

冷轧带钢表面缺陷图像预处理研究

葛宵烨, 郭英军, 孙梓钧, 孙鹤旭

(河北科技大学电气工程学院, 河北石家庄 050018)

摘要: 图像预处理是数字图像处理领域的重要部分,也是冷轧带钢表面缺陷图像检测的前提。复杂的现场环境及光学系统的失真等因素可导致图像降质,进而直接影响后续图像的特征提取及分类。针对这些问题,采取自适应中值滤波与同态滤波相结合的方法对图像进行预处理,利用自适应中值滤波实现图像去噪,高斯同态滤波较稳定地去除图像不均匀问题;将未经预处理与经过预处理后的图像及图像特征进行分析与比较,结果表明,微处理较大地改善了图像质量。

关键词: 图像处理; 缺陷图像; 图像预处理; 图像去噪; 光照不均匀; 自适应中值滤波; 同态滤波

中图分类号: TP751 文献标志码: A

Study on preprocessing of surface defect images of cold steel strip

GE Xiaoye, GUO Yingjun, SUN Zijun, SUN Hexu

(School of Electrical Engineering, Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang, Hebei 050018, China)

Abstract: The image preprocessing is an important part in the field of digital image processing, and it's also the premise for the image detection of cold steel strip surface defects. The factors including the complicated on-site environment and the distortion of the optical system will cause image degradation, which will directly affects the feature extraction and classification of the images. Aiming at these problems, a method combining the adaptive median filter and homomorphic filter is proposed to preprocess the image. The adaptive median filter is effective for image denoising, and the Gaussian homomorphic filter can steadily remove the nonuniform illumination of images. Finally, the original and preprocessed images and their features are analyzed and compared. The results show that this method can improve the image quality effectively.

Keywords: image processing; defect images; image preprocessing; image denoising; nonuniform illumination; adaptive median filter; homomorphic filter

由于现场环境、光照条件等的影响,通过取像设备获得的冷轧带钢原始图像会含有多种噪声,影响图像的质量,不利于后续图像的特征提取及分类^[1-3]。图像预处理的主要目的是加强图像的有用特征,抑制图像数据中不希望的失真,以获得高质量的图像。

收稿日期:2016-01-10;修回日期:2016-03-03;责任编辑:李 穆

基金项目:国家自然科学基金(61203275)

作者简介:葛宵烨(1990—),女,河北沧州人,硕士研究生,主要从事冷轧带钢表面缺陷图像模式识别方面的研究。

通讯作者:孙鹤旭教授。E-mail:hxsun@hebust.edu.cn

葛宵烨,郭英军,孙梓钧,等.冷轧带钢表面缺陷图像预处理研究[J].河北科技大学学报,2016,37(3):262-267.

GE Xiaoye, GUO Yingjun, SUN Zijun, et al. Study on preprocessing of surface defect images of cold steel strip[J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2016, 37(3): 262-267.

1 带钢缺陷图像预处理

通常情况下,在图像的传送和转换(如成像、复制、扫描、传输以及显示等)过程中总要造成图像的某些降质^[4-6]。比如说,光照不均、噪声污染、水雾等因素都会造成图像模糊,使得图像的质量有所下降,而这会严重影响到后续的特征提取及分类。所以,对带钢图像进行预处理是整个带钢表面缺陷检测系统中必不可少的一部分。改善方法大致有 2 种:第 1 种是只突出图像中感兴趣的部分,衰减次要部分,这种方法并不考虑图像降质的原因,称之为图像增强技术;第 2 种方法是根据造成图像降质的因素,设法去补偿这种因素,使得改善后的图像可以尽可能的逼近原始图像,这种方法称之为图像复原技术^[7-8]。图像预处理的主要目的是加强图像的有用特征,抑制图像数据中不希望的失真,尽可能恢复原图像。在实际应用中,造成图像降质的因素主要是由于现场环境中的各种噪声污染及光学系统在某种程度上的失真。针对这种情况,本文将自适应中值滤波算法与同态滤波算法结合起来,用于缺陷图像的预处理,并用 Matlab 仿真,实验结果证明,不论是对图像本身来说还是后续的特征提取,该算法对于图像的预处理均有较好的效果。

