

# 火炮内膛图像照度不均匀的校正方法

雷洁 傅建平 郭琦

(军械工程学院火炮工程系, 河北 石家庄 050003)

**摘要** 受火炮内膛结构、材料与光照等影响,火炮内膛全景图像存在光照不均现象,影响图像的分割质量。采用背景去除法消除内膛图像照度不均,同时在基于小波变换的同态滤波法的基础上,根据贝叶斯萎缩阈值法对其进行改进,对于经过小波变换后内膛图像的高频子带图像进行加权修正,而对其低频部分进行线性调整。针对校正结果,依据像素信息熵,提出了不同算法对无标准图像改善效果的评价标准。火炮内膛全景图像实验表明,改进算法在保持了原算法大幅度改善图像品质的优点的基础上,减少了边缘信息的丢失。

**关键词** 图像处理;内膛全景图像;照度不均匀;小波变换;加权修正

**中图分类号** TN911 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP48.061002

## Correction of Uneven Illumination on Gun Bore Image

Lei Jie Fu Jianping Guo Qi

(Department of Artillery Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang, Hebei 050003, China)

**Abstract** Influenced by gun bore structure and illumination, the gun bore panoramic image has the problem of uneven illumination which will influence the quality of image segment. The de-background is adopted to eliminate the uneven illumination in gun bore images, and the homomorphic filtering based on wavelet is ameliorated through the bayesian shrinkage method. The high-frequency subband images of gun bore panoramic image are revised by weighting, and the low-frequency subband images are modulated linearly. The evaluation criterion for corrections of nonstandard images by different algorithms is proposed. Experimental result of the gun bore panoramic image shows that the modified algorithm can decrease the expense of marginal information, on the basis of improving the image quality primely.

**Key words** image processing; bore panoramic image; unevenness of illumination; wavelet transfer; weighting revise

**OCIS codes** 100.0100; 110.7410; 150.2950

## 1 引言

火炮内膛疵病检测中,由于内膛照明条件的不匹配,光源近处亮度高,远处则偏暗;另外,火炮内膛存在阴、阳膛线,内膛各部烧蚀、磨损状态均不同,加上内膛擦拭保养不尽,都使所采集的火炮内膛全景图像出现照度不均现象。内膛图像照度不均会直接影响其后期分析处理效果,包括内膛图像的分割与疵病识别等。因此需要消除内膛图像的照度不均匀,以改善图像质量。目前现有的火炮内膛图像照度不均方法包括灰度变换法<sup>[1,2]</sup>和背景去除法。灰度变换法由于单纯考虑图像的直方图分布特点,通过滤波的方法消除照度不均,这样势必引起火炮膛线边缘信息的丢失。由于火炮身管由同一材质构成,整幅内膛图像,包括目标和背景,其像素值比较接近,基于空域法的背景去除法消除光照不均效果也不太理想。本文利用小波变换能兼顾图像的空域和频域特点,根据同态滤波的原理,对小波变换后的系数进行修正,明显增强了局部对比度<sup>[3]</sup>,可

**收稿日期**: 2010-12-31; **收到修改稿日期**: 2011-02-23; **网络出版日期**: 2011-04-19

**基金项目**: 军队科研([2009]246)资助课题。

**作者简介**: 雷洁(1989—),男,硕士研究生,主要从事车辆检测、图像处理等方面的研究。E-mail: 1989leijie@sina.com

**导师简介**: 傅建平(1966—),男,副教授,硕士生导师,主要从事身管检测、自动化控制等方面的研究。

E-mail: jx\_fu\_jp@sina.com

进一步消除内膛图像的光照不均,最大程度地改善图像质量。

## 2 背景去除法

背景去除法作为一种空域的照度不均消除方法,其基本思想是对图像中各个像素进行操作,获得背景图像的估计值,然后和原图像进行运算,从而达到调整图像亮度的目的。该方法把图像作为目标图像与背景的简单相加,其数学模型为

$$f(x, y) = g(x, y) + h(x, y), \quad (1)$$

式中  $f(x, y)$  为原图像,  $g(x, y)$  为处理后图像,  $h(x, y)$  为背景图像。

对(1)式做变换:

$$g(x, y) = f(x, y) - h(x, y). \quad (2)$$

从(2)式可知,该方法的关键是要估计出图像的背景。本文采用邻域操作<sup>[4,5]</sup>的方法来估计背景图像  $h(x, y)$ 。其实现过程为:将图像  $f(x, y)$  划分成  $m \times n$  个大小为  $a \times b$  的邻域,如果分割邻域大小不适应原图像的大小,则对原图像进行最大灰度填充。若记邻域为  $R_{ij}(x, y)$ , 原图像可表示为

