https://doi.org/10.1051/jnwpu/20224061327

基于曝光融合的无人机航拍图像增强算法

李亮亮[1], 任佳[1,2], 王鹏[3], 吕志刚[1,3], 孙梦宇[4], 李晓艳[3], 高武奇[5]

(1.西安工业大学 机电工程学院, 陕西 西安 710021; 2.海南大学 信息与通信工程学院, 海南 海口 570228;
3.西安工业大学 电子信息工程学院, 陕西 西安 710021; 4.西安工业大学 光电工程学院, 陕西 西安 710021;
5.西安工业大学 计算机科学与工程学院, 陕西 西安 710021)

摘 要: 针对无人机航拍图像光照不均匀及自然雾导致影像质量退化问题,提出了一种无人机航拍图像增强算法。利用改进的低照度图像增强算法均衡亮度对比度;为了解决均衡后图像过增强问题,提出了联合去雾及曝光融合的色彩矫正增强方法;为了保留增强图像的边缘纹理信息,设计了一种效果更佳的细节增强算法,处理后统计直方图更为平滑,可在一定程度上抑制部分噪声,细节纹理信息更强。实验结果表明,所提的航拍图像增强算法,能够有效解决因光照不均或自然雾引起的影像退化现象,提高了无人机航拍图像的质量,主客观图像质量评价指标优于现有绝大多数主流算法,性能更佳。

关 键 词: 无人机航拍图像增强;影像退化;曝光融合;多尺度细节增强

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-2758(2022)06-1327-08

作为人工智能领域的重要研究方向,计算机视觉技术促使数字图像处理被广泛应用于日常生活和军事领域。然而,数字化后的图像质量易受到传感器、拍摄场景以及成像环境的影响(尤其在微光、逆光、夜间等低照度特殊环境下采集的图像),存在亮度和对比度不均衡、暗区域细节模糊、细节不明显,颜色失真严重等问题。无人机航拍过程中,天气情况各异,地面情况复杂,成像质量存在差异,通常采集的影像质量较差。为了提高无人机航拍图像的信息提取、信息检测识别性能,需要采用图像增强技术提高图像质量[1-4]。

直方图均衡(histogram equalization, HE)方法普遍应用在低照度图像增强(low-light image enhancement, LLIE)中[5-6]。但是,HE 方法会增加背景噪声,而降低有效局部信息的对比度,图像易出现过度增强的问题。HE 算法的本质是改变图像点像素值的灰度分布范围,以此调整图像的明暗程度。部分学者针对光照条件较差的图像提出了基于 Gamma 校正的增强算法[7]。此类算法在光线较暗以及过亮时失效,处理效果不佳。

Land 提出的 Retinex 算法结合了人眼的视觉特性,图像增强处理效果相对于 HE 方法整体效果更佳。40 多年来,Retinex 理论的图像增强算法一直在不断发展完善[8-11]。同时,相关学者研究表明基于 Retinex 理论所衍生的相关算法在过暗、过曝光以及背光等情况下都有一定的增强效果[12],但是依赖于调参的优劣。其中,Guo 等[13]提出的 LIME 算法引入 BM3D(block-matching and 3D filtering)[14]降噪后处理算法,增加了算法复杂度,降低了算法的性能。现有 Retinex 算法存在容易产生光晕、增强后色调丢失等问题,其中最为关键的问题在于现有 Retinex 算法均不能根据图像质量自动调节参数,算法复杂度较高,执行效率低下。

另一方面,Dong 等[15-16]发现反转低质图像具有和有雾图像相似的特征信息,提出了一种利用暗通道先验知识的低光照图像增强算法,将低照度图像

收稿日期: 2022-03-22 **基金项目:** 国家自然科学基金(62171360、61961160706)、西安市智能兵器重点实验室(2019220514SYS020CG042)、2022 年度陕西高校青年创新团队项目、海南省自然科学基金创新研究团队项目(620CXTD434)、海南省自然科学基金高层次人才项目(620RC557)与澳门科技发展联合基金(0066/2019/AFJ)资助

作者简介: 李亮亮(1996—),西安工业大学博士研究生,主要从事遥感图像处理及工业缺陷检测、故障诊断及寿命预测研究。
通信作者: 王鹏(1978—),西安工业大学教授,主要从事图像处理、故障诊断及健康管理研究。e-mail:wp_xatu@163.com