1.1 自适应中值滤波

中值滤波是一种典型的低通滤波器,它是由 JUKEY 在 1971 年提出的^[9-10]。最初被用于时间序列分析,后来被广泛应用于图像处理。其优点是在去除噪声的同时能保护图像的边缘,但是,该算法对于图像中所有的像素点均采用相同的处理^[11-13],也就是说,算法中使用的滤窗大小是固定不变的,这就使得其在去除噪声点的同时也可能会改变非噪声点像素的值,当窗口中的噪声像素数超过正常像素数的 1/2 时,中值滤波将起不到去噪作用。自适应中值滤波是对中值滤波的改进与完善,针对中值滤波窗口固定的局限性,自适应算法中增加了设定条件来改变滤波窗口的大小。

自适应中值滤波算法由 2 部分构成,即第 1 层和第 2 层。其中,第 1 层也称为 LevelA,第 2 层也称为 LevelB。将 LevelA 表示为

$$A_1 = Z_{med} - Z_{min}, \tag{1}$$

$$A_2 = Z_{med} - Z_{max}. \tag{2}$$

如果 $A_1 > 0$ 且 $A_2 < 0$,算法转到 LevelB,否则,增加滤窗尺寸,如果 S_{xy} 的大小没有超过滤窗尺寸所允许的最大值,则继续执行 LevelA,否则,输出 Z_{xy} 。LevelB 可表示为

$$B_1 = Z_{xy} - Z_{min}, \tag{3}$$

$$B_2 = Z_{xy} - Z_{max}. \tag{4}$$

如果 $B_1 > 0$ 且 $B_2 < 0$,则输出 Z_{xy} ,否则输出 Z_{med} 。上述算法中, Z_{min} 为滤窗内灰度的最小值; Z_{max} 为滤窗内灰度的最大值; Z_{med} 为滤窗内灰度的中值; Z_{xy} 为坐标 (x, y) 处的灰度值; S_{max} 为滤波窗口 S_{xy} 所允许的最大值。

其自适应中值滤波流程图见图 1。

1.2 同态滤波

同态滤波是一种在频域中增强图像对比度和压缩图像亮度范围的特殊滤波方法,通过抑制低频成分增强高频成分来减少光照变化并锐化边缘及细节^[14-16]。它可以很好地实现对入射分量和反射分量的控制,主要是将图像进行傅里叶变换,通过设计好的频域滤波器,抑制图像信息的低频分量、增强高频分量,从而实现非均匀亮度的校正。假设用 $f(x, y)$ 来表示图像函数,那么图像在坐标 (x, y) 处的值 f 为一个标量且 $f > 0$ 。令

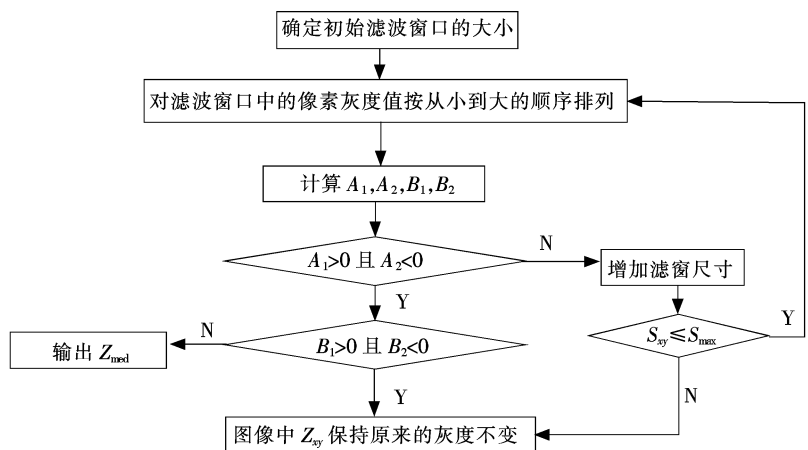


图 1 自适应中值滤波流程图

Fig. 1 Adaptive median filter flowchart

$$f(x, y) = i(x, y)r(x, y), \tag{5}$$

式中: $i(x,y)$ 为入射分量,即入射到所观察物体的光源照射总量, $0 < i(x,y) < +\infty$; $r(x,y)$ 为反射分量,即物体所反射的光照总量, $0 < r(x,y) < 1$ 。由于图像的入射分量通常以空间的慢变化为特征,而反射分量通常引起突变,因此在对图像进行傅里叶变换时,入射分量与反射分量分别对应于图像信息中的低频成分与高频成分。同态滤波算法的基本原理如下:

首先借助对数运算将 $i(x,y)$ 与 $r(x,y)$ 分离,即

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

再进行傅里叶变换,即

$$F[\ln f(x,y)] = F[\ln i(x,y)] + F[\ln r(x,y)], \quad (7)$$

该式可记为

$$F(u,v) = F_i(u,v) + F_r(u,v), \quad (8)$$

式中: $F_i(u,v)$ 是 $\ln i(x,y)$ 的傅里叶变换, $F_r(u,v)$ 是 $\ln r(x,y)$ 的傅里叶变换。选取合适的滤波函数 $H(u,v)$ 来控制入射分量和反射分量,即

$$H(u,v)F(u,v) = H(u,v)F_i(u,v) + H(u,v)F_r(u,v), \quad (9)$$

再进行傅里叶反变换,将图像由频率域变换到空间域,即

$$f'(x,y) = F^{-1}[F(u,v)H(u,v)], \quad (10)$$

最后再经过指数变换,得到输出图像,即

$$g(x,y) = \exp[f'(x,y)]. \quad (11)$$

同态滤波流程图如图 2 所示。

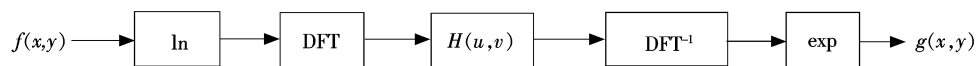


图 2 同态滤波流程图

Fig. 2 Homomorphic filter flowchart

但是,同态滤波并非把所有低频成分全部滤掉而只保留高频部分,而只是对低频部分的抑制,在保留低频部分的同时对高频部分进行提升,因此,该滤波器并非仅是一般的高通滤波器,而是一种类似高通的滤波器,它要保证对低频信号也有较好的通过性^[17-19]。由于高通滤波器在高低频之间能够光滑的过渡,无振铃效果,故本文选用的是基于高通滤波器的同态滤波器。将高通滤波器加以修改后得到高斯型同态滤波器滤波函数:

$$H(u,v) = (R_H - R_L)[1 - \exp(-cD^2(u,v)/D_0^2)] + R_L, \quad (12)$$

式中: R_H 与 R_L 均为滤波器参数,常数 c 用来控制滤波器函数斜面的锐化程度,在 R_H 与 R_L 之间过渡。为达到抑制低频增强高频的效果,常选择 $R_L < 1$ 而 $R_H > 1$, R_H 越大,高频信息就越强,但其又不能过大,因为过大会把缺陷的细小边缘也显示出来,不利于后续对缺陷图像的特征提取。本文经过仿真实验,选取 R_H 为 2, R_L 为 0.5, D_0 为 10, c 为 1.5 可达到效果。

2 仿真实验结果与讨论

本文对夹杂、孔洞、氧化等缺陷进行了仿真实验,下面列出了孔洞缺陷样本的仿真实验结果,图 3 是缺陷样本的原始图像,图 4 是中值滤波后的图像,图 5 是自适应中值滤波后的图像,图 6 是同态滤波后的图像,此外,对于其他类缺陷图像进行仿真实验也有同样的效果。

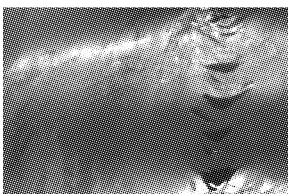


图 3 原始图像
Fig. 3 Original image

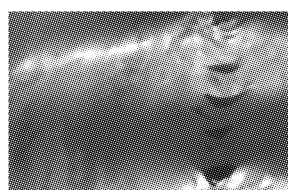


图 4 中值滤波图像
Fig. 4 Median filter image

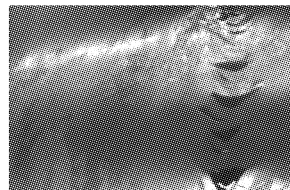


图 5 自适应中值滤波图像
Fig. 5 Adaptive median filter image

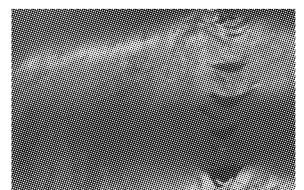


图 6 同态滤波后的图像
Fig. 6 Homomorphic filter image

由图像可以看出,经过中值滤波后的图像虽然变得较平滑,但也变的比较模糊,这是因为该算法对非噪声区域也进行了处理。自适应中值滤波后则有效地缓解了图像的模糊,但图像亮度不均匀仍比较明显,部分区域亮度仍明显大于其他区域,因为自适应中值滤波只是在进行去噪处理。再经过同态滤波后,图像的亮度较处理之前就有了较大的改善。

