

廖娟, 陈民慧, 汪鹄, 等. 基于双重 Gamma 校正的秧苗图像增强算法[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(6): 1411-1418.
doi: 10.3969/j.issn.1000-4440.2020.06.009

基于双重 Gamma 校正的秧苗图像增强算法

廖娟¹, 陈民慧¹, 汪鹄¹, 邹禹², 张顺¹, 张培江², 朱德泉¹

(1. 安徽农业大学工学院, 安徽 合肥 230036; 2. 安徽省农业科学院水稻研究所, 安徽 合肥 230031)

摘要: 为了提高复杂光照条件下水田秧苗图像的视觉效果, 提出 1 种基于双重 Gamma 校正的秧苗图像增强算法。将原始 RGB[红(*R*)-绿(*G*)-蓝(*B*)] 图像转换成 HSV[色调(*H*)-饱和度(*S*)-亮度(*V*)] 颜色空间图像, 对 *V* 分量进行亮度区域划分; 通过快速引导滤波法提取秧苗图像的光照度分量, 利用光照信息的分布特性自适应地设置 Gamma 控制参数, 并构建 2 个自适应 Gamma 函数, 实现对 *V* 分量图像亮度的独立校正; 最后, 对校正后的图像进行自适应融合, 并结合 *H*、*S* 分量转换为 RGB 图像, 进行色彩饱和度的恢复。结果表明, 本研究算法能够实现不同光照条件下秧苗图像的自适应增强, 丰富图像中的有用信息, 保真原图像的色彩信息, 有效改善图像的视觉效果, 为后期的秧苗分割提供可靠的处理对象。

关键词: 秧苗图像; 图像增强; 自适应 Gamma 校正; 色彩饱和度修复

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2020) 06-1411-08

Image enhancement algorithm for seedling image with dual gamma correction

LIAO Juan¹, CHEN Min-hui¹, WANG Yao¹, ZOU Yu², ZHANG Shun¹, ZHANG Pei-jiang², ZHU De-quan¹

(1. School of Engineering, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China; 2. Rice Research Institute, Anhui Academy of Agricultural Sciences, Hefei 230031, China)

Abstract: To improve the visual effect of seedling images under complex illumination conditions, an image enhancement algorithm based on dual gamma correction was proposed. The original RGB image was firstly converted into HSV color space image, and the *V* component was extracted and partitioned into dark and bright regions. The illumination component of seedling image was obtained by the fast guided filtering method. The gamma control parameters were dynamically adjusted by the local distribution characteristics of illumination, and two adaptive gamma functions were constructed to correct the luminance of *V*-component image. Then, the corrected images were fused adaptively. Combining with *H* and *S* components, the fused *V* image was used to obtain the RGB image. Finally, the color saturation restoration was carried out for RGB image to solve the color deviation. Experimental results show that the algorithm can achieve adaptive enhancement of seedling images under different lighting conditions, enrich the useful information in the image, maintain the color information of the original

image, effectively improve the visual effect of the image, and provide reliable processing objects for seedling segmentation.

Key words: seedling image; image enhancement; adaptive gamma correction; color saturation restoration

收稿日期: 2020-09-08

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFD0700304); 安徽省重点研发计划项目(202004a06020016); 安徽省科技重大专项(18030701204)

作者简介: 廖娟(1986-), 女, 安徽安庆人, 博士, 讲师, 硕士生导师, 主要从事计算机视觉技术研究。(E-mail) liaojuan308@163.com

通讯作者: 朱德泉, (E-mail) zhudequan@ahau.edu.cn

随着现代农业的发展, 农业机械自动驾驶技术已被广泛应用于农作物种植、植保、收割等领域^[1-3]。

为了适应现代农业的发展,插秧机自动导航技术已经成为智能农机发展的重要研究内容^[4-5]。视觉导航因成本低、适应性强、范围广等特点^[6]而成为农业机械导航的研究热点。

插秧机视觉导航的关键是通过相关图像处理算法获取秧苗行的结构信息,但是在户外用相机拍摄的图像视觉质量易受光照变化的影响,如在晴天太阳光线照射条件下,水田中易产生高亮反光区域,造成秧苗表面亮度发生变化,而阴天光照较弱,图像对比度下降,不利于秧苗特征的提取,从而给秧苗分割带来困难,影响后期插秧机视觉导航线提取的准确度。

