

·信号与信息处理·

## 基于小波融合的视频图像增强方法

冯清枝

(中国刑事警察学院 声像资料检验技术系, 沈阳 110035)

**摘要:**在分析多种图像增强方法的基础上,提出运用小波融合技术将自适应直方图均衡化和多尺度 Retinex 增强的多幅图像进行融合处理,以改善视频图像视觉效果,并推导出相应的融合规则及融合算法。实验结果表明,经过该方法处理的夜间视频监控图像细节鲜明突出,色彩真实自然,效果优于单一的图像增强方法。

**关键词:**图像增强;小波融合;直方图均衡化;多尺度 Retinex

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-1255(2016)-02-0047-04

## Video Image Enhancement Method Based on Wavelet Fusion

FENG Qing-zhi

(Department of Audio and Visual Material Examination Technology, National Police University of  
China, Shenyang 110035, China)

**Abstract:** On the basis of the analysis of various image enhancement methods, a novel strategy is proposed to improve the visual effect of video by using wavelet fusion technology to perform adaptive histogram equalization and fusion process to multi-scale Retinex enhancement images, and the relative fusion rules and algorithms are deduced. Experimental results show that the nighttime image from the video surveillance system processed by the proposed method can achieve an excellent performance with clear details and natural colors, and better than the one processed by a single image enhancement method.

**Key words:** image enhancement; wavelet fusion; histogram equalization; multi-scale Retinex

作为安全防范的重要设施,视频监控系统不仅能够有效地预防和遏制犯罪行为,辅助警方开展侦查工作,提供破案线索和诉讼证据,而且能够汇集犯罪活动信息,为社情分析和科学决策提供重要依据。有时受到光照条件、天气状况、环境噪声等因素的影响,视频监控图像可能会发生不同程度的质量退化,增加了图像分析、内容识别和事件研判的难度。图像增强能够按照特定的目标,突出图像中需要的信息,削弱或消除不需要的信息,改善图像的视觉效果,以便人们对图像信息的感知、理解和分析。客观上讲,对视频监控图像进行增强处理,

能够突出细节特征,恢复真实色彩,抑制噪声干扰,使办案人员从中获取更多有价值的信息。此外,图像增强往往不考虑复杂的退化机理,降低对先验知识的依赖度,具有较强的适应性和实效性,因此,图像增强及其改进方法成为现阶段普遍应用的视频图像处理方法。

针对不同的应用需求,提出了多种图像增强方法,包括基于空间域的灰度变换、直方图均衡化等,基于 Retinex 理论的图像增强,还有基于频率域的同态滤波、双边滤波等,基于小波域的图像增强,以及基于数学形态学的图像增强、基于偏微分方程的图

收稿日期:2016-04-18

作者简介:冯清枝(1969-),男,辽宁沈阳人,硕士,中国刑警学院声像资料检验技术系副教授,主要研究方向包括刑事影像技术、数字信号处理等。

像增强等方法。不同的方法有着各自独特的性能,能够显著地改善图像的视觉效果,但是由于视频图像的退化因素错综复杂,退化程度难以测算,不同的方法又有着各自的局限性。为此,人们一方面致力于对现有图像增强方法的改进,进一步提高方法的综合性能;另一方面趋向于对多种图像增强方法的融合,整合不同方法增强的多幅图像的互补信息,以达到更好的增强效果。

小波图像融合是将由不同方式获得的多幅图像分解为一系列不同频率、不同方向的子带图像,由粗及精地进行多分辨率融合,由于有针对性地突出不同子带图像的细节特征,因而融合图像具有更高的清晰度和更佳的视觉效果<sup>[1]</sup>。提出了自适应直方图均衡化和多尺度 Retinex 相结合的图像增强方法。其主要思想是利用自适应直方图均衡化调整图像亮度,提高对比度;利用多尺度 Retinex 突出细节特征,恢复真实色彩;最后运用小波融合技术将两种方法的输出图像按照预定的融合规则及融合算法合成一幅层次丰富、特征鲜明的融合图像。

## 1 自适应直方图均衡化

直方图描述了图像中每个灰度级与其出现的概率密度之间的统计关系,反映了图像的整体概貌,包含了灰度范围和动态分布等信息,为图像处理提供了重要依据。直方图均衡化是以累积分布函数为基础,将原始图像的直方图修正为均匀的直方图,然后按照均衡化的直方图去调整原始图像。经过直方图均衡化之后,原始图像的灰度级区间得以扩展,充分地利用整个图像的灰度范围,灰度分布趋向均匀,灰度间距拉大,提高了图像表现细节的能力。