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & \cdot & \cdot & R_{1n} \\ R_{21} & \cdot & \cdot & \cdot & R_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ R_{m1} & R_{m2} & \cdot & \cdot & R_{mn} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

取每个邻域像素的最小值  $\min(R_{ij})$  作为输出,根据(3)式可得到大小为  $m \times n$  的背景估计图像,通过后向映射法与双三次内插法,将其扩展为与原图像相同大小的图像,即

$$h_1(x, y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \min(R_{ij}) H(x-i, y-j), \quad (4)$$

式中  $H(x_i, y_j)$  为插值基函数。在估计背景图像的基础上,选取适当的参数  $k$ , 获得校正后图像:

$$f_1(x, y) = f(x, y) - kh_1(x, y). \quad (5)$$

## 3 改进的基于小波变换的同态滤波法

由于背景去除法只考虑在空域上进行照度不均匀的消除,则在频域上会产生误差。同态滤波法则是从图像的频域角度对光照不均匀进行修正,没有充分考虑图像的空域局部特性,对局部对比度的增强效果不太理想。而小波变换具有空域和频域“变焦距”的特性<sup>[6]</sup>,采用基于小波变换的同态滤波同时考虑了空域和频域的情况,在调整全局对比度的同时,又兼顾了局部特性,在很大程度上提高了图像的质量。

一个小波函数  $\varphi(t)$  满足<sup>[7]</sup>:

$$\left\{ \begin{array}{l} \int_{-\infty}^{+\infty} |\varphi(t)|^2 dt < \infty \\ \int_{-\infty}^{+\infty} |\varphi(\omega)|^2 |\omega|^{-1} d\omega = C_\varphi < \infty \end{array} \right., \quad (6)$$

式中  $\varphi(\omega)$  为  $\varphi(t)$  的傅里叶变换。可见小波函数具有明显的双窗特性,同时,在二维离散多分辨率分析中,任意一个函数  $f(x)$  的小波基分解为<sup>[8]</sup>

$$f(x) = \sum_{j=-\infty}^J \sum_{k=-\infty}^{\infty} \omega_{j,k} \varphi_{j,k}(x) + \sum_{k=-\infty}^{\infty} s_{J,k} \phi_{J,k}(x), \quad (7)$$

式中  $\varphi(x)$  为小波函数,  $\phi(x)$  为尺度函数。通过小波函数的平移、伸缩又可以生成三个不同方向的子带,即

$$\begin{cases} \psi^{LH}(x, y) = \phi(x)\varphi(y) \\ \psi^{HL}(x, y) = \varphi(x)\phi(y) \\ \psi^{HH}(x, y) = \varphi(x)\varphi(y) \end{cases} \quad (8)$$

尺度空间则是由尺度函数的平移、伸缩函数张成,即

$$\Phi(x, y) = \phi(x)\phi(y). \quad (9)$$

而二维离散小波变换的快速算法,其本质就是通过把小波函数作为带通滤波器进行滤波,并把原始信号分解为一系列频带上的信号,对于低频尺度而言,其小波变换所得的分量为低频信号分量。图 1(a)描述了二维离散小波变换的一步分解算法,图 1(b)描述了经三步小波变换后子带一般的存放顺序。

