

Problem A

Research on Underwater Image Enhancement in Complex Scenarios

复杂场景下的水下图像增强研究

For ocean exploration, clear and high-quality underwater images are crucial for deep-sea topography surveying and seabed resource investigation. **However, in complex underwater environments, the image quality deteriorates due to phenomena such as absorption and scattering of light during its propagation in water, resulting in blurriness, low contrast, color distortion, etc. These conditions are referred to as underwater image degradation. The main causes of underwater image degradation include light propagation loss in water, forward scattering and backward scattering effects, as well as the scattering effect of suspended particles on light [5].**

对于海洋探测而言,清晰、高质量的水下图像对于深海地形测量、海底资源调查等至关重要。然而,在复杂的水下环境中,光在水中传播时会受到吸收、散射等现象的影响,导致图像质量下降,出现模糊、对比度低、色彩失真等现象,这些情况被称为**水下图像退化**。水下图像退化的主要原因包括**光在水中传播损失、前向散射和后向散射效应以及悬浮颗粒对光的散射作用**[5]。

These factors collectively result in the loss of details and clarity during the transmission process of underwater images, affecting visual recognition and analysis.

这些因素共同导致水下图像在传输过程中细节和清晰度的损失,影响视觉识别和分析。



(a)

(b)



(c)

(d)

Figure 1. Schematic diagram of underwater image degradation, (a) shows green color cast, (b) shows blue color cast, (c) shows imaging blur, (d) shows insufficient light.

图 1.水下图像退化示意图，(a)表示绿色偏色，(b)表示蓝色偏色，(c)表示成像模糊，(d)表示光线不足。

The schematic diagram of the underwater imaging process is shown in Figure 2. According to the Jaffe-McGlamery underwater imaging model, **the underwater image captured by the camera can be represented as a linear combination of three components: direct component, forward scattering component, and backward scattering component [1].** Among them, the forward scattering component refers to the light that enters the imaging system after being scattered by suspended particles in water from target surface reflection or radiation. This component will cause blurring in the obtained image. The backward scattering component refers to the light that enters the imaging system after natural light entering water is scattered by suspended particles, resulting in low contrast in the obtained image. In general cases, due to close distance between objects and cameras, a simplified imaging model is used:

水下成像过程示意图如图 2 所示。根据 Jaffe-McGlamery 水下成像模型，相机拍摄到的水下图像可以表示为三个分量的线性组合：**直射分量、前向散射分量和后向散射分量**[1]。其中，**前向散射分量**是指由目标表面反射或辐射经过水中悬浮颗粒散射后进入成像系统的光，该分量会造成所得到图像的模糊。**后向散射分量**是指自然光进入水中经过悬浮颗粒散射后进入成像系统的光，导致所得到图像的对比度较低。一般情况下，由于物体与相机距离较近，采用简化的成像模型：

$$I(x) = J(x)t(x) + B(t(x)),$$

where $I(x)$ represents the degraded underwater image, $J(x)$ represents the clear image, B is the ambient light in the underwater environment, and $t(x)$ is the light transmission function of the underwater scene. The light transmission rate varies under different conditions. At the same time, the underwater ambient light also changes with factors such as depth and the turbidity of the water, all of which can lead to increased degradation of underwater images. 其中， $I(x)$ 表示水下退化图像， $J(x)$ 表示清晰图像， B 为水下环境光， $t(x)$ 为水下场景光透射函数。不同条件下光透射率不同，同时水下环境光也会随着深度、水体浑浊度等因素而变化，这些都会导致水下图像退化加剧。

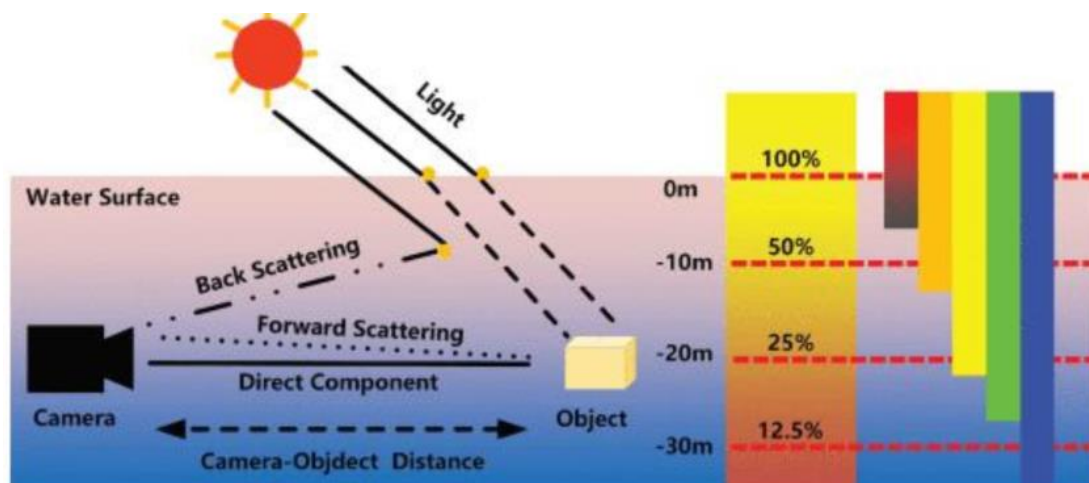


Figure 2. Conceptual diagram of underwater image degradation principle [6]
图 2.水下图像退化原理概念图[6]

