

文章编号:1671-251X(2013)01-0009-04

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.

一种基于同态滤波原理的井下 光照不均图像处理方法

刘毅, 贾旭芬, 田子建

(中国矿业大学(北京)煤炭资源与安全开采国家重点实验室,北京 100083)

摘要:传统的同态滤波函数基于高通滤波函数设计,采用该同态滤波函数处理的光照不均图像较暗。根据传统低通滤波器在截止频率半径为5时的图像滤波结果,得出导致图像光照不均现象的主要区域为半径5以内的低频区域的结论;介绍了一种新型同态滤波器的设计过程,进而提出一种基于同态滤波原理的井下光照不均图像的处理方法。该方法采用传统低通滤波函数抑制低频分量,采用传统高通滤波函数增强高频分量;对图像低频分量范围进行细化,对不同的低频分量采用不同的处理方法,即抑制低频分量抑制半径以内的低频分量,使低频分量抑制半径与高频分量增强半径之间较低频率范围内的低频分量基本保持不变,避免了过度抑制低频分量。测试结果表明,该方法在有效处理井下图像光照不均现象的同时避免了对图像整体亮度的过度削弱,效果较好。

关键词:煤矿监控;井下图像;监控图像;低光照度;光照不均;图像增强;同态滤波

中图分类号:TD67 文献标志码:A 网络出版时间:

网络出版地址:

A processing method for underground image of uneven illumination
based on homomorphic filtering theory

LIU Yi, JIA Xu-fen, TIAN Zi-jian

(State Key Laboratory of Coal Resource and Safe Mining, China University of Mining and
Technology(Beijing), Beijing 100083, China)

Abstract: Traditional homomorphic filtering function is based on high pass filter, and images processed by the function are dark. The paper analyzed image filtering result by traditional low pass filter at cut-off frequency radius of 5, and got a conclusion that illumination component mainly distributes in low-frequency range of 0 ~ 5 radius. It introduced a design scheme of novel homomorphic filter, and proposed a processing method for underground image of uneven illumination based on homomorphic filtering theory. The method uses traditional low pass filter to restrain low-frequency components and traditional high pass filter to strengthen high-frequency components, divides range of low-frequency components of underground images into two sections, and uses different processing methods in the two low-frequency sections, namely restraining low-frequency components in the range of restraining radius of low-frequency and making low-frequency components invariant which are between restraining radius of low-frequency and strengthening radius of high-frequency, so as to avoid restraining low-frequency component overly. The testing result showed that the method solves uneven illumination problem as well as avoids weakening

收稿日期:2012-09-14。

基金项目:国家自然科学基金重点项目(51134024)。

作者简介:刘毅(1973-),男,山西临汾人,工程师,主要研究方向为图像处理、煤矿井下人员定位、井下无线通信等,E-mail:liu_y@sina.com。

overall illumination of underground images overly, which has good effect.

Key words: coal mine monitoring; underground image; monitoring image; low intensity light; uneven illumination; image enhancement; homomorphic filtering

0 引言

煤矿巷道内环境复杂,背景阴暗,光照主要来源于照明灯,灯光区域与背光区域亮度反差很大,加上 CCD 摄像机的强闪光灯等因素,导致煤矿井下监控系统得到的图像光照不均,严重影响图像质量^[1-2]。针对复杂的井下条件,煤矿井下监控系统采集的图像须经过充分的预处理才能用于图像的分析识别。目前处理图像光照不均的图像增强技术主要包括空域增强方法(如直方图均衡化、梯度增强法)、频域增强方法(如基于照明-反射模型的同态滤波法、基于光照补偿的 Retinex 方法等^[3-4])、同态滤波法和 Retinex 方法与小波变换相结合的图像增强方法。直方图均衡化对于处理灰度反差大的图像有较好的效果,特别是能提高背景黑暗的夜间照明图像的整体灰度值,但是对照明和反光的高亮度区域的处理效果不佳;基于照明-反射模型的同态滤波法以及基于光照补偿的 Retinex 方法对于处理光照影响强烈的高光、反光区域有较好的效果,在处理光照不均方面受到很大关注^[5-10]。本文分析了基于照明-反射模型的同态滤波原理,从频域增强的角度出发,提出一种处理井下光照不均图像的方法。该方法对照射分量和反射分量分别进行控制,进一步细化对照射分量的处理,在抑制光照影响的同时避免过度抑制低频分量,有针对性地减小光照影响,使图像接近原本特征。

