

改进电润湿电子纸图像自适应增强算法*

熊铃铃^{1,2}, 林珊玲^{2,3}, 林志贤^{1,2,3}, 郭太良^{1,2}, 郭冠峥^{1,2}

(1.福州大学 物理与信息工程学院, 福建 福州 350116;

2.中国福建光电信息科学与技术创新实验室, 福建 福州 350116;

3.福州大学 先进制造学院, 福建 泉州 362200)

摘要: 由于电润湿显示器受显示技术的限制存在图像失真、边缘细节丢失的问题, 为了提高显示质量, 提出一种改进电润湿电子纸图像自适应增强算法。首先, 通过基于局部标准差的引导滤波获得显著图像, 然后, 结合显著图以及改进的引导滤波获得钝化模糊图像, 有效消除引导滤波平滑图像后产生的光晕现象; 最后, 将原图像与钝化模糊图像作差提取图像中的细节部分, 利用改进的非锐化掩模将细节部分与原图像自适应融合。实验结果表明, 相较于传统线性非锐化掩模方法, 该方法其图像评价指标 H 值、 P_{SNR} 值分别平均提高了 0.2%、28.4%, A_{MBE} 值平均降低了 88.4%, S_{SIM} 的值更加接近 1。因此, 该算法使得图像显示在电润湿显示器上细节纹理更加清晰可见, 同时避免图像过度增强, 取得了较好的显示效果。

关键词: 电润湿显示器; 非锐化掩模; 显著图像; 引导滤波; 自适应

中图分类号: TN27; TP391

文献标识码: A

DOI: 10.16157/j.issn.0258-7998.201106

中文引用格式: 熊铃铃, 林珊玲, 林志贤, 等. 改进电润湿电子纸图像自适应增强算法[J]. 电子技术应用, 2021, 47(11): 76-80.

英文引用格式: Xiong Lingling, Lin Shanling, Lin Zhixian, et al. Improved image adaptive enhancement algorithm for electrowetting electronic paper[J]. Application of Electronic Technique, 2021, 47(11): 76-80.

Improved image adaptive enhancement algorithm for electrowetting electronic paper

Xiong Lingling^{1,2}, Lin Shanling^{2,3}, Lin Zhixian^{1,2,3}, Guo Tailiang^{1,2}, Guo Guanzheng^{1,2}

(1.College of Physics and Information Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350116, China;

2.Fujian Science & Technology Innovation Laboratory for Optoelectronic Information of China, Fuzhou 350116, China;

3.School of Advanced Manufacturing, Fuzhou University, Quanzhou 362200, China)

Abstract: Due to the limitations of display technology, electrowetting displays have the problems of image distortion and loss of edge details. In order to improve the display quality, this paper proposes an improved unsharp masking (UM) image adaptive enhancement algorithm based on electrowetting electronic paper. Firstly, salient images are obtained by guided filtering based on local standard deviation. Then, the dull and blurred image is obtained through the saliency map and improved guided filtering, which effectively eliminates the halo phenomenon generated after smoothing the image. Finally, the difference between the original image and the blurred image is used to extract the details of the image, and the improved unsharp masking algorithm is used to adaptively merge the details with the original image. The experimental results show that compared with the traditional linear unsharp mask method, the image evaluation index H value and P_{SNR} value of this method are increased by 0.2% and 28.4% on average, the A_{MBE} value is reduced by 88.4% on average, and the S_{SIM} value is closer to 1. Therefore, this algorithm makes the detail of the image displayed on the electrowetting display more clearly, avoids the excessive enhancement of the image, and achieves a better display effect.

