

·信号与信息处理·

一种基于小波变换的图像增强方法

宋庆峰, 吕绪良, 隋明序, 卢爱军

(解放军理工大学, 江苏 南京 210007)

摘要:针对部分灰度图像分辨率和对比度低、噪声大、视觉特性差等特点,提出了一种基于小波变换和直方图均衡的新的图像增强方法。该方法将小波变换的多尺度、多分辨率的特点和直方图均衡化的方法相结合,同时再辅以中值滤波去噪和同态滤波增强,从而在很大程度上克服了单一的直方图均衡化进行图像增强时会丢失图像细节信息、增强图像噪声等的不足。实验结果验证文中方法对图像的分辨率和对比度增强有很好的效果。

关键词:图像增强;小波变换;同态滤波;直方图均衡

中图分类号:TP317.4

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2014)-06-0039-04

Image Enhancement Method Based on Wavelet Transform

SONG Qing-feng, LV Xu-liang, SUI Ming-xu, LU Ai-jun

(PLA University of Science and Technology, Nanjing 210007, China)

Abstract: According to the characteristics of some gray images such as low resolution and contrast, high noise and poor visual characteristics, a new image enhancement method based on wavelet transform and histogram equalization is proposed. The characteristics of wavelet transform such as multi-scale and multi-resolution are incorporated with histogram equalization method in the method, and assisted with median filter de-noising and homomorphism filtering enhancement. So the shortcomings such as image detail loss with single histogram equalization image enhancement method and enhancement image noise are overcome. Experimental results show that the method has better effect for image resolution and contrast enhancement.

Key words: image enhancement; wavelet transform; homomorphism filtering; histogram equalization

图像增强是数字图像处理中的基本内容,它是通过对图像在空间域或者频域进行特定算法处理以改善图像的视觉效果或者增强图像的某些特定信息,来满足人眼视觉或者机器视觉的需求。其中直方图均衡化(histogram equalization, HE)和直方图规范化算法及与其相关的其他一些算法是空间域图像增强中比较常见的方法。该方法通过统计图像各灰度级像素数量来求得图像直方图信息,并以累积分布函数变换法为基础进行灰度映射,从而达到增强图像整体对比度,使图像清晰的目的^[1]。

但是涉及到直方图均衡化时都会遇到图像中像素个数较少的灰度级被过多合并的问题,结果导致

处理后的图像部分细节丢失而局部变得更模糊,得不到满意的增强效果。针对此不足,提出了一种基于小波变换的图像增强新方法,结合传统的直方图均衡处理,将图像小波分解得到的低频信息和高频信息分别进行不同的处理,从而达到很好的图像增强的效果。

1 算法原理

1.1 小波变换的基本原理

基于小波变换的图像处理,主要是通过小波变

换对图像进行分解,而后对产生的低频和低频分量系数分别进行处理,再经小波重构使得到的图像满足特定的要求,较之傅里叶变换,小波变换拥有空域(时域)和频域“变焦距”分析能力^[5]。对二维函数 $f(m,n) \in l^2(Z^2)$ 进行离散小波变换,能够得到一个低通子带 S_j 和三个具有方向选择性的高通子带图像 $H_{i,j}$,对低通带 S_j 继续分解可以得到 $f(m,n)$ 的多级小波分解。这一分解过程的结果可以表示为

$$W(f(m,n)) = \{(H_{i,j} = W_j^i[f(m,n)]), S_j\} \quad (1)$$

$$1 \leq i \leq 3, 1 \leq j \leq i$$

式中, $H_{i,j}$ 表示尺度 j 和方向 i 上的细节信息; S_j 表示在最高尺度 j 上对图像的概貌描述,代表了图像的低频信息。

图像的高频内容集中在低尺度的高通带 $H_{i,j}$ 中,而图像中噪声部分主要集中于高尺度的 $H_{i,j}$ 中。为克服普通增强方法中常有的对噪声过分增强的缺点,应该对不同尺度的分解系数进行不同程度的增强。单一尺度处理的增强方法是难以满足要求的,这一差别表明了多尺度分析方法在图像增强中所具有的优势。

