

基于细节特征融合的低照度全景图像增强

王殿伟¹, 韩鹏飞^{1†}, 李大湘^{1,2}, 刘颖^{1,2}, 许志杰³, 王晶⁴

- (1. 西安邮电大学 通信与信息工程学院, 西安 710121;
2. 电子信息现场勘验应用技术公安部重点实验室, 西安 710121;
3. 哈德斯菲尔德大学 计算机与工程学院, Huddersfield, UK HD1 3DH;
4. 谢菲尔德哈雷姆大学 计算机学院, Sheffield, UK S1 1WB)

摘要: 为了提高低照度条件下采集的全景图像的视觉效果, 提出一种基于细节特征加权融合的低照度全景图像增强算法. 首先, 利用双边滤波算法提取出图像的光照分量, 并分别采用自适应伽马校正和对比度受限的自适应直方图均衡化算法对光照分量进行处理; 然后, 与原始光照信息进行加权融合得到校正后的光照分量, 并在反射分量调整时, 提出一种自适应调整函数来校正反射信息; 最后, 将光照分量与反射分量合并, 以实现对低照度全景图像的增强. 实验结果表明, 所提出的算法在提高图像亮度的同时, 可以增强图像细节信息, 去除噪声, 使增强后图像色彩信息更加丰富自然.

关键词: 细节特征; 双边滤波; 低照度全景图; 图像增强

中图分类号: TP391.4

文献标志码: A

Low-light panoramic image enhancement based on detail-feature fusion

WANG Dian-wei¹, HAN Peng-fei^{1†}, LI Da-xiang^{1,2}, LIU Ying^{1,2}, XU Zhi-jie³, WANG Jing⁴

- (1. School of Telecommunication and Information Engineering, Xi'an University of Posts and Telecommunications, Xi'an 710121, China;
2. Key Laboratory of Electronic Information Application Technology for Scene Investigation, Ministry of Public Security, Xi'an 710121, China;
3. School of Computing and Engineering, University of Huddersfield, Huddersfield, HD1 3DH, UK;
4. Department of Computing, Sheffield Hallam University, Sheffield, S1 1WB, UK)

Abstract: A low-illumination panoramic image enhancement algorithm based on a weighted fusion of detail-features is proposed, which can improve the quality of a low-illuminance panoramic image. Firstly, the illuminance component is extracted by bilateral filtering, and enhanced by adaptive gamma correction and contrast-limited adaptive histogram equalization. Then, the three illumination information is fused to get the final illumination component. In the reflection component estimation, an adaptive adjustment function is proposed to correct the reflection information. Finally, the corrected light component and the reflection component are multiplied to get the enhanced image. The experimental results show that the proposed algorithm can not only improve the image brightness and gain more detailed information, but also remove the noise, and it makes the color of an image more natural and abundant.

Keywords: detail characteristics; bilateral filtering; low-illumination panorama image; image enhancement

0 引言

全景图像是展示周围世界新视角的一种方式, 相比于一般的效果图和三维动画, 全景图可以展示 360° 球形范围内的所有景致, 可以由观测者从任意一个角度互动性操纵观察场景, 最大限度地保留场景的真实性, 更好地带给人们一种全方位、三维立体的空间感觉, 使观测者如同身临其境一般. 但在日常全景图像的拍摄过程中, 由于天气、光照等原因导致获取的全景图像质量变差 (如低照度全景图像的灰度

值总体偏小、整体亮度低、对比度低、颜色偏暗和信噪比低, 使得图像的细节不清楚、图像质量严重下降), 难以满足人们的视觉要求, 并给后续所需的全景图像处理操作 (如图像分割、特征提取、目标跟踪和识别等) 带来困难^[1-2]. 因此, 进行低照度全景图像的增强技术研究, 提高全景图像质量, 在未来的信息科技社会中显得尤为重要^[3].

