

文章编号 1674-2915(2009)05-0395-07

# 实时图像增强算法研究

刘春香, 李洪祚

(长春理工大学 电子信息工程学院, 吉林 长春 130022)

**摘要:** 在嵌入式视频图像处理系统中, 图像增强后的效果和图像增强的实时性是决定算法优劣的两个关键问题, 而恰当的图像增强算法和高效硬件平台的合理搭建是解决问题的有效途径。本文在研究多种实时图像增强算法基础上, 在 Matlab 平台上对 3 种典型的增强算法即直方图均衡增强算法、基于照度-反射模型的同态滤波增强算法、基于小波变换增强算法进行了算法仿真, 并对仿真结果进行分析。通过比较各算法的优缺点, 指出了其最佳的应用场景和最高效的硬件实现平台。最后指出, 几种算法相结合, 取长补短是图像增强算法的发展趋势。

**关键词:** 实时图像增强; 照度-反射模型; 同态滤波; 小波变换

**中图分类号:** TP391.4      **文献标识码:** A

## Study of real-time image enhancement algorithm

LIU Chun-xiang, LI Hong-zuo

(*School of Electronic and Information Engineering, Changchun University of Science and Technology, Changchun 130022, China*)

**Abstract:** In the embedded video image processing system, the quality of enhanced image and the speed of image processing are the key points to improve the algorithm efficiency, and the reasonable combination of appropriate algorithms of image enhancement with efficient hardware platforms is a good way to solve the problem. In this paper, different kinds of image enhancement algorithms are researched and three typical enhancement algorithms, namely, histogram equalization, homomorphic filtering and wavelet transform, are simulated on a Matlab platform. Then, the simulation results are analyzed and their advantages and disadvantages are compared. Finally, it gives the best scene for the application and optimum implementation of hardware platform of each algorithm. Moreover, it points out that it will be a developing trend to integrate the advantages of various algorithms to practical applications to image enhancements.

**Key words:** real-time image enhancement; luminosity-reflection model; homomorphic filtering; wavelet transform

## 1 引言

图像在采集过程中不可避免地会受到传感器灵敏度、噪声干扰以及模数转换时量化问题等各种因素的影响,而导致图像无法达到令人满意的视觉效果。为了实现人眼观察或者机器自动分析、识别的目的,对原始图像的增强是十分必要的。

图像增强与感兴趣的物体特性、观察者的习惯和处理目的密切相关,带有很强的针对性。因此,图像增强算法的应用也是有针对性的,而实际当中并不存在一种通用的、适应各种应用场合的增强算法。就图像增强技术而言,目前主要分为如下几类:基于变换的增强技术、基于滤波的增强技术、基于偏微分方程的增强技术以及基于数学形态学的增强技术。

本文分析了直方图均衡、同态滤波法、小波变换法等3种典型的实时图像增强算法,比较了各算法的优缺点并指明其最佳应用场景,最后给出了仿真结果和结论。

## 2 实时图像增强算法

### 2.1 直方图均衡

直方图均衡化是把原图像的直方图通过灰度变换函数修正为灰度均匀分布的直方图,然后按均衡直方图修正原图像<sup>[1]</sup>,其变换函数取决于图像灰度直方图的累积分布函数。概括地说,就是把一已知灰度概率分布的图像,经过一种变换,使之演变成一幅具有均匀概率分布的新图像。当图像的直方图为一均匀分布时,图像的信息熵最大,此时图像包含的信息量最大,图像看起来更清晰。

灰度直方图用各灰度值出现的相对频数(该灰度级的像素数与图像总像素数之比)表示。对于一幅像素数为 $n$ ,灰度范围为 $[L-1]$ 的图像,令 $r_k$ 表示第 $k$ 个灰度级。 $n_k$ 表示图像中 $r_k$ 出现的像素的个数,则 $r_k$ 出现的概率 $p_r(r_k)$ 为:

$$p_r(r_k) = n_k/n \quad k = 0, 1, \dots, L-1, \quad (1)$$

由此可得直方图均衡化变换函数,即图像的灰度累积分布函数 $S_k$ 为:

$$S_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n}, \quad (2)$$

式中, $S_k$ 为归一化灰阶。

直方图均衡化过程如下:

- (1) 计算原图像的灰度直方图 $p_r(r_k)$ ;
- (2) 计算原图像的灰度累积分布函数 $S_k$ ,进一步求出灰度变换表;
- (3) 根据灰度变换表,将原图像各灰度级映射为新的灰度级。

大多数自然图像由于其灰度分布集中在较窄的区间,使得图像细节不够清晰。采用直方图均衡化后可使图像的灰度间距拉开或使灰度均匀分布,从而增大反差,使图像更加清晰,达到增强的目的。但直方图均衡在对灰度呈现两端分布,同时在图像的低灰度区域有较多像素点的图像进行处理后,得不到满意的效果,表现为处理后图像的亮度过度提升,而整幅图像的灰度动态范围没有有效提升,达不到突出图像细节的目的。

针对上述直方图均衡化的弊端,可以先计算出图像的灰度直方图,然后将其灰度进行拉伸,以便改善图像增强效果。

### 2.2 基于照度-反射模型的同态滤波算法

对一幅图像来说,其灰度值可以看作是由入射光分量和反射光分量的乘积,其中入射光占据频率域的低频部分,对应图像背景,而反射光取决于物体本身的性质,也就是说景物的亮度特征主要取决于反射光。

由于同态滤波频域算法需要两次傅里叶变换,占用较大的运算空间,很难满足实时性要求,因此,通常将同态滤波放到空间域上来操作和实现。同态滤波的空域算法的大致思想是先对图像做低通滤波,再用原图减低通滤波后的图像,得到的结果可以达到抑制低频和增强高频的效果。

将图像的灰度函数 $f(x,y)$ 用下式表示:

$$f(x,y) = i_0 \cdot i(x,y) \cdot r(x,y), \quad (3)$$

其中, $i(x,y)$ 是入射光分量, $r(x,y)$ 是反射光分量, $i_0$ 是入射光常量。用原图像减低通滤波图像后,将会失去绝大部分低频信息,不能起到压制低频和增强高频的作用,为了保留一定的低频分量,得到较好的显示效果, $i_0$ 的引入是十分必要的。

利用取对数的方法将入射光和反射光分离:

$$g(x,y) = \ln f(x,y) = \ln i_0 + \ln i(x,y) + \ln r(x,y). \quad (4)$$

因为入射光分量对应图像的低频部分,而反射光分量对应图像的高频部分,在对  $g(x,y)$  进行低通滤波后,就能近似地将入射光分量(即图像的低频部分)分离出来,如下式:

$$g'(x,y) = \text{LPF } g(x,y) \approx \ln i_0 + \ln i(x,y), \quad (5)$$

其中,LPF 为低通滤波器。通常这里用邻域平均法来近似地实现低通滤波,但考虑到邻域平均滤波的时间复杂度是与所选择的卷积模板尺寸的大小成正比的,一旦模板增大,滤波所花费的时间也会增多,很难满足实时性要求<sup>[8]</sup>。因此,采用了中值滤波来近似地实现低通滤波。一个 2-D 中值滤波器的输出为:

$$g_{\text{median}}(x,y) = \underset{(s,t) \in N(x,y)}{\text{median}} [f(s,t)]. \quad (6)$$

中值滤波器的平滑效果不仅与模板的尺寸有关,也与模板中参与运算的像素有关。这里选择十字交叉模板进行滤波,以减少计算量。利用中值均值滤波的滑动窗口思想,让窗口模板规律地在整幅图像上滑动,取中值的过程在数组运算中实现,按序存储灰度值使得新加入模板的像素通过折半查找很快地找到插入的位置,从而可以减少很多计算量,大大改进了利用邻域平均法实现低通滤波的效果。

