

# 同态滤波预处理在微粒场全息图图像处理中的应用

陈智 王国志 丰善 高宏文

(中国科学院西安光学精密机械研究所瞬态光学技术国家重点实验室,西安 710068)

**摘要** 针对粒子场全息图像亮度不均匀产生的原因进行理论分析,采用同态滤波图像增强方法对微粒场全息图像亮度不均匀进行校正,消除了对图像处理中的二值化处理结果带来的影响,提高了原图像的象质,为进一步提取图像中的特征信息打下了良好的基础.通过计算机模拟分析和验证,证实了同态滤波图像增强方法是有效的预处理方法.

**关键词** 同态滤波;图像处理;全息图

**中图分类号** O438.1 **文献标识码** A

## 0 引言

测量粒子场的全息技术包括:全息图的记录、全息干板的处理、全息图再现和图像处理三个过程.全息图图像处理就是在数字化的再现图像中获取无噪声、小误差的二值图像,从而提取出感兴趣的粒子大小、形状等信息<sup>[1]</sup>.

图像增强技术在全息图图像处理中的应用是相当重要的.图像增强的目的是对变劣的图像进行恰当的处理,以便进一步提取图像中的特征信息.对每一种变劣特征的图像,有大致相似的增强处理方法.但是,每一个增强处理方法具有特定的应用范围,对某一幅图像增强效果好的处理方法,对另一幅图像可能完全不适用<sup>[2]</sup>.本文针对在微粒场实际拍摄和再现过程中,由于光照不均匀,导致图像处理系统所采集到的全息图像的亮度不均匀的情况,采用了一种同态滤波图像增强方法,成功地对亮度不均匀图像进行了校正.

## 1 原理

微粒场全息图的记录一般采用透射式离轴全息记录光路,照明光为平面光波.如果照明光光强不均匀,其光强分布将随空间坐标做缓慢变化.设照明光光强分布函数为 $f(x,y)$ ,物场透过率函数为 $t(x,y)$ ,则,物光到达全息干板处时,光强分布为 $f(x,y) \times t(x,y)$ .当全息图再现时,若不考虑常数因子,再现现象的光强分布亦含有 $f(x,y) \times t(x,y)$ 的因子.由此可见,全息记录时,照明光光强不均匀,将使再现现象亮度不均匀<sup>[2]</sup>.再现时,参考光光强不均匀,也会产生类似结果,分析方法相同.

照明光强取决于光源,而透过率取决于物场.由于照明光光强分布函数 $f(x,y)$ 随空间变化较小,而物

场结构复杂,物场透过率函数 $t(x,y)$ 随空间变化较大,所以,在空间频率域,函数 $f(x,y)$ 的频谱主要集中于低频段,函数 $t(x,y)$ 的频谱主要集中于相对高频段比较宽的范围.为此,只要能把全息图像中含有物光信息的 $f(x,y) \times t(x,y)$ 中的 $f(x,y)$ 和 $t(x,y)$ 的两部分分开,然后压制较低频段,放大较高频段,就能有效地降低光照不均匀对全息图像所带来的影响.

由上述分析可以设图像系统所采集的全息再现图像亮度分布函数为

$$g(x,y) = f(x,y) \times t(x,y) \quad (1)$$

为了将 $f(x,y)$ 和 $t(x,y)$ 分开,对式(1)两边取对数,得

$$\ln g(x,y) = \ln f(x,y) + \ln t(x,y) \quad (2)$$

对式(2)两边进行傅里叶变换

$$F\{\ln g(x,y)\} = F\{\ln f(x,y)\} + F\{\ln t(x,y)\}$$

简记为

$$G(u,v) = F(u,v) + T(u,v) \quad (3)$$

其中, $G(u,v)$ 、 $F(u,v)$ 和 $T(u,v)$ 分别为 $\ln g(x,y)$ 、 $\ln f(x,y)$ 和 $\ln t(x,y)$ 的傅里叶变换.

