

DOI:10.19651/j.cnki.emt.1801982

基于图像增强处理的 CDVS 匹配算法

朱林林 王国中 滕国伟 杨郑龙

(上海大学 通信与信息工程学院 上海 200444)

摘要: 紧凑型视觉描述子(CDVS)的目标是针对移动端的图像检索以及匹配应用提供一套标准化的比特流语法。CDVS 标准算法对于光照条件良好的图像具有很好的匹配效果,但是对于昏暗条件下拍摄的图像,匹配的准确度表现不足。因此提出一种基于直方图均衡化的 CDVS 匹配算法,对昏暗条件下的图像通过直方图均衡算法进行质量提升,增加关键点匹配数,然后再利用 CDVS 标准算法对图像进行匹配。另一方面,提出一种基于同态滤波的 CDVS 匹配算法,对昏暗图像进行频域变换,突出高频信号,抑制低频信号,增加图像对比度。实验对比了昏暗条件下图像匹配结果与处理之后图像匹配结果,验证了本算法的有效性。

关键词: 紧凑型视觉描述子;图像匹配;直方图均衡化;同态滤波

中图分类号: TP751; TN911.91 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 510.4050

Image enhancement based on CDVS matching algorithm

Zhu Linlin Wang Guozhong Teng Guowei Yang Zhenglong

(School of Communication & Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200444, China)

Abstract: Compact descriptor for visual search (CDVS) provides a standardized bitstream syntax for mobile image retrieval and matching applications. Although the standard CDVS algorithm has significant advances in the images with the good lighting condition, this approach often fails on dealing with the low-light images. A CDVS matching algorithm based on image enhancement is proposed. Firstly, a histogram equalization method is used for improving the quality of the pictures on low-light conditions to increase the matching number of the key points. Then, a same image enhancement method, which is mainly according to the homomorphic filtering, is adopted as the preprocessing for enhancing the contrast of the image with suppressing the low frequency signal and highlighting the high frequency signal to better extract the descriptors. The experimental results are compared with the image matching results under dim conditions and the image matching results after processing, and the effectiveness of the algorithm is verified.

Keywords: compact descriptor for visual search (CDVS); image matching; histogram equalization; homomorphic filtering

0 引言

紧凑型视觉搜索描述子(compact descriptor for visual search, CDVS)是由 ISO/IEC 运动图像专家组(moving picture experts group, MPEG)于 2014 年发布的一个完整 的标准^[1]。这个标准的主要目的是提供一套标准化的比特流语法,以实现图像在移动端的实时搜索和应用。标准化过程中,很大程度上减小了图像特征数据以及特征提取过程中的计算复杂度和内存占用。

CDVS 主要包括兴趣点检测,局部特征选择,局部特征描述,局部特征描述子压缩,局部特征位置压缩,局部特征描述子聚类等几个方面^[2-3]。CDVS 的评价数据集规模很大,比 INRIA Holidays 和 Oxford Buildings 这样的流行数

据集规模还大,CDVS 数据集的对象类型、尺度、旋转、遮挡和照明条件有更多的变化。数据集中有 10 155 个匹配图像对和 112 175 个非匹配图像对的标准数据用作成对匹配的评价。对于检索实验,使用来自 Flickr 的 8 314 个查询图像,18 840 个参考图像和一百万个图像的干扰集。实验中选取 CDVS 数据集“buildings”和“objects”进行测试。发现对光照条件好的图像进行匹配,匹配效果较好,匹配率可达 85%~90%;但是对低光照条件下的图像进行匹配,匹配的准确率只有 70% 左右。可见,低光照条件下的图像应用 CDVS 标准匹配算法其准确率大大降低。因此本文提出对于低光照条件下的图像在进行匹配之前先进行增强处理^[4],再对增强处理后的图像应用 CDVS 标准算法进行描述子的提取和匹配,这样可以大大提高匹配的准确率。

1 图像增强方法比较

图像增强方法已经研究了数十年,例如,模仿人类视觉系统提出的 Retinex 增强方法^[5],它是通过将反射与照明分开,可以明显增强图像细节,但是该方法容易在高对比度区域遭受晕状伪影,导致图像细节受损,而且 Retinex 算法复杂度要求高,在对图像进行处理时,需要对每幅图像的参数进行调整;梯度域图像增强算法^[6]虽然压缩了图像动态范围,但是它对图像局部进行梯度扩展,与 Retinex 方法相比,它在处理图像边缘和高光部分取得了很好的效果,但是它需要在梯度区域重建图像,其算法复杂度也很高;直方图均衡化^[7-9]其算法简单并且处理效果比较好,因此被广泛地应用在图像处理中;同态滤波^[10-11]增加高频信号、减少低频信号,从而减少光照变化对图像影响的一种滤波方法,它能很好的应对光照变化对图像产生的影响,而且可将图像的计算转化到频域中,使得计算效率大大提高。