1 传统的同态滤波函数

在照度-反射光照模型中,图像可表示为照射分量与反射分量的乘积形式^[11]:

$$f(x, y) = i(x, y)\gamma(x, y) \quad (1)$$

式中: $i(x, y)$ 为照射分量,其频谱集中在低频段; $\gamma(x, y)$ 为反射分量,其频谱集中在高频段。

基于照度-反射光照模型的同态滤波原理是通过滤波函数控制图像的照射分量和反射分量,在抑制照射分量的同时增强反射分量,达到减小光照影响并提高图像对比度的目的。

基于照度-反射光照模型的同态滤波过程: $f(x, y) \rightarrow \ln f \rightarrow \text{DFT} \rightarrow H(u, v) \rightarrow (\text{DFT})^{-1} \rightarrow \exp \rightarrow g(x, y)$ 。其中 $f(x, y)$ 为图像密度函数; $\ln f$ 表示对

$f(x, y)$ 取对数; DFT 表示对数据作中心傅里叶变换; $H(u, v)$ 表示对数据进行滤波; $(\text{DFT})^{-1}$ 表示对数据作傅里叶逆变换; $\exp$ 表示对数据作指数变换; $g(x, y)$ 为处理后的图像数据。

同态滤波算法的关键在于同态滤波传递函数 $H(u, v)$ 的选择,通过传递函数分别控制照射分量和反射分量。图像照射分量代表图像的光照成分,反射分量代表其不受光照影响时的原始特征。考虑到图像的照射分量通常以空间域的慢变化为特征,而反射分量往往引起突变,这些特性导致对图像进行傅里叶变换时的低频成分与照射分量相联系,而高频部分与反射分量相联系,因此对照射分量和反射分量的控制可近似转化为对图像低频分量和高频分量的控制。为了尽量抑制照射分量的影响,同时凸显反射分量,以达到缓解光照不均、实现图像增强的目的,考虑抑制低频分量的贡献,而增强高频分量的贡献。

传统的同态滤波函数是基于高通滤波器函数修改得到的,即在截止半径为 D_0 的高通滤波器基础上放大 (r_H, r_L) 倍,再向上平移 r_L ,从而使高频增加 r_H 倍($r_H > 1$),低频缩小 r_L 倍($r_L < 1$),达到增强高频分量、抑制低频分量的目的。

基于巴特沃思高通滤波器修改得到的传统同态滤波函数为

$$H_1(u, v) = \frac{r_H - r_L}{1 + [D_0 / (cD(u, v))]^2} + r_L \quad (2)$$

基于高斯滤波器修改得到的传统同态滤波函数为

$$H_2(u, v) = (r_H - r_L)[1 - \exp(-c(D(u, v)/D_0)^{2n})] + r_L \quad (3)$$

以上两种传统同态滤波器的传递函数曲线如图 1 所示。

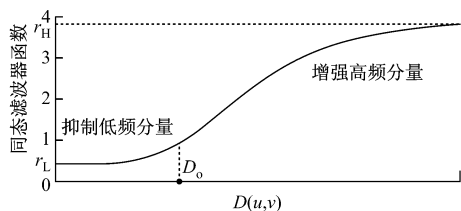


图 1 传统同态滤波器的传递函数曲线

从图 1 可看出,传统的同态滤波函数基于高通

滤波函数进行修改,通过控制高频分量和低频分量,达到增加图像对比度、减小照射分量影响的目的。

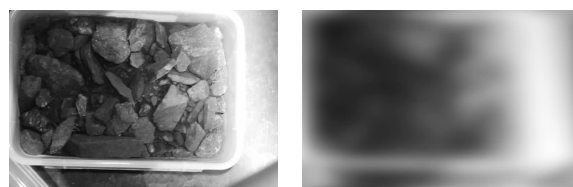
2 新型同态滤波器的设计

在煤矿井下监控系统中,由于光照条件差,井下采集的图像会出现光照不均的现象,如图像采集环境整体能见度低,灯光区域与背光区域亮度反差很大,加上光源发出的光照射线较强,可能干扰图像特征的显示;光照引起图像中物体表面局部出现反光、高光现象,造成图像整体或局部光照不均,严重影响图像的采集质量。对于光照不均的井下图像需要进行有针对性的光照处理,在削弱强光照和强反光影响、增强图像边界特征的同时,避免处理后的图像过暗。