增强领域和图像去雾领域相结合,利用去雾思想实现了低照度图像增强。该类算法由于暗通道在弱光条件下的适应性较差,可能会丢失一些细节信息,处理后图像颜色失调,容易产生过度增强,导致暗区域细节模糊,不具备一定的适应性。此外 Li 等[17]利用图像融合的方法,增强了夜间图像中细节清晰区域。Fu 等[18]提出了一种可以增强背光、非均匀光照和夜间等不同弱光照条件下图像的多尺度融合框架,利用形态学闭合的光照估计算法分解图像,同时基于适当的加权和融合策略,得到细节增强、局部对比度提高的最终增强图像。Ying 算法虽然能够实现原低照度图像和伪曝光图像的互补融合,但权重矩阵计算过程复杂,融合过程未考虑图像纹理细节,导致融合后的图像部分细节信息依旧处于昏暗状态,视觉效果不佳[19-20]。

综上所述,现有算法虽然能够在一定程度实现低质低照度航拍图像的视觉增强,但是泛化能力较差,普遍存在细节纹理模糊、暗区域细节欠增强、过增强等问题。本文针对现有 LLIE 算法的泛化能力不足、增强视觉效果不佳等问题,结合 Ying 算法和去雾思想在图像增强方面的优势,提出了一种强适应性的图像增强算法,旨在解决低质低照度系列(微光、逆光、夜间、雨雾等)条件下,无人机航拍图像集的鲁棒性增强问题。实验结果表明本文算法可以有效实现退化航拍图像的增强处理,而且能够较好地增强处理曝光正常、光照不均匀无人机航拍图像,并且具备一定的去雾能力。

1　本文算法

光照不均匀、低照度、有雾图像等低质航拍图像本身信息不足,主要体现在:①亮度、对比度不均衡;②暗区域细节模糊不明显;③颜色失真严重,视觉观感差。

本文提出一种无人机航拍影像退化低质图像增强算法。首先,利用快速导向滤波处理 HSV 空间分解的亮度分量,处理后图像作为照度图,进一步处理得到新的权重矩阵;其次,估算最佳曝光得到曝光图像,利用 Ying 提出的曝光融合框架,实现输入与曝光图像的加权融合处理(曝光图像加权系数大于原始输入图像加权系数);接着对加权融合输出图像,利用暗通道去雾的思想进行色度矫正增强处理,再次利用曝光融合框架融合矫正增强后图像和加权融合输出图像(权重矩阵保持不变,加权系数均为 1);最后,为了进一步增强图像细节纹理信息,设计了一种新的多尺度细节增强算法。本文提出的无人机航拍低质图像质量增强框架示意图如图 1 所示。

