文本

描述已自动生成

水下图像增强与重构技术研究及应用

摘要：基于自然光拍摄的水下图像由于受拍摄时环境中诸多因素的影响，不可避免的出现程度各异对比度与色彩失真的现象，进一步导致图像清晰度不足、图像价值密度降低、图像分析难度提升等问题，这对以提高水下图像质量的图像增强技术提出了具有现实意义的需求。基于此，本研究围绕水下图像清晰化处理为核心研究内容，构建了基于数学形态学的水下图像暗通道提取算法、基于RGB-Lab空间融合的水下图像颜色修正算法、基于改进暗通道的水下图像对比度增强算法，实现了在多种评判标准下水下图像的有效增强。

本研究主要研究工作包括：

（1）针对传统暗通道提取方法中亮度和广度分布估计不恰当导致的清晰度提升不足的问题，提出了一种基于数学形态学的水下图像暗通道提取算法。利用数学形态学中的结构元素，准确地提取图像RGB三通道的突出特征点分布区，根据分布图得到RGB三通道的增强参数，进而提取出图像暗通道。

（2）针对色彩偏差较大的水下图像的失真问题，提出了一种基于RGB-Lab空间融合的水下图像色彩修正算法。在矩阵基础上实现RGB色彩空间向Lab色彩空间的转换，利用清晰图像Lab通道的统计特性对水下图像进校正处理，并通过拉伸处理后的RGB通道得到色彩相对更加均匀分散的调整图像。

（3）针对暗通道增强算法对水下光波衰减率敏感的问题，提出了一种基于改进暗通道的水下图像对比度增强算法。基于数学形态学算法所提取的的暗通道，对经RGB-Lab融合空间色彩修正算法处理后的图像采用暗通道增强算法进行处理，在色彩修正后的水下图像的基础上得到对比度增强的水下图像。

关键词：水下图像；数学形态学；色彩空间；暗通道增强；图像增强；

目录

1. 绪论

1.1项目项目研究背景及研究意义

泛珠三角区域是我国最具活力的经济带之一，域内拥有丰富的海洋和水产资源。当前粤港澳大湾区建设上升为国家级规划，给予了本地发展海洋经济的巨大潜力与重要责任。随着信息技术的飞速发展，海洋经济发展对水下物体准确辨识测量和高清晰度水下环境的实时观测及地图引导技术提出了大量需求。水下成像技术为海洋勘探提供了可视化、高质量的信息，是各种相关的水下开发技术的“眼睛”，为未来可持续能源发展提供了至关重要的助力。水下成像及相关辨识测量技术对于区域内近海海域资源探测、利用以及海产品保护、养殖等方面具有关键性技术支撑作用，为了顺应局域海洋经济发展的需求，迫切需要相关技术的专业化研发与系统应用。

相比于一般环境成像，由于在各种水下环境中不同深度和浓度水体对不同波长光的吸收率不同，各种不同大小、浓度的悬浮微粒和浮游生物对光的散射，形成了水下图像退化原因的多样性，同时也提出了对水下退化图像恢复方法多样性的要求。

在水中传播时，波长较长的光比波长较短光衰减的更快。可见光波段，有较长波长的红光首先在水下4-5米处被吸收殆尽，波长较短的绿光可传播至水下20多米处，而波长最短的蓝光传播到了水下五十米处才完全消失。不同深度水体对不同波长光的吸收不同是影响水下成像质量的重要因素之一。

目前，嵌入式视觉图像处理系统与光学系统相结合，可以设计出具有实时性、小型化和低功耗性能的高效视觉系统。其中，基于智能相机的水下高清晰度成像已经成为关键可行技术。但是实际应用中，由于水下测量过程环境光照影响，水体散射效应，光学系统衍射效应以及被测物体表面反射光等在成像过程中的噪声污染，都会对被测目标图像识别过程和成像清晰度产生显著影响，相关技术问题需要进一步深入研究和解决。

本项目通过对水下物体图像增强技术的算法组合设计的研究，有效改善水下成像技术由于环境因素造成的水下图像退化问题。从图像增强算法方面入手提高水下图像信噪比、色彩分布、对比度等关键信息的质量。