目前, 已有的低照度图像增强算法主要包括基于直方图类算法、伽马校正、小波变换法、Retinex 算

收稿日期: 2018-03-17; 修回日期: 2018-06-28.

基金项目: 西安邮电大学研究生创新基金项目 (CXJJ2017057).

责任编辑: 陈家伟.

†通讯作者. E-mail: 13772405149@126.com.

法、图像融合类算法以及各种类型衍生出来的改进算法. 直方图均衡化类算法对图像整体亮度偏暗或整体亮度偏亮的图像具有特别好的增强效果, 已被广泛地应用于图像增强方面, 但对于低照度图像, 容易出现过增强现象^[4-8]. 为解决此类问题, 人们又提出了亮度均值保持的直方图均衡化算法和对比度受限的自适应直方图均衡化算法, 此类算法可以抑制增强过程中过增强现象, 但是却不能保证图像细节与亮度的同时增强^[9-13]. 伽马校正虽然可以增强图像的整体对比度, 但是对于低照度图像, 容易丢失图像暗区域的细节信息^[14-17]. 基于小波类算法可以增强不同频率范围内的图像分量, 突出不同尺度下的细节, 但是计算量过大, 容易放大噪声^[18-20]. 为解决这类问题, 人们提出了小波与曲波结合的方法和基于DWT和奇异值分解的算法, 虽然去除了噪声, 但是算法复杂度却有所增加^[21-22]. Retinex算法及其衍生算法都是将图像分解为光照分量和反射分量, 然后进行处理, 但是这类算法运算量较大, 容易产生光晕现象^[23-25]. 为此,

人们提出了基于回转对称双边滤波算法和马尔科夫随机场的Retinex图像增强算法^[26-31], 此类算法虽然避免了光晕现象, 但是噪声并没有得到去除, 会产生过增强、欠增强现象. 文献[28]提出了一种基于双边滤波的Retinex算法, 该算法可以很好地去除“光晕”现象和图像噪声, 具有较好的视觉效果, 但增强后的图像细节信息不够清楚, 图像对比度也较低. 图像融合类算法的增强效果虽然良好, 但需要连续捕获多张图像, 难以满足实时性需求. 为解决这一问题, 文献[29]提出了单幅图像融合的弱光图像增强算法, 该算法可以增强图像的细节信息, 提高图像的对比度, 但算法实时性不好, 暗区细节会有所丢失.

1 基于融合的低照度全景图像增强算法

1.1 算法流程

本文在光照反射模型的基础上, 将全景图像的对比度增强与细节增强相结合, 提出一种基于细节特征加权融合的低照度全景图像增强算法, 算法流程如图1所示.