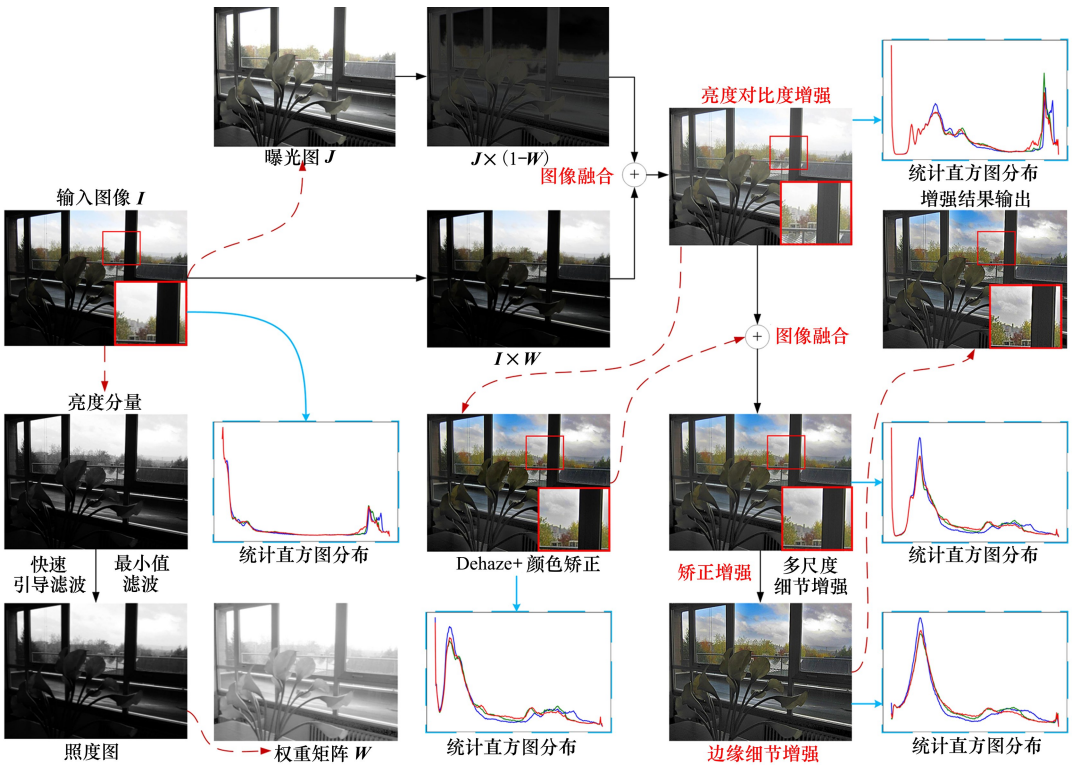

图 1　低质图像质量增强框架示意图

2　算法模型的建立

2.1　对比度增强

2.1.1　权重矩阵构建

本文基于 HSV 空间的亮度分量,采用引导滤波进一步处理。为了降低算法复杂度,采用快速引导滤波,其输入图像为亮度分量和经过最小值滤波处理的亮度分量,最小值滤波半径设置为 7,引导滤波参数采用文献[16]提供的最优参数,将滤波处理后的图像记为 T。此时,滤波处理后的图像 T 为单通道图像,将其复制三次构建生成新的图像 $T(R,G,B)$,即 $R=G=B=T$。权重矩阵计算公式如(1)式所示

$$\boldsymbol{W}=T(R,G,B)\times w_c^2 \tag{1}$$

式中:$\boldsymbol{W}$ 为三维权重矩阵;w_c 为权重系数,经过大量实验验证 $w_c=0.185$ 时增强效果最佳。

2.1.2　曝光图像生成

采用最大信息熵作为评价指标估计输入原始 RGB 空间图像的最佳曝光参数,利用(2)式得到曝光不足像素值集合

$$\boldsymbol{Q}=\{V(x)\mid V(x)<0.5\} \tag{2}$$

式中,$V(x)$ 表示输入的三通道图像。本文采用信息熵作为评价指标,计算公式为

$$E(\boldsymbol{Q})=\sum_{l=0}^{L}P(l)\lg P(l) \tag{3}$$

式中,灰度值 l 在图像中出现的概率为 $P(l)$,图像的灰度级为 L,对256灰度等级的图像 $L=255$。根据图像信息熵最大原则求解最佳曝光参数

$$\delta_{\text{opt}}=\arg\max_{\delta}E(g(Q,\delta)) \tag{4}$$

式中,$g(\cdot)$ 的表达式为

$$g(Q,\delta)=\mathrm{e}^{b(1-\delta^a)}Q^{\delta a} \tag{5}$$

式中:δ 为曝光率;$a=-0.3293$,$b=1.1258$[21],最后,利用亮度映射函数处理输入图像,本文的处理映射计算公式为

$$\boldsymbol{J}=g(\boldsymbol{I},\delta_{\text{opt}})+v_c \tag{6}$$

式中:$\boldsymbol{J}$ 表示处理后的曝光图像;$\boldsymbol{I}$ 表示输入的 RGB 空间图像;v_c 表示补偿系数,本文设置为 $v_c=-0.01$。

2.1.3　曝光融合

利用 Ying 提出的曝光融合框架,将输入 RGB 空间图像 $\boldsymbol{I}$ 和曝光图像 $\boldsymbol{J}$ 进行加权融合,并引入加权融合算子,便于动态调整融合效果,计算表达式为

$$\boldsymbol{I}_1=\boldsymbol{J}\times(1-\boldsymbol{W})\times c+\boldsymbol{I}\times\boldsymbol{W}\times d \tag{7}$$

式中:$\boldsymbol{I}_1$ 表示加权融合后图像;$\boldsymbol{W}$ 为上文计算得到的权重矩阵;c,d 分别为曝光图 $\boldsymbol{J}$ 和输入图 $\boldsymbol{I}$ 的加权系数,本文在此分别设置为 1.5 和 1.0。

2.2　色度矫正增强

由于上文融合权重系数的设置,不论何种输入图像,处理后的图像均具有一定程度的白雾过增强现象。借鉴暗通道先验知识进行去白雾增强处理,并在恢复图像时引入颜色矫正增强。其暗通道的计算公式为

$$\boldsymbol{I}_{\text{dark}}(x)=\min_{c\in\{R,G,B\}}\left(\min_{y\in\Omega(x)}(\boldsymbol{I}_1(y))\right) \tag{8}$$

$$\boldsymbol{I}_{\text{Am}}(x)=f_{\text{fgf}}\{\boldsymbol{I}_{\text{dark}}(x),f_{\min}\{\boldsymbol{I}_{\text{dark}}(x)\}\} \tag{9}$$