针对复杂光照问题,有必要对图像进行增强,以提高视觉质量。目前常用的图像增强方法有直方图均衡法^[7]、Gamma 校正法^[8]、Retinex 算法^[9]等。Ji 等^[10]采用对比度受限的自适应直方图均衡法(CLAHE)对苹果树图像进行对比度增强处理,突出图像中苹果、树枝、树叶、天空的细节,便于后续图像分割。王殿伟等^[11]基于 Retinex 理论获取图像的光照信息,根据像素点的光照度分量值自适应获取 Gamma 控制参数,实现不同光照图像亮度的自适应调整。张军国等^[12]根据 Retinex 理论,将野生动物监测图像分解为光照度分量和反射分量,并对光照度分量进行自适应阈值的对比度拉伸,通过校正后的光照度分量估算反射分量图像,实现不同光照条件下图像的自适应增强。上述算法虽然对图像整体的光照偏亮或偏暗有一定的均衡效果,但是对于光照不均匀的图像会产生过增强或在亮度突变处产生光晕,甚至出现色彩偏移现象(过饱和或欠饱和)^[13]。除此以外,固定校正控制参数的使用限制了算法对复杂光照的适应性,不同图像经校正后往往表现出相似的视觉效果,且图像过暗或过亮区域如亮度值 255 处的细节信息不能得到有效增强。为了提高复杂光照条件下秧苗图像的视觉效果,本研究提出 1 种基于双重 Gamma 校正的秧苗图像增强算法,对亮度分量进行高亮度、低亮度区域划分,利用快速引导滤波提取图像的光照度分量;基于亮度分区和光照特性动态调整 Gamma 控制参数,构建自适应 Gamma 校正函数,分别校正亮度分量中的高亮度、低亮度区域,并对校正后的图像进行自适应融合和色彩饱和度恢复,从而增强图像的细节信息,减少色彩偏移。

1 水田秧苗图像及 Gamma 校正分析

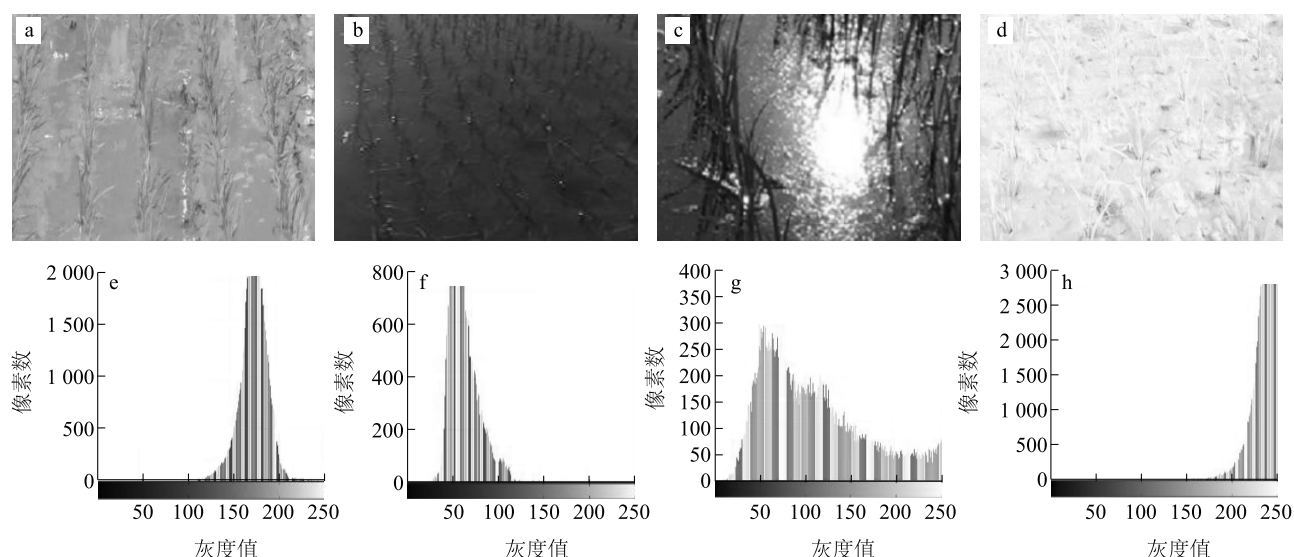
实地采集的秧苗图像受户外自然光照条件不断变化及天气不确定性等因素影响,其呈现的光照信息较复杂。其中,实地采集的秧苗图像光照条件大致可以分为正常光照度、低光照度、水面反光和曝光 4 种典型类型。图 1 为 4 种光照条件下的秧苗图像及其对应的灰度直方图。在正常光照度条件下,图像的视觉效果较好,从灰度直方图中可以看出,图像灰度值的分布范围为[100, 200],增强后的图像容易出现过增强。在低光照度条件下,图像整体偏暗,灰度直方图中的灰度值均小于 100,图像的细节信息表现力较差,需要提升图像亮度,增强图像的细节信息。水面反光图像的灰度直方图中灰度值的动态分布范围较大,高光区域图像的细节信息丢失严重,应压缩图像亮度范围以增强图像。曝光的图像整体偏亮,图像对比度较低,需要降低图像亮度,增强图像的色彩信息,提高图像对比度。由此可见,在不同光照条件下,图像的视觉效果不同,需要根据秧苗图像的光照信息和亮度分布来自适应增强图像,提高图像质量。