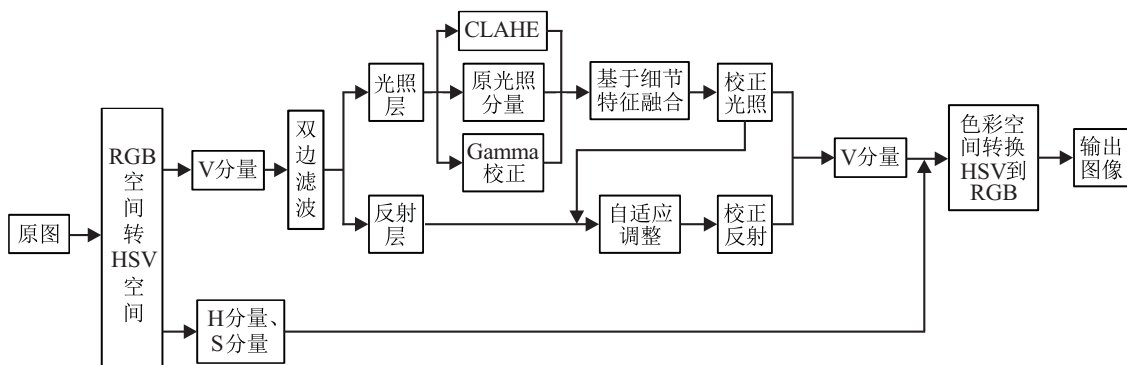


图1 本文算法流程

1.2 光照层处理

为了更好地提高低照度全景图像的图像质量, 减少光照对于全景图像的影响, 能够准确提取出图像的光照信息尤为重要. 目前, 应用较广的光照信息提取算法主要有高斯滤波算法、双边滤波算法以及变分框架的Retinex算法等. 基于高斯滤波的提取算法容易造成图像边缘模糊, 细节信息保持较差. 基于变分框架的Retinex算法在进行光照信息提取时, 对含有光照突变的图像提取效果并不理想. 本文采用具有边缘保持特性的双边滤波算法来提取出全景图像的光照信息, 使其在很好地保持图像的边缘信息的同时抑制图像噪声.

对于一幅数字图像, 光照分量主要决定图像中像素的动态范围, 对应于图像中的低频, 反映了图像的全局特性以及图像的边缘细节信息; 反射分量代表

图像的内在本质特性, 对应于图像中的高频, 反映了图像的大多数局部细节信息和所有噪声. 本文采用双边滤波对全景图像进行滤波处理, 在有效保持边缘的同时平滑掉细节信息, 进而得到表征低频信息的光照分量.

1.2.1 光照输入推导

本文所提出的融合算法中, 光照输入推导均来源于低照度全景图像的原始光照分量.

输入1(I_1)为全景图像的原始光照分量, 其包含了大量的原始结构信息, 可以避免图像增强过程中产生失真现象.

输入2(I_2)是本文采用自适应伽马校正^[8]来对光照分量进行校正后的结果, 主要目的是为了提高图像亮度. 首先利用估计光照分量 $I(x, y)$ 的均值来自适应地求取参数 a , 进而对Gamma校正 $I(x, y)$ 的参数

进行自适应调整. 即

$$a = 1 - \frac{1}{m \times n} \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n I(x, y), \quad (1)$$

$$r(x, y) = \frac{I(x, y) + a}{1 + a}, \quad (2)$$

$$I_2(x, y) = I(x, y)^{r(x, y)}. \quad (3)$$

其中: m 、 n 分别为图像的宽与高, 而 $r(x, y)$ 则为根据原始光照分量像素信息求取的 Gamma 校正的自适应参数.

采用自适应 Gamma 校正可以很好地提高图像亮度, 丰富暗区域细节信息, 抑制原图像中较亮区域的增强, 防止过增强.

输入 3: 由于 Gamma 校正后图像的亮度得到提高, 但是动态范围有所压缩, 导致图像的局部对比度过低. 本文采用限制对比度直方图均衡化^[9](Contrast-limited adaptive histogram equalization, CLAHE)对光照分量进行处理, 得到光照输入 3. 具体公式如下:

$$I_3(x, y) = \text{CLAHE}(I(X, Y)). \quad (4)$$

1.2.2 光照输入融合

对于以上 3 种光照输入, 本文提出一种基于像素级别的图像融合算法, 其最后的融合图像中的各个像素为 3 个输入中对应像素的加权平均. 所采用的像素的局部特征可以对图像的质量以及细节信息的好坏进行衡量. 由于图像的方差、梯度、熵可以很好地反映图像质量、清晰度以及图像的丰富程度, 本文采用这 3 个局部特征作为该像素的特征细节. 实验中, 对于每一个像素点 (x, y) , 取该点像素为中心的一个 $(2k + 1) \times (2k + 1)$ 的正方形窗, 统计窗内的 3 个图像细节特征作为该像素的特征, 进而根据该像素所在区域 p 的局部特征确定其在融合中所占的权重, 最后根据像素级融合的方法对 3 个输入推导图像进行融合. 算法中公式定义如下:

$$Q_{\text{var},p}(x, y) = \frac{1}{d} \sum_{m=x-k}^{x+k} \sum_{n=y-k}^{y+k} [I_p(m, n) - \bar{I}_p]^2, \quad (5)$$