式中:$\boldsymbol{I}_{\text{dark}}(x)$ 是输入图像 $\boldsymbol{I}_1$ 的暗通道图像,表示输入图像 $\boldsymbol{I}_1$ 的各通道最小值图像;$\boldsymbol{I}_1$ 是上文中加权融合后的 RGB 彩色图像;$\boldsymbol{I}_{\text{Am}}(x)$ 表示大气遮罩图像;$f_{\min}$ 表示最小值滤波;f_{fgf} 表示快速引导滤波。为了估计 A 的值,本文采用了两阶段选择法。首先,在 $\boldsymbol{I}_1(x)$ 的暗通道中选取前 0.1% 最亮的像素,然后选取强度最高的像素作为 A 的值。最终矫正增强结果计算公式为

$$\boldsymbol{I}_{\text{D}}=(\boldsymbol{I}_1(x)-\boldsymbol{I}_{\text{Am}}(x))/(1-\boldsymbol{I}_{\text{Am}}(x)/A) \tag{10}$$

式中,$\boldsymbol{I}_{\text{D}}$ 表示矫正增强输出图像矩阵。为了弥补基于暗通道先验知识处理后图像的部分细节昏暗不明,采用曝光融合框架,将 $\boldsymbol{I}_1$ 图像与 $\boldsymbol{I}_{\text{D}}$ 图像进行加权融合(可采用其他的融合方式策略,但是会增加额外的计算量),计算公式为

$$\boldsymbol{I}^*=\boldsymbol{I}_1\times(1-\boldsymbol{W})\times c+\boldsymbol{I}_{\text{D}}\times\boldsymbol{W}\times d \tag{11}$$

式中:$\boldsymbol{I}^*$ 表示进一步增强结果输出图;$\boldsymbol{I}_1$ 表示加权融合后图像;$\boldsymbol{W}$ 为权重矩阵;c,d 分别为 $\boldsymbol{I}_1$ 和 $\boldsymbol{I}_{\text{D}}$ 的加权系数,本文分别设置为 1.0,1.0。

2.3　多尺度细节增强

为了进一步突出增强图像的细节纹理信息[22],本文设计了一种细节提升算法。

高斯模糊滤波公式如(12)式所示

$$\boldsymbol{B}_1=G_1*\boldsymbol{I}^*,\ \boldsymbol{B}_2=G_2*\boldsymbol{I}^*,\ \boldsymbol{B}_3=G_3*\boldsymbol{I}^* \tag{12}$$

式中:G_1,G_2 和 G_3 分别是标准差为 $\delta_1=1.0$,$\delta_2=2.0$,$\delta_3=4.0$ 的高斯核。

本文重新思考细节信息提取方式,设计新的细节信息提取公式如(13)式所示

$$\boldsymbol{D}_1=\boldsymbol{I}^*-\boldsymbol{B}_1,\ \boldsymbol{D}_2=\boldsymbol{I}^*-\boldsymbol{B}_2,\ \boldsymbol{D}_3=\boldsymbol{I}^*-\boldsymbol{B}_3 \tag{13}$$

最后利用(14)式,对细节信息与原始图像 $\boldsymbol{I}^*$

进行加权融合,得到最终的增强图像 $\boldsymbol{D}$。

$$\boldsymbol{D} = (1 - w_1 \times \mathrm{sgn}(\boldsymbol{D}_1)) \times \boldsymbol{D}_1 + w_2 \times \boldsymbol{D}_2 + w_3 \times \boldsymbol{D}_3 + \boldsymbol{I}^* \tag{14}$$

3 实验结果与分析

实验所用计算机 CPU 为 AMD Ryzen7 5800X 8-Core Processor,内存为 32 GB。使用 Python 对本文提出的图像增强算法[23-28]进行实验验证,在 DICM 以及无人机影像等开源数据集上将本算法实验结果与经典的图像增强算法进行综合评价分析,其中对比算法均采用其默认最优参数。

3.1 低照度图像增强效果分析

本文增强算法的核心是基于 Ying 算法衍生而来,因此,有必要验证本文算法在低照度数据集上的增强效果。为了更为直观体现算法的可视效果,从网络中随机中选取一张经典低照度图像进行增强处理。