由于 $\ln f(x,y)$ 为照明光光强分布函数的对数,其频谱函数 $F(u,v)$ 主要集中于低频段,而 $\ln t(x,y)$ 是物场透过率函数 $t(x,y)$ 的对数,其频谱函数 $T(u,v)$ 主要在相对高频的部分.因此,可以使用一个滤波传函 $H(u,v)$ 对其进行处理,以压低低频成分.其输出为

$$S(u,v) = H(u,v)G(u,v) = H(u,v)F(u,v) + H(u,v)T(u,v) \quad (4)$$

对式(4)进行反傅里叶变换,得

$$s(x,y) = F^{-1}\{H(u,v)F(u,v)\} + F^{-1}\{H(u,v)T(u,v)\} \quad (5)$$

由于 $\ln g(x,y)$ 为全息再现图像的对数,因此,应当将式(5)结果进行反对数变换 $\exp[s(x,y)]$ ,才能获得最终的校正结果图像<sup>[2]</sup>.

## 2 亮度不均匀校正的计算机模拟

实验中由软件产生出一幅灰度为余弦变化的图

像如图1,为了能直观地说明问题,做出图1的灰度三维立体图如图2. 为了模拟照明光光强不均匀,将此图像灰度函数与另一个函数 $f(x,y)$ 相乘. 这里, $x,y$ 分别代表图像坐标,函数 $f(x,y)$ 的值随坐标 $x,y$ 不同作缓慢变化,所得到的模拟光照不均匀图像如图3,图4是图3的灰度三维立体图. 从图3、图4可以看出,图像的左上角亮,右下角暗,三维图明显倾斜<sup>[4]</sup>.



图1 光照均匀的条纹模拟图像  
Fig. 1 Simulative streak image by even lighting

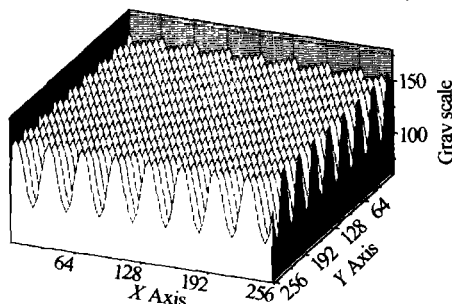


图2 光照均匀的条纹灰度三维立体图  
Fig. 2 3D plot of image grayscale of streak image by even lighting



图3 光照不均的条纹模拟图像  
Fig. 3 Simulative streak image by uneven lighting

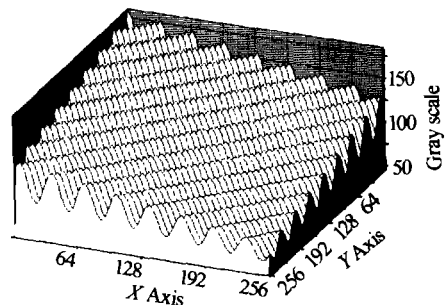


图4 光照不均的条纹灰度三维立体图  
Fig. 4 3D plot of image grayscale of streak image by uneven lighting

对图3进行同态滤波. 实验中所采用的滤波传函 $H(u,v)$ 是较为简单的高通滤波传函. 滤波后,得

到图5,图6是图5的灰度三维立体图. 可以看到,图像中亮度不均匀已基本得以校正. 对比图6和图2可知,除了图6中由于滤波传函 $H(u,v)$ 的影响而带来了少许畸变外,两图象基本相似. 在实际应用中,选取适当的滤波传函 $H(u,v)$ 可以减少或消除畸变.