$$Q_{\text{grad},p}(x, y) = \frac{1}{d} \sum_{m=x-k}^{x+k} \sum_{n=y-k}^{y+k} (|I_p(m+1, n+1) - I_p(m, n)| + |I_p(m, n+1) - I_p(m+1, n)|), \quad (6)$$

$$Q_{\text{entr},p}(x, y) = \sum_{m=x-k}^{x+k} \sum_{n=y-k}^{y+k} -p(I_p(m, n)) \log 2p(I_p(m, n)), \quad (7)$$

$$\bar{I}_p = \frac{1}{d} \sum_{m=x-k}^{x+k} \sum_{n=y-k}^{y+k} I(m, n), \quad (8)$$

$$d = (2k + 1) \times (2k + 1). \quad (9)$$

其中: I_p 表示第 p 个输入光照估计, $Q_{\text{var},p}(x, y)$ 为方差, $Q_{\text{grad},p}(x, y)$ 为梯度, $Q_{\text{entr},p}(x, y)$ 为熵,

在这里图像的质量测度是由于上述的方差、梯度、熵的一种或多种所构成, 对应的质量测度定义为

$$Q_p(x, y) = Q_{\text{var},p}^\alpha(x, y) \times Q_{\text{grad},p}^\beta(x, y) \times Q_{\text{entr},p}^\gamma(x, y), \quad (10)$$

其中 α 、 β 、 γ 取值为 0 或者 1.

权重系数设计为

$$w_p(x, y) = \frac{Q_p(x, y)}{\sum_{i=1}^3 Q_p(x, y) + \hbar}. \quad (11)$$

其中: $Q_p(x, y)$ 是光照输入估计的质量测度; 权重系数必须满足 $\sum_{i=1}^3 w_{i,p}(x, y) = 1, 0 \leq w_p(x, y) \leq 1; \hbar$ 为一个特别小的正数, 目的是防止分母变为零. 于是融合后光照分量可由下式得出:

$$I_{\text{enhanced}}(x, y) = \sum_{p=1}^3 w_p(x, y) \times I_p(x, y). \quad (12)$$

1.3 反射分量处理

低照度全景图像在经过增强以后, 往往会存在图像细节丢失现象, 而图像的反射分量包含了图像大多数的细节信息. 为了使得增强后的全景图像可以更好地显示, 对反射分量进行调整是非常有必要的. 图像的细节会随着亮度的增加而增加, 随着亮度的减少而减少. 当反射分量映射到低亮度区域时, 图像的细节变得模糊, 需要对反射分量进行增强; 相反, 若反射分量映射到高亮度区域时, 如果继续对反射分量进行增强, 则会出现虚假轮廓甚至光晕现象. 为解决此类问题, 本文提出一种自适应细节调整函数, 即

$$R_{\text{enhanced}} = \begin{cases} R^{(1.0+2.9 \times \Delta R)}, & \Delta R \geq 0; \\ R^{(1.0+0.1 \times \Delta R)}, & \Delta R < 0; \end{cases} \quad (13)$$

$$\Delta R = S - I_{\text{enhanced}}(x, y). \quad (14)$$

其中: S 为图像的亮度, I_{enhanced} 为处理后光照分量, R 为处理前反射分量.

2 实验结果与分析

本文选择 4 种不同场景的低照度全景图像进行实验, 使用文献[10]算法、文献[14]算法、文献[25]算法、文献[29]算法、文献[30]算法、文献[31]算法和本文算法分别进行处理, 对实验结果进行对比与分析, 如图 2~图 5 所示.