虽然 Retinex 方法和梯度域方法能够增强低光照条件下图像对比度,但由于算法复杂度较高,使得这些方法仅可以用于图像分析,并不能实时使用,局限了它们的应用范围,不适用于 CDVS 对实时性的要求。由上述分析可以看出,直方图均衡法和同态滤波法能很好的处理由于光照变化对图像产生的影响,而且复杂度不高,适用于 CDVS 实时处理的需求。所以本文采用直方图均衡和同态滤波对图像分别进行增强处理^[12-13],然后把增强处理后的图像再应用于 CDVS 算法中。

2 基于图像增强处理的 CDVS 匹配算法

图像增强技术广泛应用于图像处理中,在对图像进行拍摄的过程中,可能由于各种因素的影响,例如光照、遮挡等,造成图像质量下降,给分析和识别带来困难。由于图像的多种多样,因此要对不同特征的图像采取不同的图像增强处理的方法。对于低光照条件的图像,常用的方法有直方图均衡化和同态滤波。

2.1 基于直方图均衡化 CDVS 匹配算法

直方图均衡因其算法简单,容易实现,又能够很好的加强图像效果,因此被广泛使用。它的目的是平滑和扩大图像直方图灰度级的动态范围,使原本很窄的灰度级进行拉伸,同时又使得图像直方图的分布变得更加均匀,从而实现图像整体对比度增强。本文利用直方图均衡算法首先对低光照图像进行增强处理^[14],使原本低照度的图像对比度得到增强,图像的亮度得到提升,细节更加突出,有利于图像描述子的提取和匹配。

直方图均衡化是在累积分布函数基础上进行修改的,变换函数 $T(r)$ 与原始图像概率密度函数 $P_r(r)$ 之间的关系为:

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(w) dw \quad (1)$$

对式(1)进行离散化处理得到如下公式:

$$s_k = T(r_k) = \sum_{j=0}^k p_r(r_j) = \sum_{j=0}^k \frac{n_j}{n} \quad k = 0, 1, \dots, L-1 \quad (2)$$

其中, s_k 称作直方图均衡化,将输入图像中灰度级为 r_k 的像素映射到输出图像中灰度级为 s_k 的对应像素得到。

图像经过直方图均衡化处理后得到的效果如图 1 所示。从图 1(a)可以看出,原图像处在低光照条件下,图像中的人脸由于光照太暗的原因,人眼观察不清楚,图像细节也不明显;从图 1(b)可以看出,原图像直方图的灰度级范围很窄,都集中在同一灰度级上。经过直方图均衡处理之后,从图 1(c)可以看到,图像亮度明显增强,人眼可以很直观的看到图像中的人脸,图像细节也得到加强,例如人的眼睛、鼻子和嘴巴可以看的很清楚;从图 1(d)可以看到,它的直方图的灰度级范围变得广,分布更加均匀。

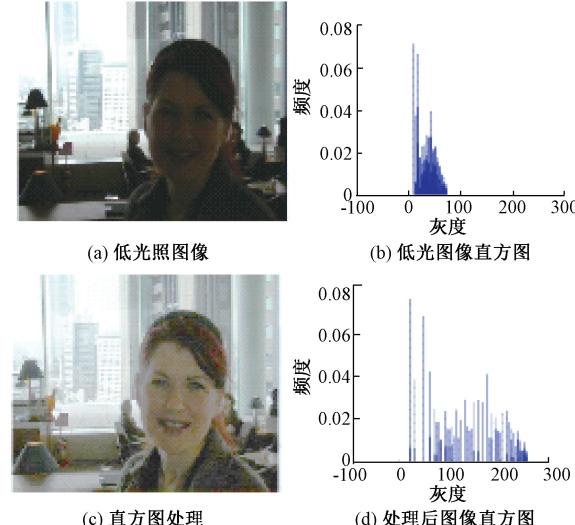


图 1 图像直方图均衡化

将标准图像分别与低光照图和直方图均衡化后的图像应用 CDVS 标准算法进行匹配,匹配结果如图 2 所示,未匹配的点:不匹配的描述子;连接方块的线:DISTRATA 丢弃的匹配;连接圆点的线:匹配正确的点。从图 2(a)可以看出,标准图像与低光照图像进行匹配时,低光照图像存在较多的不匹配的描述子,而且匹配时存在较多的误匹配点对,匹配成功对数较少;图 2(b)是标准图像与直方图均衡化后的图像进行匹配,可以看到匹配成功对明显增多,而且匹配成功的点大多分布在人脸周围,说明图像经过直方图均衡化后,图像特征增强,图像细节更加突出,更有利子描述子的提取和匹配。