直方图均衡化是以连续函数为假设前提的,而数字图像的灰度级是离散的,在取整运算过程中,原始图像中相邻的灰度级会离析,某些灰度级会合并或消失,输出图像的直方图将出现较多的空缺,致使图像损失细节信息。此外,相邻灰度级在直方图均衡化之后的间距与灰度级的概率密度有关。当概率密度小时,相邻灰度级的间距缩小,图像增强效果不明显;当概率密度大时,比如图像中含有大量灰度单一的背景,相邻灰度级的间距增大,输出图像会出现虚假轮廓等退化现象<sup>[2]</sup>。

自适应直方图均衡化是直方图均衡化的改进

方法。其定义一个矩形子区域和一个移动步长,将子区域按步长移动,依次遍历整个图像,期间对相应子区域内的所有像素进行均衡化,这样,原始图像的每个像素经过多次均衡化,最终将均衡化的平均值作为输出图像对应像素的灰度值。自适应直方图均衡化的增强效果取决于子区域和移动步长的大小,需要在块状效应和计算效率之间折中选择。与直方图均衡化相比,自适应直方图均衡化适于提高图像的局部对比度以获取更多的细节信息,对光照条件造成的曝光不足或曝光过度的图像,具有更好的增强效果,并且运算复杂度低,适合对视频图像进行实时增强<sup>[3]</sup>。

## 2 多尺度 Retinex 图像增强

20世纪70年代,美国物理学家 Edwin Land 首次提出了 Retinex 理论,也称为视网膜大脑皮层理论。该理论描述了人类视觉系统感知物体亮度和色彩的调节机制,解释了人眼对在不同光谱和不同强度的光源照射下同一物体的色彩感知相对恒定的现象<sup>[4]</sup>。Retinex 理论认为人眼观察到的图像是由环境的照射光和物体的反射光共同作用的结果,即图像是由对应于低频部分的光照信息和对应于高频部分的反射信息组成的,用公式表示为

$$I(x,y) = L(x,y) \cdot R(x,y) \quad (1)$$

式中,光照信息  $L(x,y)$  决定了图像  $I(x,y)$  的灰度范围;反射信息  $R(x,y)$  决定了物体的内在性质。基于 Retinex 理论的图像增强实质是估计并消除光照条件对物体反射信息的影响,从图像  $I(x,y)$  中准确地提取反射信息  $R(x,y)$ ,以获取物体表面的本质特征。

单尺度 Retinex 采用高斯函数  $F(x,y)$  对图像  $I(x,y)$  进行低通滤波运算来估计每个中心像素的光照信息  $L(x,y)$ ,有下式

$$F(x,y) = K \exp[-(x^2 + y^2)/\sigma^2] \quad (2)$$

此时,反射信息  $R(x,y)$  为

$$R(x,y) = \lg I(x,y) - \lg [F(x,y) * I(x,y)] \quad (3)$$

式中,\*表示卷积运算,对  $R(x,y)$  进行指数运算,即可获得输出图像。高斯函数的标准差  $\sigma$  称为尺度参数, $\sigma$  的大小影响着对光照信息的估计结果。当  $\sigma$  取值较小时,输出图像的灰度范围压缩较大,细节特征突出,但色彩保真效果较差;当  $\sigma$  取值较大时,输出图像的整体效果鲜明,色彩保真效果较好,但

细节特征不够突出。

单尺度 Retinex 只能选择一种尺度参数进行处理,难以同时满足细节增强和色彩保真两项要求,而多尺度 Retinex 是对单尺度 Retinex 的综合,其数学表达式为多个单尺度 Retinex 增强结果的加权组合,有下式

$$R(x,y) = \sum_{i=1}^n W_i \{ \lg I(x,y) - \lg [F_i(x,y) * I(x,y)] \} \quad (4)$$

式中,  $n$  为尺度个数;对于多数图像而言,选择大、中、小三个尺度参数  $\sigma_i$ ,分别控制高斯函数  $F_i(x,y)$  的滤波特性;  $W_i$  为对应  $F_i$  的权重系数。这样能够在压缩灰度范围、突出细节特征、恢复真实色彩三方面达到最佳平衡,对天气因素造成的退化图像具有显著的增强效果。