下面选取了对划痕、夹杂和孔洞缺陷图像进行灰度直方图和灰度共生矩阵特征提取的结果,每种缺陷均列出了 3 个缺陷样本的特征统计量。其中,提取的灰度直方图特征量为均值、方差、偏度、峰度、能量、熵,分别用 h_1-h_6 表示,提取的灰度共生矩阵特征量为角二阶矩、方差、逆差矩、熵、对比度、相关,分别用 f_1-f_6 表示。表 1 和表 2 是未经过图像预处理而直接进行特征提取后的特征值。

由表 1 和表 2 可知,各类特征值参差不齐。可以看出,孔洞缺陷样本 2 的灰度直方图特征量 h_1 和灰度共生矩阵特征量 f_1 均与另外 2 个样本的差值较大,划痕缺陷图像样本 1 的灰度共生矩阵特征值比另外两个样本特征值差很多。以 f_3 为例,可以看出划痕缺陷样本与夹杂缺陷样本的纹理特征差别很小。可见,上述结果无法得出灰度值特征和纹理特征是能够区分不同类型的有效特征,有效的特征值应该是类内的特征值相差小,而与其他类别特征的特征值相差较大。

表 3 和表 4 是经过了图像预处理后,进行特征提取得到的特征值。

表 1 灰度直方图特征
Tab. 1 Gray histogram features

缺陷图像类别	样本	灰度直方图特征量					
		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6
划痕缺陷图像	样本 1	78.628 5	53.557 1	0.018 2	2.057 5	0.017 0	4.530 4
	样本 2	81.503 1	63.230 0	0.010 8	1.762 1	0.020 3	4.550 6
	样本 3	95.002 3	47.030 0	0.027 0	3.562 5	0.010 3	4.750 0
夹杂缺陷图像	样本 1	155.385 4	34.312 9	0.029 1	2.352 0	0.008 3	4.869 6
	样本 2	152.010 8	33.257 5	0.030 1	1.972 6	0.008 5	3.785 4
	样本 3	157.905 4	40.957 2	0.014 8	1.127 7	0.006 9	4.072 4
孔洞缺陷图像	样本 1	119.002 5	51.050 8	0.019 3	1.668 8	0.012 9	4.490 7
	样本 2	72.610 1	22.720 0	0.049 9	4.390 0	0.026 6	3.830 0
	样本 3	124.560 8	11.700 0	0.036 5	2.732 6	0.008 1	4.956 9

表 2 灰度共生矩阵特征
Tab. 2 Gray level co-occurrence matrix features

缺陷图像类别	样本	灰度共生矩阵特征量					
		f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
划痕缺陷图像	样本 1	291.0	10.110 8	8.849	17.381	2.675	13.185
	样本 2	85.9	10.440 6	8.810	28.005	4.622	11.274
	样本 3	87.2	7.930 6	8.106	31.124	12.084	10.253
夹杂缺陷图像	样本 1	71.3	10.401 2	8.204	31.012	6.107	2.010
	样本 2	153.5	7.4661 2	9.829	23.612	3.721	5.565
	样本 3	127.4	7.045 8	6.302	24.813	4.002	4.008
孔洞缺陷图像	样本 1	133.5	8.532 0	8.261	30.012	6.091	9.181
	样本 2	272.0	5.153 0	9.425	15.724	1.764	5.536
	样本 3	122.6	9.127 7	7.007	25.161	3.705	7.327

由表 3 可以看出,虽然 h_2 的类内特征值变化较大, h_6 的类间特征值变化很小,这些都使得它们不利于用作分类依据,但 h_1, h_3, h_4 及 h_5 类内特征值相差相对较小,类间特征值相差相对较大,比较适合用作分类,

并且可以考虑剔除特征 h_2, h_6 , 即经过特征提取后的特征筛选可以进一步提高特征值的有效程度。由表 4 可以看出, f_3 类间数值差很小, f_4 类内数值差较大, 但 f_1, f_2, f_5 及 f_6 类内数值差相对较小, 类间数值差相对较大, 适宜用作分类依据。通过数据的对比, 可以看出, 经过图像预处理后, 虽然有些特征值仍不适合用作分类, 但是多数的特征值可以作为分类的有效依据, 这就需要在特征提取之后进行特征筛选, 使得用作分类的特征数据更加有效。因此, 对图像进行预处理是十分必要的。

表 3 灰度直方图特征(处理后)