由图 2~图 5 可以看出: 对于不同场景不同时刻

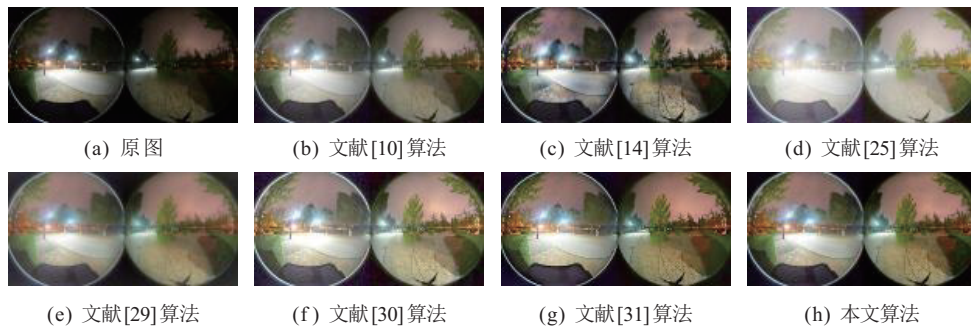


图2 傍晚时分校园全景图像不同增强算法处理结果

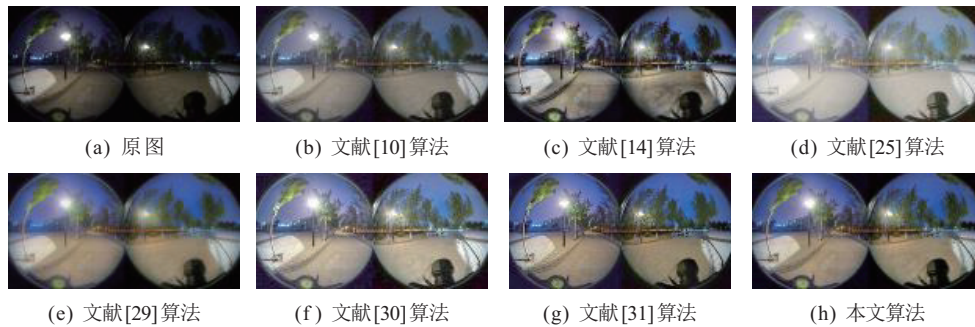


图3 夜晚时分教学楼全景图像不同增强算法处理结果

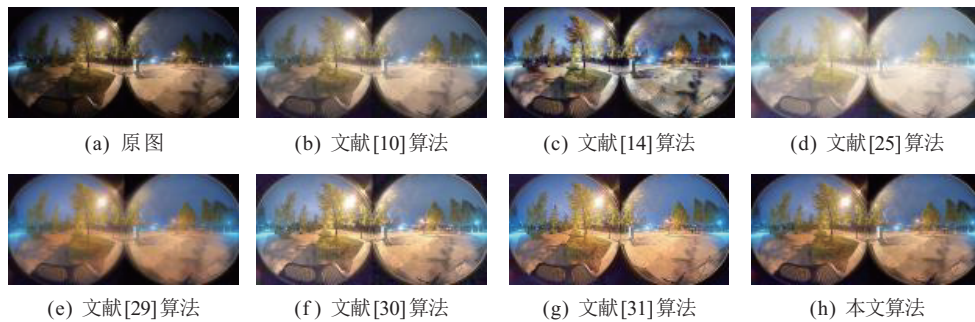


图4 傍晚时分路边全景图像不同增强算法处理结果

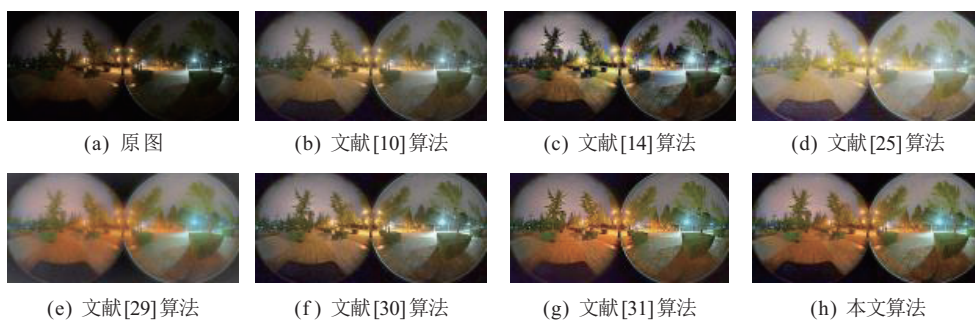


图5 不同算法对低照度全景图像增强效果的质量评价

的低照度全景图像,文献[10]算法和文献[25]算法在提高图像亮度的同时对噪声进行了放大,图像的细节信息恢复效果不好,细节信息有所丢失,图像整体不够清晰;文献[14]算法可以在提高对比度和亮度的同时增加图像局部细节信息,但是图像整体会出现过增强现象,产生的视觉效果不够自然;本文算法的结果更加自然,图像视觉效果更符合人眼视觉特性;文献[29]算法基于光照-反射模型对光照分量进行了融合,

使得增强后的图像颜色更加自然,但是图像的反射层含有图像细节信息,并且含有图像的大多数噪声,所以该算法细节信息有所丢失,且含有较多噪声,本文算法避免了光晕现象的出现,通过对图像反射分量的处理,图像的细节信息更加完整;文献[30]算法和文献[31]算法较好地增强了图像亮度与对比度,但图像的原始结构信息有所丢失;本文算法对图像反射分量进行了自适应调整,使得增强后细节信息更加完

整,原始结构信息更加丰富,含有的图像噪声更少。

为了更好地对不同算法处理后的全景图像质量进行客观评价,如表1所示,使用结构相似性(SSIM)、峰值信噪比(PSNR)来对增强后的全景图像质量进行衡量。结构相似性是评价图像结构是否失真的重要评价指标,SSIM值越大,说明处理后的图像跟原图像

越相似;峰值信噪比衡量图像抗噪声性能,PSNR值越高,图像的抗噪声性能越好。综合比较两个评价指标可知,本文提出的算法可以在维持图像结构不失真的同时增强图像的清晰度以及图像细节信息,使得增强后的全景图像颜色更加丰富自然,符合人们的视觉要求。