Before performing enhancement and other processing operations on underwater images, it is necessary to conduct statistical analysis on the image to be processed, as shown in Figure 3. Image analysis generally utilizes mathematical models combined with image processing techniques to analyze underlying features and higher-level structures, thereby extracting intelligent information. For example, using a histogram can statistically analyze the distribution of colors in different channels of the image, while applying edge operators can provide clarity information about object contours in the image. These pieces of information help us classify images into different categories and propose targeted solutions for image enhancement.

在对水下图像进行增强等处理操作之前，需要对待处理的图像进行统计分析，如图 3 所示。图像分析一般是利用数学模型结合图像处理技术，分析底层特征和高层结构，从而提取智能信息。例如，利用直方图可以统计分析图像不同通道颜色的分布情况，应用边缘算子可以提供图像中物体轮廓的清晰度信息。这些信息有助于我们将图像分为不同的类别，并提出有针对性的图像增强解决方案。

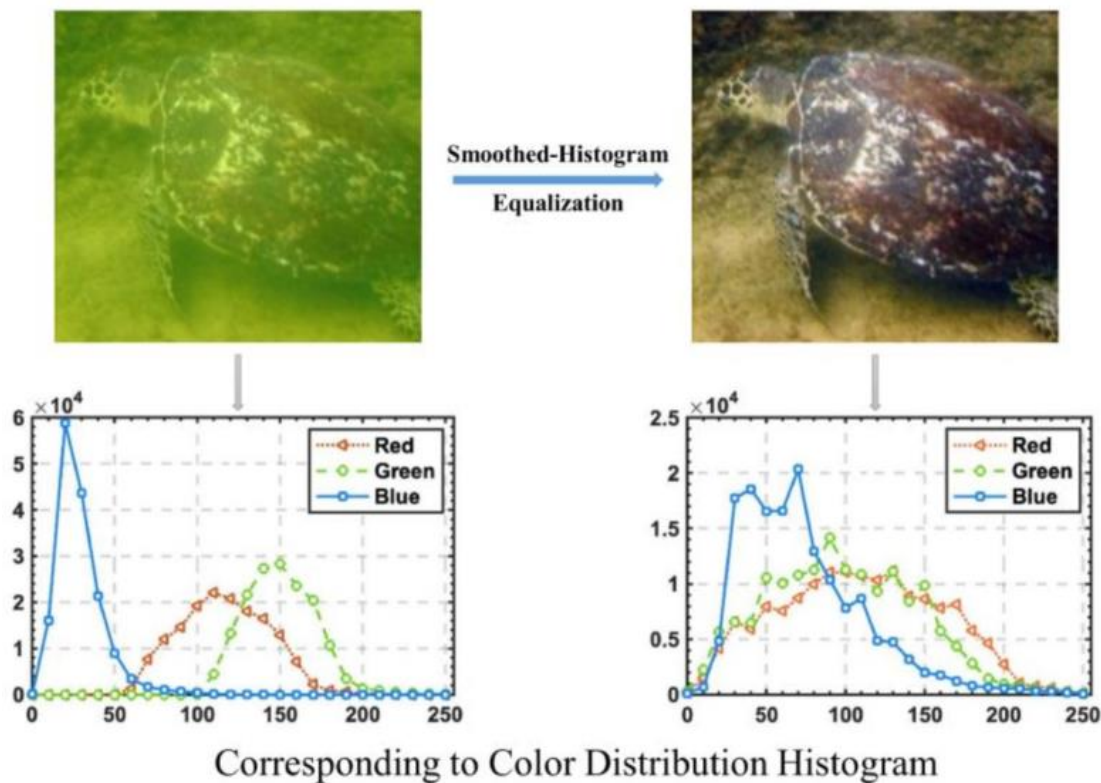


Figure 3. Color distribution curves of underwater images before and after using enhancement techniques, with each channel's distribution curve being more balanced and closer to each other, thus improving the visual effect [7].

