
江南大学

大作业报告书

题 目： 计算机视觉大作业

院（系）： 人工智能与计算机学院

专 业： 数字媒体技术

班 级： 数媒 2003、2004

姓 名： 张梦婷、张晗

学 号： 1191200315、1191200416

授课老师： 钱琨

实验时间： 21-22 学年 第 2 学期

2022 年 12 月

基于自适应白平衡的水下图像增强技术

张梦婷 张晗

(江南大学 人工智能与计算机学院, 江苏省 无锡市 214122)

摘要: 由于光在传播过程中的指数衰减, 水下图像通常会出现颜色畸变和对比度降低的情况。为了恢复水下光学图像, 本文在经典的图像融合的水下图像增强算法的基础上, 融合自适应白平衡方法, 使得方法在亮度还原上效果更佳, 并且相比于经典的传统图像融合水下影像增强方法可以更加提高水下图像增强的效果。同时, 本方法还能够增强水下光学图像的清晰度、对比度, 从而达到了更有效的水下光学图像的增强。

关键词: 水下图像增强; 自适应白平衡; 图像增强

0 引言

水下图像的增强技术在水下环境的探索研究、水下环境的作业等方面有很重要的意义。水下生态环境的研究、水下古迹的考察、水下能源的开采以及水下救生等领域都需要依赖水下图像的增强技术^[1]。但是水下场景与陆地的差别很大。由于光吸收和扩散效应, 随着光在水中传播, 根据光谱波长的不同, 光强度会出现指数级的快速损失。在清澈的开阔水域, 受影响最严重是波长最长的红色光, 其在 1 米后强度降低到三分之一, 在水下 4-5 米后基本消失^[2], 然后是橙色、黄色、绿色和蓝色。水下图像通常呈现蓝绿色, 正是因为蓝色和绿色的颜色成分最后被吸收。颜色吸收现象导致捕获的水下图像具有较低的颜色和对比度性能。此外, 图像中的重要信息也会丢失^[3]。

水下图片一般存在以下三种类型的问题^[4-5]:

色偏。由于在上文提及了的光强不均匀衰减使得水底图像呈现出强烈的色偏特性, 水底图像通常出现色偏绿或蓝的情形。

模糊。除了水中存在杂质影响之外, 由于水下场景昏暗而使用的人工光源与太阳光都在水下环境中被水体散射, 这两束光叠加后导致水下拍摄的图像细节部分丢失, 影响图片的清晰度、对比度和亮度, 导致图像模糊。

亮度不均。深度越深, 太阳光的强度就会越弱, 导致水下环境相对昏暗, 此时人工光源占据照明的主要地位, 但人工光源往往不能均匀地照亮整个区域, 导致水下的图片出现亮度不均的情况。

在过去几年中, 已经提出了大量基于单个图像的水下图像恢复方法。Drews-Jr 等人^[6]就曾提出过一种基于暗通道先验 (DCP) 的水下传输估计方法 (UDCP), UDCP 方法提高了 DCP 算法的高效率, 对水下图像的增强效果较好, 但是综合实验结果来看缺乏鲁棒性和可靠性。Fu 等人^[7]提出了一种新的基于 Retinex 的水下图像增强方法, 通过颜色校正、亮暗区域、自然度保持以及良好的边缘和细节增强, 提高了增强效果。该方法除了可以应用于水下图像, 还可以应对诸如沙尘暴等恶劣环境下的图片。但该算法在实际实验中鲁棒性较低, 存在恢复过度的现象。此外, Galdran 等人^[8]

提出了一种红色通道方法, 针对水体的物理性质, 恢复的与短波长相关的颜色, 从而恢复丢失的对比度。该方法在纠正水下图像色偏问题上表现突出。

除以上算法外, 经典图像融合方法是在水下图像增强方法当中效率很高, 增强效果较不错的一种算法。本文受到该方法的启发, 提出一个融合自适应白平衡的图像融合方式。本文方法在对原图像进行处理获得亮度增强的图像时融入了自适应白平衡方法, 首先将图像进行分块运算, 获得每一块的色彩信息, 通过色彩信得到动态得色彩信息阈值, 基于阈值对图像的色彩偏差进行纠正, 同时更好的增强图像的亮度。在最终实验结果表明, 本方法不仅在水下图像的指标上有所提升, 还在图像的其他重要指标如信息熵上表现的更好, 证明本方法在图像增强之后可以获得更加清晰、色彩更加鲜艳和亮度更加均匀的图像。

