

# 在频域中利用同态滤波增强图像对比度

Image contrast enhancement by homomorphic filtering in frequency field

(1.中国科学院长春光学精密机械与物理研究所;2.中国科学院研究生院)陈春宁<sup>1,2</sup> 王延杰<sup>1</sup>

CHEN CHUNNING WANG YANJIE

摘要:在介绍基于照明反射模型的同态滤波模型原理、实现过程和特点的基础上,在频域内通过对高斯高通滤波器、巴特沃斯高通滤波器、指数高通滤波器的改进后得出三种同态滤波器,并对三种同态滤波器通过实验结果给出适用的滤波模型和表达式参数。由对同一幅照明不良会使图像亮度不足和细节模糊,而且图像信噪比很低,图像对比度明显变差的图像处理结果表明,巴特沃斯同态滤波函数优于其它两种同态滤波函数,对光照不足的图像进行灰度动态范围压缩和对比度增强效果显著。

关键词:同态滤波;图像对比度增强;动态范围

中图分类号:TP391.4

文献标识码:A

Abstract: In digital image processing, the homomorphic filtering approach is derived from an illumination-reflectance model of the image. Homomorphic filtering can perform simultaneous dynamic range compression and contrast enhancement. Crucial for the success of the homomorphic approach is the selection of an appropriate frequency-domain filter function in order to modify the illumination and reflectance components of an image differently. The author used Butterworth equations, Gaussian equations and Exponent equation to enhance image contrast by modifying Butterworth type highpass equations, Gaussian type highpass equations and Exponent type highpass equation. The Butterworth homomorphic filtering equations far superior to other frequency-domain filter functions, including Gaussian equations, making the Butterworth homomorphic suitable for use with the homomorphic filtering approach.

Key word: homomorphic filter, dynamic range, image contrast enhancement.

## 1 引言

图像在生成、获取、传输等过程中,受照明光源性能、成像系统性能、通道带宽和噪声等诸多因素的制约,往往造成对比度偏低、清晰度下降,并引入干扰噪声。为了改善图像质量,获得更适合于人眼观察,必需对图像增强。图像增强的方法分为两大类:空间域方法和频域方法。采用何种方法与具体问题紧密相关,没有一种增强算法能适合于所有的应用场合。增强目的不同,图像类型不同,采用的增强方法不同。空间域增强算法的基础是灰度级映射变换和模板卷积,主要有对比度增强、直方图增强、模板平滑、模板锐化等;频率域增强算法的处理基础是傅立叶变换和滤波技术,主要有低通滤波(平滑)、高通滤波(锐化)、同态滤波等。一般来说,图像的边缘和噪声都对应于傅立叶变换的高频分量,而低频分量主要决定图像在平滑区域中总体灰度级的显示,故被低通滤波的图像比原图像少一些尖锐的细节部分。同样,被高通滤波的图像在图像的平滑区域中将减少一些灰度级的变化并突出细节部分。为了增强图像细节的同时尽量保留图像的低频分量,在本文中采用基于照度-反射模型的同态滤波增强方法,主要用于减少光照不足引起的图像质量下降,并对感兴趣的景物进行有效增强。这样就在很大程度保留图像原貌的同时,对图像细节增强。

## 2 基于照度—反射模型的同态滤波

图像  $f(x,y)$  是由光源照度场(入射分量)  $f_i(x,y)$  和场景中物体反射光(反射分量)的反射场  $f_r(x,y)$  两部分乘积产生,关系式为:

$$f(x,y) = f_i(x,y) * f_r(x,y); \quad (1)$$

$f_i(x,y)$  的性质取决于照射源,  $f_r(x,y)$  取决于成像物体的特性。一般情况下,照度场  $f_i(x,y)$  的变化缓慢,在频谱上其能量集中于低频;而反射场  $f_r(x,y)$  包含了所需要的图像细节信息,它在空间的变化较快,其能量集中于高频。这样就可以根据照度—反射模型将图像理解为高频分量与低频分量乘积的结果。由于两个函数乘积的傅立叶变换是不可分的,故不能直接对照度和反射的频率部分分别进行操作。