Key words: electrowetting display; unsharp mask; salient image; guided filtering; adaptive

0 引言

电润湿电子纸^[1-3]具有超低功耗、高照度条件下易读性好、易于实现柔性、价格低廉等优点, 但是, 受到显

示技术驱动芯片和驱动方式的制约, 导致电润湿显示器能够显示的灰度等级低, 这将造成图像失真、边缘细节丢失, 故需要对图像进行细节增强处理。线性非锐化掩

* 基金项目: 国家重点研发计划资助项目(2016YFB0401503); 广东省科技重大专项资助项目(2016B090906001); 广东省光信息材料与技术重点实验室开放基金资助项目(2017B030301007); 福建省自然科学基金资助项目(2020J01468)

模是常用的一种图像锐化增强的方法,但是该方法对噪声敏感,会过度放大噪声误差,容易出现增强过度现象,为此许多改进方案被提出^[4-9]。Guan 等人^[7]提出了一种新的非锐化掩模锐化图像增强方法,该方法涉及多次迭代以及图像划分,算法较复杂,且文中只对彩色图像进行验证并获得满意效果而未对灰度图像进行验证说明;王仕女等人^[8]提出利用非锐化掩模局部细节提升能力和 Beta 变换全局对比度拉伸能力,但是该算法涉及参数选择的复杂性,既要考虑效率,又要考虑参数有效性;朱莉^[9]提出了一种改进的自适应非锐化掩模(UM)图像增强算法,采用拉普拉斯算子代替局部方差检测局部细节特征,但是拉普拉斯算子对噪声十分敏感。

基于以上研究,本文提出了一种改进电润湿电子纸图像自适应增强算法,使得处理后图像细节更加丰富,轮廓更加清晰,对噪声起到很好的抑制效果,同时很好地避免过度增强。

1 传统非锐化掩模

传统的线性非锐化掩模算法是图像锐化增强中的一种,用于增强图像细节和边缘,其算法流程图如图 1 所示。

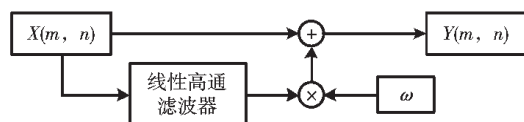


图 1 UM 算法流程图

2 改进非锐化掩模

为了改善传统非锐化掩模算法对噪声的敏感,提出了改进非锐化掩模算法,其流程图如图 2 所示。

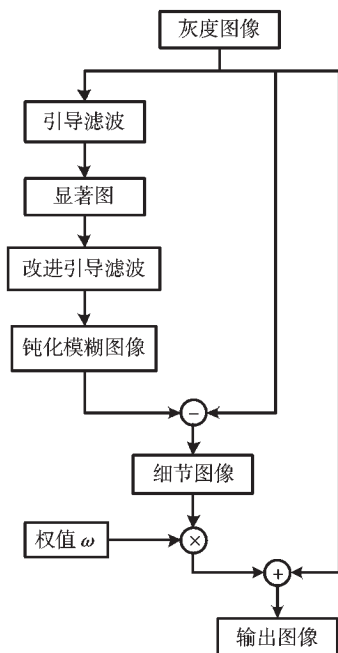


图 2 改进 UM 算法流程图

利用二次引导滤波算法得到钝化模糊图像,改进比例因子 ω ,从而抑制相对平坦区域的噪声,对需要锐化和增强的区域进行锐化和增强。

2.1 基于显著图的钝化模糊图像

2.1.1 引导滤波与显著图

显著图是一种模拟生物视觉注意机制的选择性模型,它直接反映了图像区域引起视觉注意的强弱度^[10]。而引导滤波^[11]作为一种边缘保持滤波算法,它可以很好地克服双边滤波中出现的梯度翻转的现象,且其算法复杂度与窗口无关,在处理较为大型的图像时效率明显提升,故提出了基于引导滤波的显著特性^[12]的提取。