1 相关方法

本文方法是依据经典图像融合算法改进而来, 经典图像融合算法流程图如图 1 所示, 下文将对经典图像融合方法做详细说明。

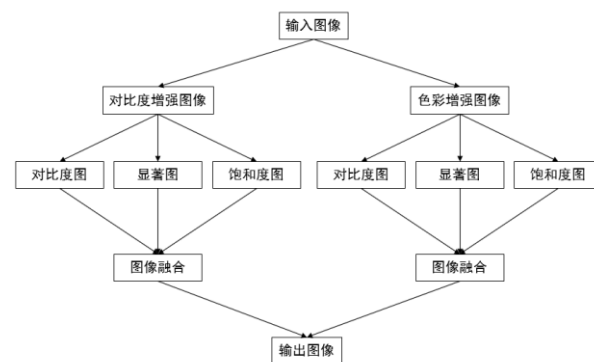


图 1 传统融合算法流程图

1.1 对比度增强和色彩增强

水下图像的普遍存在色彩偏移和模糊的现象，因此需要利用对比度增强和色彩增强的方法处理图像。经典融合方法需要将原图片分为两个部分进行处理。

首先是增强图像对比度，以应对图像模糊的问题。在经典融合方法中，可选择对比度增强的方式有很多，可以选用直方图均衡化方法、拉普拉斯算子方法、对数 Log 运算和 Gamma 运算等方法，都能够实现图像恢复清晰。

其次是色彩增强，水下图像出现色偏现象导致图片大量红色信息丢失，因此色彩增强部分就是对红色信息进行补偿，进而纠正色偏现象。

补偿红色信息就是将部分非红色通道的信息，补充到红色通道中。如下图 1 所示是颜色色相环，色环的任何直径两端相对之色都称为互补色。在色环中，不仅红与青是补色关系，一切在对角线 90° 以内包括的色，比如黄绿，绿，蓝绿三色，都与红构成补色关系。因此选择削减绿色和蓝色通道的部分信息，补充到红色通道上^[9]。

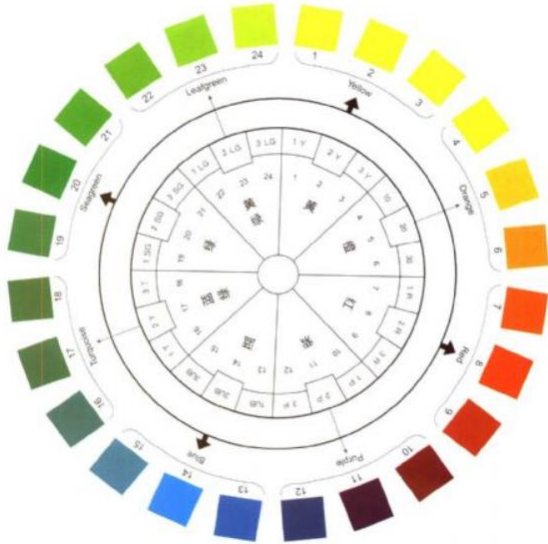


图 2 色相环示意图

1.2 权重图以及权值

在图像进行融合时还需要提供图像的相关权重图，包括对比度权重图、显著度权重图和饱和度权重图，以便达到更好的融合效果。这三幅权重图分别表示代表图像融合的三指标，分别是对比度、显著度和曝光度，通过计算权重图可以针对不同图像存在的不同程度上的边缘模糊，色彩失真和亮度失衡等问题增强图像恢复的效果^[10]。

计算对比度权重(WI)的目的是估计全局的对比度，进而提取边缘和纹理。其主要原理是利用拉普拉斯滤波器的绝对值，依据图像像素点的变化程度来调整图像的边缘和细节，进而增强图像全局的对比度。

计算显著性权重 (Ws)的目的是在计算计算对比度权重保留水下图像对比度信息之后，进一步保留图像更多的信息。显著性考虑的信息除对比度之外还包括颜色、亮度等相关信

息。在图像融合方法中，通过计算显著性权重图进行图像最终融合的方式，增强图像的显著性。

计算饱和度权重(Wt)的目的是使得恢复出的水下图像更加真实，更加符合图像原有的颜色信息，其原理主要是利用高饱和度的区域获取彩色信息，将高饱和区域的彩色信息适应到全局图像的彩色信息中。

在对两个图像，即自适应白平衡图像和对比度增强的图像经过运算得出三幅图像的权重图后，再将其相加并标准化。具体公式为 (1)：

$$\bar{W}_i = \left(\frac{Wl_1 + Ws_1 + Wt_1}{Wl_1 + Ws_1 + Wl_1 + Wl_2 + Ws_2 + Wl_2} \right) \quad (1)$$