本项目最终研究结论可广泛应用于海水环境下成像过程，满足各类海洋作业与数据分析对增强水下图像的需求。同时形成可推广的工业应用技术方案，为产业化技术应用实施做好技术准备。

1.2国内外研究进展

根据水下图像增强处理方式，现有的水下图像增强方法可分为图像对比度增强方法、基于成像模型的图像复原方法、基于变换域的图像增强方法等，常用方法如下：

（1）图像对比度增强算法。该算法不考虑图像的成像原理，直接对图像像素点强度进行变换处理，达到提高图像清晰度和对比度的效果，即：算法只依赖于图像本身，不关心成像环境或成像机理。

（2）基于变换域的图像增强方法。该方法通过非线性变换将图像从空域转换到频域，在频域中采取适合的技术手段抑制图像的噪声等低频分量信息，增强图像的细节等高频分量信息，从而实现提高图像清晰度的效果。

（3）基于成像模型的图像复原方法。该方法针对水下图像成像过程，构建适用于水下环境的成像模型以恢复清晰图像。光在水下的传播过程中，水分子及其他悬浮颗粒对其产生散射效应，导致水下图像出现清晰度不足、对比度较低、细节模糊等问题，与雾天环境下成像质量低的原因相似。同时，不同波长的光线在水下环境中的衰减率存在差异，导致水下图像呈现出明显的色彩失真问题。基于此，研究人员尝试将水下波长衰减特性与基于雾天成像模型的图像复原方法相结合用于水下图像处理。

1.3项目研究目标及内容

1.3.1研究目标

本项目基于数学形态学理论、RGB-Lab色彩空间和暗通道增强算法，开展水下图像暗通道提取、色彩修正和对比度提高方法与理论研究。目标为解决水下环境因素导致的水下图像不清晰、色彩失真等技术难题，提高水下图像的质量，为海洋领域的研究与开发提供更加可靠和有效的数据。

1.3.2项目研究内容

根据项目研究目标，本项目主要研究内容包括：

（1）基于数学形态学的水下图像暗通道提取算法，解决传统暗通道提取方法中亮度和光度分布估计不恰当导致的清晰度提升不足的问题。利用数学形态学中的结构元素，准确地提取图像RGB三通道的突出特征点分布图，根据分布图得到RGB三通道的增强参数，进而提取出图像暗通道。

（2）基于RGB-Lab空间融合的水下图像色彩修正算法，解决水下图像色彩失真的问题。在矩阵基础上实现RGB色彩空间向Lab色彩空间的转换，利用清晰图像Lab通道的统计特性对水下图像进校正处理，并通过拉伸处理后的RGB通道得到色彩相对更加均匀分散的调整图像。

（3）基于改进暗通道的水下图像对比度增强算法，暗通道增强算法对水下光波衰减率敏感的问题。基于数学形态学算法所提取的的暗通道，对经RGB-Lab融合空间色彩修正算法处理后的图像采用暗通道增强算法进行处理，在色彩修正后的水下图像的基础上得到对比度增强的水下图像。

1. 理论基础

2.1水下图像成像原理

水下可见光成像受光线衰减、水的折射、悬浮微粒与浮游生物对光的散射等因素影响，所得图像与常见图像在视觉效果上有较大差异。当光线由空气射入水中，由于水面对光线的反射和折射作用，一部分光线被反射到水面之上，一部分光线被折射到水中。折射到水中的折射光线将在水中传播，由于水对光线的吸收作用和散射作用，将导致折射到水中的折射光线强度随深度增加而逐渐衰减，直至消失。

波长不同的光线在水中衰减的程度存在区别：波长越长，光线每单位深度的衰减程度越高。故在水中折射光线实际传播过程中，红光随着深度增加率先衰减至消失，绿光次之，蓝光最后消失。因而导致了水下图像呈现出较高程度的R通道分量缺失现象，使得水下图像色彩偏差较大。

