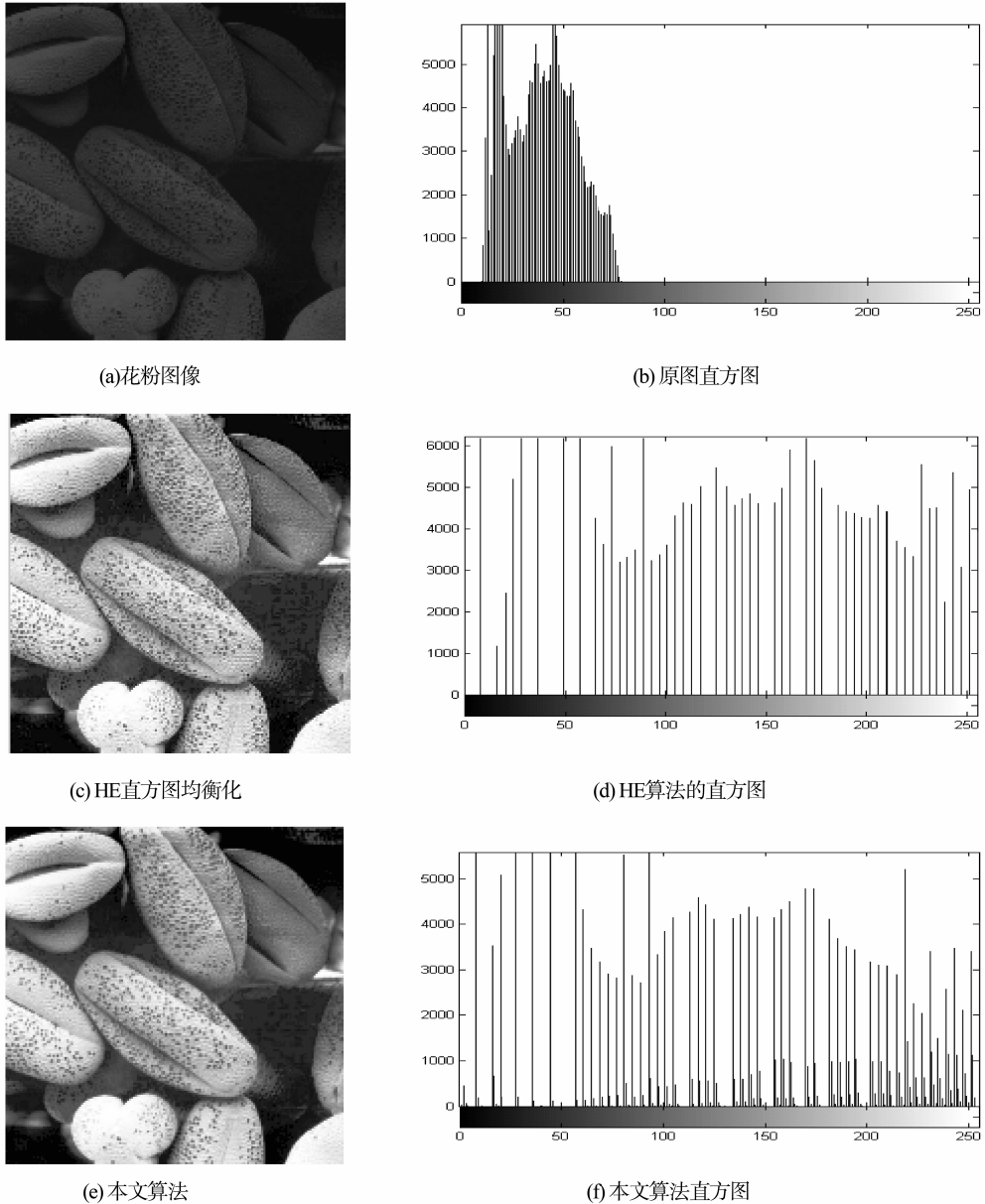


图 2 花粉图像在不同算法下的处理结果比较

Fig. 2 Compare of the pollen image after processing in different algorithms

3 结 语

本文提出了一种基于均值滤波分频的直方图均衡化算法框架,采用一些经典的直方图均衡化方法,对图像均值滤波后的低频信息做均衡处理后,再与高频信息重构。从实验结果可以看出,在本文的算法框架下处理后的图像增强效果更为明显,灰