2.2 基于同态滤波的 CDVS 匹配算法

在对低光照图像进行增强处理时,同态滤波也是经常使用的一种方法^[14]。同态滤波是对图像在频域上进行处理的,然后对图像灰度的范围进行压缩,以此提高图像对

比度,改善图像质量。同态滤波的基本思想如图3所示。

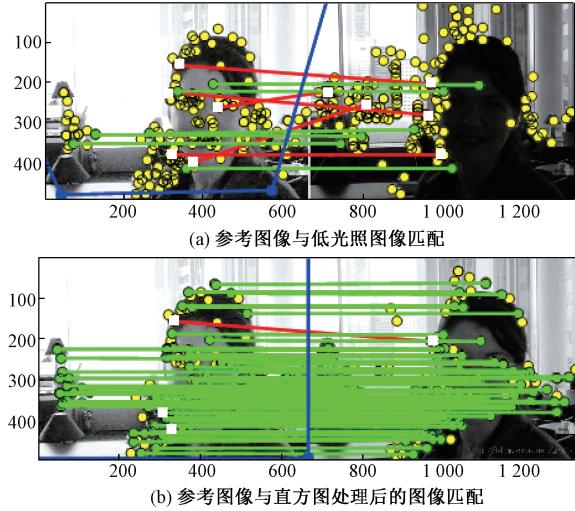


图2 图像匹配的结果

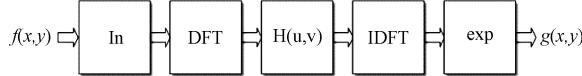


图3 同态滤波方法流程

图3中,ln是对输入图像 $f(x,y)$ 取对数,它的目的是将运算过程中的乘法转化为加法运算,其运算过程如下所示:

$$z(x,y) = \ln f(x,y) = \ln i(x,y) + \ln r(x,y) \quad (3)$$

对 $z(x,y)$ 作傅里叶变换(discrete fourier transform, DFT),它的目的是将图像从时域转换到频域。

$$F(z(x,y)) = F(\ln i(x,y)) + F(\ln r(x,y)) \quad (4)$$

即 $Z = I + R$;然后再对数据进行滤波,选择适当的传递函数,即确定一个合适的 $H(u,v)$,大致形状如图4所示。

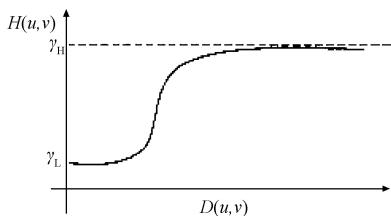


图4 同态滤波的传递函数 $H(u,v)$

$(DFT)^{-1}$ 是对数据作傅立叶反变换;exp是对数据作指数变换; $g(x,y)$ 是处理后得到的图像数据。

图像经过同态滤波器后,得到的效果如图5所示。从图5(a)中可以看出,在低光照条件下,人眼看不清图中房子具体颜色以及具体样式,经同态滤波处理后的图像如图5(c)所示,图像的亮度明显加强,而且色彩比原图更加