图像经过低通滤波后,将原图减低通滤波后的图像,并加上  $\ln i_0$ ,以保留一定的低频分量,即可得到高频增强图像  $s(x,y)$ :

$$s(x,y) = \ln i_0 + g(x,y) - g'(x,y) \approx \ln i_0 + \ln r(x,y). \quad (7)$$

对  $s(x,y)$  进行指数运算,得到最终增强结果。

$$s'(x,y) = e^{s(x,y)} \approx i_0 r(x,y). \quad (8)$$

采用基于照度-反射模型的同态滤波算法,可以在增强图像高频信息的同时保留部分低频信息,达到压缩图像灰度的动态范围,并增强图像对比度的效果。对于由于照明不良而使图像亮度不足和细节模糊,而且图像信噪比较低的图像,该方法增强效果显著<sup>[9]</sup>。

### 2.3 小波变换法

采用小波对图像进行分解,分解后的小波系

数由低频系数和各尺度上的高频系数构成,其中小波高频系数对诸如轮廓、小结构、噪声等富含高频信息的局部细节很敏感,而低频系数反映的是低频信息,可以针对高频小波系数和低频小波系数的不同特性做不同处理来达到图像增强目的。

二进小波实际上是对连续小波的尺度二进离散化后得到的一种基函数表示形式,由于它在分解信号过程中没有下采样(合成部分相应地也没有上采样),从而各级分解得到的子带分量存在冗余,因此也称为冗余小波变换。

要想在增强小波系数的同时抑制噪声,就必需先确定哪些系数是由噪声产生的。小波系数有确定噪声的特性,即确定相邻尺度上同一位置上小波系数间的相关系数<sup>[10]</sup>。事实上,在小波域中由噪声产生的小波高频系数通常与相邻小波层上的小波高频系数相关系数很小,而由细节产生的小波高频系数通常与相邻小波层上的小波高频系数之间的相关系数大。因此小波层之间的相关性

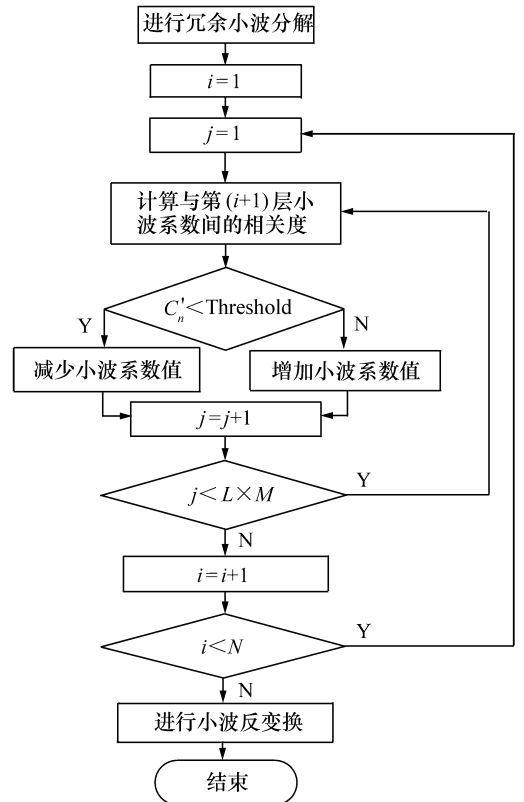


图1 小波变换法算法流程图

Fig. 1 Flowchart of wavelet

可以用来确定哪些系数是由图像中的噪声产生的,哪些是由图像中的细节特征产生的。Healy利用此方法提出了一种滤除噪声的方法,该方法首先根据各尺度之间高频小波系数之间相关性来判断小波系数是由噪声或细节产生的,然后针对噪声、细节产生的小波高频系数进行不同处理,详细过程见图1,其中 $N$ 是小波分解的层数, $L$ 是图像的列数, $M$ 是图像的行数。

如果图像上任一点的正规化小波算子的绝对值大于该点小波系数的绝对值,就可以认为该点小波系数是由信号产生的,因此增大此小波系数。反之则减小该小波系数值,从而可达到图像增强