图 3. 使用增强技术前后水下图像的色彩分布曲线，各通道的分布曲线更加均衡、更加接近，

从而提升了视觉效果[7]。

Underwater image enhancement technology is a technique that improves the quality of images captured in underwater environments by applying signal processing, image processing, and machine learning theories. **It aims to reduce problems such as image blur, color distortion, and decreased contrast caused by the absorption and scattering of light in water, thereby improving the visibility and clarity of underwater images.**

水下图像增强技术是应用信号处理、图像处理和机器学习等理论来改善水下图像质量的技术，旨在减少水中对光的吸收和散射所造成的图像模糊、色彩失真、对比度下降等问题，从而提高水下图像的可视性和清晰度。

Underwater image enhancement and restoration methods can be divided into **traditional methods and deep learning methods**. Traditional methods can be further categorized into **non-physical models and physics-based models**. Non-physical model methods improve visual quality by **directly adjusting the pixel values of images**, including **applying existing image enhancement methods and specially designed algorithms**. Physics-based model methods **model and estimate parameters to invert the degradation process of underwater images**. These methods can invert based on assumptions or prior knowledge, or they can use the optical properties of underwater imaging to improve the restored images. However, due to the complexity of underwater scenes, most existing methods cannot handle all scenarios. Therefore, an underwater scene enhancement algorithm tailored for complex scenarios is very important for subsequent tasks in underwater vision.

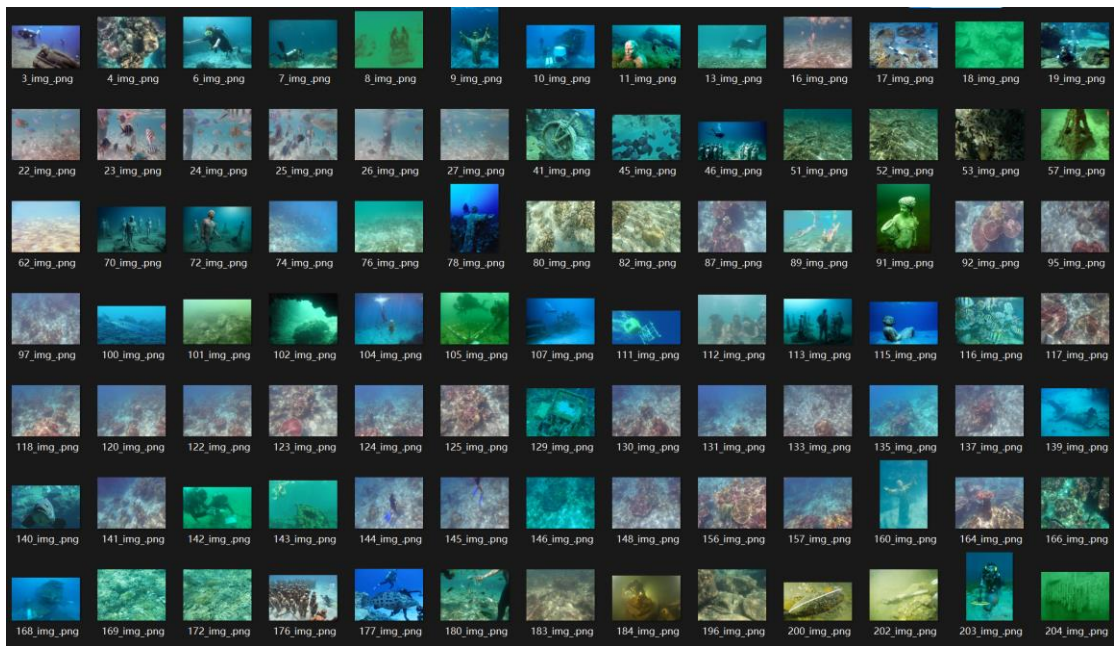
水下图像增强与复原方法可以分为传统方法和深度学习方法。传统方法又可以分为非物理模型和基于物理的模型。非物理模型方法通过直接调整图像像素值来改善视觉质量，包括应用现有的图像增强方法和专门设计的算法。基于物理的模型方法通过建模和估计参数来反演水下图像的退化过程。这些方法可以基于假设或先验知识进行反演，也可以利用水下成像的光学特性来改善复原的图像。但由于水下场景的复杂性，大多数现有方法无法处理所有场景。因此，针对复杂场景量身定制的水下场景增强算法对于水下视觉的后续任务非常重要。

To estimate the degree of underwater image degradation in different scenarios and provide targeted enhancement methods, please answer the following questions:

为了评估不同场景下水下图像退化的程度并提供有针对性的增强方法，请回答以下问题：

Question 1: Please use image statistical analysis techniques similar to those mentioned in the above text to perform multi-angle analysis on the underwater image provided in Attachment 1. Classify the image provided in Attachment 1 into **three** categories: **color cast, low light**, and **blur**, and fill in the filenames in the three positions in the "Answer.xls" attachment. Also, explain the reasons for such classification.