丰富,图像中的墙体的装饰和房子前的台阶轮廓更加明显;而且从图中可以看出在经过同态滤波处理后,图像的高频信息得到加强,同时图像的部分低频信息也得到了保留。

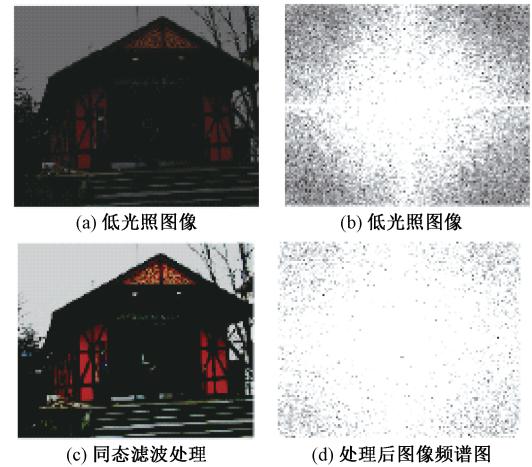


图5 图像同态滤波

将标准图像分别与低光照图和同态滤波后的图像应用CDVS标准算法进行匹配,匹配结果如图6所示,未匹配的点:不匹配的描述子;连接方块的线:DISTRATA丢弃的匹配;连接圆点的线:匹配正确的点。从图6(a)可以看出,标准图像与低光照图像进行匹配时,存在较多的误匹配点对,只有较少的几个关键点可以匹配成功;图6(b)是标准图像与同态滤波后的图像进行匹配,可以看到匹配成功对有明显增多,说明图像经过同态滤波后,也提升了图像的匹配准确度。

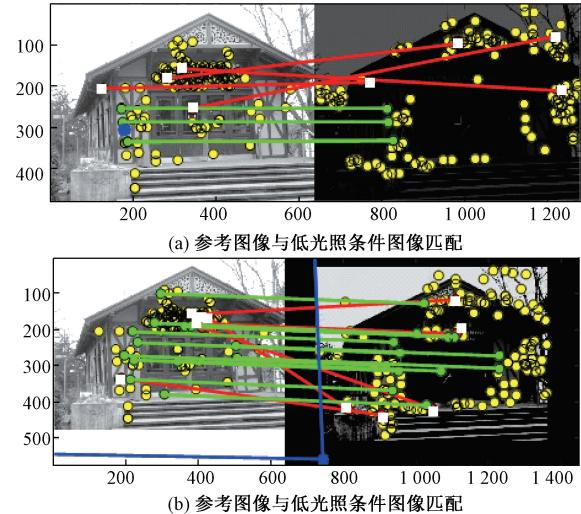


图6 图像匹配结果

2.3 基于图像增强的CDVS算法

本文算法的具体处理过程如图7所示,低光照条件下的图像,在进行CDVS标准算法匹配之前,先对图像用直

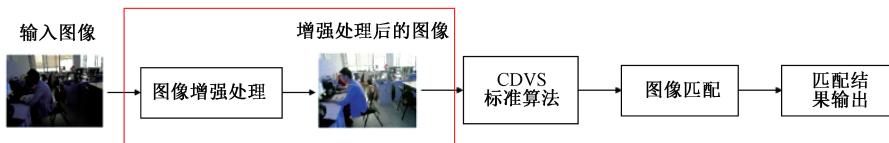


图 7 本文提出的基于图像增强的 CDVS 算法流程

方图均衡或者同态滤波进行增强处理,再利用 CDVS 标准算法对增强处理后的图像进行匹配。

3 实验结果与分析

3.1 客观分析

本实验随机选取 CDVS 数据集中的 12 幅低光照图像作为待处理图像,与 12 幅低光照相对应的条件良好的图像作为参考图像进行测试,并在 MATLAB2016 进行仿真。将低光照条件下的图像、直方图均衡化后的图像和同态滤波处理后的图像分别与参考图像进行匹配。

如表 1 所示,低光照图像与标准图像进行匹配时,匹配关键点的数量明显小于图像增强之后进行匹配的关键点的数量。如测试图像 3,匹配关键点从 47 分别增加到了 216 和 141,几何一致性校验^[15]匹配关键点数从 16 分别增加到 153 和 83,匹配最终得分由 0.667 0 分别提升到 0.972 4 和 0.933 3。说明在低光照条件下,图像细节丢失,图像特征被削弱,提取不到图像有用的信息,导致图像描述子的减少,匹配准确度下降。在经过图像增强之后,图像的灰度值分布较广,亮度得到平滑,对比度明显,突出了图像的物理特性并丰富了图像的细节信息,有利于图像描述子的提取和匹配。

表 1 实验结果

参考 图像	低光照图像与参考图像匹配			直方图均衡与参考图像匹配			同态滤波与参考图像匹配		
	匹配对数	几何校验后的 匹配对数	匹配得分	匹配对数	几何校验后的 匹配对数	匹配得分	匹配对数	几何校验后的 匹配对数	匹配得分
1	52	20	0.699 7	118	63	0.924 1	77	39	0.872 3
2	31	0	0	57	26	0.790 4	20	0	0
3	47	16	0.667 0	216	153	0.972 4	141	83	0.933 3
4	82	41	0.916 3	131	82	0.941 5	123	70	0.931 1
5	35	15	0.718 0	138	75	0.926 6	52	27	0.814 1
6	94	49	0.885 8	220	189	0.978 1	127	91	0.944 2
7	65	26	0.863 6	104	72	0.931 2	74	38	0.879 7
8	84	37	0.826 0	233	188	0.978 5	133	98	0.948 7
9	45	17	0.631 6	80	48	0.909 1	63	29	0.818 6
10	52	21	0.793 0	130	95	0.956 0	90	47	0.905 1
11	82	42	0.874 4	206	164	0.980 6	124	79	0.945 5
12	77	27	0.668 3	204	180	0.977 0	145	111	0.957 9