水下环境成像模型由Jaffe于1990年提出。根据Jaffe提出的水下环境成像模型理论，拍摄设备接受的光线主要包括直接传播光、前向散射光和后向散射光三部分。

直接传播光指在水中未经水或其他微粒散射，直接被拍摄物体反射到拍摄设备的光线。因此，直接传播光在传播过程中仅需要考虑光线的衰减作用，并已知光线强度的衰减程度与传播距离存在指数关系。

前向散射光是指被拍摄物体所反射的反射光在传播过程中，由于水与其他微粒对光的散射作用，导致光线偏离入射方向并向其余多个方向散射，这些散射光线仍会被拍摄设备所捕捉。前向散射光会导致获取的水下图像出现模糊、清晰度不足的问题。

后向散射光是指环境中的背景光在经过水和微粒等散射后，被拍摄设备所捕捉到的光线。

综上所述，水下图像由直接传播光、前向散射光和后向散射光三部分光线线性叠加组成。其中前向散射光主要影响图像清晰度，后向散射光主要影响图像对比度及色彩偏差。结合水下图像直方图分布可以得出，水下图像主要存在以下问题：

（）色彩偏差。红光在水中的传播时衰减较大，绿光次之，蓝光最后衰减至消失，导致水下图像R通道分量严重缺失，所得水下图像呈现出明显的蓝绿色调。

（）对比度低，细节信息不足。拍摄设备捕捉的散射光引入了大量的噪声，导致水下图像呈现出清晰度不足、模糊度高的效果。

2.2传统图像增强处理方法

2.2.1直方图均衡化方法

直方图均衡化方法作为一种简单有效的图像清晰化技术，被广泛应用于图像增强领域。其作用原理为：利用直方图分布对图像中每个像素灰度值进行调整，能够实现对像素灰度值取值范围较窄的图像的对比度调节，从而达到增强图像的目的。采用直方图均衡化，能够有效提高像素间灰度差值的动态范围，进而达到增强图像整体对比度的效果。

2.2.2 基于暗通道先验知识的图像去雾算法

基于暗通道的先验知识去雾算法是一种典型的基于物理模型的图像增强算法，该算法基于雾天成像过程的特性，结合大气散射成像原理与相关先验知识，在原有图像的基础上逆向重构清晰化的图像。光的衰减和空气粒子对光的散射作用是雾天成像质量的主要影响因素。

通过对大量无雾清晰图像特征的统计，He等人提出：在无雾清晰图像的非高粱区域，某些特殊像素至少有一个颜色通道分享具有较低的、接近于零的灰度值，这些像素被称为暗原色。

在细化透射率后，该算法将取暗原色通道分量前0.1%的像素点在原图中亮度最大的值作为大气光值，并通过大气散射模型重构最终的清晰化图像。

1. 基于数学形态学的暗通道提取

3.1研究目标

本章所提出方法主要针对传统暗通道提取方法中亮度和光度分布估计不恰当导致的清晰度提升不足的问题：

（1）颜色通道提取与评估方法。水下成像由于受环境中多种因素影响，所得水下图像均存在不同程度的颜色通道分布不均匀的现象，导致水下图像出现模糊、细节丢失等问题。颜色通道提取与评估基于RGB色彩空间，通过分别评估分离的R、G、B色彩通道分量评估各通道的明暗度，用于在后续步骤中判断如何对不同色彩通道图像进行数学形态学计算。

（2）细节保留与增强方法。由于水下图像颜色通道分布不均匀的特性，不同颜色通道所存有的细节质量并不相同，导致水下图像出现细节过度明显或细节过度不明显的问题。细节保留与增强方法基于各通道明暗度的差别，采用数学形态学中的腐蚀或膨胀运算对不同色彩通道分量进行区别处理，实现对明显细节的保留、对不明显细节的增强。

3.2通道的提取与评估

本项目主要针对RGB图像进行处理，因此需要分别提取R、G、B色彩通道分量，随后进行进一步的评估。本节将对RGB色彩空间进行进行简单介绍，并在此基础上对颜色通道评估方法进行详细分析。