度级有更好的动态范围,并且解决了亮度饱和问题,还有效避免了噪声放大,处理后的图像细节特征突出,符合人眼感受。在后续的工作中,可以通过分析图像本身的直方图分布,来确定相应的均值滤波分频次数,实现自适应分频的直方图均衡化,进一步提高算法的通用性。

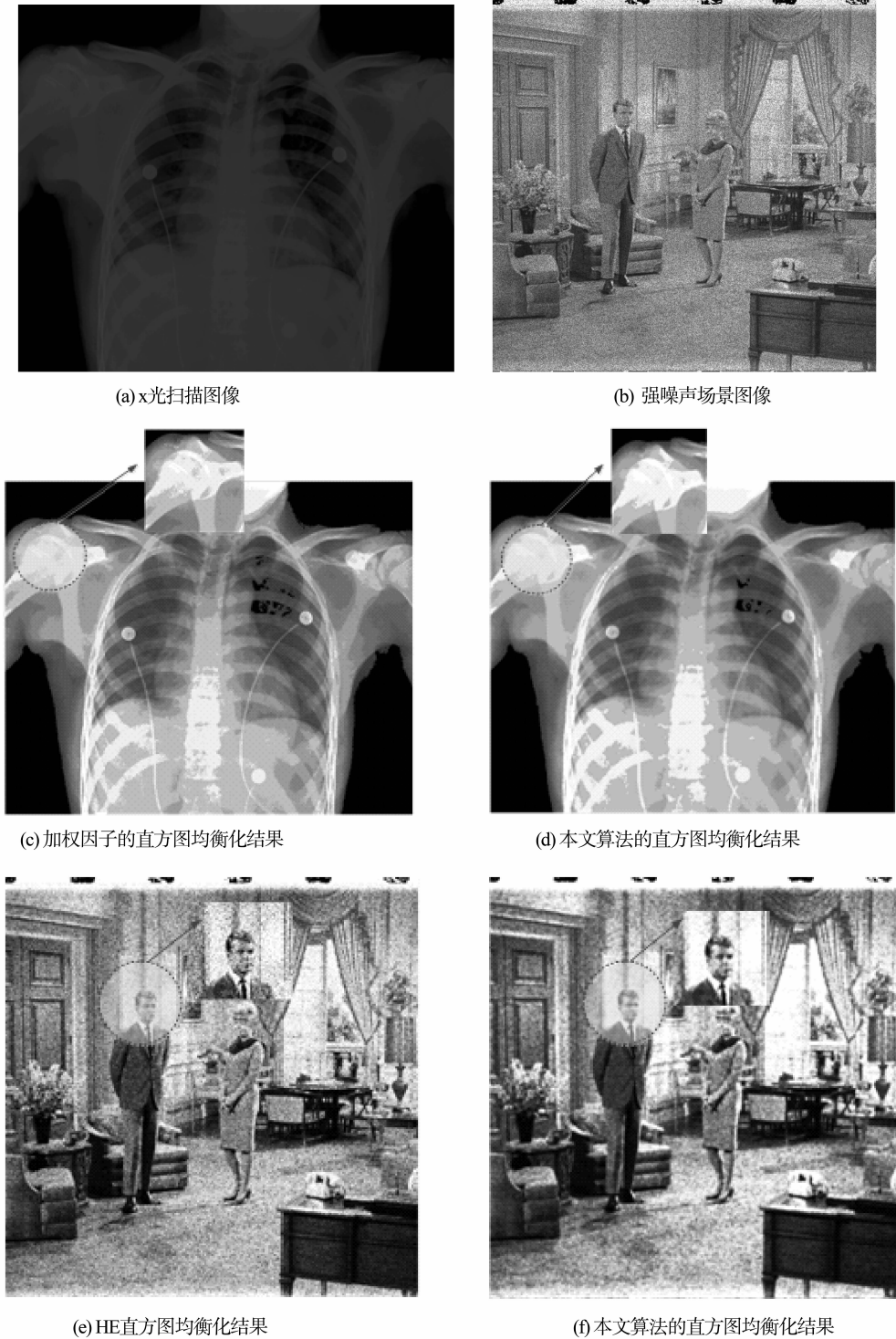


图 3 X 光扫描图像与强噪声图像在不同算法下的处理结果

Fig. 3 X-ray scanning images and strong noise image processed results in different algorithms