Tab. 3 Gray histogram features

缺陷图像类别	样本	灰度直方图特征量					
		h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6
类别 1	样本 1	88.068 5	53.957 4	0.028 5	2.257 1	0.018 0	4.533 3
	样本 2	81.503 1	63.134 8	0.025 8	2.762 1	0.019 4	4.554 0
	样本 3	93.802 9	37.039 2	0.027 0	3.562 8	0.019 3	4.750 5
类别 2	样本 1	155.385 4	34.308 9	0.019 1	1.352 0	0.008 6	4.869 6
	样本 2	154.112 8	33.214 5	0.010 1	1.972 6	0.008 8	4.785 4
	样本 3	157.045 9	40.347 2	0.014 8	1.157 7	0.007 5	4.972 4
类别 3	样本 1	118.998 5	51.852 7	0.039 3	4.668 8	0.112 9	4.497 4
	样本 2	112.610 1	20.728 8	0.041 2	4.395 8	0.126 2	3.830 4
	样本 3	123.560 8	11.750 3	0.036 9	4.738 2	0.108 1	4.944 9

表 4 灰度共生矩阵特征(处理后)

Tab. 4 Gray level co-occurrence matrix features

缺陷图像类别	样本	灰度共生矩阵特征量					
		f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6
类别 1	样本 1	91.0	10.218 0	8.846	17.280	12.676	13.182
	样本 2	85.3	10.443 3	8.812	28.420	14.820	11.274
	样本 3	85.8	9.973 0	8.096	31.704	12.084	11.653
类别 2	样本 1	121.3	7.401 2	8.242	30.958	3.097	2.008
	样本 2	123.5	7.456 1	8.811	22.819	3.715	3.565
	样本 3	127.5	7.040 8	8.721	25.413	4.293	4.223
类别 3	样本 1	243.5	5.532 8	8.203	29.956	6.091	9.180
	样本 2	271.6	5.154 7	9.246	16.846	6.761	7.752
	样本 3	252.6	4.172 7	8.712	25.170	7.705	7.325

3 结 语

本文针对冷轧带钢表面缺陷图像检测中图像预处理的重要性及存在的问题, 进行了图像去噪与消除图像不均匀亮度的分析与研究, 采取将自适应中值滤波算法与同态频域滤波算法相结合的方法, 并进行 Matlab 仿真实验, 选取了划痕缺陷图像、夹杂缺陷图像及孔洞缺陷图像的 3 个样本在未经过预处理与经过预处理的情况下所提取的特征值, 并对提取的数据以及处理前后的图像进行了对比与分析, 结果证明, 该算法对于冷轧带钢表面缺陷图像的预处理起到了比较好的作用。图像预处理只是整个冷轧带钢表面缺陷检测的一个关键部分, 后续工作还包括对特征的筛选、对分类器的选择与设计^[20]等, 需要根据实际情况采取相应的方法, 以达到最佳分类效果。

参考文献/References:

[1] 徐科, 徐金梧. 基于图像处理的冷轧带钢表面缺陷在线检测技术[J]. 钢铁, 2002, 37(12): 61-64.

XU Ke, XU Jinwu. On-line inspection of surface defects of cold rolled strips based on image processing [J]. Iron and Steel, 2002,