问题 1：请使用类似上文提到的**图像统计分析技术**，对附件 1 提供的水下图像进行多角度分析。将附件 1 提供的图像分为**偏色、弱光、模糊**三类，并在“Answer.xls”附件中三个位置填写文件名，并说明这样**分类的原因**。



除了文中提到的直方图和边缘算子，以下是一些常见的图像统计分析技术，这些技术可用于对水下图像或其他图像进行深入分析：

灰度共生矩阵（GLCM）

用于分析图像的纹理特征，通过统计像素灰度值之间的空间关系提取特征，例如对比度、能量、熵和相关性。

频域分析

通过傅里叶变换将图像从空间域转换到频域，分析图像的频率分布，例如低频区域用于检测整体亮度分布，高频区域用于检测边缘和纹理。

颜色空间转换与分析

将图像从 RGB 空间转换到其他颜色空间（如 HSV、Lab），分析亮度、饱和度和色调的分布，用于处理水下光照和色彩失真的问题。

梯度计算

利用梯度算子（如 Sobel、Prewitt、Scharr）计算图像的梯度强度和方向，以检测边缘清晰度和形状特征。

熵计算

图像熵用于量化图像中信息的复杂度。熵越高，表示图像信息越丰富，随机性越高。

小波变换

通过小波分解图像，分析其不同尺度的细节和纹理特征，用于检测图像的细节信息和去噪处理。

边缘分割和轮廓分析

应用 Canny、Laplacian 等边缘检测算子，通过统计物体轮廓的长度、面积或形状，获取图像中目标的结构信息。

光流分析

用于动态图像或视频中，统计像素的运动信息（如方向和速度），评估水下物体移动的轨迹。

直方图均衡化与统计

分析图像亮度值分布，检查亮度均匀性并评估对比度调整的效果。

图像特征点统计

通过特征点检测算法（如 SIFT、SURF、ORB）统计图像中的关键点密度和分布，用于评估图像质量或检测关键区域。

噪声分布分析

分析图像中的噪声类型（高斯噪声、椒盐噪声等）及其强度，确定去噪处理的必要性和方法。

形态学分析

使用数学形态学操作（如腐蚀、膨胀、开运算和闭运算）分析图像结构和目标物体的形态特征。

亮度对比分析

统计图像中明暗区域的分布比例，分析亮度对比度是否适合人眼感知。

一、检测 偏色 的技术

1. 颜色直方图分析

统计不同通道（R、G、B 或 HSV 空间中的 H 通道）的颜色分布，检查颜色是否集中在某一特定通道上。例如，偏蓝或偏绿色可能是水下图像常见的偏色情况。

2. 颜色空间转换与分析

转换到 Lab 或 YUV 颜色空间，分析亮度（L 通道）和色彩信息（a、b 通道）的偏移程度。Lab 颜色空间中的 a、b 分量可以直观反映色彩失衡。

3. 白平衡检测

计算图像中灰度均衡性是否异常，例如通过灰度世界假设 (Gray World Assumption) 检测整体色彩是否失衡。

4. 颜色饱和度检测

在 HSV 颜色空间中分析 S 通道分布。如果 S 值异常集中或过低，可能暗示偏色情况。

二、检测 弱光 的技术

1. 亮度直方图分析

分析图像灰度分布或亮度分布（Y 通道、L 通道或 HSV 的 V 通道）。当亮度值集中在低范围时，可以判定图像为弱光。

2. 对比度测量

使用亮度对比度公式（如对比度=亮度最大值与最小值的差值）检测整体对比度。弱光图像通常对比度较低。

3. 熵计算

弱光图像的信息熵较低，因为暗区像素分布单一，图像信息不丰富。

4. 伽马分布分析

检测亮度分布曲线是否偏向低值区域，低伽马值可能表明弱光问题。

5. 动态范围分析

检查图像的动态范围（即亮度值从最低到最高的跨度）。弱光图像动态范围通常较窄。

三、检测 模糊 的技术

1. 梯度分布统计

使用梯度算子（如 Sobel、Prewitt）统计图像中梯度值的分布情况。模糊图像通常梯度强度较低，边缘模糊。

2. 拉普拉斯方差分析

计算图像的拉普拉斯算子方差。如果方差值过低，说明图像的清晰度较差。

3. 频域分析

对图像进行傅里叶变换，分析高频分量的分布。模糊图像高频成分衰减显著。

4. 边缘检测结果统计

使用 Canny 或其他边缘检测算法统计边缘数量和清晰度。如果边缘数量明显减少或边缘较软，则可能是模糊图像。

5. 对比度梯度分析 (Contrast Gradient Analysis)

模糊图像的局部对比度梯度变化较小，清晰度低。

6. 视觉感知清晰度模型 (VSI)

通过视觉感知清晰度指数 (Visual Saliency Index) 分析图像模糊程度，模拟人眼感知。

将所有特征进行值计算出来，进行聚类算法。

K-means

基于距离的算法，将数据划分为 K 个簇，优化每个簇的均值（质心）与数据点之间的距离。适用于均匀分布的簇，但对噪声和非球形分布敏感。

DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)