1.3 图像融合

图像融合的方法有很多，在经典图像融合方法中可以使用如像素级融合方法和多尺度图像融合方法。像素级的图像融合方法多种多样，诸如加权平均融合图像法、线性投影融合法等。多尺度融合算法相较于像素级图像融合算法更加复杂，下文是对高斯金字塔结合拉普拉斯金字塔的图像融合过程的阐述。

高斯金字塔是通过高斯平滑和亚采样获得向下采样图像。如图 2 所示，原始图像是 Level 0 层，为获取第二层图像，高斯金字塔首先采用高斯内核对 Level 0 层的图像进行卷积，然后将所有的偶数行和列去除。此时得到的图像尺寸缩小为原图的四分之一。

以此类推，通过第 Level i 层的图像获得第 Level i+1 层的图像也同样进行向下采样图像。从图一中我们可以看出，高斯金字塔向下取样过后的图片尺寸越来越小。

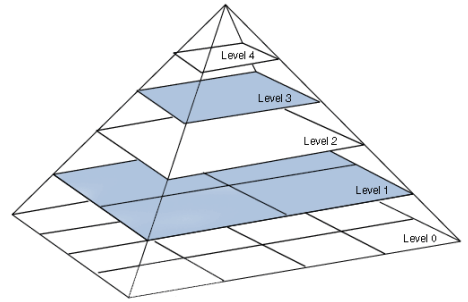


图 3 高斯金字塔示意图

拉普拉斯金字塔可以看作是高斯金字塔的逆过程，拉普拉斯金字塔算法数学定义如 (2)：

$$L_i = G_i - \text{PyrUp}(\text{PyrDown}(G_i)) \quad (2)$$

其中 L_i 表示经过拉普拉斯金字塔恢复的图像， G_i 表示源图像， PyUp 表示向上采样，而 PyDown 表示向下采样^[11-12]。通过数学定义可以知道，拉普拉斯金字塔是普拉斯金字塔是高斯金字塔与其上一层通过上采样扩大后的差值图像，其也是通过对源图像的逐步减小然后再扩大的一系列图像形成的。正是因为金字塔中图像融合后必须进行逐步扩大减小

等变换,所以利用金字塔的融合方式又称为多尺度融合。对融合后的拉普拉斯能量和金字塔,由其顶部开始逐级上升再进行递推恢复所对应的高斯金字塔,最后获得了增强后的图片。

2 本文方法

2.1 颜色校正

针对水下环境的特点,红光在水中的信息会首先丢失,其次是绿光,随后是蓝光。因此在本算法中最初图像校正尝试将绿色通道和蓝色通道的补偿到红色通道中。在红色通道的补偿中,法最初尝试使用公式(3)补偿图像的红色通道,其中 α 是一个常数参数,最终得到:

$$I_{newr} = I_r + \alpha(avr - I_b - avr - I_r) + \alpha(avr - I_g - avr - I_r) \quad (3)$$

但由于绿色与红色通道含有相反的颜色信息,经过恢复结果的分析,算法选择不补偿蓝色通道,而是将更多绿色通道的信息补偿到红色通道上,最终颜色补偿公式如(4):

$$I_{newr} = I_r + \alpha(avr - I_g - avr - I_r) \quad (4)$$

2.2 自适应白平衡

本算法为了纠正色偏、校正图像亮度,利用了基于动态阈值的自适应白平衡算法。自适应白平衡算法首先将原始图像从 RGB 空间转换到 YCbCr 空间并且把图像分块,分块方便计算每个区域的色度信号 C、均值 M 和均方差 D,利用 C 和 M 求出 D 的公式如(5)和(6)。

$$D_b = \sum_{i,j} (|C_b(i,j) - M_b|) / N \quad (5)$$

$$D_r = \sum_{i,j} (|C_r(i,j) - M_r|) / N \quad (6)$$

其自适应白平衡的原理就是依据均方差判断色彩是否均匀。D 相对小的分块代表该块的色彩分布较为均匀,可以不进行下一步的白平衡计算。在得出 D 较大的图片分块后计算剩余所有分块的平均值 M 和 D,然后依据公式(7)和(8)条件筛选像素点作为候补白点:

$$C_b(i,j) - (M_b + D_b * \text{sign}(M_b)) < 1.5 * D_b \quad (7)$$

$$C_r(i,j) - (M_r + D_r * \text{sign}(M_r)) < 1.5 * D_r \quad (8)$$

因为参考白点都是从对比度值较大的候补白点当中选择的,所以我们就把候补白点按图像亮度值进行了排列,而排序最靠前的候补白点就可以被选作参照白点。通过参照白点,可以得到白平衡的增益值与 RGB 通道的平均数。在计算增益值时,为了确保在校正白前后图像中的亮度差别不大,可以选择图像参照白点中的亮度最大值为参考值,再得到 RGB