图 2 展示的是一经典低照度图像在不同算法上的增强处理结果,整体来看,各个算法均有一定程度增强提升,但是普遍存在过增强效果,塔身明显过曝,细节纹理信息模糊不清,诸如图 2b)~2h)所示。图 2c)虽然视觉效果较佳,虽然未出现明显过曝光现象,但塔身、房屋局部及树木边缘细节信息不够清晰,图 2j)的 ILNIQE[29]指标最好,但是塔身处理效果不佳,周围出现明显的灰色过渡边界。其次,各个算法增强处理后,所框选区域局部轮廓纹理保持不够清晰,甚至有明显的马赛克现象。相对的,本文处理后图像整体色彩鲜艳,对比度更佳,没有像其他算法处理后产生明显的过增强现象,多尺度细节信息增强算法的后处理,使得纹理细节更为清晰。从表 1 中所列各算法对应指标来看,BMPRI[30]、SSEQ[31]、Entropy、Laplacian 指标本文算法处于第一位,表明处理后图像质量更高,ILNIQE、PIQE[32]、NIQE[33]指标表明,构建算法在主观视觉上较为符合人眼视觉观感,增强效果较为协调。

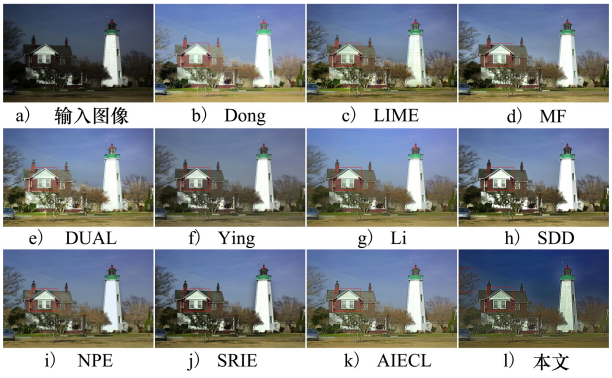

图 2 各个算法在经典低照度图像上增强效果对比

表 1 各个算法在经典图像上的无参考指标值

算法	ILNIQE	PIQE	NIQE	BMPRI	SSEQ	Entropy	Laplacian
Dong	17.06	6.88	**2.02**	**12.07**	**22.82**	6.884	304.33
LIME	15.87	**6.15**	**2.06**	19.89	22.63	7.012	747.54
DUAL	15.38	7.82	2.07	19.23	27.10	7.040	**859.33**
Ying	16.57	7.33	2.42	12.19	25.82	6.850	310.94
Li	16.64	12.13	2.86	22.06	38.20	6.896	605.69
MF	**15.32**	7.43	2.16	18.28	35.04	**7.159**	484.35
NPE	16.71	**6.40**	2.40	18.71	36.18	6.647	308.95
SRIE	**14.56**	11.58	2.41	19.60	36.98	7.077	357.86
AIECL	16.46	7.79	2.47	17.06	37.32	6.802	398.60
SDD	15.56	15.87	2.70	21.43	36.65	7.126	513.21
本文	26.65	7.41	2.20	**11.29**	**22.22**	**7.566**	**2 171.03**

3.2　无人机影像增强效果分析

图 3 展示的是一组夜间无人机影像在不同算法上的增强效果。直观分析可知,诸多算法在夜间逆光无人机影像增强上失效,不能很好处理,相比之下 NPE 算法有一定的增强效果,但视觉效果图 3l) 最佳,不但抑制了过曝信息,而且局部纹理更为清晰可见。从表 2 中所列各算法图对应指标来看,本文算法各指标均处于第一位,尤其 ILNIQE 指标相对于其他算法更佳,表明处理后图像清晰度更高,增强效果也更佳。此外,证明本文算法在夜间无人机影像增强上具有较好的处理效果,也具有一定的适应性。