本文基于照明-反射模型的同态滤波原理,在处理低光照度井下图像时,对低频范围频率分量进行分段细化,对不同的低频范围进行不同程度的处理,在削弱照射分量的同时尽量避免过度抑制较大范围内的低频分量。以下为基于上述考虑设计的同态滤波传递函数 $H(u, v)$ 的构造思路。

(1) 照射分量的抑制。借助传统低通滤波函数抑制照射分量。由于低频成分与照射分量相关联,为了尽量削弱照射分量的影响,需要抑制低频分量。设低频抑制范围位于半径 D_{o1} 以内,可借助低通滤波器滤除掉半径 D_{o1} 以外的频率分量,只保留半径 D_{o1} 以内的低频部分,对其进行削弱处理。考虑到处理光照不均的同时应避免处理后的图像过暗,对光照成分的抑制应适度,故低频抑制半径 D_{o1} 不宜太大。图 2(a) 为存在反光现象的煤面图像。当截止频率点半径为 5 时,采用传统低通滤波器(巴特沃思低通滤波器、高斯低通滤波器)对图 2(a) 图像进行低通滤波,得到的图像如图 2(b) 所示。可见图像非常模糊,基本看不到任何细节,只留下亮暗变化的信息,可近似看作是主要的光照贡献,从而确定半径 5 以内的低频区域为导致光照不均现象的主要区域。考虑主要对半径 5 以内的低频成分进行抑制,即在原来频率大小的基础上减去原频率分量的 a_L 倍(a_L 用于控制低频分量的抑制程度, $0 < a_L < 1$)。

(2) 反射分量的增强。借助传统高通滤波函数增强反射分量。图像反射分量代表其不受光照影响时的原始特征,近似将高频部分看作是反射分量的贡献。为了增强高频分量,设高频增强范围位于半



(a) 原始煤面图像 (b) 截止半径为 5 的低通滤波图像

图 2 采用低通滤波前后的图像

径 D_{o2} 以外的频率范围,可借助高通滤波器滤除掉半径 D_{o2} 以内的频率分量,只保留半径 D_{o2} 以外的高频部分,对其进行增强处理。将高频分量在原来频率大小的基础上增加 a_H 倍(a_H 用于控制高频分量的增强程度, $a_H > 0$),可达到增强图像特征的目的。为了提高图像的对比度,尽量多地保留细节特征,滤波截止半径 D_{o2} 不宜过大,以使所保留的高频范围尽量大。

(3) 同态滤波传递函数 $H(u, v)$ 的构建。针对头戴矿灯的矿工人脸图像识别以及煤面的矿车监控和煤块识别,同态滤波函数对低频范围内的频率分量进行了分段,并采取不同程度的处理方法,在增强图像的同时避免处理后的图像过暗。根据同态滤波原理,设计的同态滤波函数用于抑制半径 D_{o1} 以内的低频分量,增强半径 D_{o2} 以上的高频分量,而半径 $D_{o1} \sim D_{o2}$ 之间的较低频率范围内的低频分量基本保持不变,从而减小强光照影响,提高图像对比度,同时避免过度抑制较大范围内的低频分量。

采用上述同态滤波器的设计思路,可分别与巴特沃思滤波器、高斯滤波器相结合,设计以下两种同态滤波函数:

与巴特沃思滤波器相结合的同态滤波函数:

$$H(u, v) = 1 - \frac{a_L}{1 + c(D(u, v)/D_{o1})^{2n}} + \frac{a_H}{1 + c(D_{o2}/D(u, v))^{2n}} \quad (4)$$

与高斯滤波器相结合的同态滤波函数:

$$H_2(u, v) = l - \exp(-c(D(u, v)/D_o)^{2n}) + a_n(l - \exp(-\exp(-cD^2(u, v)/D_{o2})))^{2n} \quad (5)$$