基于密度的聚类算法，可以发现任意形状的簇，同时标记噪声点。需要设定两个参数：半径 ϵ 和最小点数 $MinPts$ 。

OPTICS (Ordering Points To Identify the Clustering Structure)

DBSCAN 的改进算法，通过排序的方式表示簇的层次结构，适合不同密度的簇。

HDBSCAN (Hierarchical DBSCAN)

密度聚类的层次化版本，能自动选择最佳簇的数量，处理噪声能力更强。

Question 2: Based on the types of degradation proposed in Question 1, using the underwater imaging model provided in the problem, construct an underwater scene image degradation model with the images attached. Analyze the degradation reasons of underwater images captured from different scenes [1] (including but not limited to color cast, low light, etc.). Analyze the similarities or differences of these degradation models (for example, categorize from perspectives such as color, lighting, clarity, etc.).

问题 2：基于问题 1 中提出的退化类型，利用问题中提供的水下成像模型，构建附有图像的水下场景图像退化模型。分析不同场景 [1] 拍摄的水下图像的退化原因（包括但不限于偏色、弱光等）。分析这些退化模型的相同点或不同点（例如，从颜色、光照、清晰度等角度进行分类）。

1. 偏色

偏色主要由水对不同波长光的吸收和散射导致。由于水对红光吸收更强、对蓝光吸收较弱，深水区域通常会出现偏蓝或偏绿色现象。

原因分析：

- 水深：光吸收随着水深增加，红光消失，绿光和蓝光主导。
- 水体成分：悬浮颗粒和有机物会改变光的散射特性。

- **环境光变化**：水下环境光随光源类型、光照强度和方向变化。

2. 弱光

弱光由环境光随深度衰减和光散射引起，导致整体亮度降低。

原因分析：

- **光照强度不足**：在深水或阴影区域，光线衰减较快。
- **后向散射分量**：增加了散射光线，导致环境光的有效亮度降低。
- **光透射率变化**：水体浑浊度降低了光传递到目标的能力。