表1 不同算法对低照度全景图像增强效果的质量评价

图序	文献[10]算法		文献[14]算法		文献[25]算法		文献[29]算法		文献[30]算法		文献[31]算法		本文算法	
	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR	SSIM	PSNR
图2(a)	0.74	15.44	0.72	15.54	0.506	8.89	0.63	12.29	0.23	8.59	0.68	14.50	0.75	16.14
图3(a)	0.73	15.20	0.69	15.50	0.491	8.62	0.57	12.17	0.55	10.79	0.65	14.23	0.75	16.28
图4(a)	0.76	15.08	0.73	16.83	0.547	8.71	0.70	14.50	0.67	12.71	0.70	14.11	0.81	18.65
图5(a)	0.72	13.52	0.69	15.80	0.453	8.73	0.60	11.77	0.66	14.22	0.65	14.36	0.71	14.36

3 结论

为了解决低照度全景图像增强问题,本文提出了一种基于细节特征融合的低照度全景图像增强算法。实验结果验证了本文算法在获得良好的增强效果的同时,可以克服增强过程中颜色失真、光晕效应以及对比度低等不足,使得增强后的全景图像整体亮度显著提升,细节信息进一步凸显,增强后图像的颜色自然,有效提高了低照度全景图像的视觉质量。

本文算法虽然增强效果较好,但算法复杂度较高,运算资源占用大,运算时间较长,限制了当前算法向工程应用领域的推广。未来研究可以着重于模型简化以及算法实时性的提高,并且可以在光照分量的融合增强部分开展进一步的研究,其研究成果在无人驾驶、机器人导航、汽车倒车影像等领域有着广泛的应用前景。与此同时,在低照度全景图像的增强过程中,噪声对图像的影响往往会特别大,因此,在低照度全景图像增强算法中加入去噪处理环节,实现低照度全景图像去噪、对比度增强与细节增强的结合,将对低照度全景图像的增强研究具有重要意义。