### 3 基于小波融合的图片增强

#### 3.1 小波图像融合

小波变换是一种新的信号分析理论,具有多分辨率解析和表现局部特征的能力,能够精确地描述图像在不同频率、不同方向的结构信息,因而广泛地应用于图像处理和分析领域。20世纪80年代,信号分析领域专家 Mallat 和 Meyer 密切合作,总结出构造正交小波基的一般方法,创立了著名的 Mallat 算法,由此将小波分析理论和应用推向一个新的高潮<sup>[5]</sup>。

Mallat 算法是一种基于子带滤波器的离散小波变换算法,可以对二维图像进行逐层分解与重构。经过小波变换,第  $j$  层图像  $C_j$  被分解为一个低频子带图像  $C_{j+1}$  和三个高频子带图像  $D_{j+1}^i$  ( $i=v,h,d$  表示高频子带图像的方向序号)。低频子带图像  $C_{j+1}$  反映出图像  $C_j$  的概貌特征,高频子带图像  $D_{j+1}^v$ 、 $D_{j+1}^h$ 、 $D_{j+1}^d$  分别反映出图像  $C_j$  在垂直方向、水平方向、对角方向上的边缘、纹理等细节特征。反之,经过小波逆变换,第  $j+1$  层低频子带图像  $C_{j+1}$  和三个高频子带图像  $D_{j+1}^i$  将重新组合成图像  $C_j$ 。

图1是以两幅图像融合为例说明基于小波变换的图像融合方案,对于多幅图像融合可以类推。具体流程如下:(1)对参与融合的图像  $C1$ 、 $C2$  进行  $n$  层小波分解,获得  $C1$ 、 $C2$  在各分解层上的低频子带图像  $C1_j$ 、 $C2_j$  和高频子带图像  $D1_j^i$ 、 $D2_j^i$ ;(2)对

分解得到的不同频率子带图像采用相应的融合规则进行融合,获得对应于融合图像  $F$  的低频子带图像  $CF_j$  和高频子带图像  $DF_j^i$ ;(3)对子带图像  $CF_j$  和  $DF_j^i$  进行  $n$  层小波重构,即可获得融合图像  $F$ 。

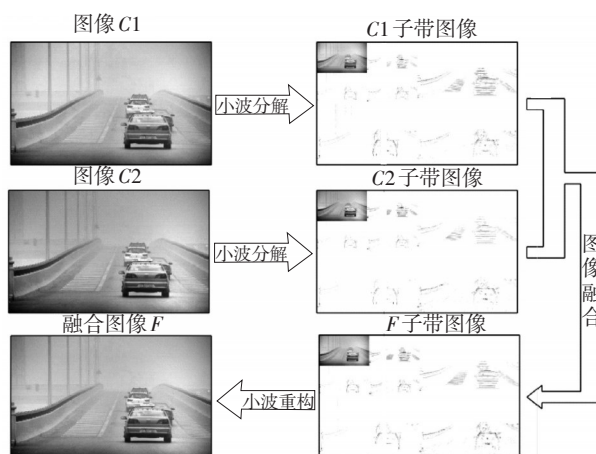


图1 基于小波变换的图像融合流程图

#### 3.2 AHE和MSR图像融合

图像融合是将不同模式下获取的同一场景的多幅图像,按照一定规则合成为一幅图像,以满足特定需求的图像处理方法。利用小波融合技术对自适应直方图均衡化(adaptive histogram equalization, AHE)和多尺度 Retinex (multi-scale Retinex, MSR)处理的两幅图像进行数据融合,可以获取对场景更为全面、细致、可靠的图像描述,帮助人们对场景中的物体做出准确的分析和识别<sup>[6]</sup>。融合规则及融合算法的选择对于图像融合的质量和效果至关重要。根据傅里叶光学理论,空间域的图像信息可以映射为频率域的不同频率的频谱组合,其中,低频分量集中了图像的主要能量,对低频子带图像采取平均值规则,可以兼顾两幅图像的亮度和对比度;高频分量反映着图像的细节特征,绝对值大的高频分量对应图像的边缘、纹理,而人眼对于这些特征非常敏感,多数情况下,对高频子带图像采取绝对值极大值规则,可以突出细节特征,提高图像的清晰度。