$$\text{因此定义: } z(x,y) = \ln f(x,y) = \ln f_i(x,y) + \ln f_r(x,y) \quad (2)$$

$$\text{则 } Z(u,v) = F_i(u,v) + F_r(u,v) \quad (3)$$

这里,  $Z(u,v)$ 、 $F_i(u,v)$  和  $F_r(u,v)$  分别是  $\ln f(x,y)$ 、 $\ln f_i(x,y)$  和  $\ln f_r(x,y)$  的傅立叶变换。这样就把  $f_i(x,y)$ 、 $f_r(x,y)$  两个相乘分量变为两个相加的分量,借助一个滤波函数  $H(u,v)$  处理  $Z(u,v)$ ,

$$S(u,v) = H(u,v)Z(u,v) = H(u,v)F_i(u,v) + H(u,v)F_r(u,v) \quad (4)$$

这里,  $S(u,v)$  是结果的傅立叶变换。这样便可以在频域内对高频和低频分开处理,以期增强图像对比度,并可压缩图像信号的动态范围。然后将  $S(u,v)$  进行反傅立叶变换并取指数得到符合要求的增强图像。同态滤波的过程如图 1:

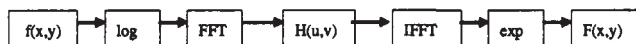


图 1 同态滤波过程

Fig. 1 Processing of homomorphic filter

陈春宁:博士研究生

图中  $\log$  表示对数运算;FFT 表示快速傅立叶变换; $H(u,v)$  表示滤波函数;IFFT 表示反傅立叶变换;exp 表示取指数运算。

### 3 频域内同态滤波函数

由于照明直接决定了一幅图像中像素达到的动态范围,而对比度是图像中物体的反射特性的函数.选用适合的同态滤波器将获得对这些分量的理想的控制,许多控制能通过用同态滤波器对照射分量和反射分量操作来加强.这些控制需要一个滤波函数  $H(u,v)$  来规范.它能以不同的方法影响傅立叶变换的高、低频成分.用于图像增强的同态滤波函数关系如图 2,在其中: $R_h$  代表高频增益, $R_l$  代表低频增益,  $D(u,v) = [(u-u_0)^2 + (v-v_0)^2]^{1/2}$  (5),表示频率  $(u,v)$  到滤波器中心  $(u_0, v_0)$  的距离,曲线形状与频域内高通滤波器的基本形式近似.而在

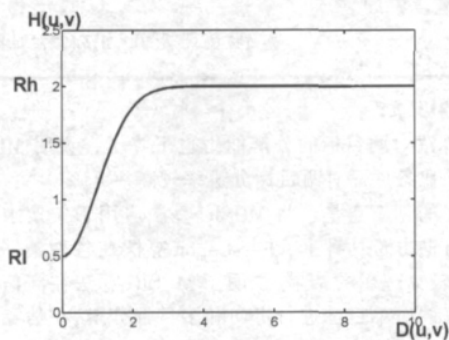


图 2 同态滤波函数

频域内经常使用的高通滤波器为高斯型高通滤波 Fig. 2 homomorphic filter function

器,滤波函数为:  $H(u,v) = 1 - \exp(-(D(u,v)/2D_0)^{2n})$  (6)

巴特沃斯型高通滤波器,滤波函数为:

$$H(u,v) = 1 / (1 + [D_0/D(u,v)]^{2n}) \quad (7)$$

指数型高通滤波器,滤波函数为:

$$H(u,v) = \exp(-[D_0/D(u,v)]^n) \quad (8)$$

$D_0$  为  $(u_0, v_0) = (0, 0)$  时  $D(u,v)$  的值,表示截止频率.对上述三种高通滤波器稍微修改后得到与其相对应的同态滤波函数,函数表达式如下:

高斯型同态滤波器滤波函数为:

$$H(u,v) = (R_h - R_l)[1 - \exp(-c(D(u,v)/D_0)^{2n})] + R_l \quad (9)$$

巴特沃斯同态滤波器滤波函数为:

$$H(u,v) = (R_h - R_l)[1 / (1 + [D_0/cD(u,v)]^{2n})] + R_l \quad (10)$$

指数同态滤波器滤波函数为:

$$H(u,v) = (R_h - R_l)\exp(-c[D_0/D(u,v)]^n) + R_l \quad (11)$$

常数  $c$  被引入用来控制滤波器函数斜面的锐化,它在  $R_l$  和  $R_h$  之间过渡.当  $\gamma_l < 1$ ,  $\gamma_h > 1$  则减小低频和增强高频,使得动态范围压缩和对比度增强.  $D_0$  的选择比较困难,它与照度场和反射系数场对应的频谱幅度对比度有关,一般需经多次实验才能确定。

### 4 实验结果与分析

表 1 中给出了本文所述的三种同态滤波器的表达式(9)式、(10)式、(11)式的参数取值.在频域内对同一幅图像分别用巴特沃斯、高斯、指数三种高通、低通和同态滤波器进行图像处理,从图 3、图 4、图 5、图 6、图 7、图 8 的对比可以看出,经过低通滤

波的图像比原图像少一些尖锐的细节部分,图像变得比较模糊.而被高通滤波的图像在图像的平滑区域中将减少一些灰度级的变化并突出细节部分.对于同态滤波器,在截止频率  $D_0$ 、低频增益  $R_l$  相同(分别为 3.0 和 0.5)的条件下,虽然都可以将景物内的细节显示出来,在增强高频的同时保留部分低频信息,实现压缩动态范围和对比度增强,但从经过同态滤波后的灰度直方图(图 9、图 10、图 11)可以看出巴特沃斯同态滤波对于平衡墙外的灰度,实现压缩动态范围和对比度增强效果最好。

	$R_h$	$R_l$	$c$	$D_0$
高斯同态滤波	4	0.5	3.5	3.0
巴特沃斯同态滤波	2	0.5	1.4	3.0
指数同态滤波	4	0.5	3.8	3.0

表 1 同态滤波器参数值

Table 1. homomorphic filter value



图 3 原始图像

Fig. 3. Raw image



图 4 低通滤波后的图像

Fig. 4 Image by lowpass filter



图 5 高通滤波后图像

Fig. 5 Image by highpass filter



图 6 巴特沃斯同态滤波

Fig. 6 butterworth homomorphic filter



图 7 指数同态滤波

Fig. 7 Exponent homomorphic filter



图8 高斯同态滤波

Fig.8 Gaussian homomorphic filter

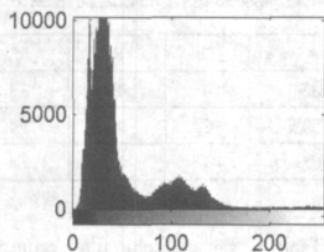


图9 高斯滤波直方图

Fig.9 Gaussian histogram

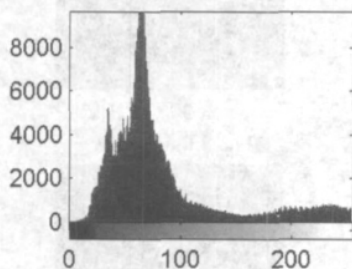


图10 指数滤波直方图

Fig.10 Exponent histogram

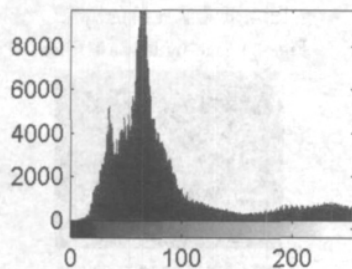


图11 巴特沃斯滤波直方图

Fig.11 Butterworth histogram

## 5 结论

从上面的实验结果可以知道,在频域内的通过基于照度—反射模型的同态滤波的方法,只要选取适当的  $R_h$ 、 $R_l$ 、 $c$  及  $D_0$ ,就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,并增强图像的对比度的效果。而在文中作者的创新点是根据高斯、指数和巴特沃斯高通滤波函数修改而构造的三种同态滤波函数。在这三种滤波函数中,巴特沃斯同态滤波函数对图像增强效果更为显著。