常用增强算法中的 Gamma 校正具有算法简单、处理速度快的优点^[14],校正过程如式(1)所示:

$$L'(x, y) = L(x, y)^{\gamma(x, y)} \quad (1)$$

式中, $L(x, y)$ 、 $L'(x, y)$ 分别为校正前、校正后的亮度, $\gamma(x, y)$ 为校正参数,其取值直接决定了校正效果。

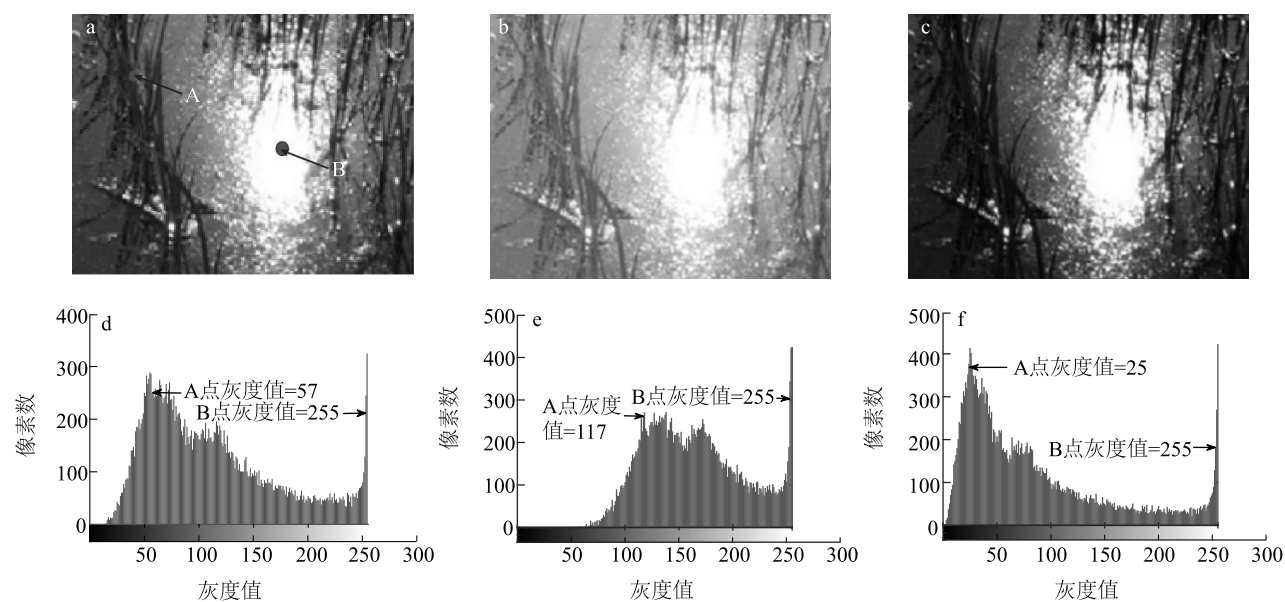
当 $\gamma(x, y) < 1$ 时,图像的整体亮度会提高,而当 $\gamma(x, y) > 1$ 时会降低图像的整体亮度。图 2 为不同 $\gamma(x, y)$ 的校正效果,其中图 2a 的水面存在高光,且秧苗的能见度较低。对图 2a 进行 Gamma 校正,取 $\gamma = 0.5$ 、 1.5 ,校正结果见图 2b、图 2c,图 2a、图 2b、图 2c 对应的亮度直方图分别见图 2d、图 2e、图 2f。当 $\gamma < 1$ 时,整幅图像的亮度值提高,A 点的亮度值由 57 变为 117;当 $\gamma > 1$ 时,整幅图像的亮度值降低,A 点的亮度值由 57 变为 25,但是图像中的高光像素点如 B 点在校正前后的亮度值不变,仍为 255。由此可见,全局 Gamma 校正参数 $\gamma(x, y)$ 并不适用于校正图像各个区域的光照度,应根据图像光照、亮度特性自适应获取图像各个区域的亮度校正参数。



a:正常光照度图像;b:低光照度图像;c:水面反光图像;d:曝光图像;e:正常光照度图像直方图;f:低光照度图像直方图;g:水面反光图像直方图;h:曝光图像直方图。

图1 4种典型光照条件下的秧苗图像及灰度直方图

Fig.1 Rice seedling images and gray histograms under four typical illumination conditions



a:原始图像;b:亮度增强图;c:亮度削弱图;d:原始图像的直方图;e:亮度增强的直方图;f:亮度削弱的直方图。

图2 不同校正参数的 Gamma 校正结果

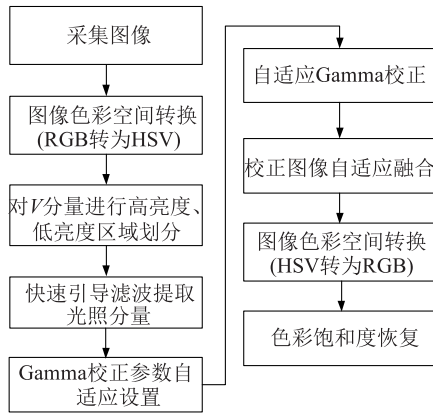
Fig.2 Results of gamma correction with different correction parameters

2 双重 Gamma 校正的图像增强算法

针对秧苗图像视觉效果易受光照变化干扰的特点,本研究提出双重 Gamma 校正的图像增强算法,整体实现流程见图3。首先,在 HSV [色调(H)-饱和度(S)-亮度(V)]色彩空间中提取 V 分量,对其进行高亮