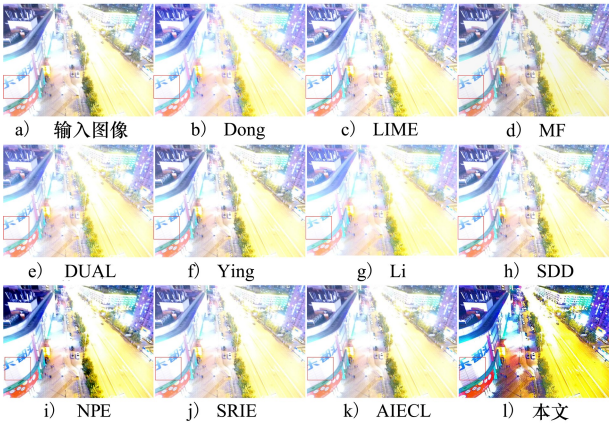

图 3　各个算法在夜间逆光无人机影像上增强效果

表 2　各个算法在夜间逆光无人机影像上的无参考指标值

算法	ILNIQE	PIQE	NIQE	BMPRI	SSEQ	Entropy	Laplacian	时耗/s
Dong	31.73	28.32	5.53	29.38	51.10	6.113	37.88	15.603
LIME	29.36	30.02	**5.21**	31.09	51.56	5.806	65.15	0.671
DUAL	31.36	25.11	5.30	29.57	49.52	6.093	64.19	133.231
Ying	32.07	30.93	5.36	33.18	50.36	6.031	60.83	0.494
Li	29.37	**11.31**	5.35	**17.65**	**41.28**	5.752	**352.83**	60.859
MF	29.17	29.59	5.34	32.18	47.13	6.474	63.89	0.871
NPE	**25.27**	31.68	5.39	33.54	52.58	**6.875**	111.96	36.054
SRIE	27.58	30.26	5.36	31.78	51.50	6.245	59.00	5.650
AIECL	28.66	29.55	5.35	34.20	51.07	6.360	60.91	0.252
SDD	29.84	31.89	5.44	31.72	52.59	6.025	60.34	11.160
本文	**24.94**	**9.80**	**3.89**	**15.81**	**31.27**	**7.252**	**1231.24**	4.524

图 4 展示的是一组无人机航拍退化影像在不同算法上的增强效果,其中包括山体阴影导致影像过暗、不均匀雾导致影像质量退化、影像过曝、山区不均匀雾影像。直观分析可知,现有算法在山体阴影图像中处理效果较佳,但是图 4b)、4e) 出现明显的过增强处理。在无人机航拍影像过曝时,现有算法处理效果不佳,本文构建的算法能够较好地抑制过曝信息,局部纹理更为清晰可见。结合表 3 中所列各算法对应指标来看,本文构建的算法在时间消耗和视觉表现达到了一个能够接受的均衡点,本文算法具有较好的处理性能。

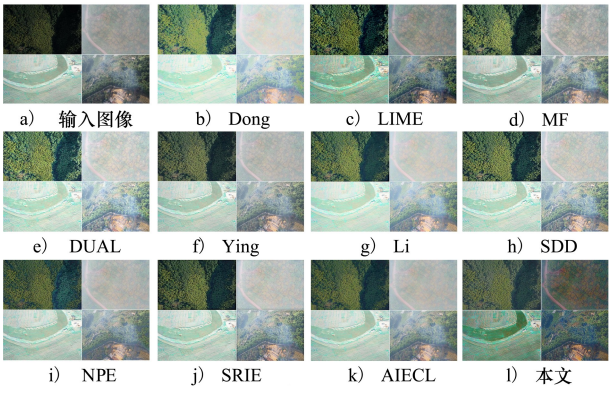

图 4　各个算法在无人机航拍退化影像上增强效果

表 3 各个算法在无人机航拍退化影像上的无参考指标值

算法	ILNIQE	PIQE	NIQE	BMPRI	SSEQ	Entropy	Laplacian	耗时/s
Dong	22.79	12.325	6.872	17.53	28.37	7.145	319.99	13.904
LIME	22.18	**9.373**	6.961	**12.15**	**24.27**	7.534	**2 540.01**	0.594
DUAL	28.79	10.367	6.383	**11.49**	25.45	7.418	2421.15	51.869
Ying	**21.07**	13.156	**5.778**	23.01	26.34	7.530	449.49	0.562
Li	22.33	9.843	8.293	12.61	24.71	7.420	1914.25	67.886
MF	22.27	13.299	6.525	25.56	27.49	7.564	675.20	0.784
NPE	24.30	13.734	7.927	23.69	26.47	7.547	467.28	20.143
SRIE	23.00	13.325	6.178	23.97	26.62	7.576	519.81	19.779
AIECL	26.96	13.944	7.535	21.76	26.76	7.519	444.33	0.242
SDD	24.36	12.198	6.296	24.93	28.68	7.544	571.57	10.543
本文	**21.01**	**9.158**	**5.943**	24.30	**21.42**	**7.583**	**4 288.20**	3.489

4 结 论

本文创新性地提出了一种用于无人机航拍低质影像的图像增强框架方法,该算法主要结合了低照度增强和去雾增强思想。其中利用 LLIE 方法实现对比度的增强处理,能够有效地解决山体阴影导致影像过暗以及光照不均产生的无人机影像退化现象;基于曝光融合的去雾处理,能够有效地补偿图像色彩的不足,同时也能处理山区不均匀雾和影像过曝现象;设计的多尺度细节增强算法能够较好地保留无人机航拍图像的纹理细节信息。诸多定量定性实验综合分析可知,本文构建算法能够较好地实现无人机航拍低质影像的增强处理,具有较好的应用和提升空间。