三个通道的平均数,根据方程(9)分别算出其增益效果系数^[13]:

$$\begin{aligned} R_{gain} &= Y_{Max} / R_{avr}, \\ G_{gain} &= Y_{Max} / G_{avr}, \\ B_{gain} &= Y_{Max} / B_{avr} \end{aligned} \quad (9)$$

下面给出本文利用的自适应白平衡的计算步骤:

步骤1 图像分块,利用每一块的色度信号和均值,计算每一块图像的方差 D。

步骤2 选择 D 较小的图像块进行自适应白平衡处理,从中筛选出候补白点。

步骤3 在候补白点中选取亮度排在前 10% 的作为参照白点,利用参照白点和参照白点最大值作计算出增益系数。

2.3 高斯同态滤波的对比度增强算法

高斯同态滤波算法^[14]主要是在频域对图像进行增强。将图片转为频谱图后,滤波算法减弱低频部分、增强高频部分,减少图片光照的变化,使图像细节部分更加突出、提升图像对比度。若图像的光照信息表示为 f,其实还可以表示为:

$$f(x,y) = i(x,y) * r(x,y) \quad (10)$$

其中, i 表示照射分量,多用来描述图像整体照度信息,可以视作图像低频成分; r 是反射分量,多用来描述图像细节部分信息,可以视作图像高频成分。对 f 进行对数运算可以分离出低频与高频两部分分量,从而对其进行傅里叶变化,实现在频域中处理图像:

$$Z(u,v) = \ln f(x,y) = \ln i(x,y) + \ln r(x,y) \quad (11)$$

傅里叶变换表示为:

$$Z(u,v) = F_i(u,v) + F_r(u,v) \quad (12)$$

然后对 Z 进行高通滤波处理,即在频域中令 Z(u,v) 与高通滤波函数 H 相乘:

$$S(u,v) = H(u,v)Z(u,v) = H(u,v)F_i(u,v) + H(u,v)F_r(u,v) \quad (13)$$

高通滤波的作用是抑制低频部分,将高频部分的 r 提取出来,在对(13)进行傅里叶逆变换:

$$s = IDFT(S(u,v)) \quad (14)$$

最后利用指数运算得出处理后的对比度增强的图像。

2.4 方法流程

本方法第一步处理是对图像色偏进行校正,然后分别利用自适应白平衡和对比度增强算法得到亮度均衡和锐化增强后的图像。随后分别先对两幅图像的拉普拉斯对比度权重图、显著度权重图与饱和性权重图进行了提取,接下来将对三幅权重图表进行标准化处理。为进一步的改善输出结果,本算法通过在对标准化后的权重图像进行高斯金字塔分解后,对

色彩校正图像和对比度提高的图像进行拉普拉斯金字塔分解，再分层实现相应的加权融合，最终得到增强后的图像。

本文方法步骤如下：

步骤 1 利用公式 (4) 将源图像进行色彩校正，得到图像 I_{new}

步骤 2 利用高斯同态滤波实现图像对比度增强，把经过色彩校正的图像 I_{new} 进行处理得到图像 I_{shark} 。

步骤 3 利用 2.2 节提到的方式获取亮度校正后的图片 $I_{balance}$ 。

步骤 4 按照 1.2 节的步骤，计算 I_{shark} 和 $I_{balance}$ 的拉普拉斯对比度权重、显著度权重和饱和度权重进行计算。

步骤 5 按照 1.3 节的方法，利用高斯金字塔和拉普拉斯金字塔融合对得到的权重图像进行加权融合。

步骤 6 输出最终图像结果。

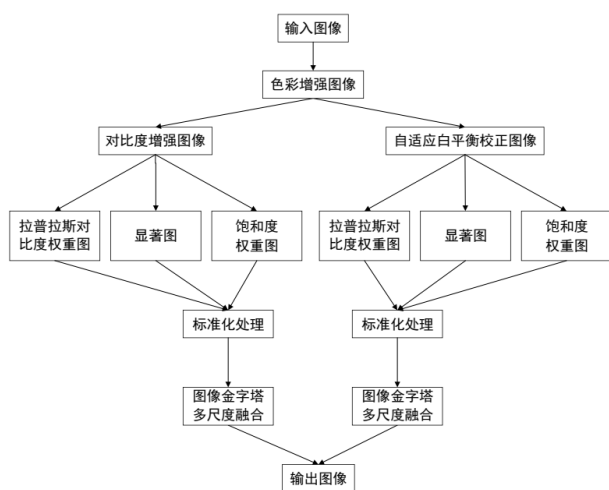


图 4 方法流程图

3 实验结果与分析

为证实本文所提到的算法的有效性，本文将从主观与客观二种视角入手，对通过算法增强的水下图像的有效性展开分析，并与文献[6]、文献[7]、文献[8]和经典水下图像融合恢复算法的处理效果进行了对比。