度、低亮度区域划分,并基于快速引导滤波估计秧苗图像的光照度分量;其次,根据亮度分布和光照度分量特性计算亮度削弱与增强的控制参数,构建2个 Gamma 校正函数,分别进行高亮度、低亮度校正;最后,对校正后的高亮度、低亮度图像进行自适应融合,增强图像的对比度,并结合 H 、 S 分量将校正后的图像转到 RGB

[红(R)-绿(G)-蓝(B)]色彩空间,基于校正后的 V 分量进行色彩饱和度的修复,去除图像的色彩偏移。



RGB:红、绿、蓝;HSV:色调、饱和度、亮度。

图3 本算法的流程

Fig.3 Flow chart of the proposed algorithm

2.1 图像亮度分区和光照度分量的提取

图像校正前先对图像进行亮度分区,以对整幅图像中的高亮度、低亮度区域进行精确校正处理。鉴于HSV色彩空间符合人眼的视觉特性,并且表示亮度的 V 分量与图像色彩信息无关^[15],因此先将RGB秧苗图像转换到HSV色彩空间,计算 V 分量的最小像素值(V_{\min})和最大像素值(V_{\max}),以像素值128为阈值将 V 分量分为低亮度区域和高亮度区域,如式(2)所示:

$$V = V_{\text{dark}} \cup V_{\text{bright}} \quad (2)$$

式中, V_{dark} 、 V_{bright} 分别表示低亮度、高亮度区域, $V_{\text{dark}}(x,y) \in [V_{\min}, 128]$, $V_{\text{bright}}(x,y) \in (128, V_{\max}]$ 。

为了更好地降低光照对成像质量的影响,精准地提取图像的光照信息显得十分重要。采用目前提取光照度分量的主要方法(变分框架的Retinex法、双边滤波法和快速引导滤波法^[16])对图2a进行光照度分量的提取。如图4所示,Retinex法虽然能够准确提取缓慢变换的光照度分量,但易造成图像边缘模糊;双边滤波算法具有较好的边缘保持特性,但是计算量过多,处理30张分辨率为 320×237 的图像平均耗时约为92 ms,实时性较差,从而限制了其在田间作业中的应用。相比于Retinex法和双边滤波法,快速引导滤波法具有边缘保持性好、计算量少的优点,处理30张分辨率为 320×237 的图像平均耗时仅为6 ms。因此,本研究采用快速引导滤波算法提取秧苗图像的光照度分量。



a:变分框架的Retinex法;b:双边滤波法;c:快速引导滤波法。

图4 不同方法提取的光照度分量

Fig.4 Illumination components extracted by different methods

2.2 自适应Gamma校正

为了校正图像的高亮度和低亮度区域,增强细节信息,本研究构建2个自适应的Gamma函数,分别对图像的高亮度、低亮度区域进行自适应亮度校正,其表达式为:

$$V_{\text{d_out}}(x,y) = \left(\frac{V(x,y)}{255} \right)^{\gamma_{\text{dark}}(x,y)} \quad (3)$$

$$V_{\text{b_out}}(x,y) = V^2(x,y) \times [1/V(x,y)]^{\gamma_{\text{bright}}(x,y)} \quad (4)$$

式中, $V(x,y)$ 是原始亮度图像; $V_{\text{d_out}}(x,y)$ 、 $V_{\text{b_out}}(x,y)$ 分别是根据图像的亮度分布及光照特性对图像进行亮度削弱后的输出图像和亮度增强后的输出图像; $\gamma_{\text{dark}}(x,y)$ 、 $\gamma_{\text{bright}}(x,y)$ 为对应的亮度校正控制参数。

对于高亮区域 $V(x,y) = 255$ 的像素点进行归一化处理,其值恒为1,导致 $[V(x,y)/255]^{\gamma_{\text{dark}}(x,y)}$ 的值不随 $\gamma_{\text{dark}}(x,y)$ 的变化而变化,即校正前后的亮度不变,而式(4)中对高亮区域 $V(x,y)$ 采用倒数处理可以避免高亮像素点亮度无法校正的问题。但是倒数处理可能导致图像亮度过低,为此,对式(4)的输出图像与校正前图像进行加权处理,详见式(5):

$$V'_{\text{b_out}}(x,y) = 0.4 \times V(x,y) + 0.6 \times V_{\text{b_out}}(x,y) \quad (5)$$

式中, $V'_{\text{b_out}}(x,y)$ 为加权操作的输出图像,即高亮区域的最终校正输出图像。

校正参数 $\gamma(x,y)$ 直接决定了图像的校正效果,在已有的Gamma校正算法中, $\gamma(x,y)$ 一般为经验值,没有考虑到图像的光照特性^[17],但是田间实际作业时采集的图像通常包含高亮度、低亮度区域。为了能够改善高亮度、低亮度区域图像的视觉质量,本研究根据高亮度、低亮度区域像素点的光照分布特性计算亮度削弱和增强控制参数,表达式分别如下:

$$\gamma_{\text{dark}}(x,y) = \left(\frac{\mu_{\text{dark}}}{128} \right)^{\frac{128 - L(x,y)}{128}} \quad (6)$$

$$\gamma_{\text{bright}}(x,y) = \left(\frac{128}{\mu_{\text{bright}}} \right)^{\frac{128 - L(x,y)}{128}} \quad (7)$$