结合引导滤波,并计算图像的局部窗口标准差 S ,将其作为引导滤波的引导图,获得显著图 S_f 可表示为:

$$S = f_{\text{stdfilt}}(I, N) \quad (1)$$

$$S_f = f_{\text{guidedfilter}}(S, I, r, \delta) \quad (2)$$

其中, I 为输入图像, N 为局部窗口大小, f_{stdfilt} 为局部标准差方程, r 为引导滤波的局部窗口半径, δ 为正则化参数, $f_{\text{guidedfilter}}$ 为引导滤波函数。

2.1.2 引导滤波与显著图

为了得到钝化模糊图像,且能够自适应图像边缘区域和平坦区域改变正则化参数 δ ,提出改进谢伟等人^[13]的融合梯度信息的引导滤波。梯度信息虽然带有像素突变信息,但它不能自适应图像中的信息,使得改进后的引导滤波按相同的滤波效果对整幅图像进行处理,不能达到本文需要的自适应效果。而改进的基于引导滤波的显著图中带有局部方差的信息,其在满足梯度信息的同时,通过引导滤波后获得的显著图中加入了图像自身的信息,能够自适应图像中的信息进行图像的平滑滤波和细节保留。

对于显著图中包含的局部方差信息,通过阈值 T_h 过滤局部方差较小的非边缘区域,对于局部方差较大的边缘区域利用比例放大因子 λ 自适应增强,具体公式如下:

$$T_h = 0.15 \cdot f_{\text{range}}(S_f) \quad (3)$$

$$v = -f_{\text{sign}}(S_f - T_h) \cdot S_f \cdot \frac{1}{T_h} \quad (4)$$

$$\lambda = 4 + |S_f - T_h|^v \quad (5)$$

其中, f_{range} 为 range 函数, f_{sign} 为符号函数。在引导滤波中,固定的正则化参数 δ 会导致 a_k^2 局部过度增大或局部过度减小,无法自适应图像信息,故改进的引导滤波通过 λ 来改变参数。如式(6)所示,边缘区域的 λ 变大,从而正则化参数 δ' 变小,平滑倍数越小,因此边缘信息得以保存,而平坦区域正好相反,将平坦区域进行平滑处理。

$$\delta' = \frac{\delta}{\lambda} \quad (6)$$

图 3 为比较原始图像分别经过本文提出的基于局部标准差的引导滤波获得的改进引导滤波算法与谢伟等人提出的基于梯度信息获得的改进引导滤波算法后的效果图。通过比较可得,图 3(b)将帽子的细节平滑滤



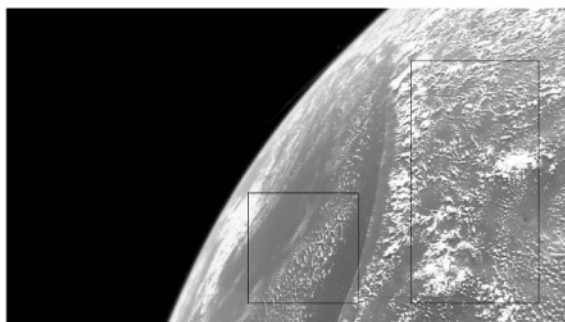
(a) 基于梯度信息
改进引导滤波算法

(b) 基于本文的
改进引导滤波算法

图3 Lena 不同算法产生的钝化模糊图像

波,而将其他细节(如眼睛、头发的细节)有所保持,利于对所需细节的提取与增强,从而避免图像过度增强;而图3(a)将图像所有细节按相同的平滑效果进行平滑处理,这将造成算法对某些细节的过度增强。

为了防止图像增强过度,经过本文算法的二次引导滤波处理后获得的细节图像能够有效增强所需细节,从而避免过度增强,如图4所示,图4(a)为 Blurry_planet 原图像,图4(b)为经过本文算法处理后获得的细节图像。图4(a)中左边的框框为所需增强的细节部分,右边的框框为图像的清晰部分;在图4(b)中可以相应看到左边框框处的模糊图像得到有效的增强,而右边框框处的细节图像得到细微增强,避免右边细节增强过度。