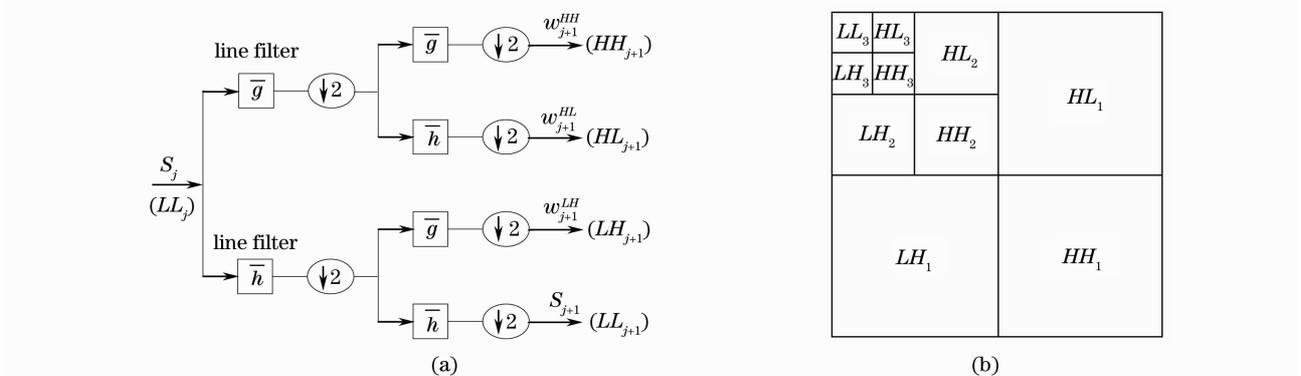


图 1 二维离散小波变换

Fig. 1 2D discrete wavelet transform

图 1(b)中  $LL_3$  反映了图像各主要空域范围的亮度分布和基本面貌,而其他的子带主要反映各次分解的高频边界信息。所以,根据同态滤波的原理,为了消除照度不均,就需对不同分辨率下的小波分解系数进行类似的高通滤波处理,衰减低频信息,增强高频信息。而针对图 1(b)所示的子带图,就是要对  $LH_j, HL_j, HH_j$  等区域的高频小波系数进行加权修正,并对  $LL_j$  进行线性调整。

由于无噪图像的小波系数服从广义高斯分布的先验模型,根据贝叶斯萎缩阈值估计方法<sup>[9]</sup>,高频子带图像系数加权修正公式为<sup>[10,11]</sup>

$$H(j, \omega_h, \omega_v) = \gamma_1 - \frac{\gamma_2}{\exp\{\sqrt{2}[(\omega_h^2 + \omega_v^2)^{1/2}/(2^j k_c)]^2\}}, \quad (10)$$

式中  $\gamma_1, \gamma_2$  分别为高频增益和低频增益,  $j$  为小波分解级数,  $2^j$  反映了相应的分辨率,  $k_c$  称为截止系数,  $\omega_h$  和  $\omega_v$  分别为水平权系数和垂直权系数。

低频系数线性调整修正公式为

$$H_{LL_n} = (\gamma_1 - \gamma_2)[k(t - m) + m], \quad (11)$$

式中  $t$  代表当前分辨率下小波分解低频系数,  $m$  代表区上低频系数的平均值,  $k$  代表对比度调节因子。

基于小波变换的照度不均匀校正过程如图 2 所示。首先对原图像  $f(x, y)$  进行单层小波分解,对分解后的高频系数进行加权修正,对低频系数进行线性调整,然后再对修正后的低频带进行单次分解、修正,如此反复  $N$  次 ( $N = 3$ ),最后对修正过的  $N$  层小波分解进行逆序重构,得到照度校正后的图像。

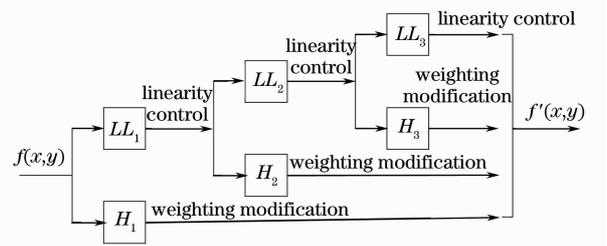


图 2 基于小波变换的照度不均匀校正过程

Fig. 2 Process of wavelet based elimination of illumination unevenness

#### 4 图像评价

为了检验以上两种校正方法的修正效果,需要有一种评价标准,对校正后图像进行质量评价。校正后图像质量评价的基本标准为:校正方法改善图像质量的程度。根据是否有标准参考图像可以分为两种情况:1)有标准图像,由于标准图像具有最高的信息,评价时可以以结果图像相对于标准图像信息的均方误差等作为评价指标;2)无标准图像,可以以结果图像具有的边缘信息量作为评价指标,信息量越高,则图像质量越高。

实际使用中的火炮,其内膛图像难以得到标准图像,无法与标准图像比较图像信息,故本文采用图像品

质评价的指标为

$$Q = 1 - \frac{1}{bh} \sum_i \sum_h S(x, y), \quad (12)$$

式中  $b, h$  为图像的高和宽(像素单位),  $S(x, y)$  为像素的熵<sup>[12]</sup>, 其定义为

$$S(x, y) = \sum_{i=1}^n P_i(x, y) \exp[1 - P_i(x, y)] / \exp(1 - 1/n), \quad (13)$$