式中, $L(x,y)$ 为快速引导滤波法获取的光照度

分量, μ_{dark} 、 μ_{bright} 分别为低亮度区域、高亮度区域的光照度分量均值, 具体计算过程见式(8):

$$\mu_{\text{dark/bright}} = \frac{1}{N \times M} \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} L_{\text{dark/bright}}(x, y) \quad (8)$$

式中, $L_{\text{dark}}(x, y)$ 、 $L_{\text{bright}}(x, y)$ 分别为低亮度区域、高亮区域的光照度分量, 由式(9)确定:

$$\begin{cases} L_{\text{dark}}(x, y) = L(x, y), & \text{if } V(x, y) \in V_{\text{dark}} \\ L_{\text{bright}}(x, y) = L(x, y), & \text{if } V(x, y) \in V_{\text{bright}} \end{cases} \quad (9)$$

经 Gamma 函数校正后, 低亮度图像和高亮度图像的亮度能够得到自适应的动态调整, 从而增强了图像的细节信息。然而实际场景通常是光照度不均匀的, 易出现非单一亮度图像, 需要对上述校正后的图像进行自适应融合, 以增强图像效果。由于图像标准差能反映图像的对比度, 故本研究计算校正后图像 $V_{\text{d_out}}$ 、 $V'_{\text{b_out}}$ 的标准差 $\sigma_{\text{d_out}}$ 、 $\sigma_{\text{b_out}}$, 并以计算出的标准

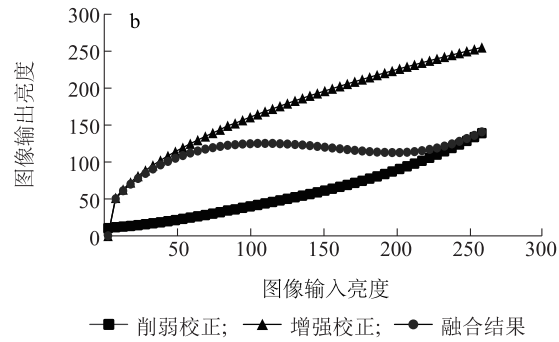
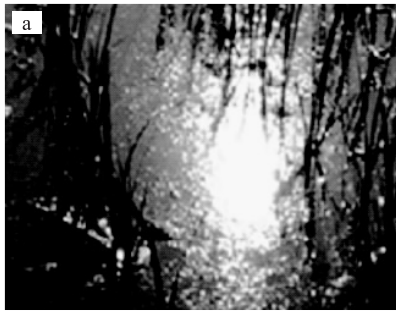
差作为权重参数对校正后的图像进行融合, 即:

$$V_{\text{out}}(x, y) = \alpha(x, y) V_{\text{d_out}}(x, y) + [1 - \alpha(x, y)] V'_{\text{b_out}}(x, y) \quad (10)$$

式中, $\alpha(x, y)$ 为校正图像融合的权重, 计算过程如下:

$$\alpha(x, y) = \begin{cases} \text{if } \sigma_{\text{d_out}} > \sigma_{\text{b_out}} & e^{-[V'_{\text{b_out}}(x, y)]^2 / 2\sigma_{\text{d_out}}^2} \\ \text{if } \sigma_{\text{b_out}} > \sigma_{\text{d_out}} & e^{-[V_{\text{d_out}}(x, y)]^2 / 2\sigma_{\text{b_out}}^2} \end{cases} \quad (11)$$

图 5b 为校正图像及融合图像的输出亮度曲线, 三角形标记曲线和四边形标记曲线分别是图像经式(3)至式(5)所示 Gamma 变换后的亮度增强校正、亮度削弱校正的输入-输出亮度曲线, 圆形标记曲线是图像经 Gamma 校正后由式(10)融合计算的输入-输出亮度曲线。在低亮度区域, 融合结果偏向于 $V_{\text{d_out}}$, 而在高亮度区域, 融合结果逐渐趋近 $V'_{\text{b_out}}$, 即融合后图像中的高亮度、低亮度区域都能得到增强。



a: 原始图像; b: 图像输入亮度与输出亮度的关系。

图 5 校正及融合图像输出亮度

Fig.5 Output intensity of corrected and fused images

2.3 图像色彩饱和度的恢复

经 Gamma 校正后的图像可能出现颜色偏移(过饱和或欠饱和), 为了提高校正后图像色彩的视觉效果, 基于亮度调整图像的 R 、 G 、 B 分量对图像进行色彩饱和度的恢复^[18], 色彩饱和度恢复的具体实现表达式如下:

$$R_{\text{out}}(x, y) = V_{\text{out}}(x, y) \left[\frac{R(x, y)}{V(x, y)} \right]^{\omega(x, y)} \quad (12)$$

$$G_{\text{out}}(x, y) = V_{\text{out}}(x, y) \left[\frac{G(x, y)}{V(x, y)} \right]^{\omega(x, y)} \quad (13)$$

$$B_{\text{out}}(x, y) = V_{\text{out}}(x, y) \left[\frac{B(x, y)}{V(x, y)} \right]^{\omega(x, y)} \quad (14)$$