实验环境是 Matlab R2021b, Windows 10, Intel i5 10400F CPU 3.3GHz。实验数据来源于 Chongyi Li 等人^[15]的水下图像数据集 UIEB Dataset。实验中可以修改颜色校正中的 α 补偿参数，若无特殊说明，补偿参数默认为 0.1。

3.1 主观评价

主观评价的标准主要是依据人的视觉感受进行判断。下文展示的是水下图像恢复的结果，依据上文提出的水下图像三个问题，即色彩偏差、模糊和亮度不均，本文实验分别对这三类图像的代表图进行实验并比较各个方式的恢复结果。

图 5 和图 6 展示存在色彩偏差的图像在经过各个方法恢复后的实验结果。

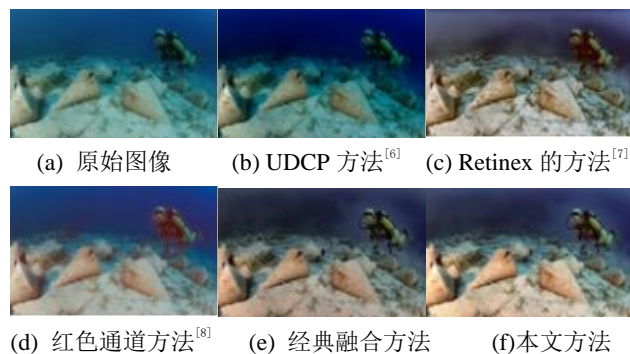


图 5 色彩偏差图像增强结果 1

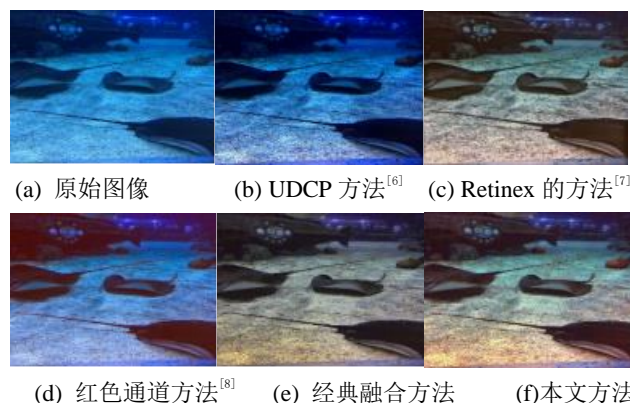


图 6 色彩偏差图像增强结果 2

从结果图 5 和图 6 中可以看出，针对色彩偏差问题，UDCP 算法在视觉上的恢复效果并不好，整体图像依旧呈偏蓝色，整体视觉感觉不真实。Retinex 算法在视觉效果上不错，弱化了图像中过度的蓝色信息，成功的恢复了图像中的红色信息，但在主观感受上感觉图像亮度过暗。基于红色通道增强的方法恢复的视觉效果并不理想，而且经过增强的图像仅仅在色偏的问题上有限的实现了修正，图像仍然存在失真、对比度低等情况。而相较于经典的融合算法，本文的算法在视觉效果上在图像亮度和清晰度层面有明显改善，图像亮度更均匀，并且图像色彩更加鲜艳。总体来说本文方法不仅成功增强了水下图像，相较于经典增强方法在视觉效果上有所提升。

其次是两幅模糊的图片增强结果，如图 7 和图 8 所示

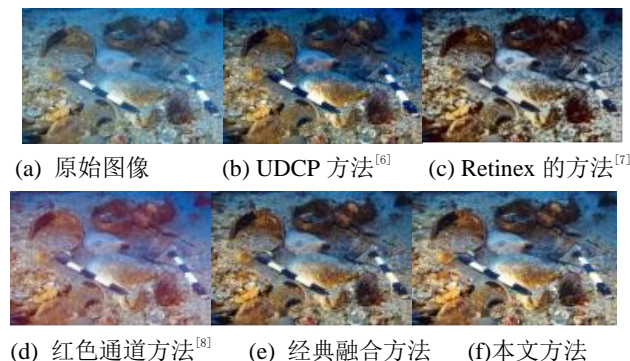


图 7 模糊图像增强结果 1



(a) 原始图像 (b) UDCP 方法^[6] (c) Retinex 的方法^[7]