经过小波变换,原图像被分解为四个子图像,每个子图像分别代表原图像的平滑逼近分量以及水平、垂直和对角线分量,而其小波重构则是按小波分解的逆过程进行的。

1.2 直方图均衡化的基本原理

传统的直方图均衡化方法是以图像各灰度级概率的累积分布函数作为变换函数,将原图像映射为一幅灰度级分布较为均匀的图像,其中累积分布函数表示为

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

$$0 \leq r_j \leq L-1; k=0,1,\dots,L-1$$

式中, r_j 为原图像归一化灰度级; n_j 为原图像中出现第 k 级灰度级的像素个数; n 为图像中像素的总数; S_k 为 HE 后图像归一化灰度级; T 为变换关系式; $p_r(r_j)$ 为原图像取第 k 级灰度值的概率(即原图像的灰度直方图)^[6]。

假设新图像的灰度级为 $k=0,1,\dots,N-1$,则变换关系为

$$r'_k = \text{round}((N-1)s_k) \quad (3)$$

$$k=0,1,\dots,N-1$$

则原图像的两个灰度级 r_{i1} 和 r_{i2} 变换后的灰度值差为

$$r'_{i2} - r'_{i1} = (N-1)(s_{i2} - s_{i1}) =$$

$$(N-1) \left(\sum_{j=0}^{i2} \frac{n_j}{n} - \sum_{j=0}^{i1} \frac{n_j}{n} \right) = (N-1) \sum_{j=i1+1}^{i2} \frac{n_j}{n} \quad (4)$$

由式(4)可知,当灰度差的值小于1时,原图像中灰度范围在 $[r_{i1}, r_{i2}]$ 内各灰度级在新图像中将被合并为一个灰度级,导致图像边缘等细节部分灰度级概率较小,所以根据式(4)可知,图像在进行直方图均衡化处理时容易造成图像细节的丢失。

1.3 同态滤波增强的基本原理

图像的同态滤波技术的依据是图像获取过程中的照明反射成像原理。它属于频域处理,作用是对图像灰度范围进行调整,通过消除图像上照明不均的问题,增强图像细节。首先建立在光照下获得景物图像的模型,一般自然景物的图像 $f(x,y)$ 可由入射分量 $i(x,y)$ 和反射分量 $r(x,y)$ 的乘积表示^[3]如下

$$f(x,y) = i(x,y) \times r(x,y) \quad (5)$$

$$0 < f_i(x,y) < \infty; 0 < f_r(x,y) < 1$$

式中, $f_i(x,y)$ 描述了景物的照明,与景物无关; $f_r(x,y)$ 包含景物的细节,与照明无关。

不均匀光照体现在入射分量 $i(x,y)$ 中,它基本上是属于变化较缓慢的低频成分,反映图像中慢的空间变换特征,而景物的细节等特性则主要反映在图像的反射分量 $r(x,y)$ 中,属于高频成分。对式(5)取对数可得下式

$$z(x,y) = \ln f(x,y) = \ln i(x,y) + \ln r(x,y) \quad (6)$$

使式(5)在空间域变成相加的关系。然后进行离散傅里叶变换(DFT),得到频域表达式为

$$F\{z(x,y)\} = F\{\ln f(x,y)\} = F\{\ln i(x,y)\} + F\{\ln r(x,y)\} \quad (7)$$

$$\text{或 } Z(u,v) = I(u,v) + R(u,v) \quad (8)$$

假如图像照明不均,则图像上各部分的亮度会有起伏。要消除这种不均匀性,可以在频域上削弱入射分量的频谱成分。同时增强反射分量的频谱成分。依据入射分量与反射分量所表征的图像性质,设计一个合适的同态滤波器 $H(u,v)$,使得低频成分削弱,高频成分适当增强。从而达到克服非均匀光照,压缩动态范围与增强对比度的目的。用滤波函数 $H(u,v)$ 来处理 $Z(u,v)$,可得下式

$$S(u,v) = H(u,v)Z(u,v) = H(u,v)I(u,v) + H(u,v)R(u,v) \quad (9)$$

再经过离散傅里叶反变换(IDFT),得到在对应空间域表达式为

$$F^{-1}\{S(u,v)\} = F^{-1}\{H(u,v)I(u,v)\} + F^{-1}\{H(u,v)R(u,v)\} \quad (10)$$