式中, $R(x, y)$ 、 $G(x, y)$ 、 $B(x, y)$ 是由 V_{out} 分量合成为 HSV 图像并转换为 RGB 图像的 R 、 G 、 B 分量像素值; $R_{\text{out}}(x, y)$ 、 $G_{\text{out}}(x, y)$ 、 $B_{\text{out}}(x, y)$ 分别为色彩

调整后 R 、 G 、 B 分量的像素值; $\omega(x, y)$ 为校正系数, 考虑到欠饱和易发生在低亮度区域, 而高亮度区域多为过饱和状态, 因此 $\omega(x, y)$ 随校正后亮度 $V_{\text{out}}(x, y)$ 的增大而减小, 计算公式如下:

$$\omega(x, y) = 1 - \frac{V_{\text{out}}(x, y)}{255} \quad (15)$$

3 结果与分析

本试验使用的图像均为实地采集的水田秧苗图像, 采集地点为安徽农业大学郭河试验基地与安徽省农业科学院水稻研究所全椒试验基地, 采集时间为 2018 年 6 月、2019 年 6 月及 2020 年 7 月。本研究算法所用计算机的中央处理器(CPU)为 Intel Core i7-7700HQ, 主频为 2.8 GHz, 内存为 8.0 GB, 操作系统为 Windows 10, 64 位系统, 图像处理所用软件为 Mi-

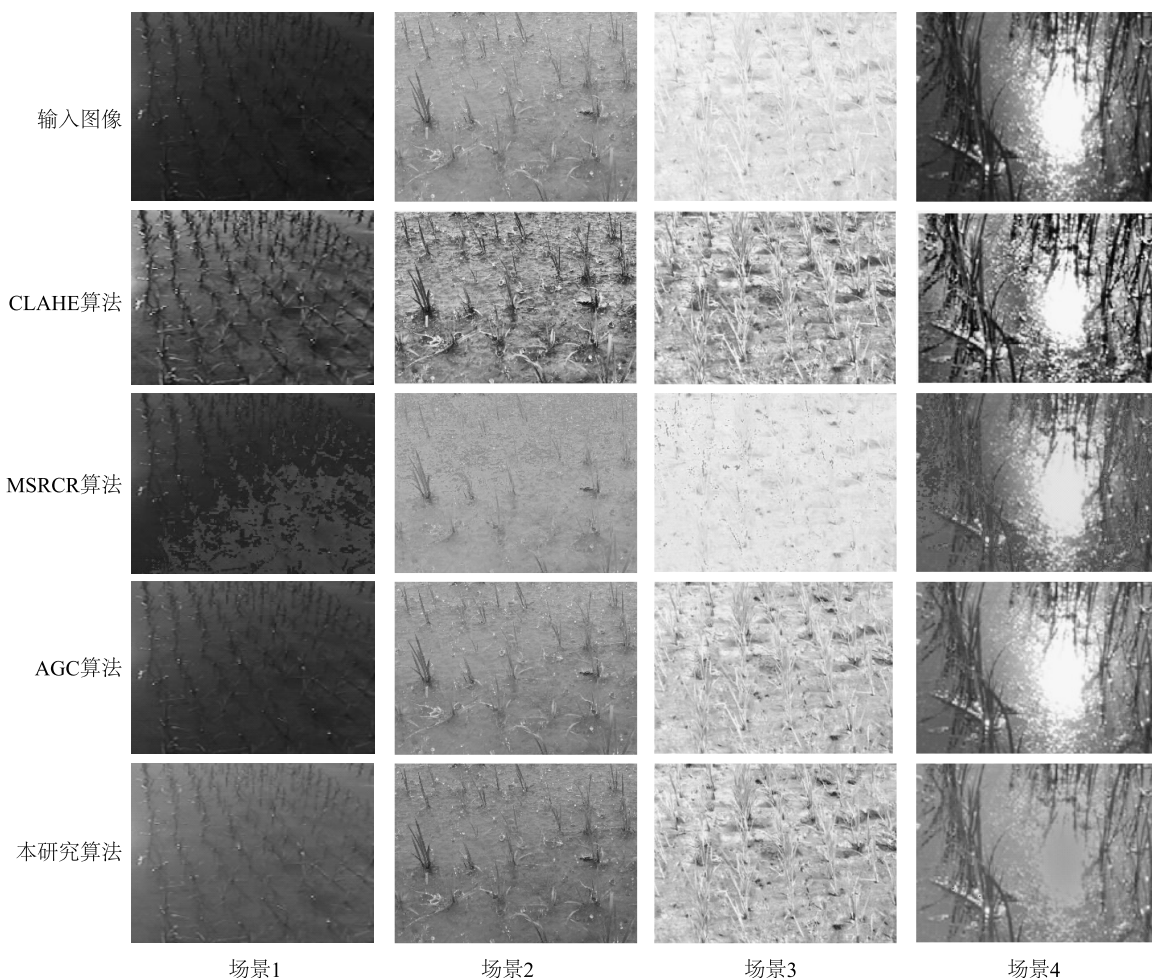
crosoft visual studio 2017 和 OpenCV 3.0。