### 参考文献:

- [1]吴为禄. 遥感图像中的云层消除处理. 铁路航测 2003年1期.
- [2]Holger G. Adelman. Butterworth equations for homomorphic filtering of images 1998.169-181
- [3]刘宏, 李锦涛, 苗军. 多方法融合来解决人脸检测中的光照补偿. 系统仿真学报. 2001年11月
- [4]Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods. Digital Image Processing

Second Edition. 2003.3

- [5]尹立敏. 一种可控的直方图均衡算法 [J] 微计算机信息, 2005.12, 147

作者简介:陈春宁(1971-),男(汉族),吉林省长春市人,博士研究生。主要研究方向为实时数字图像处理, E-mail: ccccg@sohu.com.

Biography: Chen Chun-ning (1971-), male (the Han nationality), Born in Changchun city of Jilin Province. The main research work is the real-time digital image processing, E-mail: ccccg@sohu.com.

(130033 吉林长春 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所) 陈春宁 王延杰

(100039 北京 中国科学院 研究生院) 陈春宁

通讯地址: (130033 长春 长春市东南湖大路 16 号 长春光机所 图像室) 陈春宁

(收稿日期: 2006.1.3) (修稿日期: 2007.2.5)

(上接第 213 页)

MUSIC 算法对两目标的分辨能力也下降了, 说明 MUSIC 算法在高信噪比条件下对两目标分辨率较高。

本文的创新点是: 将 MUSIC 算法应用于矢量水听器线列阵波达方向方位估计上, 并与 Capon 算法在各种条件下进行比较, 获得较为理想的结果, 说明了 MUSIC 算法在高信噪比条件下可很好的对单目标进行定向和多目标分辨, 在信噪比偏低的条件下也有较好的性能。

### 参考文献:

- [1] Richard O. Nielsen. Sonar Signal Processing (Acoustic and Signal Processing Library) [M]. London: Artech House, 1991
- [2] Kainam T. Wong, Michael D. Zoltowski. Root-MUSIC-based azimuth-elevation angle-of-arrival estimation with uniformly spaced but arbitrarily oriented velocity hydrophones. IEEE Transactions on Signal Processing, 1999, 47: 3250-3260
- [3] K. T. Wong, M. D. Zoltowski. Self-Initiating MUSIC-Based Direction Finding in Underwater Acoustic Particle Velocity-Field Beamspace. IEEE J. of Oceanic Engineering, 2000, 25(2): 659-672
- [4] 李宇光. 子空间算法理论与应用 [M]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学出版社, 1999.
- [5] 刘钮英, 尚朝轩, 韩壮志. 坐标转换在雷达组网中的应用 [J] 微计算机信息 2005, 34: 104-105
- [6] 布列霍夫斯基. 分层介质中的波. 第 2 版. 北京: 科学出版社, 1985.

作者简介: 周浩(1971-), 男, 汉族, 海军工程大学兵器工程系, 讲师, 研究方向为水下无源定位, E-mail: gjbdong@yahoo.com; 顾晓东(1965-), 男, 汉族, 海军工程大学兵器工程系, 博士研究生; 蒋兴舟, 男, 汉族, 海军工程大学兵器工程系, 教授。

Biography: Zhou, Hao (1971-), Male, Han, instructor in Dept. of weaponry engineering at Naval University of Engineering, main research fields are passive location; Gu, Xiaodong (1978-), Male, Han, Doctor student in Dept. of weaponry engineering at Naval University of Engineering. Jiang Xingzhou, Male, Han, Dept. of weaponry Eng. Naval University of Engineering, professor.

(430033 武汉 海军工程大学兵器工程系) 周浩 顾晓东 蒋兴舟  
通讯地址: (430033 湖北武汉 海军工程大学兵器工程系 507 教研室) 周浩

(收稿日期: 2006.1.3) (修稿日期: 2007.2.5)