经指数运算

$$g(x,y) = \exp\{F^{-1}\{S(u,v)\}\} \quad (11)$$

得到处理后的图像 $g(x,y)$ 。

在同态滤波整个过程中,对于滤波器 $H(u,v)$ 的选择很重要。图像照射分量通常以空间域的慢变化为特征,反射分量往往引起突变,特别是在物体的边缘部分。这些特性使得图像的低频部分跟照射相联系,而高频部分和反射相联系,因此同态滤波器传递函数 $H(u,v)$ 选择高通滤波器。

1.4 中值滤波去噪原理

中值滤波是一种非线性信号处理技术,它在一定条件下,既可消除噪声,又保护了图像的细节。运算过程并不需要图像的统计运算,运算速度快。中值滤波用一个含有奇数点的滑动窗口将邻域中的像素按灰度级排序,取其中间值为输出像素。它的效果取决于两个要素:邻域的空间范围和中值计算涉及的像素数。其数学描述为:如果 S 为像素 (x_0, y_0) 的邻域集合; (x, y) 表示 S 的元素; $f(x, y)$ 表示 (x, y) 点的灰度值; $|S|$ 表示集合 S 中元素的个数; $Sort$ 表示排序;则对 (x_0, y_0) 进行平滑可表示为

$$f'(x_0, y_0) = (Sort_{(x,y) \in S} f(x, y))_{\frac{|S|+1}{2}} \quad (12)$$

由于中值滤波并不是简单的取平均值,因此所产生的模糊较少。

2 算法实现步骤

图像经过正交小波变换后,不仅能够保持原图像的空间特性,而且很好地提取了图像的低频和高频子带信息分量。低频分量对应图像中灰度值缓慢变化的区域,故利用同态滤波处理,可以使低频子带分量的高频信息增强。同时再对处理过的低频分量进行直方图均衡处理,进一步增强图像的视觉效果;而高频分量对应图像中灰度值变化较快的区域,而边缘和细节信息主要集中在图像的高频部分,故可以采用自适应中值滤波对高频分量进行去噪处理,

从而进一步明晰高频分量中的细节信息。经过小波重构后,使得图像在去除噪声的同时,细节更清晰,对比度也得到增强。

算法的流程如图1所示。

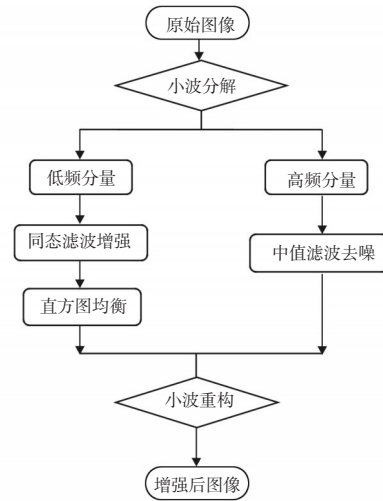


图1 算法流程图

3 实验结果与分析

将文中提到的各个算法通过在 MATLAB 上仿真验证,得到如下的结果。其中图2为未经过处理的原始灰度图像,整个图像较暗,模糊不清,细节也不明显,整体的视觉效果很差。图3为原始图像经过直方图均衡化和同态滤波增强处理后的图像,可以看到和原始灰度图像相比,图3整体的轮廓更加清楚,人像与背景的对比度明显提高,但是整体感觉图片的亮度偏高,而且局部噪点比较严重,特别是人像的头发处和右上角的两根木棍处。图4是原始灰度图像经过单层小波分解得到的四个子图,从左到右,从上而下依次为原始图像的近似分量、水平分量、垂直分量和对角线分量。图5则是在图3的基础上,使用文中的方法进行处理得到的图像。相比较图3而言,亮度稍有降低,且整个图像更适合人眼的视觉观察特性。增强后图像整体的对比度和分辨率有了很好的提升,很多噪声特性得到了改善,细节也更加明显,如人像衣服的褶皱和格子背景相比图3来说也更加清晰了,从而很好地验证了文中方法的可行性。