3. 模糊

模糊通常是由前向散射引起的。光线被悬浮颗粒散射后进入成像系统，形成模糊的视觉效果。

原因分析：

- **悬浮颗粒的浓度**：颗粒密度增加会导致更多的前向散射。
- **物体与相机的距离**：距离越远，散射效应越显著，导致图像模糊。

$$I(x) = J(x) \cdot t(x) + B \cdot (1 - t(x))$$

$I(x)$ ：拍摄到的退化图像。

$J(x)$ ：无退化的真实场景图像。

$t(x)$ ：光透射函数，表示从场景到成像系统的光线透射率。受水深、浑浊度影响。

B ：环境光强度，随深度、水体条件改变。

具体退化类型的影响可以通过调整参数进行模拟：

1. **偏色**：在 $J(x)$ 中增加颜色吸收模型（对 R/G/B 三通道的光强分别进行非线性衰减）。

1. 偏色模拟

偏色主要由光吸收特性引起，水体对红光吸收最强，绿光次之，蓝光吸收最弱。偏色可以通过调整不同通道的光吸收和衰减参数进行模拟。

参数调整：

光吸收模型：

模拟光吸收时对 RGB 三个通道分别施加指数衰减：

$$J_c(x) = J_c(x) \cdot \exp(-\beta_c \cdot d)$$

其中：

$J_c(x)$ 为第 c 个颜色通道 (R、G、B) 的原始强度。

β_c 为对应颜色通道的吸收系数，控制吸收强度（通常： $\beta_R > \beta_G > \beta_B$ ）。

d 为场景与相机之间的距离。

颜色校正：

偏色可通过增加或减少某个通道的相对强度来模拟：

$$J'(x) = J(x) \cdot M$$

其中 M 是颜色校正矩阵，用于模拟不均匀偏色。

调整效果：

浅水偏蓝/偏绿： 加大红光吸收系数 β_R ，减小蓝光吸收系数 β_B 。

深水偏蓝： 增大 β_R 和 β_G ，保留蓝光的强度。

2. **弱光：** 降低环境光 B 的强度，同时调整透射率 $t(x)$ 使整体亮度衰减。

弱光表现为整体亮度降低，常由环境光衰减、后向散射等引起。弱光退化可以通过调整环境光强度 B 和透射率 $t(x)$ 来模拟。

参数调整：

环境光 B ：

降低环境光强度 B 的值来模拟光线不足的场景：

$$I(x) = J(x) \cdot t(x) + B \cdot (1 - t(x))$$

当 B 较小时，图像整体亮度降低。

光透射函数 $t(x)$ ：

光透射率 $t(x)$ 描述光线从物体表面到相机的传递效率，受水深 d 和悬浮颗粒浓度影响：

$$t(x) = \exp(-\eta \cdot d)$$

η 为衰减系数，受水体浑浊度影响（浑浊水体中 η 较大）。

d 为场景深度。

非均匀光照：

模拟光源非均匀性，可以设置 $t(x)$ 和 B 的局部变化：

$$t(x) = \exp(-\eta \cdot d(x)) \cdot g(x)$$

其中 $g(x)$ 为光强的局部变化函数（如高斯函数）。

调整效果：

浅水弱光： 适当降低 B 值。

深水弱光： 同时降低 B 和 $t(x)$ ，并增大 η 。

非均匀弱光： 设置 B 为局部变化，如模拟光源照射范围外的暗区。

3. **模糊：** 加入基于前向散射的点扩散函数 (PSF)，模拟悬浮颗粒散射导致的模糊效果。

3. 模糊模拟

模糊是由前向散射引起的，光经过水体颗粒散射进入相机，导致图像边缘模糊。模糊可以通过引入点扩散函数（PSF）模拟。

参数调整：

点扩散函数（PSF）：

模拟前向散射，将原始图像与 PSF 卷积，得到模糊图像：

$$I_{blur}(x) = J(x) * PSF(x)$$

$PSF(x)$ 通常为高斯分布：

$$PSF(x) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2}\right)$$

其中 σ 为模糊程度参数，与悬浮颗粒浓度相关。

距离对散射的影响：

模拟散射增强随距离增加的模糊效果，通过设置距离相关的 $PSF(x, d)$ ：

$$PSF(x, d) = \frac{1}{2\pi\sigma(d)^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2\sigma(d)^2}\right)$$

其中 $\sigma(d) = \sigma_0 + \alpha \cdot d$ ， α 表示距离对模糊的增强程度。

调整效果：

浅水模糊：设置较小的 σ ，模拟轻微散射。

深水模糊：增大 σ 和 α ，模拟高密度散射。

局部模糊：设定空间变化的 $\sigma(x)$ ，例如模拟局部区域清晰、远处模糊。

Question 3: Based on the underwater scene image degradation model established in Question 2, propose an underwater image enhancement method tailored for a single scene (such as color cast, blur, low light), and validate the proposed enhancement method using the image data provided in the attachment. **Include the enhanced results of the test images from Attachment 2 and their corresponding evaluation metrics in the paper, calculate and present the PSNR, UCIQE, UIQM, and other evaluation metrics for the output images, and fill them in the table Attachment 1 results provided in "Answer.xls".**

问题 3：基于问题 2 中建立的水下场景图像退化模型，提出针对单一场景（如偏色、模糊、弱光）量身定制的水下图像增强方法，并使用附件中提供的图像数据验证所提出的增强方法。将附件 2 中的测试图像的增强结果及其对应的评价指标纳入论文中，计算并呈现输出图像的 PSNR、UCIQE、UIQM 等评价指标，并填入“Answer.xls”中提供的附件 1 结果表格中。

增强方法：基于颜色校正与光照补偿的多阶段方法

步骤 1: 颜色校正

通过对红光 (R)、绿光 (G)、蓝光 (B) 三通道进行非线性调节, 恢复被水吸收的光信息。

光吸收模型补偿:

使用指数模型对 R 通道进行增益补偿:

$$R'(x) = R(x) \cdot \exp(\beta_R \cdot d)$$

$$G'(x) = G(x) \cdot \exp(\beta_G \cdot d)$$

$$B'(x) = B(x) \cdot \exp(\beta_B \cdot d)$$

其中:

$\beta_R, \beta_G, \beta_B$ 为吸收补偿系数, 控制每个通道的增强程度。

d 为估算的水深, 可通过图像的蓝色分量比例近似估算。

动态白平衡:

利用灰度世界假设, 调整每个通道的平均值, 使得整体颜色均衡:

$$I'_c(x) = \frac{I_c(x)}{\mu_c} \cdot \mu_{avg}$$

其中:

$I_c(x)$ 为每个通道的像素值。

μ_c 为每个通道的平均值。

μ_{avg} 为所有通道的平均值。

步骤 2: 光照补偿

由于偏色往往伴随亮度不足, 需对光照进行补偿。

对比度受限直方图均衡化 (CLAHE) :

对亮度通道 (如 HSV 色彩空间的 V 通道) 进行局部对比度增强:

$$V'(x) = CLAHE(V(x))$$

伽马校正:

对整个图像亮度进行非线性增强, 补偿弱光区域:

$$I'(x) = I(x)^\gamma$$

其中 $\gamma \in (0, 1)$ 控制增强强度。

步骤 3: 颜色平滑与视觉优化

偏色校正后可能会引入噪声或颜色不一致问题，通过颜色平滑和优化进一步提升视觉效果。

高斯滤波器:

对 RGB 各通道进行平滑处理，消除因局部颜色校正引入的伪影:

$$I_s(x) = I'(x) * G(x, \sigma)$$

其中 $G(x, \sigma)$ 为高斯滤波器, σ 控制平滑强度。

视觉对比度优化 (Retinex) :