参考文献(References)

- [1] Cheng I, Basu A. Contrast enhancement from multiple panoramic images[C]. Int Conf on Computer Vision. Rio de Janeiro: IEEE, 2007: 1-7.
- [2] Kandan R S, Kumar A J S. An improved contrast enhancement approach for panoramic dental X-ray images[J]. Int J of Applied Engineering Research, 2015, 10(4): 1897-1902.
- [3] Spartiotis K, Pansar T. Extra-oral digital panoramic dental X-ray imaging system[P]. USA: US8693624, 2014.
- [4] Lee C, Lee C, Kim C S. Contrast enhancement based on layered difference representation[C]. The 19th IEEE Int Image Conf on Processing. Orlando: IEEE, 2012: 965-968.
- [5] Lee C, Lee C, Lee Y Y, et al. Power-constrained contrast enhancement for emissive displays based on histogram equalization[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2012, 21(1): 80-93.
- [6] Arici T, Dikbas S, Altunbasak Y. A histogram modification framework and its application for image contrast enhancement[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2009, 18(9): 1921-1935.
- [7] Coltuc D, Bolon P, Chassery J M. Exact histogram specification[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2006, 15(5): 1143-1152.
- [8] 王殿伟, 王晶, 许志杰, 等. 一种光照不均匀图像的自适应校正算法[J]. 系统工程与电子技术, 2017, 39(6): 1383-1390.
(Wang D W, Wang J, Xu Z J, et al. Adaptive correction algorithm for non-uniform illumination images[J]. Systems Engineering and Electronics, 2017, 39(6): 1383-1390.)
- [9] Zuiderveld K. Contrast limited adaptive histogram equalization[C]. Graphics Gems. San Diego: Academic Press Professional, 1994: 474-485.
- [10] Pisano E D, Zong S, Hemminger B M, et al. Contrast limited adaptive histogram equalization image processing to improve the detection of simulated spiculations in dense mammograms[J]. J of Digital Imaging, 1998, 11(4): 193-200.
- [11] Pizer S M, Amburn E P, Austin J D, et al. Adaptive histogram equalization and its variations[J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1987, 39(3): 355-368.
- [12] Pisano E D, Zong S, Hemminger B M, et al. Contrast limited adaptive histogram equalization image processing