下面选用文献[10]中提出的图像细节评价参数和对比度参数,并分别进行归一化处理,对文中方法和图3所示直方图均衡化+同态滤波增强的算法进

行定量效果评估,结果如表1所示。



图2 原始图像



图3 初步处理图像



图4 小波分解图像



图5 文中方法图像

表1 原图像与增强处理后图像细节评价参数

算法	细节评价参数	归一化形式	对比度参数	归一化形式
原图像	0.003 615	1	0.037 461	1
图3算法	0.003 162	0.874 6	0.103 460	2.761 8
文中方法	0.004 966	1.373 7	0.081 742	2.182 1

表1数据说明,传统的直方图均衡化+同态滤波增强算法,虽然可以较强地增加目标与背景的对比度,但是却损失了图像的部分细节信息,而文中基于小波变换的新方法,不但一定程度上增强了图像的细节信息,同时较合理地增强了图像中目标与背景的对比,增强后的图像效果较适于人眼的观察特点。该方法较适用于图像中目标部分不清楚、与背景对比不明显的图像,经过处理可以达到较好的增强效果。

4 结论

针对传统的直方图均衡化后,图像由于灰度级

的减少而丢失细节的问题,提出基于小波变换和直方图均衡化相结合的图像增强方法。通过将两者的优势相结合,同时辅以细节增强和噪声去除等相关操作,弥补单独算法的劣势,从而达到一定程度上提高原始图像的对比度,增强了目标和背景的差异性,并且保证灰度图像的信噪比的效果。但该算法还存在算法实现相对较复杂,且实现过程中部分图像的细节信息还会丢失的现象,有待下一步研究。

参考文献

- [1] 扈佃海,吕绪良.一种改进的直方图均衡化图像增强方法[J].光电技术应用,2012,27(3).
- [2] 郑刚,贾振红.同态技术在红外图像处理中的应用[J].光子学报,2005,34(9).
- [3] 胡宴明,赵海生,李云川,等.一种基于同态滤波的红外图像增强新方法[J].红外技术,2012,34(4).
- [4] 江桥,王学伟.一种新的红外图像复合增强算法[J].微处理机,2007(3).
- [5] 尹士畅,喻松林.基于小波变换和直方图均衡的红外图像增强[J].激光与红外,2013,43(2).
- [6] 吕绪良,文刘强.基于小波变换的红外图像模糊与同态增强[J].解放军理工大学学报,2013,14(2).
- [7] 王群,何永强,周云川.基于中值滤波和生物仿生学的图像增强研究[J].光电技术应用,2011,26(5):51-55.
- [8] 张静,李一兵.基于双树小波变换的图像增强算法[J].计算机工程与科学,2011,33(11):98-102.
- [9] 李开瑞,李树军.基于直方图统计学的图像增强算法研究[J].科学技术与工程,2011,11(23):5572-5575.
- [10] 徐军,梁昌洪,张建奇.一种红外图像增强的新方法[J].西安电子科技大学学报(自然科学版),2000,27(5):546-549.
- [11] 宋岩峰,邵晓鹏,徐军.基于双平台直方图的红外图像增强算法[J].红外与激光工程,2008,37(2):308-311.
- [12] 天河,戴景民.结合人眼视觉特性的红外图像增强新技术[J].红外与激光工程,2008,23(6):951-954.
- [13] 武治国,王延杰.一种基于直方图非线性变换的图像对比度增强方法[J].光子学报,2010,39(4):755-758.
- [14] 刘刚,王立香,董延. Matlab 数字图像处理[M].北京:机械工业出版社,2010.