式中  $n$  为像素  $(x, y)$  的邻域像素个数, 一般取  $3 \times 3 - 1$  或  $5 \times 5 - 1$ 。 $P_i(x, y)$  为像素  $(x, y)$  邻域中第  $i$  个像素的灰度概率值, 表达式为

$$P_i(x, y) = R_i(x, y) / \sum_{j=1}^n R_j(x, y), \quad (14)$$

式中  $R_i$  为第  $i$  个邻域像素的灰度值。

$S(x, y)$  作为像素的熵度量, 与邻域的灰度变化率有关[变化率越大,  $S(x, y)$  越小], 并且对邻域的平均灰度变化不敏感, 即在相同变化率的情况下, 较小的邻域平均灰度具有较小的  $S(x, y)$ 。对于图像  $f(x, y)$  来说, 灰度变化率越大, 所含的信息量越大, 其每个像素的  $S(x, y)$  越小, 则  $Q$  越大。因此  $Q$  值可以作为图像品质评价的度量。

## 5 实验结果

图 3(a) 为某炮内膛全景图像, 由于内膛照明条件、内膛结构等不同, 全景图像出现照度不均现象, 即离镜头近处图像较亮, 而远处较暗。根据上述背景去除法和基于小波变换的同态滤波法及评价模型, 应用 Matlab 软件编程, 消除了内膛图像中的光照不均现象, 结果如图 3(b), (c) 所示。图 3(b) 为背景去除法校正图像, 图 3(c) 为小波变换校正图像。采用  $Q$  值法图像评价标准, 分别对三幅图像进行评价, 其  $Q$  值分别为 0.0062, 0.0359 和 0.1149。

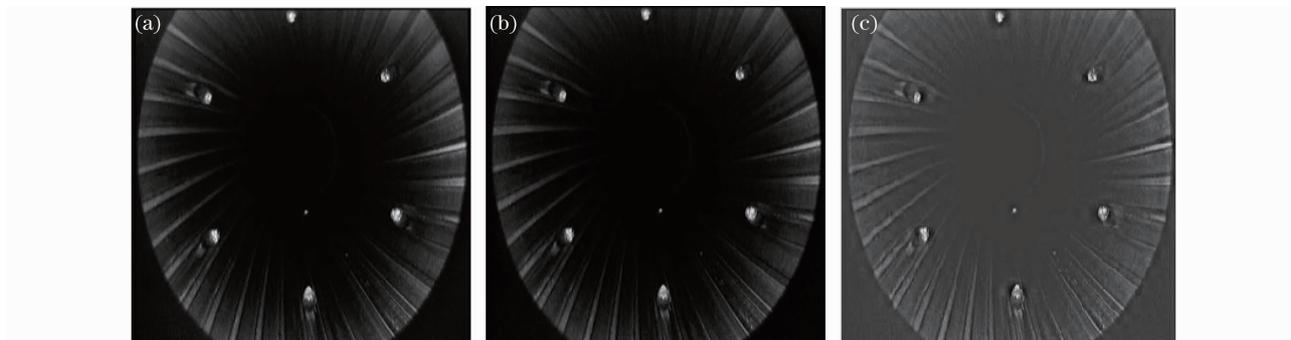


图 3 照度不均匀校正结果

Fig. 3 Original image and the results of elimination of unevenness

由图 3 可知, 两种方法都对照度不均匀有明显的消除, 提高了图像的对比度和品质。其中背景去除法由于插值函数会在高频处出现插值误差, 校正后图像中膛线等边缘处效果较差; 基于小波变换的同态滤波方法, 由于对高频信息进行了加权修正, 校正后的图像不仅较好地消除了照度不均匀, 且其膛线及其边缘较清晰, 更有利于图像的分割和疵病的分类。原图  $Q$  值仅为 0.0062, 背景去除法校正后,  $Q$  值达 0.0359, 提高了近 5 倍, 基于小波变换的同态滤波法校正后,  $Q$  值达 0.1149, 较背景去除法又提高了近 4 倍, 较原图提高近 20 倍, 大大改善了原图的图像质量。