的目的<sup>[11,12]</sup>。

基于小波变换图像增强算法能在对图像进行极大增强的同时,避免噪声放大。该算法对于医学图像也能起到很好的增强效果,具有很好的通用性。

### 3 仿真结果

以 Matlab 为工具,分别对两幅图像进行仿真,增强效果如图2、图4所示,图3、图5分别对应其直方图。

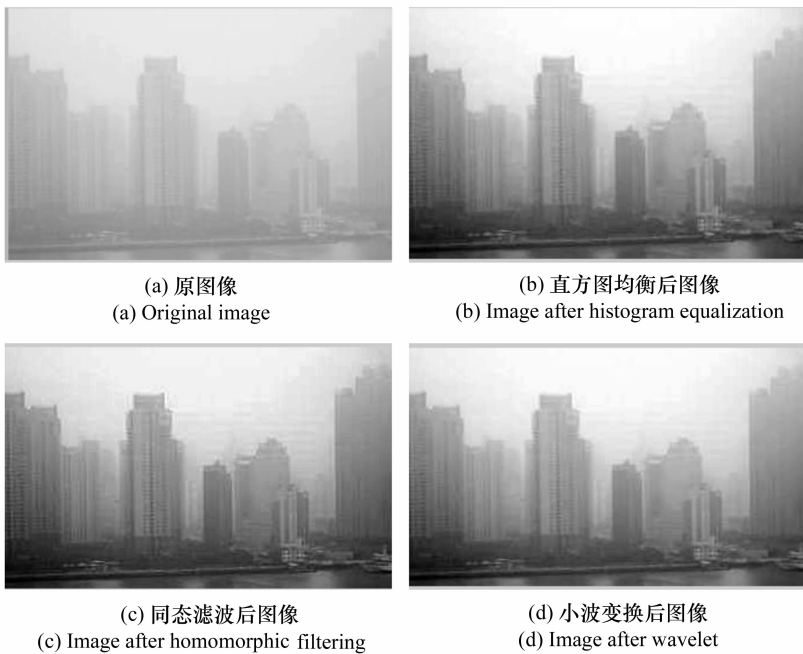


图2 城市图像增强效果

Fig. 2 City image after enhancement

图2(b)、图4(b)为直方图均衡后图像,图3(b)、图4(b)为处理后的灰度直方图,可以看出,原图像灰度从很窄的范围扩展为 $0 \sim 255$ ,对灰度范围窄的、呈现低反差状态的图像,通过灰度级调整,可扩展图像灰度的范围,提高图像对比度。对于直方图均衡实时图像增强,由于其算法简单,计算量小,适合在现场可编程门阵列(Field Programming Gate Array, FPGA)上实现,一般用于图像的预处理。

图2(c)、图4(c)为同态滤波后的图像,图3

(c)、图5(c)为处理后的灰度直方图,通过实验结果不难发现,该方法可以增强对比度,凸显细节。对于由于照明不良而使图像亮度不足和细节模糊,而且图像信噪比较低的图像,该方法增强效果更为显著。该算法相对复杂,需要大量的运算,由于还要满足图像增强的实时性,因此对运算速度要求很高,DSP6000系列为首选。