3.1 图像增强的视觉效果对比

为了验证本研究算法的有效性,分别利用对比度受限的自适应直方图均衡化算法(CLAHE 算法)、多尺度 Retinex 算法(MSRRCR 算法)、文献[11]中提出的自适应校正算法(AGC 算法)和本研究算法对 4 种典型光照条件下的秧苗图像进行图像增强。

由图 6 中的输入图像可以看出,场景 1 是阴天的秧苗图像,光照不足,整幅图像的亮度偏暗;场景 2 是雨天的秧苗图像,雨天的水雾使得图像的能见度降低;场景 3 是高曝光的秧苗图像,图像整体偏亮,图像对比度低;场景 4 是晴天的秧苗图像,由于水面反光造成大面积水面亮度较高,而周围秧苗的亮度偏暗。由图 6 可以看出,CLAHE 算法虽然能够增强低亮度区域的亮度,但是不能有效降低高亮度区域的亮度,

并且出现严重的色彩偏移;MSRRCR 算法能较好地提升图像的亮度,增强图像的色彩信息,但却放大了图像中的噪声信息,出现伪光晕现象,并且对高亮度区域造成过增强,造成图像中秧苗的细节信息丢失;相比于 CLAHE 算法和 MSRRCR 算法,AGC 算法具有良好的色调保持性,能消除伪光晕,并一定程度地提高了图像中低亮度区域的细节信息,对高亮度区域的亮度也有一定的抑制作用,但是其对秧苗根部暗区域的细节信息增强能力不足,且对场景 4 中像素值为 255 的高亮度区域的校正效果不明显。本研究算法能够显著提升不同光照条件下低亮度区域的亮度,有效抑制高亮度区域的过增强,还能使增强后的图像具有较好的色彩保持性,从而很好地呈现秧苗图像中的细节信息,为后续秧苗行的识别提供有力支撑,有效减少光照对水稻插秧机视觉导航的干扰。



CLAHE 算法:自适应直方图均衡化算法;MSRRCR 算法:多尺度 Retinex 算法;AGC:王殿伟等提出的自适应校正算法。

图 6 不同光照条件下不同算法的增强结果

Fig.6 Enhancement results from different methods under different illumination conditions

3.2 图像增强效果的客观评价

为了对不同算法的图像增强效果作出客观评价,采用图像对比度、信息熵和色彩质量增强因子作为客观评价指标^[19-20]。由于图像亮度标准差能够反映图像的对比度,对比度高的图像亮度标准差较大,因此采用亮度分量的标准差来衡量图像的对比度;信息熵描述了图像中的信息量,熵值越大,表明图像含有的信息越丰富;色调偏移度为图像增强后其色调与原图色调的偏差,其值表示色彩偏移程度,其值越小,表明色彩偏移程度越小。图7为图6增强效果的客观评价指标数据,可以看出,用本研究算法处理后的图像标准差明显增加,其值略高于 AGC 算法,但明显高于 CLAHE 算法和 MSRCR 算法,较

原图有效提高了图像对比度。同时,用本研究算法增强后图像的信息熵较其他3种算法高,图像中具有更多的秧苗细节信息,并且增强后图像的色调偏移度最低,能够较好地保真原图像的色彩信息。

此外,本研究随机选取60幅秧苗图像,包括低光照度图像、光照度适中图像和光照度较强图像,统计用本研究算法增强后图像的平均标准差、平均信息熵和平均色调偏移度。结果显示,增强后图像的亮度标准差均值较原图像提高了68.36%,信息熵均值比增强前提高了71.62%,且色调偏移度均值低于0.18,对不同光照度条件的图像具有较好的增强效果。