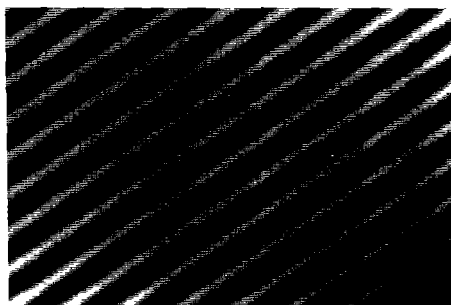


图5 光照不均的条纹图像经过同态滤波后的结果  
Fig. 5 Homeostasis filtering result of uneven lighting streak

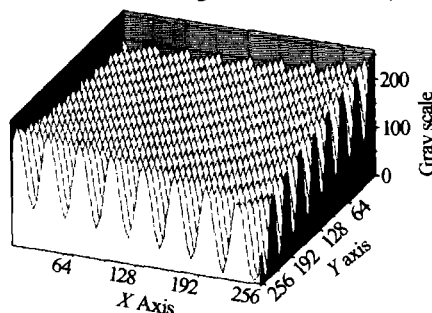


图6 同态滤波后图像的三维立体图  
Fig. 6 3D plot of image grayscale after homeostasis filtering

同态滤波能校正亮度不均匀的关键在于通过对图像函数取对数,从而将图像中相对于 $f(x,y)$ 和 $t(x,y)$ 的两部分分开. 为了证实这一点,我们通过对图3进行高通滤波来进行实验对比. 图7是对图3高通滤波后的图像,图8是图7的灰度三维立体



图7 光照不均的条纹图像经过高通滤波后的结果  
Fig. 7 High-pass filtering result of uneven lighting streak

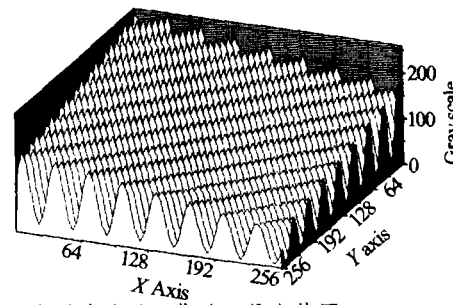


图8 高通滤波后图像的三维立体图  
Fig. 8 3D plot of image grayscale after high-pass filtering

图. 从图 7 和图 8 可以看出, 不取对数而只进行高通滤波, 图像亮度不均匀基本未得到校正.

### 3 同态滤波应用于微粒场全息图像二值化

超短脉冲全息图像由于拍摄条件的限制, 一般均会产生图像亮度不均匀的情况. 使粒子场中的粒子图像清晰度受到影响. 给以后计算机处理带来一定的困难, 而且使一些图像信息丢失. 采用了同态滤波的方法之后, 使粒子场中粒子的图像在全场中得到改善, 提高了处理效果.

实验中, 使用了一幅通过超短光脉冲全息技术实际获得的微粒场全息图像, 如图 9. 在图中我们可以看到图像的右上角的亮度明显不同于其他部分. 若对其直接进行二值化<sup>[3]</sup>, 图像右上角将会有大量的信息丢失.

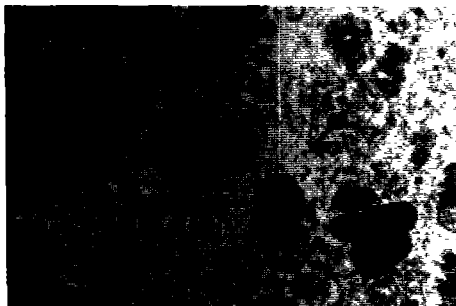


图 9 微粒场全息图像  
Fig. 9 Holographic image of particle field

图 10 是直接进行二值化的结果. 针对这种情况, 应当首先对图像进行同态滤波, 然后再进行二值化处理.

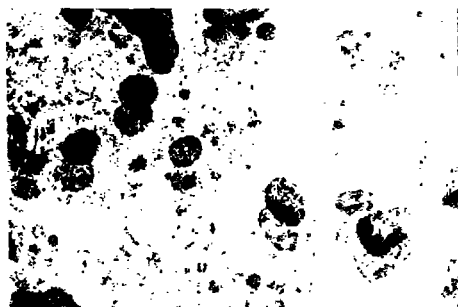


图 10 全息图像经过二值化的结果  
Fig. 10 Half toning result of holographic image

图 11 是对图 9 进行同态滤波后的结果图像. 可以看到, 图像中的亮度不均匀已得到了明显校正.