(d) 红色通道方法^[8] (e) 经典融合方法 (f) 本文方法

图 8 模糊图像增强结果 2

从结果图 7 和图 8 中可以看出, 针对模糊图像, UDCP 算法虽然改善了模糊的效果, 但是整体图像色彩偏蓝, 视觉效果不如其他方法。Retinex 算法在视觉效果上表现上佳, 图像清晰度有了明显的提升。基于红色通道增强的方法恢复的视觉效果图片清晰度并不理想, 图像中的噪点依旧很多且色彩偏红, 存在增强过度的情况。经典算法增强图像的效果还可以, 成功纠正了色偏, 但在清晰度的恢复上, 本文算法比经典算法呈现的视觉效果更好。

最后是两幅亮度不均的图片增强结果, 如图 9 和图 10 所示。



(a) 原始图像 (b) UDCP 方法^[6] (c) Retinex 的方法^[7]



(d) 红色通道方法^[8] (e) 经典融合方法 (f) 本文方法

图 9 亮度不均图像增强结果 1



(a) 原始图像 (b) UDCP 方法^[6] (c) Retinex 的方法^[7]



(d) 红色通道方法^[8] (e) 经典融合方法 (f) 本文方法

图 10 亮度不均图像增强结果 2

从结果图 9 和图 10 中可以看出, UDCP 算法增强的视觉效果并不真实, 图像亮度不均的问题并没有得到解决, 反而亮度不均的问题在视觉效果上更加突出。Retinex 算法增强的图像亮度很均匀, 但是图像存在失真现象。基于红色通道增强的方法恢复的视觉效果并不理想, 色偏和光强不均匀问题改善的效果不明显。而相较于经典的融合算法, 本文的算法在视觉效果上在图片亮度和清晰度层面有明显改善, 图片亮度更均匀, 并且图片色彩更加鲜艳。总体来说本文方法不仅

成功增强了水下图片, 相较于经典增强方法在视觉效果上有所提升。

3.2 客观评价

客观评价需要有相应的评判标准即不同指标数据进行判断, 本文选择的评判指标有水下图像颜色质量评价

(underwater colour image quality evaluation, UCIQE), 局域块的对比度质量指数(PCQI)和信息熵(entropy)。

UCIQE 是饱和度, 色彩浓度和对比度的线性组合, 用于量化评估在水下图像中非均于的模糊, 色偏和对比度降低的情况。UCIQE 的计算公式如 (15)。其中, σ_1 为色度的标准差, con_1 为亮度的对比度, μ_s 为饱和度的平均值, c_1 , c_2 和分别为线性组合的权重值, 一般分别取 0.4680, 0.2745, 0.2576, 一般 UCIQE 的值越大, 水下图片的增强的效果越好^[16-17]:

$$UCIQE = c_1 * \sigma_c + c_2 * con_1 + c_3 * \mu_s \quad (15)$$

PCQI 是局域块的对比度质量索引, 代表图像的对比度变化情况。数值越大, 代表图像对比度越高^[18]。

entropy 表示图像灰度级集合的比特平均数, 描述了图像内容信息量, 信息熵的数值越大, 代表图片越清晰、其包含的信息越多^[19]。

下文就针对水下图像的三方面问题, 分别对图像 5、6 图像 7、8 图像 9、10 在客观指标上进行评价。

首先是针对两幅色彩存在偏差的图片进行客观指标评价, 结果如表 1 和表 2 所示。

表 1 色彩偏差图像经恢复后质量评测值 1

Table 1 Quality evaluation value of color deviation image after restoration 1

Specimen	UCIQE	PCQI	entropy(*10 ³)
UDCP 方法 ^[6]	0.4758	0.8874	2.531
Retinex 方法 ^[7]	0.3983	0.9039	2.942
红色通道方法 ^[8]	0.3891	0.9454	2.955
经典融合方法	0.4582	1.1705	2.925
本文方法	0.4792	1.1924	2.962

表 2 色彩偏差图像经恢复后质量评测值 2

Table 2 Quality evaluation value of color deviation image after restoration 2

Specimen	UCIQE	PCQI	entropy(*10 ³)
UDCP 方法 ^[6]	0.4742	1.0292	1.799
Retinex 方法 ^[7]	0.4263	0.9316	1.909
红色通道方法 ^[8]	0.4620	0.9747	1.940
经典融合方法	0.4197	1.0898	1.887
本文方法	0.4708	1.1209	1.928