(a) 原始图像



(b) 经过本文算法处理后细节图

图4 Blurry_planet 细节效果图

2.2 改进权值 ω

为了使其能够自适应图像中的细节信息,需要对 ω

进行改进。在归一化操作生成自适应权值的基础上,通过添加参数 ξ 使得权值在亮度上更接近原始图像,细节信息更加丰富。参数 ξ 控制着局部细节的亮度和信息丰富程度,经过实验可得当 $\xi=1.6$ 时,效果最佳。权值 ω 取值范围在 $[0, 1]$ 之间,公式如下:

$$\omega(u, \xi) = \frac{u - \xi \cdot \min(u)}{\max(u) - \min(u)} \quad (7)$$

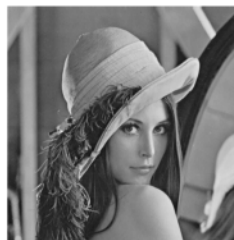
其中, u 为输入图像的灰度值, ξ 为控制参数。

3 结果与分析

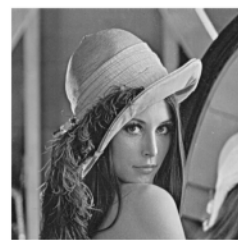
在本节中,本文将使用几组不同的数字图像处理经典图像进行实验,通过主观评价以及客观评价来评价本文算法。此外,本研究中所有实现方法的编码都是在 MATLAB 2016b 中所编写的。

3.1 主观评价

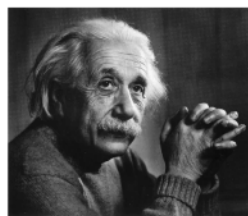
分别采用 Lena 图和 Einstein 图进行评价。如图5所示,经过本文算法后, Lena 图像的帽子、头发等细节部分得到了有效的增强,使得图像细节更丰富,轮廓更清晰,符合人眼视觉感受; Einstein 图像经过本文算法处理后,额头、手背、胸前的衣服以及脸颊等纹理细节都得到了有效的增强,图像更加清晰可见,视觉效果更佳。



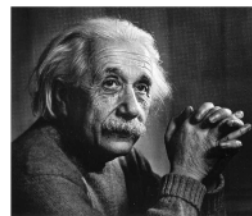
(a) Lena 原图



(b) 本文算法 Lena 图



(c) Einstein 原图



(d) 本文算法 Einstein 图

图5 细节增强图像

3.2 客观评价

采用 Lena 图、airplane 图、peppers 图等 10 张图像进行客观指标评价,其指标包括信息熵(H)、峰值信噪比(P_{SNR})、平均亮度误差^[14](A_{MBE})和结构相似度^[15](S_{SIM}),图6为这 10 张图像的原图像,将本文算法与传统非锐化掩模算法、灰度变化、中值滤波以及限制对比度自适应直方图均衡算法(CLAHE)的性能进行比较,评价结果如表 1~表 4 所示。

从以上表中可以看出,综合对信息熵、 P_{SNR} 、 A_{MBE} 和 S_{SIM} 的分析得出几种增强算法的性能:经过非锐化掩模算法增强后的图像除了细节信息有所增强外,图像有较