在对图像进行了同态滤波之后, 再进行二值化得结果图像如图 12. 对比图 10 和图 12 可以看出, 直接进行二值化, 图像右上角信息丢失严重, 而同态滤波后再进行二值化可以有效避免信息丢失.



图 11 全息图像经过同态滤波的结果  
Fig. 11 Homeostasis filtering result of holographic image

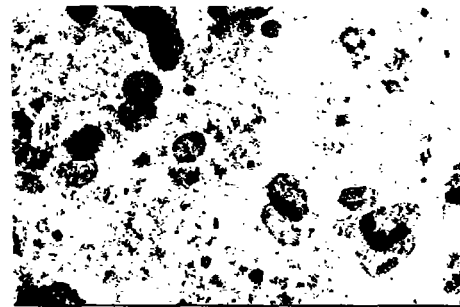


图 12 同态滤波后二值化的结果  
Fig. 12 Half toning result after homeostasis-Filtering

### 4 结论

针对超短光脉冲全息图像亮度不均匀的起因, 采用同态滤波增强算法可以使图像亮度不均得到有效校正. 经过校正后的图像再进行二值化处理, 可以避免由亮度不均引起的二值化结果中的信息丢失. 通过理论分析和实验验证可知, 同态滤波增强算法可以作为一种有效的超短光脉冲全息图图像处理中的预处理算法.

#### 参考文献

- 1 刘子超, 赵云惠. 雾滴及颗粒的激光测量原理. 北京: 宇航出版社, 1988. 292 ~ 305  
Liu Z C, Zhao Y H. Laser measure principle of particle. Beijing: Space navigation press, 1988. 292 ~ 305
- 2 刘榴娣, 刘明奇, 党长民. 实用数字图像处理. 北京: 北京理工大学出版社, 1998. 87 ~ 89, 107 ~ 111  
Liu Z D, Liu M Q, Dang C M. Practical digital image process. Beijing: Beijing Institute of Technology press, 1998. 87 ~ 89, 107 ~ 111
- 3 赵荣椿, 赵忠明, 崔生. 数字图象处理导论. 西安: 西北工业大学出版社, 1996. 97 ~ 99  
Zhao R C, Zhao Z M, Cui S. Digital image process. Xian: Northwestern polytechnical university press, 1996. 97 ~ 99
- 4 宗孔德, 胡广书. 数字信号处理. 北京: 清华大学出版社, 1988. 80 ~ 116  
Zong K D, Hu G S. Digital signal process. Beijing: Tsinghua University press, 1988. 80 ~ 116

## Application of Homeostasis Filtering in Image processing of Particles field Holography

Chen Zhi, Wang Guozhi, Feng Shan, Gao Hongwen

*State Key Lab. of Transient Optics Technology, Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics, CAS Xi'an 710068*

Received date: 2003-02-12

**Abstract** The application of homeostasis filtering in image process of particles field holography was discussed. Holographic reconstructed image with uneven brightness cannot be half toned effectively. How the uneven brightness creates was analyzed theoretically, and Homeostasis Filtering was used to adjust the uneven brightness. According to the computer simulation and experiment, it was proved that homeostasis filtering was an efficient method for adjusting uneven brightness before halftone process.

**Keywords** Homeostasis Filtering; Image processing; Holography



**Chen Zhi** was born in 1978, in Shaanxi Province, P. R. China. She got her B. S in computer and its application from Shaanxi University of Science and Technology in 2000. She has been working in the State key Laboratory of Transient Optics Technology since graduated from school. Her current interests are in the area of digital image process.