- 37(12): 61-64.
- [2] 吴平川,路同浚,王炎.带钢表面自动检测系统研究现状与展望[J].钢铁,2000,35(6):70-75.
WU Pingchuan, LU Tongjun, WANG Yan. Development and perspective of automatic strip surface inspection system [J]. Iron and Steel, 2000, 35(6):70-75.
- [3] 周广芬,李鹏,杨久义.利用 MATLAB 图像处理工具箱进行图形数字化的研究[J].河北科技大学学报,2005,26(4):309-312.
ZHOU Guangfen, LI Peng, YANG Jiuyi. Study of using the image processing toolbox of MATLAB to digitize graph [J]. Journal of Hebei University of Science and Technology, 2005, 26(4): 309-312.
- [4] 刘伟崑,颜云辉,孙宏伟.冷轧带钢表面缺陷在线检测软件体系结构设计[J].计算机工程与设计,2008,29(5):1276-1278.
LIU Weiwei, YAN Yunhui, SUN Hongwei. Design of software architecture for online surface defect inspection system for cold-rolled steel strips [J]. Computer Engineering and Design, 2008, 29(5): 1276-1278.
- [5] 王建华,王春平,贾洪涛.自适应中值滤波器在图像降噪技术中的应用[J].测控技术,2004,23(5):54-56.
WANG Jianhua, WANG Chunping, JIA Hongtao. Application of adaptive median filter in image de-noise [J]. Measurement & Control Technology, 2004,23(5): 54-56.
- [6] 肖蕾,何坤,周激流,等.改进自适应中值滤波的图像去噪[J].激光杂志,2009,30(2):44-46.
XIAO Lei, HE Kun, ZHOU Jiliu, et al. Image noise removal on improvement adaptive medium filter [J]. Laser Journal, 2009, 30(2):44-46.
- [7] HU H G. Automated defect detection in textured surfaces using optimal elliptical Gabor filters [J]. Optik - International Journal for Light and Electron Optics, 2015, 126(14): 1331-1340.
- [8] 张旭明,徐滨士,董世运.用于图像处理的自适应中值滤波[J].计算机辅助设计与图形学学报,2005,17(2):295-299.
ZHANG Xuming, XU Binshi, DONG Shiyun. Adaptive median filtering for image processing [J]. Journal of Computer Aided Design & Computer Graphics, 2005, 17(2):295-299.
- [9] 张霞,葛芦生.自适应中值滤波算法的研究与应用[J].微计算机信息,2007,23(6):217-218.
ZHANG Xia, GE Lusheng. A well adaptive median filtering algorithm and its application [J]. Microcomputer Information, 2007,23 (6): 217-218.
- [10] LIN T C. A new adaptive center weighted median filter for suppressing impulsive noise in images [J]. Information Sciences, 2007, 177(4): 1073-1087.
- [11] MEHER S K. An improved recursive and adaptive median filter for high density impulse noise [J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2014, 68(12): 1173-1179.
- [12] 陈炳权,刘宏立,孟凡斌.数字图像处理技术的现状及其发展方向[J].吉首大学学报(自然科学版),2009,30(1):63-70.
CHEN Bingquan, LIU Hongli, MENG Fanbin. Current situation and development direction of digital image processing technology [J]. Journal of Jishou University(Natural Sciences Edition), 2009, 30(1): 63-70.
- [13] 刘立宏,胡可刚,刘立欣.目标检测中的快速中值滤波法[J].吉林大学学报(信息科学版),2004,22(3):232-235.
LIU Lihong, HU Kegang, LIU Lixin. Fast median filtering algorithm in target detection [J]. Journal of Jilin University(Information Science Edition), 2004,22(3): 232-235.
- [14] 杨永敏,樊继壮,赵杰.强反射表面缺陷图像预处理[J].光学精密工程,2010,18(10):2288-2296.
YANG Yongmin, FAN Jizhuang, ZHAO Jie. Preprocessing for highly reflective surface defect image [J]. Optics and Precision Engineering, 2010, 18(10): 2288-2296.
- [15] 管声启,王燕妮,师红宇.基于图像预处理的神经网络带钢缺陷检测[J].钢铁研究,2013,41(1):22-26.
GUAN Shengqi, WANG Yanni, SHI Hongyu. Neural network inspection of strip defect based on image preprocessing [J]. Research on Iron and Steel, 2013, 41(1): 22-26.
- [16] 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(6):264-266.
CHEN Chunping, WANG Yanjie. Image contrast enhancement by homomorphic filtering in frequency field [J]. Microcomputer Information, 2007,23 (6): 264-266.
- [17] 刘毅,贾旭芬,田子建.一种基于同态滤波原理的井下光照不均图像处理方法[J].工矿自动化,2013,39(1):9-12.
LIU Yi, JIA Xufen, TIAN Zijian. A processing method for underground image of uneven illumination based on homomorphic filtering theory [J]. Industry and Mine Automation, 2013, 39(1): 9-12.
- [18] 林曦,余文明,陈新,等.同态滤波技术在膜蛋白颗粒图像增强中的应用[J].中国医学物理学杂志,2015,32(2):187-192.
LIN Xi, YU Wenming, CHEN Xin, et al. Application of Homomorphic filtering in membrane protein particle image enhancement [J]. Chinese Journal of Medical Physics, 2015, 32(2): 187-192.
- [19] YANG W D, GUO W, PENG K, et al. Research on removing shadow in workpiece image based on homomorphic filtering[J]. Procedia Engineering, 2012, 29: 2360-2364.
- [20] 李峰,叶学卫,姜正连,等.冷轧带钢表面缺陷识别与控制[J].冶金设备,2010(1):65-69.
LI Feng, YE Xuewei, JIANG Zhenglian, et al. Identification and control of surface defects on cold rolled strip[J]. Metallurgical Equipment, 2010(1): 65-69.