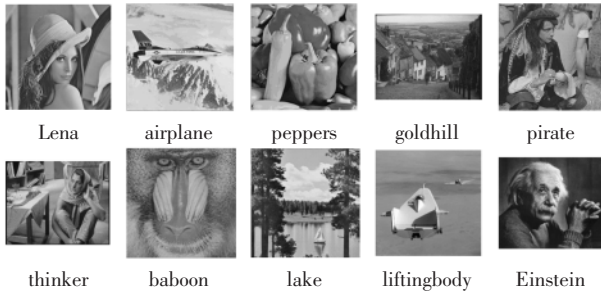


图6 10张原图像

表1 不同算法增强后图像信息熵值

H	原图	UM	灰度变化	中值滤波	CLAHE	本文算法
Lena	7.446	7.512	7.367	7.417	7.867	7.511
airplane	5.166	6.346	5.136	5.103	7.136	6.969
peppers	7.593	7.666	7.531	7.570	7.905	7.677
goldhill	7.530	7.617	7.514	7.511	7.880	7.574
pirate	7.193	7.358	7.150	7.173	7.876	7.381
thinker	7.658	7.763	7.574	7.607	7.954	7.760
baboon	7.139	7.475	7.058	7.033	7.936	7.219
lake	7.485	7.586	7.400	7.432	7.894	7.611
liftingbody	6.490	6.540	6.405	6.452	7.181	6.529
Einstein	6.990	7.156	6.909	6.972	7.709	7.171
平均值	7.069	7.302	7.004	7.027	7.734	7.340

表2 不同算法增强后图像 P_{SNR} 值

P_{SNR}	UM	灰度变化	中值滤波	CLAHE	本文算法
Lena	28.216	21.884	35.419	18.871	37.713
airplane	27.191	20.830	32.933	27.611	33.071
peppers	28.431	20.903	35.117	18.760	34.465
goldhill	27.801	23.221	32.843	14.715	33.740
pirate	26.665	20.572	32.242	18.473	35.456
thinker	23.823	24.013	26.768	17.841	32.856
baboon	21.935	17.921	25.059	16.869	39.310
lake	25.527	22.881	30.704	17.834	33.667
liftingbody	32.155	21.355	38.906	22.553	39.151
Einstein	30.148	24.215	32.547	16.897	36.351
平均值	27.189	21.780	32.254	19.042	35.880

表3 不同算法增强后图像 A_{MBE} 值

A_{MBE}	UM	灰度变化	中值滤波	CLAHE	本文算法
Lena	4.000	0.786	0.146	7.181	0.478
airplane	4.695	14.736	0.099	1.236	0.610
peppers	4.131	18.739	0.032	8.440	0.620
goldhill	4.715	14.691	0.156	32.076	0.906
pirate	5.027	2.178	0.276	7.991	0.634
thinker	7.231	10.771	0.057	12.602	0.940
baboon	10.188	18.298	0.296	3.978	0.357
lake	6.035	0.524	0.332	10.651	0.709
liftingbody	2.300	20.007	0.036	0.050	0.241
Einstein	3.187	11.616	0.101	21.306	0.470
平均值	5.151	11.235	0.153	10.551	0.597

小的失真,平均亮度保持能力有限;经过灰度变化后,图

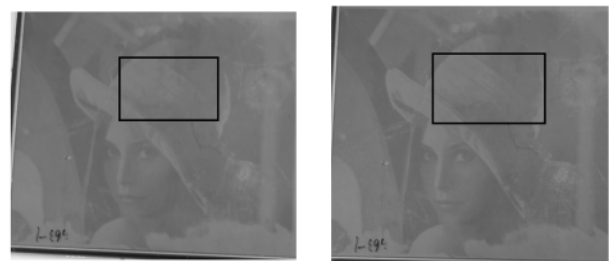
表4 不同算法增强后图像 S_{SIM} 值

S_{SIM}	UM	灰度变化	中值滤波	CLAHE	本文算法
Lena	0.912	0.904	0.923	0.767	0.965
airplane	0.899	0.951	0.871	0.951	0.921
peppers	0.897	0.964	0.890	0.767	0.937
goldhill	0.889	0.979	0.879	0.635	0.942
pirate	0.896	0.828	0.902	0.757	0.963
thinker	0.900	0.975	0.856	0.821	0.959
baboon	0.850	0.859	0.729	0.700	0.981
lake	0.883	0.928	0.863	0.745	0.952
liftingbody	0.932	0.957	0.945	0.745	0.970
Einstein	0.932	0.850	0.885	0.767	0.968
平均值	0.899	0.920	0.874	0.766	0.956