- to improve the detection of simulated spiculations in dense mammograms[J]. *J of Digital Imaging*, 1998, 11(4): 193-200.
- [13] Kim Y T. Contrast enhancement using brightness preserving bihistogram equalization[J]. *IEEE Trans on Consumer Electronics*, 1997, 43(1): 1-8.
- [14] 黄梁松, 于清洋, 李玉霞. 基于双边伽马校正和多尺度图像融合的图像增强方法[P]. 中国: CN104574337A, 2015.
(Huang L S, Yu Q Y, Li Y X. Image enhancement method based on bilateral gamma correction and multi-scale image fusion[P]. China: CN104574337A, 2015.)
- [15] Huang S C, Cheng F C, Chiu Y S. Efficient contrast enhancement using adaptive Gamma correction with weighting distribution[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2013, 22(3): 1032-1041.
- [16] Guo H, He H, Chen M. Gamma correction for digital fringe projection profilometry[J]. *Applied Optics*, 2004, 43(14): 2906-2914.
- [17] Huang L, Cao G, Yu L. Efficient contrast enhancement with truncated adaptive gamma correction[C]. *Int Congress on Image and Signal Processing, Biomedical Engineering and Informatics*. Datong: IEEE, 2017: 189-194.
- [18] Antonini M, Barlaud M, Mathieu P, et al. Image coding using wavelet transform[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 1992, 1(2): 205-220.
- [19] Daubechies I. The wavelet transform, time-frequency localization and signal analysis[J]. *J of Renewable & Sustainable Energy*, 1990, 36(5): 961-1005.
- [20] Demirel H, Anbarjafari G. IMAGE resolution enhancement by using discrete and stationary wavelet decomposition[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2011, 20(5): 1458-1460.
- [21] Bhutada G G, Anand R S, Saxena S C. Edge preserved image enhancement using adaptive fusion of images denoised by wavelet and curvelet transform[J]. *Digital Signal Processing*, 2011, 21(1): 118-130.
- [22] Demirel H, Ozcinar C, Anbarjafari G. Satellite image contrast enhancement using discrete wavelet transform and singular value decomposition[J]. *IEEE Geoscience & Remote Sensing Letters*, 2010, 7(2): 333-337.
- [23] Land E H, McCann J J. Lightness and retinex theory[J]. *J of the Optical Society of America*, 1971, 61(1): 1-11.
- [24] Rahman Z, Jobson D J, Woodell G A. Multi-scale retinex for color image enhancement[C]. *Int Conf on Image Processing*. Lausanne: IEEE, 2002, 3: 1003-1006.
- [25] Lin H, Shi Z. Multi-scale retinex improvement for nighttime image enhancement[J]. *Int J for Light and Electron Optics*, 2014, 125(24): 7143-7148.
- [26] 赵宏宇, 肖创柏, 禹晶, 等. 马尔科夫随机场模型下的Retinex夜间彩色图像增强[J]. *光学精密工程*, 2014, 22(4): 1048-1055.
(Zhao H Y, Xiao C B, Yu J, et al. Markov random field model of the Retinex night color image enhancement[J]. *Optics and Precision Engineering*, 2014, 22(4): 1048-1055.)
- [27] 常骥, 白佳弘. 基于回转对称双边滤波的Retinex图像增强算法[J]. *计算机工程*, 2016, 42(6): 265-273.
(Chang J, Bai J H. Retinex image enhancement algorithm based on rotation symmetric bilateral filtering[J]. *Computer Engineering*, 2016, 42(6): 265-273.)
- [28] 胡韦伟, 汪荣贵, 方帅, 等. 基于双边滤波的Retinex图像增强算法[J]. *图学学报*, 2010, 31(2): 104-109.
(Hu W W, Wang R G, Fang S, et al. Retinex image enhancement algorithm based on bilateral filtering[J]. *Graphics Journal*, 2010, 31(2): 104-109.)
- [29] Fu X, Zeng D, Huang Y, et al. A fusion-based enhancing method for weakly illuminated images[J]. *Signal Processing*, 2016, 129(C): 82-96.
- [30] Ying Z, Li G, Ren Y, et al. A new low-light image enhancement algorithm using camera response model[C]. *Int Conf on Computer Vision Workshop*. Venice, 2017: 3015.
- [31] Li M, Liu J, Yang W, et al. Structure-revealing low-light image enhancement via robust retinex model[J]. *IEEE Trans on Image Processing*, 2018, 27(6): 2828-2841.

作者简介

王殿伟(1978—), 男, 副教授, 博士, 从事计算机视觉、人工智能、公共安全视频图像清晰化处理等研究, E-mail: wangdianwei@xupt.edu.cn;

韩鹏飞(1994—), 男, 硕士生, 从事低照度全景图像、图像增强的研究, E-mail: 13772405149@126.com;

李大湘(1974—), 男, 副教授, 博士, 从事机器学习、视频图像语义分析等研究, E-mail: www_idx@163.com;

刘颖(1970—), 女, 高级工程师, 博士, 从事图像检索等研究, E-mail: ly_yolanda@sina.com;

许志杰(1969—), 男, 教授, 博士, 从事图像增强、计算机视觉实时视频事件检测的研究, E-mail: z.xu@hud.ac.uk;

王晶(1983—), 男, 讲师, 博士, 从事图像清晰化处理、群体异常行为检测、视频图像智能分析的研究, E-mail: j.wang2@hud.ac.uk.

(责任编辑: 李君玲)