通过小波变换后的图像和其灰度直方图可以看出,该算法对带噪图像可获得满意的增强效果,在凸显高频细节的同时避免了噪声放大。小波变

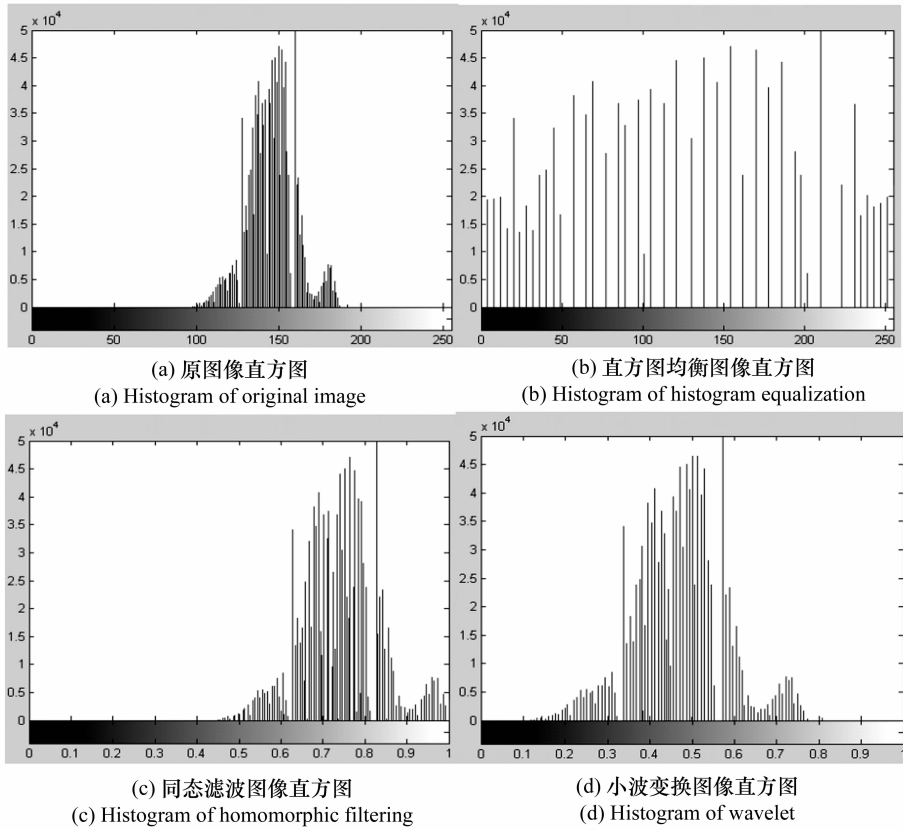


图 3 城市及其增强图像直方图

Fig. 3 Histograms of city and enhancement images

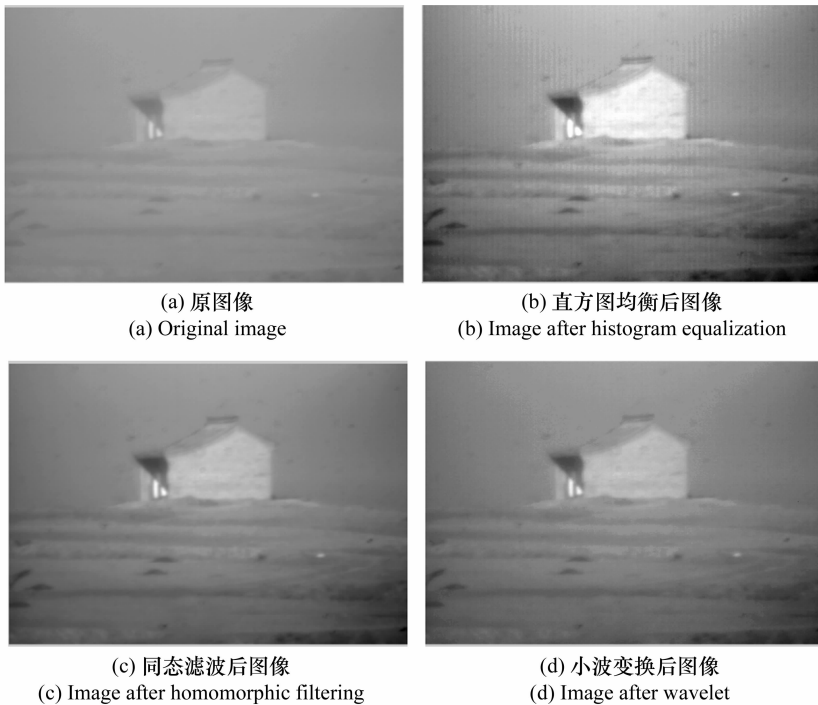


图 4 小屋图像增强效果

Fig. 4 Cabin images after enhancement

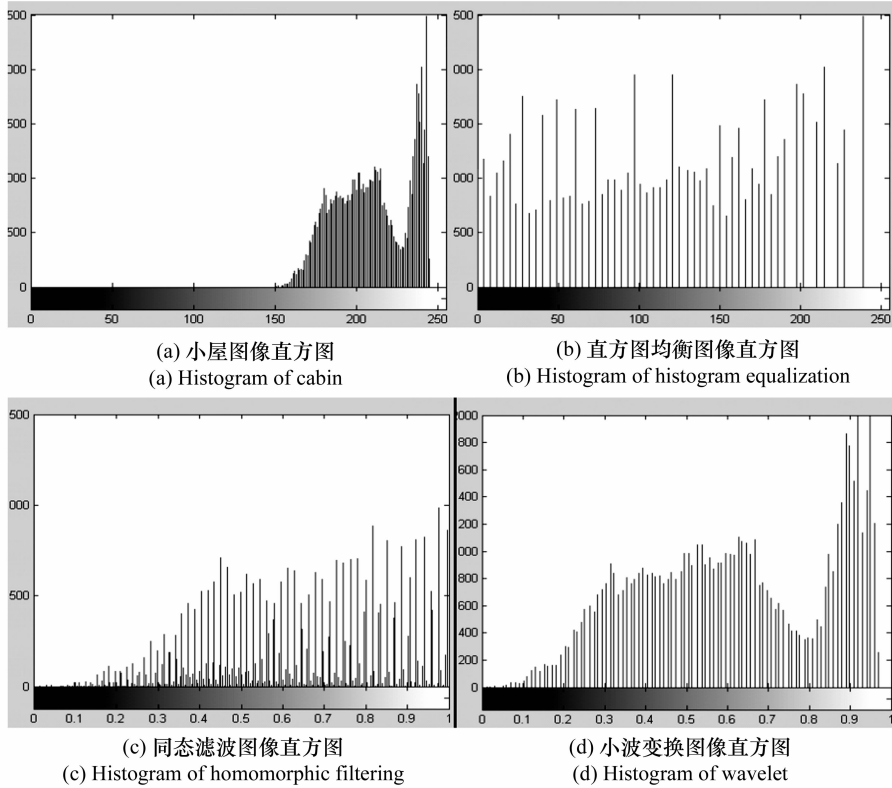


图5 小屋及其增强图像直方图

Fig. 5 Histograms of cabin and enhancement images

换算法复杂,分解后的小波系数很多,占用计算空间很大,需要在数字信号处理器(Digital Signal Processor, DSP)上实现。要想满足实时性要求,还必须对小波算法进行优化。运用并行处理的乒乓缓存操作,整型提升小波可以在 DSP 平台上实现实时图像增强处理,达到满意增强效果。

## 4 结 论

本文分析了3种典型实时图像增强算法,利

用 Matlab 对两幅远距离低对比度图像进行了仿真,给出了增强后图像及其直方图,进而指出各个算法的优缺点并指明其最佳应用场景。此外,简要地说明了各个算法的最佳硬件实现平台。由于并不存在一种通用的、适用各种场合的增强算法,人们对图像质量的要求又越来越高,单一的图像增强算法往往难以满足实际需求,因此几种算法相结合、取长补短、优势互补是图像增强算法发展的必然趋势。

## 参考文献:

- [1] 高严平. 图像增强算法的研究与实现[D]. 济南:山东科技大学,2005.  
GAO Y P. Research and implementation on image enhancement methods[D]. Ji'nan:Shandong University of Science and Technology,2005. (in Chinese)
- [2] 雷小丽,党群. 一种新的非线性变换法实现图像增强的方法[J]. 光子学报,2007,36:346-348.  
LEI X L,DANG Q. A new image enhancement by non-linearity transform method[J]. *Acta Photonica Sinica*,2007,36:346-348. (in Chinese)
- [3] HE ZH Y,XU Q ZH,WEI CH J. Adaptive semi-blind immune algorithm for image enhancement[J]. *Multidim. Syst. Sign. P.*,2005,16:107-118.
- [4] GONZALEZ R C,WOODS R E. 数字图像处理.[M]. 北京:电子工业出版社,2007.