参考文献：

[1] KIM Yeongtae. Contrast enhancement using brightness preserving bi-histogram equalization [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 1997, 43 (1): 1-8.

[2] CHEN Soongder, RAMLI A R. Contrast enhancement using recursive mean-separate histogram equalization for

scalable brightness preservation [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2003, 49(4): 1301-1309.

[3] 贾鹏,李江勇. 子块重叠局部直方图均衡算法的优化研究[J]. 激光与红外,2012,42(12):1381-1384.

[4] 章怡,王海峰. 一种区间可变的改进直方图均衡算法研究[J]. 科技通报,2012,28(10):43-45.

(下转第 82 页)

- [11] 张强,刘文光,何文福,等. 隔震结构的强震观测及数值响应分析效果[J]. 结构工程师,2012,28(3):109-116.
- [12] 崔建文,赵永庆,付正新,等. 隔震及超高层建筑的地震反应观测[J]. 地震研究,2002,25(2):173-185.
- [13] 韦永祥. 基于强震和风振记录分析隔震结构的动力特性[D]. 哈尔滨:中国地震局工程力学研究所,2007.
- [14] 金星,韦永祥,陈学良,等. 隔震建筑结构的强震观测与初步分析[J]. 地震工程与工程振动,2007,27(6):181-188.
- [15] 金星,韦永祥,张红才,等. 基于强震观测的隔震结构地震反应分析[J]. 地震工程与工程振动,2009,29(2):19-28.
- [16] 范雁,张季超,许勇. 广东科学中心 E 区隔震支座监测预警指标研究与应用[J]. 工程力学,2010,29(2):19-28.
- [17] 贾瑞武,彭光正,范伟. 基于 LabVIEW 平台和网络的计算机远程在线监控[J]. 北京理工大学学报,2002,22(1):76-80.
- [18] 邹卫华,尹宁宁. 基于 LabVIEW 的远程数据采集的实现[J]. 哈尔滨理工大学学报,2008,13(6):87-90.
- [19] 高东伟,李宏男,任亮,等. 基于虚拟仪器技术的结构健康监测系统开发[J]. 系统仿真学报,2009,21(10):2889-2894.

~~~~~  
(上接第 75 页)

- [5] 郑辉. 基于小波分频与直方图均衡的图像增强算法[J]. 现代电子技术,2010,16:149-150.
- [6] 柳薇,陈冬丽. 基于多小波变换的图像编码算法研究[J]. 中山大学学报:自然科学版,2011,50(5):50-53.
- [7] 郭昌. 小波变换与 HMT 模型的图像插值算法[J]. 中山大学学报:自然科学版,2012,51(3):55-59.
- [8] 张志龙. 一种保持图像细节的直方图均衡新算法[J]. 计算机工程与科学,2006,28(5):36-38.
- [9] 冈萨雷斯. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2007:93-94.
- [10] 陈文飞,廖斌,许雪峰,等. 基于 Piecewise 直方图均衡化的图像增强方法[J]. 通信学报,2011,32(9):153-160.
- [11] 何昕,李晓华,周激流. 一种自适应多阈值直方图均衡方法[J]. 计算机工程,2011,37(17):206-207.
- [12] YOON Byoungwoo, SONG Woojin. Image contrast enhancement based on the generalized[J]. Journal of Electronic Imaging, 2006,16(3):1-8.
- [13] ZHANG Xuming, YIN Zhouping, XIONG Youlun, et al. Impulse noise suppression using two-state switching mean filter[C] // International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems, 2007:421-424.