像信息熵反而低于原输入图像,部分细节丢失,图像失真较严重,平均亮度保持能力低;中值滤波算法使原图像更加平滑,丢失部分细节信息,虽然 P_{SNR} 的值较高,图像失真较小,但由于细节部分丢失造成图像模糊;限制对比度自适应直方图均衡算法能够获得图像最大的信息熵,即增强后的图像细节信息最丰富,但是图像的噪声最大,失真最严重,且平均亮度保持能力低, S_{SIM} 的值最小,该算法增强性能较差;经过本文算法增强后图像信息熵较高,且图像细节清晰,噪声最小,失真最小,可以很好地保持输入图像的亮度, S_{SIM} 值平均最接近 1,效果最好,且符合人眼视觉质量。

3.3 实际测量

将本文改进非锐化掩模算法应用于电润湿电子纸中,采用 Lena 图像进行验证。图 7(a)为原始图像在电润湿显示屏上的效果图,图 7(b)为采用本文改进算法后的效果图。对比两幅图可以看到,原图像在帽子处的纹理模糊不清晰,而经过本文改进算法后,帽子处的纹理更加清晰可见,如图 7(a)与图 7(b)中黑色框出部分。



(a)原图

(b)本文算法

图7 电润湿显示图像效果对比

4 结论

基于传统非锐化掩模算法的不足,本文提出了一种改进电润湿电子纸图像自适应增强算法。该算法通过引导滤波获得显著图,并结合显著图与改进引导滤波获得钝化模糊图像,经过二次引导滤波算法后,钝化模糊图像能够自适应图像信息将需要增强的部分平滑滤波,并

且尽可能保存不需要增强部分的细节信息,避免最终图像增强过度,同时利用改进权值自适应融合细节部分与原始图像最终获得输出图像。仿真结果表明,相较于传统线性非锐化掩模方法,本文方法其图像评价指标 H 值、 P_{SNR} 值分别平均提高了 0.2%、28.4%, A_{MBE} 值平均降低了 88.4%, S_{SIM} 的值更加接近 1。最终在电润湿电子纸上通过实验证明,本文算法的增强性能更佳,在增强纹理细节的同时,尽可能减少噪声的放大,避免过度增强,取得了较好的显示效果。

参考文献

- [1] 卜倩倩,王丹,邱云,等.反射显示技术的研究进展[J].液晶与显示,2019,34(2):169-176.
- [2] JUNG G S,LEE J S,WON Y H.Effects of liquid property and substrate roughness on the response time of an electrowetting liquid lens[C]//MOEMS and Miniaturized Systems XVII,2018.
- [3] 林珊玲,李甜甜,曾素云,等.基于人眼视觉的电润湿电子纸显示器亮度非线性校正方法[J].光子学报,2019,48(8):33-41.
- [4] JOSEPH J,ANOOP B N,WILLIAMS J.A modified unsharp masking with adaptive threshold and objectively defined amount based on saturation constraints[J].Multimedia Tools and Applications,2019,78(8):11073-11089.
- [5] KANSAL S,PURWAR S,TRIPATHI R K.Image contrast enhancement using unsharp masking and histogram equalization[J].Multimedia Tools and Applications,2018,77(20):26919-26938.
- [6] 沈磊,苏建忠,郭肇敏,等.基于反锐化掩模技术的红外图像增强算法设计[J].南开大学学报(自然科学版),2019,52(1):29-35.
- [7] GUAN R,WAN Y.An improved unsharp masking sharpening algorithm for image enhancement[C]//Eighth International