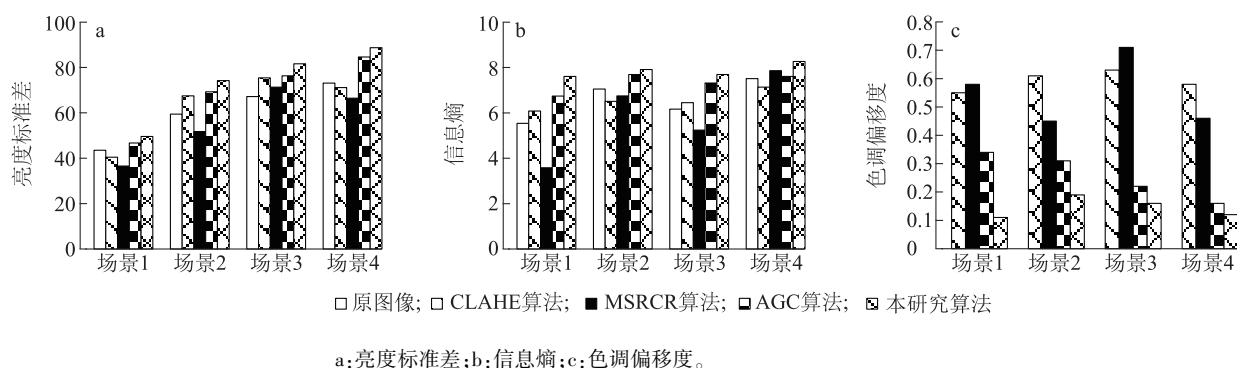


图7 图像增强性能的客观评价

Fig.7 Objective evaluation of image enhancement performance

4 结论

光照是影响秧苗图像质量的重要因素^[21],为了提高不同光照条件下秧苗图像的视觉效果,本研究提出了1种基于双重 Gamma 校正的秧苗图像增强算法,在 HSV 色彩空间中提取秧苗图像的亮度分量,进行图像的亮度分区,通过快速引导滤波提取秧苗图像的光照度分量。基于低亮度区域和高亮度区域的光照度信息分布特性,设置自适应的 Gamma 控制参数,构建双重 Gamma 校正函数,并对校正后的图像进行融合和色彩饱和度恢复。试验结果表明,用本研究算法增强后图像的亮度标准差均值较原图像提高了68.36%,信息熵均值提高了71.62%,且色调偏移度均值低于0.18,能够有效增强图像的对比度,丰富图像中的有用信息,从而克服了传统算法不能有效校正亮度值为255的高亮度区域及校正后产生较大色彩偏移的问题,对复杂光照条件下的秧

苗图像具有较好的自适应增强能力。后期可以研究光照分量对增强图像效果的影响,从而设计出更精准、更快速的光照分量提取方法,进一步提高本研究算法对复杂光照条件下图像的增强性能。

参考文献:

- [1] 关卓怀,陈科尹,丁幼春,等. 水稻收获作业视觉导航路径提取方法[J]. 农业机械学报, 2019, 45(9): 44-54.
- [2] 刘波,杨长辉,熊龙辉,等. 果园自然环境下采摘机器人路径识别方法[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(5): 1222-1231.
- [3] REN G Q, TAO L, YING Y B, et al. Agricultural robotics research applicable to poultry production: a review[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2020, 169: 1-14.
- [4] YIN J N, ZHU D Q, LIAO J, et al. Automatic steering control algorithm based on compound fuzzy PID for rice transplanter[J]. Applied Sciences, 2019, 9(13): 1-14.
- [5] 何杰,朱金光,张智刚,等. 水稻插秧机自动作业系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2019, 50(3): 17-24.
- [6] 廖娟,汪鹄,尹俊楠,等. 基于分区域特征点聚类的秧苗行

- 中心线提取[J].农业机械学报,2019,50(11):34-41.
- [7] QIAO X, BAO J H, ZHANG H, et al. Underwater image quality enhancement of sea cucumbers based on improved histogram equalization and wavelet transform[J]. Information Processing in Agriculture, 2017, 4(3): 206-213.
- [8] HUANG S C, CHENG F C, CHIU Y S. Efficient contrast enhancement using adaptive gamma correction with weighting distribution[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(3):1032-1041.
- [9] 姬伟,吕兴琴,赵德安,等. 苹果采摘机器人夜间图像边缘保持的Retinex增强算法[J]. 农业工程学报, 2016, 32(6):189-196.
- [10] JI W, QIAN Z, XU B, et al. Apple tree branch segmentation from images with small gray-level difference for agricultural harvesting robot[J]. Optik, 2016, 127(23): 11173-11182.
- [11] 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.
- [12] 张军国,程浙安,胡春鹤,等. 野生动物监测光照自适应 Retinex 图像增强算法[J]. 农业工程学报, 2018, 34(15): 183-189.
- [13] YANG K F, LI H, KUANG H, et al. An adaptive method for image dynamic range adjustment [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2018, 29(3): 640-652.
- [14] 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.
- [15] 李颀,王康,强华,等. 基于颜色和纹理特征的异常玉米种穗分类识别方法[J]. 江苏农业学报, 2020, 36(1):24-31.
- [16] YANG K F, GAO S B, LI Y J, et al. Efficient illuminant estimation for color constancy using grey pixels[C]//IEEE. Proceedings of the 2015 IEEE conference on computer vision and pattern recognition. Boston, America:IEEE, 2015: 2254-2263.
- [17] LEE S, KWON H, HAN H, et al. A space-variant luminance map based color image enhancement[J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2010, 56(4):2636-2643.
- [18] 李玉华,李天华,牛子孺,等. 基于色饱和度三维几何特征的马铃薯芽眼识别[J]. 农业工程学报, 2018, 34(24):158-164.
- [19] 李江波,黄文倩,张保华,等. 类球形水果表皮颜色变化校正方法研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(4): 226-230.
- [20] FU Q, JUNG C, XU K. Retinex-based perceptual contrast enhancement in images using luminance adaptation [J]. IEEE Access, 2018, 6: 61277-61286.
- [21] 白元明,孔令成,张志华,等. 基于改进 OTSU 算法的快速作物图像分割[J]. 江苏农业科学,2019,47(24):231-236.

(责任编辑:徐艳)