使用多尺度 Retinex 算法提高颜色对比度和细节:

$$I_{retinex}(x) = \log(I'(x)) - \log(I'(x) * G(x, \sigma))$$

偏色校正:

- 使用光吸收补偿模型恢复不同波长的光信息。
- 动态白平衡增强整体颜色均衡性。

亮度补偿:

- CLAHE 和伽马校正提高暗区域的亮度和对比度。

视觉优化:

- 高斯滤波器和 Retinex 进一步平滑颜色过渡，并增强细节。

Question 4: The modeling adaptability of existing underwater image enhancement models varies across different scenarios. Please, in conjunction with the above question and the images provided in the attachment, propose an underwater image enhancement model tailored for complex scenarios (**e.g., a non-physical model, references [2]-[5] may be consulted**). This model should be capable of enhancing underwater image degradation issues across a variety of complex scenes. **Include the enhanced results of the test images from attachment 2 and their corresponding evaluation metrics in the paper for display**, calculate and output the PSNR, UCIQE, UIQM, and other evaluation metrics of the output image, and **fill them in the table Attachment 2 results provided in "Answer.xls"**.

问题 4: 现有的水下图像增强模型在不同场景下的建模适应性存在差异。请结合上述问题和附件中提供的图像，提出一种针对复杂场景的**水下图像增强模型**（例如**非物理模型**，可参考文献[2]-[5]），该模型应能够增强多种复杂场景下的水下图像退化问题。将附件 2 中测试图像的增强结果及其对应的评价指标纳入论文展示，计算并输出输出图像的 PSNR、UCIQE、UIQM 等评价指标，并填入“Answer.xls”中附件 2 结果表格中。

提出一种**联合优化网络** (Joint Optimization Network, JONet)，包括以下模块:

1. **多通道特征提取模块 (MCFE)**
用于捕获不同通道的颜色、纹理和亮度特征。
2. **全局与局部增强模块 (GLE-LFE)**
用于处理光照不均和局部模糊问题。
3. **多任务损失函数 (MTL)**
联合优化图像的颜色校正、对比度增强和清晰度。

模型详细设计

1. 输入输出与预处理

输入：水下退化图像 $I(x)$ 。

输出：增强后的图像 $I'(x)$ 。

预处理：将图像转换到 Lab 或 HSV 颜色空间，以显式分离亮度与颜色特征，便于增强。

2. 网络结构设计

(1) 多通道特征提取模块 (MCFE)

使用浅层 CNN 提取颜色和亮度特征。

通道划分：

F_c : 颜色特征 (Lab 中的 a 和 b 通道)。

F_l : 亮度特征 (Lab 中的 L 通道)。

F_t : 纹理特征, 通过高斯差分滤波器或 Sobel 算子提取。

具体操作：

$$F = \text{Conv}([I_c, I_l, I_t])$$

其中 F 是多通道特征图。

(2) 全局与局部增强模块 (GLE-LFE)

全局增强 (GLE):

基于 U-Net 结构, 捕捉全局信息, 适应光照不均和整体颜色偏差。

跳跃连接确保颜色特征的高分辨率保持。

局部增强 (LFE):

使用注意力机制 (如 CBAM 或自注意力), 对局部模糊区域进行精细化增强。

输入 F 特征后, 计算注意力图 A :

$$A = \text{softmax}(\text{Conv}(F))$$

最终增强:

$$F' = A \odot F$$

(3) 融合与重建模块

将全局增强特征 F_{gle} 和局部增强特征 F_{lfe} 融合:

$$F_{fusion} = \text{Conv}([F_{gle}, F_{lfe}])$$

使用反卷积操作或 Pixel Shuffle 还原增强后的图像。

3. 损失函数设计

采用多任务损失函数 \mathcal{L}_{total} ，以保证颜色、亮度和清晰度的综合优化：

$$\mathcal{L}_{total} = \lambda_1 \mathcal{L}_{color} + \lambda_2 \mathcal{L}_{contrast} + \lambda_3 \mathcal{L}_{sharpness}$$

颜色校正损失 (\mathcal{L}_{color}): 使用色差 (ΔE) 指标，计算增强图像与参考图像的颜色差异：

$$\mathcal{L}_{color} = \|\Delta E(I', I_{ref})\|$$

对比度损失 ($\mathcal{L}_{contrast}$): 通过增强图像的对比度直方图与参考直方图的匹配度计算损失：

$$\mathcal{L}_{contrast} = \|H(I') - H(I_{ref})\|$$

清晰度损失 ($\mathcal{L}_{sharpness}$): 使用拉普拉斯梯度方差来衡量图像的清晰度差异：

$$\mathcal{L}_{sharpness} = \|\text{Var}(\nabla^2 I') - \text{Var}(\nabla^2 I_{ref})\|$$