式中: $D(u, v)$ 为频域范围内任意点到原点的距离; D_{o1} 为低频分量抑制半径; D_{o2} 为高频分量增强半径; 常数 c 用于调节函数形状, $c > 0$; n 为滤波器阶数。

新型同态滤波器的传递函数曲线如图 3 所示。从图 3 可看出,新型同态滤波函数中,图像半径 D_{o1} 以内的低频分量在原来的基础上减小了 a_L 倍,图像半径 D_{o2} 以上的高频分量在原来基础上增加了 a_H

倍,而半径 $D_{o1} \sim D_{o2}$ 之间的较低频率范围内的低频分量基本保持不变。根据对照射分量贡献范围的分析可知,图像的光照分量主要位于半径 5 以内的低频范围,因此同态滤波函数中的低频抑制半径 D_{o1} 取 5 最佳。

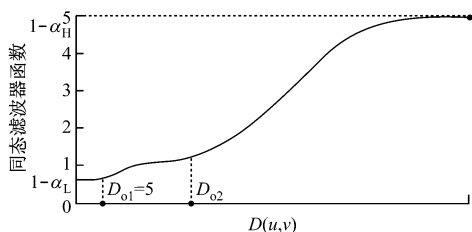


图 3 新型同态滤波器的传递函数曲线

3 同态滤波试验

图 4(a)为存在光照不均问题的矿工图像,利用新型同态滤波器对其进行处理,以减小强光光源和反光现象的影响。同态滤波函数中取 $D_{o1} = 5, r_L = 0.3$;为提高较大范围的高频分量对比度,取 $D_{o2} = 15, r_L = 4$;取 $c = 1$ 。图 4(b)为光照处理结果。可见该图像经处理后,矿工头顶的矿灯和背后的照明灯光线得到削弱,同时图像整体亮度并未过暗,矿工头部的轮廓更加清晰。



(a) 光照不均的原始图像 (b) 处理后的图像

图 4 同态滤波前后的矿工图像

4 结语

基于同态滤波原理的井下光照不均图像处理方法对图像低频分量范围进行细化,对不同的低频分

量进行不同的处理,主要削弱低频分量抑制半径 D_{o1} 以内的低频分量,同时为了避免过度抑制更大范围的低频分量,半径 $D_{o1} \sim D_{o2}$ 之间较低频率范围内的低频分量基本保持不变。本文根据传统低通滤波器在截止频率半径为 5 时的滤波结果,得出照射分量的主要贡献位于半径 5 以内的低频范围的结论,从而确定半径 5 以内的低频区域为导致光照不均现象的主要区域,即 D_{o1} 的最佳取值为 5。测试结果证明了本文所提方法在处理井下光照不均图像方面有很好的效果。

参考文献:

- [1] GONZALEZ R C, WOODS R E. 数字图像处理[M]. 2 版. 北京:电子工业出版社,2003:117-169.
- [2] 陈伟. 矿工人脸图像检测与煤炭图像识别方法的研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2008.
- [3] SUBR K, MAJUMDER A, IRAN I S. Greedy algorithm for local contrast enhancement of images [C]//Proceedings of the 13th International Conference on Image Analysis and Processing, 2005, Berlin:171-179.
- [4] 罗海霞,刘斌,龙永红,等. 同态滤波在光照补偿中的应用[J]. 湖南工业大学学报,2008,22(5):24-27.
- [5] 孙慧贤,罗飞路,张玉华. 基于小波变换和同态滤波的内窥图像增强算法[J]. 探测与控制学报,2008,30(5): 69-72.
- [6] 田亚菲,李毛毛,万庆涛. 保持图像亮度的直方图均衡新算法[J]. 微计算机信息, 2008,24(12):290-291.
- [8] 蒋永馨,王孝通,徐晓刚,等. 一种基于光照补偿的图像增强算法[J]. 电子学报, 2009,37(4A):151-155.
- [9] 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):1626-1628.
- [10] 闻莎,游志胜. 性能优化的同态滤波空域算法[J]. 计算机应用研究, 2000,17(3): 62-65.
- [11] 肖俊,宋寿鹏,丁丽娟. 空域同态滤波算法研究[J]. 中国图象图形学报, 2008,13(12): 230-235.