如表 2 所示,低光照条件下的图像经过直方图均衡化处理之后,匹配效果得到了很大的提升,匹配率最高可提升 30%。而且从表中可以看到,测试图像 2 在未进行处理之前,图像匹配失败,匹配总得分为 0,经过直方图均衡化处理之后,图像重新匹配成功,匹配的总得分达到了 79.04%。说明图像在经过直方图均衡化处理之后图像的特征更加突出,有利于图像描述子的提取,提升图像的匹配准确率。从表 2 还可以看到,同态滤波对图像的匹配效果也有一定的提升,但是相比于直方图均衡化,匹配的总得分平均低了 5% 左右。

3.2 主观分析

由于低光照条件引起图像匹配率下降,应用本文方法

进行实验待匹配图像如图 8 所示。图 8(a)为参考图像,图 8(b)为低光照条件下的图像,图 8(c)为直方图均衡化后的图像,图 8(d)为同态滤波后的图像。

将图 8(a)分别于图 8(b)~(d)进行匹配,对应得到的实验结果,如图 9 所示,未匹配的点:不匹配的描述子;连接方块的线:DISTRATA 丢弃的匹配;连接圆点的线:匹配正确的点。

从图 9 匹配结果中可以看出,在图 8(a)、(b)进行匹配时,匹配点的个数不是很多,而且出现了匹配错误的情况,说明在低光照条件下,图像的特征被削减,图像的细节也被覆盖,导致图像信息读出出现困难,给图像之间的匹配带来了很大的困难。图 8(a)与(c)、(d)匹配的结果显然增

表2 实验结果(匹配总得分对比)

(%)

参考图像	低光照图像		直方图均衡		同态滤波		直方图 vs 同态滤波	
	匹配得分	匹配得分	相对于低光匹配	匹配得分	相对于低光匹配	得分差值	得分差值	得分差值
1	69.97	92.41	22.44	87.23	17.26	5.18		
2	0.00	79.04	79.04	0.00	0.00	79.04		
3	66.70	97.24	30.54	93.33	26.63	3.91		
4	91.63	94.15	2.52	93.11	1.48	1.04		
5	71.80	92.66	20.86	81.41	9.61	11.25		
6	88.58	97.81	9.23	94.42	5.84	3.39		
7	86.36	93.12	6.76	87.97	1.61	5.15		
8	82.60	97.85	15.25	94.87	12.27	2.98		
9	63.1	90.91	27.75	81.86	18.70	9.05		
10	79.30	95.60	16.30	90.51	11.21	5.09		
11	87.44	98.06	10.62	94.55	7.11	3.51		
12	66.83	97.70	30.87	95.79	28.96	1.91		
average	77.67	95.23	17.56	90.46	12.79	4.77		



图8 待匹配图像

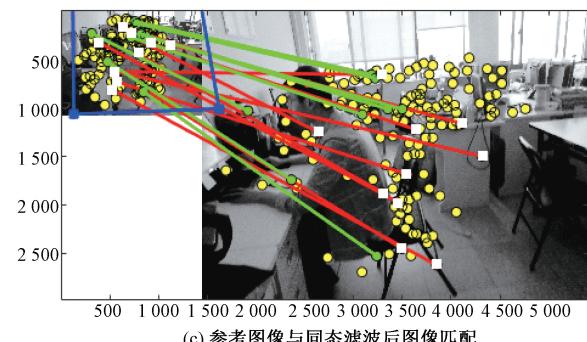
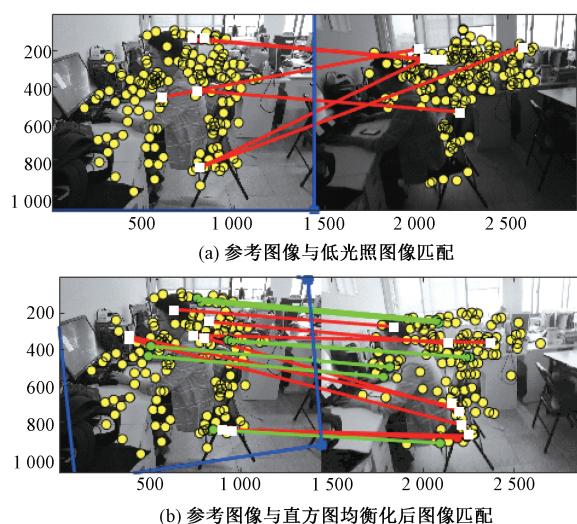