- GONZALEZ R C, WOODS R E. *Digital Image Processing*[M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007. (in Chinese)
- [5] 杜振华. 数字视频实时增强处理方法研究[D]. 西安:西北工业大学, 2007.  
DU ZH H. Research on real-time enhancement methods of digital video[D]. Xi'an: Northwestern Polytechnical University, 2007. (in Chinese)
- [6] 孙慧贤, 罗飞路, 张玉华. 基于小波变换和同态滤波的内窥图像增强算法[J]. 探测与控制学报, 2008, 30(5): 68-72.  
SUN H X, LUO F L, ZHANG Y H. A new homomorphic filtering based on wavelet transform for endoscope-image enhancement [J]. *J. Detection & Control*, 2008, 30(5): 68-72. (in Chinese)
- [7] 郑东梅, 石俊生, 宋晓辉, 等. 基于小波的同态滤波算法在 ICT 图像增强中的应用[J]. 长春理工大学学报, 2007, 30(3): 44-46.  
ZHENG D M, SHI J SH, SONG X H, et al. . ICT image enhancement by wavelet based homomorphic filtering method[J]. *Changchun University Sci. and Technology*[J], 2007, 30(3): 44-46. (in Chinese)
- [8] 肖俊, 宋寿鹏, 丁丽娟. 空域同态滤波算法研究[J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(12): 2302-2306.  
XIAO J, SONG S P, DING L J. Research on the fast algorithm of spatial homomorphic filtering[J]. *J. Image and Graphics*, 2008, 13(12): 2302-2306. (in Chinese)
- [9] 陈春宁, 王延杰. 在频域中利用同态滤波增强图像对比度[J]. 微计算机信息, 2007, 23(2): 264-266.  
CHEN CH N, WANG Y J. Image contrast enhancement by homomorphic filtering in frequency field[J]. *Micro-computer Information*, 2007, 23(2): 264-266. (in Chinese)
- [10] 王红霞, 成礼智, 吴翊. 基于二进小波变换的噪声图像自适应增强新算法[J]. 国防科技大学学报, 2005, 27(1): 51-59.  
WANG H X, CHENG L Z, WU X. An adaptive strategy for image enhancement based on the dyadic wavelet transform [J]. *J. National University of Defense Technology*, 2005, 27(1): 51-59. (in Chinese)
- [11] 王红霞, 成礼智, 吴翊. 基于复数小波变换增强带噪图像的空间自适应方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2005, 17(9): 1911-1916.  
WANG H X, CHENG L Z, WU X. A complex wavelet based spatially adaptive method for noised image enhancement[J]. *J. Computer-Aided Design & Computer Graphics*, 2005, 17(9): 1911-1916. (in Chinese)
- [12] 曾鹏鑫, 么健石, 陈鹏等. 基于小波变换的图像增强算法[J]. 东北大学学报, 2005, 26(6): 527-530.  
ZENG P X, YAO J SH, CHEN P, et al. . An approach to wavelet-based image enhancement algorithm[J]. *J. Northeastern University*, 2005, 26(6): 527-530. (in Chinese)
- [13] 吴军, 田小林, 孙延奎, 等. 一种新的基于小波变换的自适应 MRI 增强算法[J]. 计算机应用研究, 2008, 25(6): 1771-1775.  
WU J, TIAN X L, SUN Y K, et al. . New wavelet-based adaptive algorithm for MR image enhancement[J]. *Appl. Res. Computers*, 2008, 25(6): 1771-1775. (in Chinese)
- [14] 龚薇, 斯科, 叶秀清, 等. 一种强鲁棒性的实时图像增强算法[J]. 传感技术学报, 2007, 20(9): 2024-2028.  
GONG W, SI K, YE X Q, et al. . A strong robustness of real-time image enhancement algorithm[J]. *J. Transducer Technology*, 2007, 20(9): 2024-2028. (in Chinese)
- [15] 卫保国. 一种改进的自适应中值滤波方法[J]. 计算机应用, 2008, 28(7): 1732-1734.  
WEI B G. Improved adaptive median filtering[J]. *Computer Appl.*, 2008, 28(7): 1732-1734. (in Chinese)
- [16] 王玉震, 李雷. 基于 SVR 的图像增强方法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(1): 60-66.  
WANG Y ZH, LI L. Image enhancement based on SVR[J]. *Computer Technol. and Development*, 2009, 19(1): 60-66. (in Chinese)

作者简介:刘春香(1983—),女,吉林长春人,硕士研究生,主要从事实时图像处理方面的研究。

E-mail:yu\_hit2007@163.com

李洪祚(1953—),男,吉林长春人,教授,博士生导师,主要从事激光通信等研究。E-mail:lihongzuo@sohu.com