## 6 结 论

针对火炮内膛全景图像存在的光照不均现象, 分别采用背景去除法和基于小波变换的同态滤波法, 消除其照度不均, 后者对图像照度不均消除效果更好, 其  $Q$  值较前者提高了近 4 倍。同时, 基于小波变换的同态滤波法算法模型中高频增益系数、低频增益系数、截止系数等对消除照度不均效果存在一定影响, 该算法的

优化有待进一步研究。

### 参 考 文 献

- 1 Qiao Naosheng, Ye Yutang, Mo Chunhua *et al.*. Study of capturing and preprocessing of printed circuit board photoelectric image[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(4): 984~988  
乔闹生, 叶玉堂, 莫春华 等. 印刷电路板光电图像获取与预处理研究[J]. *光学学报*, 2010, **30**(4): 984~988
- 2 Kang Mu, Wang Baoshu. An adaptive color image enhancement algorithm based on human visual properties. [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(11): 3018~3023  
康 牧, 王宝树. 基于人眼视觉特性的彩色图像自适应增强算法[J]. *光学学报*, 2009, **29**(11): 3018~3023
- 3 Maria Petrou, Panagiota Bosdogianni. Image Processing, The Fundamentals[M]. Lai Jianhuang Transl. Beijing: China Machine Press, 2005. 116~118  
彼得鲁, Panagiota Bosdogianni. 数字图像处理疑难解析[M]. 赖剑煌译. 北京: 机械工业出版社, 2005. 116~118
- 4 Liang Lin, He Weiping, Lei Lei *et al.*. Survey on enhancement methods for non-uniform illumination image [J]. *Application Research of Computer*, 2010, **27**(5): 1625~1628  
梁 琳, 何卫平, 雷 蕾 等. 光照不均图像增强方法综述[J]. *计算机应用研究*, 2010, **27**(5): 1625~1628
- 5 He Dongsheng, Yang Dexing, Gu Bin *et al.*. Impact of inhomogeneous light intensity on test and its correction method for digital speckle interferometry with subtraction[J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, **29**(2): 362~365  
何东升, 杨德兴, 古 彬 等. 减模式下数字散斑干涉光强不均匀性对检测的影响和校正方法[J]. *光学学报*, 2009, **29**(2): 362~365
- 6 S. Mallat. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation[J]. *IEEE Trans, PAMI*, 1989, **11**(7): 674~693
- 7 Zhao Suna, Ai Jiaoyan, Li Shixiao. Application of wavelet transform in illumination uneven elimination[J]. *Computing Technology and Automation*, 2010, **29**(1): 99~101  
赵素娜, 艾娇燕, 李世晓. 小波变换在图像照度不均校正中的应用[J]. *计算技术与自动化*, 2010, **29**(1): 99~101
- 8 Jiang Sanping. Image Denoising Based on Wavelet[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2009. 20~24  
江三平. 基于小波变换的图像降噪[M]. 北京: 国防工业出版社, 2009. 20~24
- 9 Zhan Bichao, Wu Yiquan, Ji Shouxin. Infrared image enhancement method based on stationary wavelet transformation and retinex[J]. *Acta Optica Sinica*, 2010, **30**(10): 2788~2793  
占必超, 吴一全, 纪守新. 基于平稳小波变换和 Retinex 的红外图像增强方法[J]. *光学学报*, 2010, **30**(10): 2788~2793
- 10 Zhang Jiling, Feng Xiaoyi, Xia Chao. Research of illumination correction in AOI system[J]. *Electronic Measurement Technology*, 2007, **30**(7): 20~23  
张纪铃, 冯晓毅, 夏 超. AOI 检测系统光照不均的校正方法研究[J]. *电子测量技术*, 2007, **30**(7): 20~23
- 11 Qiu Yu, Tian Fengchun, Chen Jianjun *et al.*. An improved denoising method for 4f optical system based on bilateral filter [J]. *Chinese J. Lasers*, 2010, **37**(2): 514~520  
邱 宇, 田逢春, 陈建军 等. 一种基于双边滤波的 4f 光学系统图像去噪方法[J]. *中国激光*, 2010, **37**(2): 514~520
- 12 Hao Pengwei. Image interpolation based on wavelet[J]. *J. Remote Sensing*, 1998, **2**(2): 98~102  
郝鹏威. 基于小波的图像插值方法[J]. *遥感学报*, 1998, **2**(2): 98~102