参考文献:

[1] 刘卫东, 李吉玉, 张文博, 等. 基于 Retinex 和 ADMM 优化的水下光照不均匀图像增强算法[J]. 西北工业大学学报, 2021, 39(4): 824-830
LIU Weidong, LI Jiyu, ZHANG Wenbo, et al. Underwater image enhancement method with non-uniform illumination based on Retinex and ADMM[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2021, 39(4): 824-830 (in Chinese)

[2] 段镖, 李靖, 陈怀民, 等. 一种新的夜间单图像去雾方法[J]. 西北工业大学学报, 2021, 39(3): 604-610
DUAN Biao, LI Jing, Chen Huaimin, et al. New approach to dehaze single nighttime image[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2021, 39(3): 604-610 (in Chinese)

[3] 肖进胜, 庞观林, 唐路敏, 等. 基于轮廓模板和自学习的图像纹理增强超采样算法[J]. 自动化学报, 2016, 42(8): 1248-1258
XIAO Jinsheng, PANG Guanlin, TANG Lumin, et al. Image texture enhancement supersampling algorithm based on contour template and self-learning[J]. Acta Automatica Sinica, 2016, 42(8): 1248-1258 (in Chinese)

[4] 徐少平, 张贵珍, 林珍玉,等. 一种多图像局部结构化融合的低照度图像增强算法[J]. 自动化学报, 2022, 48(10): 1-15
XU Shaoping, ZHANG Guizhen, LIN Zhenyu , et al. A low-light image enhancement algorithm based on local structured fusion of multiple images[J]. Acta Automatica Sinica, 2022, 48(10): 1-15 (in Chinese)

[5] XU H T, ZHAI G T, WU X L, et al. Generalized equal-ization model for image enhancement[J]. IEEE Trans on Multimedia, 2014, 16(1): 68-82

[6] CELIK T. Spatial entropy-based global and local image con-trast enhancement[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2014, 23(12): 5298-5308

[7] 刘志成, 王殿伟, 刘颖, 等. 基于二维伽马函数的光照不均匀图像自适应校正算法[J]. 北京理工大学学报, 2016, 36(2): 191-196

LIU Zhicheng, WANG Dianwei, LIU Ying , et al. Adaptive correction algorithm for uneven illumination image based on two-dimensional gamma function[J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2016, 36(2): 191-196 (in Chinese)

[8] JOBSON D J, RAHMAN Z, WOODELL G A. Properties and performance of a center/surround retinex[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6(3): 451-462

[9] JOBSON D J, RAHMAN Z, WOODELL G A. A multiscale retinex for bridging the gap between color images and the human observation of scenes[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6(7): 965-976

[10] WANG Y K, HUANG W B. A CUDA-enabled parallel algorithm for accelerating retinex[J]. Journal of Real-Time Image Processing, 2014, 9(3): 407-425

[11] 衡宝川, 肖迪, 张翔. 结合 MSRCP 增强的夜间彩色图像拼接算法[J]. 计算机工程与设计,2019, 40(11): 3200-3204
HENG Baochuan, XIAO Di, ZHANG Xiang. Night-time color image stitching algorithm combined with MSRCP enhancement[J]. Computer Engineering and Design, 2019, 40(11): 3200-3204 (in Chinese)

[12] JI W, LIU D, MENG Y, et al. Exploring the solutions via Retinex enhancements for fruit recognition impacts of outdoor sunlight: a case study of navel oranges[J]. Evolutionary Intelligence, 2022, 15(3): 1875-1911

[13] GUO X J, LI Y, LING H B. LIME:low-light image enhance-ment via illumination map estimation[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2017, 26(2): 982-993

[14] DABOV K, FOI A, KATKOVNIK V, et al. Image denoising by sparse 3D transform-domain collaborative filtering[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2007, 16(8): 2080-2095

[15] DONG X, WANG G, Pang T, et al. Fast efficient algorithm for enhancement of low lighting video[C]//Proceedings of IEEE & International Conference on Multimedia and Expo, 2011

[16] HE K, SUN J, TANG X. Single image haze removal using dark channel prior[J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 33(12): 2341-2353

[17] LI Z G, ZHENG J H, RAHARDJA S. Detail-enhanced exposure fusion[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2012, 21(11): 4672-4676

[18] FU X, ZENG D, HUANG Y, et al. A fusion-based enhancing method for weakly illuminated images[J]. Signal Processing, 2016, 129: 82-96