如表所示,对于存在色彩偏差的图像,UCIQE指标最能反应图像的色彩校正结果,UCIQE越高的图像色彩校正效果越好,从表1和表2中可以看到,本文方法的UCIQE值明显超过了经典融合方法,与Retinex方法和红色通道方法相比,文本方法对水下图像色彩的增强也有明显的提高。此外,在反映局部图片对比度的PCQI指标和反映图片清晰度的entropy指标上,本文方法增强效果最好。

其次是针对两幅模糊的图片进行客观指标评价,结果如表3和表4所示。

表3 水下模糊图像经恢复后质量评测值

Table 3 Quality evaluation value 1 of underwater blurred image after restoration

Specimen	UCIQE	PCQI	entropy(*10 ³)
UDCP 方法 ^[6]	0.4987	1.0132	1.607
Retinex 方法 ^[7]	0.4645	0.9286	1.660
红色通道方法 ^[8]	0.4267	0.9477	1.638
经典融合方法	0.4761	1.1106	1.647
本文算法	0.4763	1.1559	1.664

表4 水下模糊图像经恢复后质量评测值2

Table 4 Quality evaluation value 2 of underwater blurred image after restoration

Specimen	UCIQE	PCQI	entropy(*10 ³)
UDCP 方法 ^[6]	0.4925	1.0642	1.922
Retinex 方法 ^[7]	0.4465	1.1007	2.022
红色通道方法 ^[8]	0.3643	1.0778	1.889
经典融合方法	0.3689	1.1860	1.847
本文方法	0.4083	1.2536	1.898

在模糊图像的增强中,entropy指标最值得参考。本文方法在entropy指标上表现为所有方法中最好,证明与其他方法相比,本文方法能够实现更好地增强图片的清晰度。而在UCIQE评价指标上,本文方法相较于经典算法有一定的进步,和其他图像增强方法比较本文效果仅次于UDCP方法。PCQI评价指标上本文方法依旧表现最好。

最后是针对两幅亮度不均的图片进行客观指标评价,结果如表5和表6所示。

表5 水下亮度不均图像经恢复后质量评测值1

Table 5 Quality evaluation value 1 of underwater uneven brightness image after restoration

Specimen	UCIQE	PCQI	entropy(*10 ³)
UDCP 方法 ^[6]	0.5390	0.8702	2.230
Retinex 方法 ^[7]	0.3836	0.9473	2.848
红色通道方法 ^[8]	0.4447	0.9688	2.708
经典融合方法	0.4304	1.0858	2.828

本文方法 0.4379 1.0557 **2.868**

表6 水下亮度不均图像经恢复后质量评测值2

Table 6 Quality evaluation value of underwater uneven brightness image after restoration 2

Specimen	UCIQE	PCQI	entropy(*10 ³)
UDCP 方法 ^[6]	0.4904	0.9682	2.868
Retinex 方法 ^[7]	0.4005	0.9377	3.024
红色通道方法 ^[8]	0.3789	0.9921	3.138
经典融合方法	0.4073	1.1277	3.093
本文方法	0.4311	1.1714	3.141

在表5和表6的结果中,本文方法在entropy指标上的表现证明对于亮度不均匀的图像,本文方法始终能够保持高清晰度的恢复,并且与经典方法对比后发现,UCIQE指标始终高于经典图像融合方法,证明本文方法能够有效提升经典方法的增强效果。

通过上文三表数据可以看出,本文算法在entropy和PQCI这两项指标上始终表现的很好,这代表本文的算法恢复出的图片的效果最清晰,包含的信息量最多,图像对比度恢复效果最好。而在UCIQE指标上,本文算法与经典融合算法相比较有一定的进步,平均能够提升指标效果达到2%左右,并且本文算法有一定稳定性,在多次实验当中在UCIQE指标上的效果始终好于经典算法。

此外,除以上图像评价指标外,本文还使用SURF特征点匹配算法对图像进行测试。若图像在SURF算法中被识别出更多的特征点,那么证明该图像更加清晰,图像纹理以及细节更加明显^[20]。下文是上述五种算法的SURF特征点匹配结果图以及被识别出的特征点个数。



(a) UDCP 方法^[6]



(b) Retinex 方法^[97]



(c) 红色通道方法^[8]



(d) 经典融合方法



(e) 本文方法

图 11 图像特征匹配结果图

表 7 水下图像经增强后特征点识别个数表

Table 7 Number table of feature point recognition of underwater image after enhancement

Specimen	特征点识别个数
UDCP 方法 ^[6]	149
Retinex 方法 ^[7]	175
红色通道方法 ^[8]	262
经典融合方法	238
本文方法	250

通过特征点识别的方法可以得出，本文算法相较于经典融合算法可以识别出更多的特征点，图像恢复效果有进一步的提升。而且与其他算法相比本文算法效果也很好，能够识别出的特征点个数超越多数增强方法。