$\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$: 权重系数，根据具体场景动态调整。

训练数据: 使用公开水下图像数据集（如 UIEB 数据集）和生成的合成退化图像。

训练过程:

- 数据增强：包括模拟偏色、弱光和模糊退化。
- 优化器：使用 Adam 优化器，学习率设置为 10^{-4} 。

推理过程: 输入退化图像，直接输出增强图像 $I'(x)$ 。

水下场景数据集 Underwater Datasets

license Anti 996 link 996.icu

[English](#) | 简体中文

本仓库主要用来整理水下场景的数据集，尽可能详细的包含现有开源的水下数据集，如果您发现您知道的开源的水下数据集没有包含在我们的仓库中，并且如果您愿意分享它，您可以提一个issues方便我们将数据集进行添加，或者通过邮箱和我们进行联系：

@辛志超同学 xinzichao@stu.ouc.edu.cn. [\[Github\]](#)

@郑自强 zhengziqiang1@gmail.com. [\[Github\]](#)

Question 5: Compare various enhancement techniques for specific scenarios with a single enhancement technique for complex scenarios, and propose feasibility suggestions for underwater visual enhancement in practical applications.

问题 5：将针对特定场景的各种增强技术与针对复杂场景的单一增强技术进行比较，并提出水下视觉增强在实际应用中的可行性建议。

Appendix:

Underwater image evaluation metrics:

PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio), UCIQE (Underwater Color Image Quality Evaluation), and UIQM (Underwater Image Quality Measure) are crucial indicators used to assess image quality.

Below is a comprehensive description of the calculation methods for these three metrics.

PSNR (Peak signal-to-noise ratio) :

PSNR is an objective standard for measuring image quality, which calculates the mean square error (MSE) between the original image and the processed image, and converts it into decibel units to measure image quality.

UCIQE (Underwater Color Image Quality Evaluation) :

UCIQE [9] is a linear combination of color density, saturation, and contrast, used to quantitatively evaluate the non-uniform color cast, blurriness, and low contrast in underwater images. It is an image quality assessment metric that does not require a reference (ground truth) image. The specific definition is as follows:

$$UCIQE = c_1 \times \sigma_c + c_2 \times con_l + c_3 \times \mu_s$$

Among them, σ_c represents the chromaticity standard deviation, con_l represents brightness contrast, and μ_s represents average saturation. c_1 , c_2 , and c_3 are weighting coefficients. As mentioned above, there is a good correlation between chromatic variance and human perception for underwater color images of interest. Using chromatic differences to describe color bias also has other reasons.

UIQM (Underwater Image Quality Measure) :

UIQM [8] is an evaluation index that comprehensively considers attributes such as colorfulness, sharpness, and contrast of underwater images. The calculation formula is:

$$UIQM = c_1 \times UICM + c_2 \times UISM + c_3 \times UIConM,$$

where UICM, UISM, and UIConM represent the measurements of colorfulness, sharpness, and contrast of underwater images respectively. c_1 , c_2 , and c_3 are the weighting coefficients.

附件:

附件: <https://pan.baidu.com/s/1tXeoIDvxsGbIQ42obLf5xw?pwd=2024> 代码: 2024

附件:

水下图像评价指标:

PSNR (峰值信噪比)、UCIQE (水下彩色图像质量评价) 和 UIQM (水下图像质量测量) 是作为水下图像质量的关键指标。下面是对这三个指标的计算方法的综合描述。

PSNR (峰值信噪比):

PSNR 是测量图像质量的客观标准, 它计算原始图像与处理图像之间的均方误差 (MSE), 并将其转换为分贝单位来测量图像质量。

UCIQE (水下彩色图像质量评估):

UCIQE [9] 是色密度、饱和度和对比度的线性组合, 用于抗评价不均匀着色、模糊和低浓度的图像。它是一个图像质量评估指标, 不需要使用一个参考 (基础真相) 图像。具体定义如下:

$$UCIQE = c_1 \times \sigma_c + c_2 \times \text{同组} + c_3 \times \mu$$

其中, σ_c 表示染色度标准差, conl 表示亮度对比度, μ_s 表示平均饱和度。 c_1 、 c_2 和 c_3 是加权系数。如上所述, 对感兴趣的水下彩色图像, 在色差与人类感知之间存在着很好的相关性。用色差来描述颜色偏差也有其他原因。

UIQM (水下图像质量测量系统):

UIQM [8] 是一种综合考虑色彩、清晰度、图像对比度等属性的评价指标。计算公式:

$$UIQM = c_1 \times UICM + c_2 \times UISM + c_3 \times UIConM,$$

其中, UICM、UISM 和 UIConM 分别表示污水图像的色度、清晰度和对比度的 m 变化。 c_1 、 c_2 和 c_3 是加权系数。