假设  $C1(x,y)$  表示自适应直方图均衡化的输出图像;  $C2(x,y)$  表示多尺度 Retinex 的输出图像;  $F(x,y)$  表示融合图像,小波图像融合算法表示为

$$CF_j(x,y) = [C1_j(x,y) + C2_j(x,y)]/2 \quad (5)$$



$$DF_j^i(x,y) = \max[D1_j^i(x,y), D2_j^i(x,y)] \quad (6)$$

## 4 实验结果及分析

为了验证基于小波融合的视频增强方法在提高夜间视频图像质量方面的实效性,选取图2a所示的夜间环境下视频监控系统记录的画面作为实验检材,在MATLAB7.0实验环境下,将文中方法与自适应直方图均衡化、多尺度Retinex进行对比实验,图2b、图2c和图2d分别为自适应直方图均衡化、多尺度Retinex以及文中方法的处理结果。

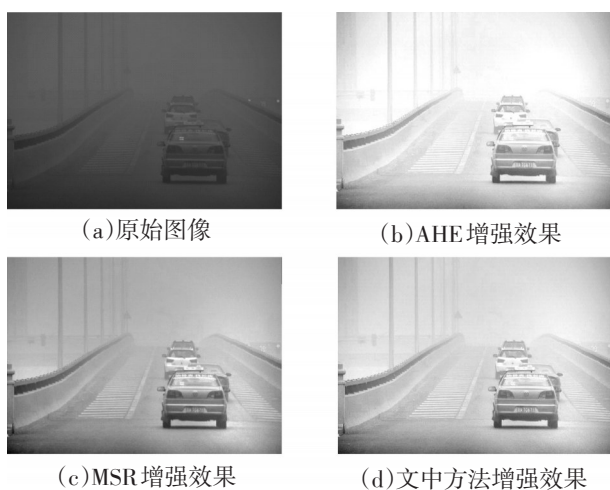


图2 夜间视频图像增强实验结果

通过比较四幅图像的视觉效果可以看出,原始图像是一幅由夜间光线照度低和雾霾天气能见度低等因素共同作用的退化图像,画面晦暗,对比度微弱,细节模糊,噪声干扰严重;经过自适应直方图均衡化处理的图像亮度和对比度明显提高,但是部分区域过度增强,细节损失较多;经过多尺度Retinex处理的图像平滑细腻,色调逼真,但是整体亮度和对比度偏低;文中方法处理的图像自然鲜

明,整体感强,车辆、建筑等清晰可辨,具有较高的使用价值。

## 5 结论

鉴于视频图像退化机理的复杂性和多样性,常规的图像增强方法难以奏效,利用小波图像分解与重构特性,对不同方法处理的具有互补信息的输出图像进行融合,有效地提高视频图像质量和使用价值。以夜间环境下视频监控图像为例,分别进行自适应直方图均衡化、多尺度Retinex以及基于二者输出图像的小波融合实验。实验结果表明,所提出的基于小波融合的视频图像增强方法优于单一的图像增强方法,既能提高视频图像的层次感和清晰度,又能使视频图像的亮度、对比度、色彩等效果更符合人眼视觉特性,具有良好的综合性能。

## 参考文献

- [1] 敬忠良,肖刚,李振华. 图像融合—理论与应用[M]. 北京:高等教育出版社,2007.
- [2] 扈佃海,吕绪良,文刘强. 一种改进的直方图均衡化图像增强方法[J]. 光电技术应用,2012,27(3).
- [3] Pizer S. Adaptive histogram equalization and its variations [J]. Computer Vision Graphics & Image Processing, 1987, 39(3).
- [4] Land E H. The Retinex theory of color vision[J]. Scientific American, 1977, 237(6).
- [5] Mallat S G. A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11(7).
- [6] 李锦,王俊平,万国挺,等.一种结合直方图均衡化和MSRCR的图像增强新算法[J]. 西安电子科技大学学报,2014,41(3).

(上接第26页)

- [6] 屈晶晶,辛云宏.连续帧间差分与背景差分相融合的运动目标检测方法[J]. 光子学报,2014(7):219-221.
- [7] SUN Min, Sid Yingze BAO, Silvio Savarese. Object detection using geometrical context feedback[J]. International Journal of Computer Vision, 2012, 27(10):1002-1005.
- [8] Kim Dong-sun, Kwon Jin-san. Moving object detection on a vehicle mounted back-up camera[J]. Sensors, 2015, 61

(14): 161-166.

- [9] 郭裕兰,鲁敏,谭志国,等.采用投影轮廓特征的激光雷达快速目标识别[J]. 中国激光,2012(2):200-205.
- [10] 郭明玮,赵宇宙,项俊平,等.基于支持向量机的目标检测算法综述[J].控制与决策,2014(2):197-200.
- [11] 李一芒,何昕,魏仲慧,等.采用降维技术的红外目标检测与识别[J].光学精密工程,2013(5):1297-1303.