在主观和客观的两个角度上，本文算法都在经典的水下图像融合算法结果的基础上有一定的提升。而且本文增强算法能够恢复出更清晰、亮度更均匀、包含更多图像信息的图片。

4 结论

本文针对水下图像存在的三大类问题，提出了一种基于自适应白平衡的水下图像增强的算法。本文算法是在经典的基于金字塔融合的水下图像融合算法上改进的，增加自适应白平衡算法，有效的实现了校正图片亮度和清晰度，使得在后续增强过程中获取到了更加清晰、对比度更高、亮度更均匀和包含信息更多的图片。虽然本文的算法在 UCIQE 评价指标中表现得相较于其他方法有所进步，但始终不如 UCDP 方法表现得好，因此这也是本算法在未来进一步研究优化的方向。

参考文献：

[1] 郭银景, 吴琪, 苑娇娇, 等. 水下光学图像处理研究进展[J]. 电子与信息学报, 2021, 43(2):10.

[2] ABDUL GHANI A , MAT ISA N . Underwater image quality enhancement through composition of dual-intensity images and Rayleigh-stretching[J]. Springer Plus, 2014, 3.

[3] 王金鹏, 张荣荣. 基于新成像模型的水下图像增强[J]. 微型机与应用, 2017, 36(14):3.

[4] RAVEENDRAN S , MD PATIL, BIRAJDAR G K . Underwater image enhancement: a comprehensive review, recent trends, challenges and applications[J]. Artificial Intelligence Review, 2021(1).

[5] 魏郭依哲, 陈思遥, 刘玉涛, 等. 水下图像增强和修复算法综述[J]. 计算机应用研究, 2021, 38(9):10.

[6] DREWS J P , NASCIMENTO E , MORAES F , et al. Transmission estimation in underwater single images[C]// IEEE International Conference on Computer Vision Workshops. IEEE, 2013.

[7] Fu X , ZHUANG P , YUE H , et al. A retinex-based enhancing approach for single underwater image[C]// 2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP). IEEE, 2015.

[8] GALDRAN A , PARDO D , A Picón, et al. Automatic Red-Channel underwater image restoration[J]. Journal of Visual Communication & Image Representation, 2015, 26.

[9] 杨淼, 王海文, 胡珂, 等. 一种基于色彩补偿的水下图像综合增强算法[J]. 图学学报, 2021.

[10] 林森, 迟凯晨, 李文涛, 等. 基于优势特征图像融合的水下光学图像增强[J]. 光子学报, 2020, 49(3):13.

[11] 苗启广, 王宝树. 基于改进的拉普拉斯金字塔变换的图像融合方法[J]. 光学学报, 2007, 27(9):6.

[12] 马永强, 王顺利, 孙伟, 等. 基于高斯金字塔和拉普拉斯金字塔融合的图像对比度增强算法研究[J]. 信息与电脑, 2018(4):3.

[13] WENG C C , CHEN H , FUH C S . A novel automatic white balance method for digital still cameras[C]// IEEE International Symposium on Circuits & Systems. IEEE, 2006.

[14] 余胜威, 丁建明, 吴婷, 等. MATLAB 图像滤波去噪分析及其应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2015.

[15] C. LI, C. GUO, W. REN, R, et al. "An underwater image enhancement benchmark dataset and beyond," IEEE Trans. Image Process., vol. 29, pp.4376-4389, 2019.

[16] 郭继昌, 李重仪, 张艳, 等. 面向水下图像的质量评价方法[J]. 中国图象图形学报, 2017, 22(1):8.

[17] 孙杰. 基于图像融合的水下图像清晰化方法[J]. 兵器装备工程学报, 2019(9):5.

[18] WANG S , MA K , YEGANEH H , et al. A Patch-Structure Representation Method for Quality Assessment of Contrast Changed Images[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2015, 22(12):2387-2390.

[19] CHEN Y, LI Z, BHANU B, et al. Improve transmission by designing filters for image dehazing[C]. IEEE 3rd International Conference on Image, Vision and Computing (ICIVC), Chongqing, China, 2018:374-378.

[20] BAY H , TUYTELAARS T , GOOL L V . SURF: Speeded up robust features[C]// Proceedings of the 9th European conference on Computer Vision - Volume Part I. Springer-Verlag, 2006.

本篇小论文由两人合作小组完成，各自贡献如下：

张梦婷（1191200315）：寻找研究方向，查找相关文献资料，编写论文。

张晗（1191200416）：完成算法优化，实现优化后的代码并进行对比，编写论文。