- Conference on Digital Image Processing(ICDIP 2016),2016.
- [8] 王仕女,孙文胜.基于非锐化掩模与 Beta 变换的图像增强研究[J].软件导刊,2019,18(9):207-210.
- [9] 朱莉.一种改进的自适应非锐化掩模图像增强算法[J].微电子学与计算机,2012,29(6):158-160.
- [10] 冯策,戴树岭,赵帅和.基于显著特性的保持边缘滤波算法[J].北京航空航天大学学报,2015,41(4):669-674.
- [11] HE K M,SUN J,TANG X O.Guided image filtering[C]//European Conference on Computer Vision,2010:1-14.
- [12] 许磊,崔光茫,郑晨浦,等.基于多尺度分解和显著性区域提取的可见光红外图像融合方法[J].激光与光电子学进展,2017,54(11):111-120.
- [13] 谢伟,周玉钦,游敏.融合梯度信息的改进引导滤波[J].中国图象图形学报,2016,21(9):1119-1126.
- [14] ZHUANG L Y,GUAN Y P.Adaptive image enhancement using entropy-based subhistogram equalization[J].Computational Intelligence and Neuroence,2018(2):1-13.
- [15] SHEBA K U,RAJ S G.Adaptive fuzzy logic based Bi-Histogram equalization for contrast enhancement of mammograms[C]//2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT),2017:156-161.

(收稿日期:2020-11-12)

作者简介:

熊铃铃(1995-),女,硕士研究生,主要研究方向:电子纸显示和图像处理技术。

林珊玲(1991-),女,博士,讲师,主要研究方向:电子纸显示和平板显示器件及其驱动技术。

林志贤(1975-),通信作者,男,博士,教授,主要研究方向:电子纸显示和平板显示器件驱动以及图像处理技术,E-mail:1zx2005000@163.com。



扫码下载电子文档

(上接第 75 页)

- [6] 杨帆.数字图像处理与分析[M].北京:北京航空航天大学出版社,2019:1-38.
- [7] 高飞,汪敏倩,吴宗林.一种基于投影的车牌字符切割方法:中国,CN201611131250.4[P].2017-05-10.
- [8] 黄威生.图像文字识别方法:中国,CN201910952417.0[P].2020-01-17.
- [9] 俞洋,厉丹,马一丁,等.基于 CNN 卷积神经网络的手势识别系统[J].电脑知识与技术,2020(10):210-212.
- [10] 孙华魁.数字图像处理与识别技术研究[M].天津:天津科学技术出版社,2019.
- [11] 张晶.数字图像处理应用研究[M].长春:吉林大学出版社,2019.
- [12] 范春奇,任坤,孟丽莎,等.基于深度学习的数字图像修

复算法最新进展[J].信号处理,2020,36(1):102-109.

- [13] 朱世宇,孙令翠,张桥,等.基于深度学习的不完整的手写体数字图像识别研究[J].智能建筑与工程机械,2019,1(2):104-106.
- [14] 金连文,钟卓耀,杨钊,等.深度学习在手写汉字识别中的应用综述[J].自动化学报,2016,42(8):1125-1141.

(收稿日期:2020-11-09)

作者简介:

张莉(1987-),女,硕士,工程师,主要研究方向:本科实验实践教学、信号处理与模式识别。

孟范泽(1998-),男,本科,主要研究方向:电气工程及其自动化。

刘思霖(1999-),女,本科,主要研究方向:电气工程及其自动化。



扫码下载电子文档

版权声明

经作者授权，本论文版权和信息网络传播权归属于《电子技术应用》杂志，凡未经本刊书面同意任何机构、组织和个人不得擅自复印、汇编、翻译和进行信息网络传播。未经本刊书面同意，禁止一切互联网论文资源平台非法上传、收录本论文。

截至目前，本论文已经授权被中国期刊全文数据库（CNKI）、万方数据知识服务平台、中文科技期刊数据库（维普网）、DOAJ、美国《乌利希期刊指南》、JST 日本科技技术振兴机构数据库等数据库全文收录。

对于违反上述禁止行为并违法使用本论文的机构、组织和个人，本刊将采取一切必要法律行动来维护正当权益。

特此声明！

《电子技术应用》编辑部

中国电子信息产业集团有限公司第六研究所