[19] YING Z, GE L, WEN G. A bio-inspired multi-exposure fusion framework for low-light image enhancement[J/OL].(2017-11-02)[2022-01-04]. https://doi.org/10.48550/arXiv.1711.00591

[20] YING Z, GE L, REN Y, et al. A new image contrast enhancement algorithm using exposure fusion framework[C]//International Conference on Computer Analysis of Images and Patterns, 2017

[21] LIU S, ZHANG Y. Detail-preserving underexposed image enhancement via optimal weighted multi-exposure fusion[J]. IEEE Trans on Consumer Electronics, 2019, 65(3): 303-311

[22] KIM Y, KOH Y J, LEE C, et al. Dark image enhancement based onpairwise target contrast and multi-scale detail boosting[C]//IEEE International Conference on Image Processing, 2015

[23] ZHANG Q, NIE Y, ZHENG W S. Dual illumination estimation for robust exposure correction[C]//Computer Graphics Forum, 2019

[24] WANG S, ZHENG J, HU H, et al. Naturalness preserved enhancement algorithm for non-uniform illumination images[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2013, 22(9): 3538-3548

[25] Fu X, Zeng D, Huang Y, et al. A weighted variational model for simultaneous reflectance and illumination estimation[C]//2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, 2016

[26] WANG W, CHEN Z, YUAN X, et al. Adaptive image enhancement method for correcting low-illumination images[J]. Information Sciences, 2019, 496: 25-41

[27] HAO S, HAN X, GUO Y, et al. Low-light image enhancement with semi-decoupled decomposition[J]. IEEE Trans on Multimedia, 2020, 22(12): 3025-3038

[28] 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

[29] ZHANG L, ZHANG L, BOVIK A C. A feature-enriched completely blind image quality evaluator[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2015, 24(8): 2579-2591

[30] MIN X, ZHAI G, GU K, et al. Blind image quality estimation via distortion aggravation[J]. IEEE Trans on Broadcasting, 2018, 64(2): 508-517

[31] LIU L, LIU B, HUANG H, et al. No-reference image quality assessment based on spatial and spectral entropies[J]. Signal Processing Image Communication, 2014, 29(8): 856-863

[32] VENKATANATH N, PRANEETH D, CHANDRASEKHAR B, et al. Blind image quality evaluation using perception based features[C]//2015 21st National Conference on Communications, 2015

[33] MITTAL A, SOUNDARARAJAN R, BOVIK A C. Making a "completely blind" image quality analyzer[J]. IEEE Trans on Signal Processing Letters, 2012, 20(3): 209-212

Image enhancement method based on exposure fusion for UAV aerial photography

LI Liangliang[1], REN Jia[1,2], WANG Peng[3], LYU Zhigang[1,3], SUN Mengyu[4], LI Xiaoyan[3], GAO Wuqi[5]

(1.School of Mechatronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China;
2.School of Information and Communication Engineering, Hainan University, Haikou 570228, China;
3.School of Electronics and Information Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China;
4.School of Optoelectronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China;
5.School of Computer Science and Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: Aiming at the problem of image quality degradation caused by uneven illumination of UAV aerial images and natural fog, a UAV aerial image enhancement algorithm was proposed. Firstly, an improved low-illumination image enhancement algorithm is used to balance the brightness and contrast; secondly, in order to solve the image over-enhancement after equalization, a color correction enhancement method combining dehazing and exposure fusion is proposed; finally, in order to preserve the edge texture information of the enhanced image, a detail enhancement algorithm with better effect is designed. After processing, the statistical histogram is smoother, some noise can be suppressed to a certain extent, and the detailed texture information is stronger. The experimental results show that the present aerial image enhancement algorithm can effectively solve the image degradation caused by uneven illumination or natural fog. The quality of UAV aerial images is improved, and the subjective and objective image quality evaluation indicators are better than most of the existing mainstream algorithms, and the performance is better.

Keywords: UAV aerial photography image enhancement; image degradation; exposure fusion; multi-scale detail enhancement

引用格式: *李亮亮, 任佳, 王鹏, 等. 基于曝光融合的无人机航拍图像增强算法[J]. 西北工业大学学报, 2022, 40(6): 1327-1334*

LI Liangliang, REN Jia, WANG Peng, et al. Image enhancement method based on exposure fusion for UAV aerial photography[J]. Journal of Northwestern Polytechnical University, 2022, 40(6): 1327-1334 (in Chinese)

© 2022 Journal of Northwestern Polytechnical University.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.