3.2.1 RGB色彩空间

RGB色彩空间是由红、绿、蓝三基色作为坐标系形成的色彩空间。是领域内最基本的、应用最广泛的、面向硬件的色彩空间。RGB色彩空间由R、G、B三通道分量构成，取值范围均为[0, 255]，通道分量的取值越大，则说明该通道色彩在图像中的亮度越高。RGB色彩空间模型如图3-1所示。



根据水下成像原理可知，由于红光、绿光和蓝光在水下传播时的衰减率各不相同，进而导致水下图像易出现R通道缺失的问题。

3.2.2 颜色通道提取与评估

1. 基于RGB-Lab融合的水下图像颜色修正

4.1研究目标

本章所提出方法主要针对水下图像增强处理过程中的颜色修正及亮度优化问题：

（1）颜色修正。由于水下环境的特殊性，使得获取的原始水下图像存在明显的色彩失真现象。颜色修正即在RGB色彩空间与Lab色彩空间内基于原始水下图像统计特征对水下图像进行处理，解决图像颜色失真问题，目标还原场景真实色彩，主要包括颜色校正与拉伸。

（2）亮度优化。颜色修正处理有效的提升了水下图像的质量，但所得图像的整体亮度偏低。亮度优化处理就是在Lab空间内基于Retinex原理，对亮度通道分量L进行优化处理并重组，随后将其转换到RGB色彩空间，达到优化图像视觉效果的目的。

4.2 RGB-Lab色彩空间转换

由于颜色修正与亮度优化两部分均需在Lab色彩空间内进行，随后转换到RGB色彩空间以待进一步处理，本节将对RGB色彩空间与RGB色彩空间进行简单介绍，并在此基础上对RGB色彩空间和Lab色彩空间的转换原理及方法进行详细阐述，作为本章方法的理论基础。

4.2.1 RGB色彩空间与Lab色彩空间

RGB色彩空间是由红、绿、蓝三基色作为坐标系形成的色彩空间。是领域内最基本的、面向硬件的色彩空间。RGB色彩空间由R、G、B三通道分量构成，取值范围均为[0, 255]。

Lab色彩空间是一种基于生理特征的色彩空间，通过数字化的方法对人的视觉接收进行描述，实现对基于人眼的色彩差异的量化统计。Lab色彩空间中的L、a、b通道分量分别表示像素的亮度、红色到绿色的色彩范围、黄色到蓝色的色彩范围，取值范围分别为[0, 100]、[127, -128]、[127, -128]。

4.2.2 RGB色彩空间向Lab色彩空间转换

RGB色彩空间必须通过XYZ矩阵向Lab色彩空间转换，转换公式如 所示。



其中



根据上式可得出RGB色彩空间与XYZ矩阵的转换关系。



其中



在此基础上，RGB色彩空间便可进一步转换为Lab色彩空间，转换公式如 所示。



其中



4.2.2 Lab色彩空间向RGB色彩空间转换

Lab色彩空间向RGB色彩空间的转换时同样需要借助XYZ矩阵完成。Lab色彩空间转换为XYZ矩阵的公式如 所示。



其中



将其代入 中，便可实现XYZ矩阵向Lab色彩空间的转换。XYZ向Lab色彩空间的转换如 所示。



4.3水下图像颜色修正

1. 基于改进暗通道的水下图像对比度增强算法
2. 总结

6.1项目总结

本项目主要围绕增强在水下环境拍摄所得的色彩失真、对比度较低水下图像展开研究与开发，从图像处理的多个方向对项目进行推进，提出并实现了一个由多种算法和方法结合而成的水下图像增强流程，本项目主要工作内容包括：

（）对本项目背景与意义进行了简要概述，结合国内外有关水下图像处理的研究现状，明确了本项目的研究内容与研究目的。根据本项目的背景，对水下成像模型及相关工作的必要性进行了简要论述，并基于此对水下图像增强技术的实现进行主要影响因素分析，结合国内外研究现状，对现有技术的不足进行了总结，并进一步构建了项目开发技术路线。

（）针对水下图像色彩失真问题

（）针对水下图像清晰度不足问题

参考文献