图9 图像匹配结果



强了很多,首先是匹配点的个数显然增多,描述子大部分分布在人的周围,能够很好的提取图像的特征,而且匹配错误的情况也得到了很好的纠正,说明低光照条件下的图像在经过图像增强处理之后,图像的特征更加突出,图像的细节也得到了加强。通过以上实验,说明图像进行增强处理之后可以提高图像之间的匹配率。匹配结果如表3所示。

表3 实验结果

结果对比	图像		
	低光照	直方图均衡	同态滤波
匹配点对数	76	99	82
几何校验后	33	53	37
匹配点对数			
匹配总得分	0.8492	0.911	0.8707

4 结论

本文对于低光照图像的匹配,提出了一种基于图像增

强的 CDVS 匹配算法。由于低光照图像的亮度较暗, 对比度较差, 图像细节丢失, 导致图像匹配精度降低, 因此直方图均衡或同态滤波在匹配前应用于图像, 经过处理后, 图像的灰度值分布广, 亮度得到增强, 对比度也有明显提升, 使得图像细节更加突出, 有利于 CDVS 标准算法提取更多的关键点, 最后将处理后的图像再与 CDVS 标准算法进行匹配。实验结果表明, 对低光图像进行增强处理之后再进行匹配时其准确度优于 CDVS 标准匹配算法。此外, 基于直方图均衡的 CDVS 匹配算法相比与基于同态滤波的 CDVS 匹配算法具有更好的效果。

参考文献

- [1] DUAN L Y, HUANG T, GAO W. Overview of the MPEG CDVS Standard [C]. Data Compression Conference, IEEE Computer Society, 2015:323-332.
- [2] 李梁燕. 基于 CDVS 视频特征压缩在监控中的应用[D]. 天津: 天津科技大学, 2017.
- [3] 林杰. 面向移动视觉搜索的紧凑聚合描述子研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2014.
- [4] 黄超. 采用图像增强的图像特征点匹配算法[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2015, 36(5):527-531.
- [5] 傅剑峰, 汪荣贵, 张新龙, 等. 基于人眼视觉特性的 Retinex 算法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2011, 25(1):29-37.
- [6] 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.
- [7] 李乐鹏, 孙水发, 夏冲, 等. 直方图均衡技术综述[J]. 计算机系统应用, 2014, 23(3):1-8.
- [8] THOMAS G, MANICKAVASAGAN A, KHRIDI L, et al. Contrast enhancement using brightness preserving histogram equalization technique for classification of date varieties [J]. Journal of Engineering Research, 2014, 11(1):55-63.
- [9] 贾鹏, 李江勇. 子块重叠局部直方图均衡算法的优化研究[J]. 激光与红外, 2012, 42(12):1381-1384.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] ZHU Y X. Review of image enhancement algorithms[J]. China Computer & Communication, 2017, 10 (4): 438-448.
- [13] LIU Y J, LIU Q. Ultrasound image enhancement based on homomorphic filter and histogram equalization [J]. Journal of Clinical Rehabilitative Tissue Engineering Research, 2011, 15 (48): 9031-9034.
- [14] 许欣. 图像增强若干理论方法与应用研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2010.
- [15] 李慧敏, 张之江. 基于模板迭代更新的图像配准算法[J]. 电子测量技术, 2017, 40(10):134-138.

作者简介

朱林林(通信作者), 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理、人工智能技术发展及应用。

E-mail: 2528636507@qq.com

王国中, 博士、教授, 主要研究方向为中国音视频编解码标准 AVS, 三网融合, 基于 AVS 和 DTMB 的双国标数字地面电视系统和 3DTV 等。

E-mail: Wanggz@shu.edu.cn

滕国伟, 博士、高工, 主要研究方向为中国音视频编解码标准, 3DTV、新媒体技术、三网融合技术等。

E-mail: tenggw@shu.edu.cn

杨郑龙, 博士, 主要研究方向为数字音视频编解码技术及其深度学习, 人工智能。

E-mail: 949713872@qq.com