

水下图像增强关键技术的研究

杨婷婷 贾树文

三亚学院 信息与智能工程学院 海南 三亚 572022

摘要: 文章概述了水下图像增强的关键技术及其在应用研究中的应用。首先讨论了去除散射和噪声的技术,包括散射模型建立、多帧图像融合和自适应滤波器等方法,用于减少散射和噪声对水下图像的影响。其次介绍了色彩校正技术,通过建立水下光传输模型或使用参考图像进行色彩校正,恢复水下图像的真实颜色信息。对比度增强技术被用于提高水下图像的对比度,包括直方图均衡化、拉普拉斯变换和对比度拉伸等方法,以增加细节的可见性。此外,图像恢复和重建技术和水下目标检测与跟踪技术也被广泛研究和应用,以提高水下图像的清晰度和目标辨识能力。最后,三维重建和场景理解技术被应用于水下环境中,可通过增强水下图像来实现对地形、物体分布和生态系统等信息的理解。综上所述,水下图像增强技术的应用研究在改善水下图像质量和实现水下信息获取方面具有重要意义。

关键词: 水下图像增强、散射去除、色彩校正、对比度增强

随着海洋信息处理的理论与技术的研究备受人们的关注,水下成像技术被广泛应用于水下目标检测、海洋地理工程勘察以及海洋军事等领域之中,同时水下成像技术在海洋探测和开发中的应用也不断深化。水下图像增强是提高水下图像质量和可视化能力的关键技术,对于水下勘探、海洋科学研究和水下工程等领域具有重要意义。

水下图像增强是一项重要的技术,用于改善水下图像的可视化质量和信息获取能力。

1 去除散射和噪声技术

水下环境中的散射和噪声会导致图像质量下降和细节丢失。去除散射和噪声是水下图像增强中的一个重要研究方向。

去除散射技术主要通过建立散射模型,对散射光进行建模和分析。散射模型可以根据水体的特性和光线传播规律,预测散射光在图像中的分布情况。通过这种模型,可以估计散射光的强度并进行去除,从而减少散射对图像的影响。此外,多帧图像融合技术也被广泛应用于去除散射。通过获取多个水下图像,并将其融合在一起,可以利用图像间的差异来抑制散射光的影响。

除了散射,水下图像中常常存在各种类型的噪声,包括传感器噪声、大气噪声和底部噪声等。为了去除这些噪声,研究者们提出了多种方法。自适应滤波器是一种常用的去噪技术,它根据图像中的局部统计信息,自适应地调整滤波器参数以减少噪声。此外,小波变换、非局部均值滤波和深度学习等也被广泛用于水下图像噪声的降低和去除。

通过去除散射和噪声的技术,可以有效地提高水下图像的质量和可视化能力。这对于水下勘探、海洋科学

研究和水下工程等领域具有重要意义。未来的研究也应关注如何进一步提升去除散射和噪声的效果,并结合其他图像增强技术,实现更好的水下图像增强效果。

2 色彩校正技术

水下环境中,光的颜色随着深度的增加而发生变化,导致图像色彩失真。色彩校正技术通过建立水下光传输模型或使用参考图像进行颜色校正,以恢复图像真实的颜色信息。

水下图像中的颜色偏移和失真主要由水体的吸收和散射、细胞色素和色素分布以及光照条件等因素造成。为了进行色彩校正,通常采用以下方法^[2]:

色彩参考方法: 利用颜色参考卡或特定颜色目标物体,通过对比感兴趣区域和参考区域的颜色差异来校正图像。这种方法需要在拍摄过程中引入参考物体,并进行后期处理。

物理模型方法: 基于水下光学现象,建立物理模型来描述水下图像的颜色偏移和失真。通过观测和分析水下图像中的光线传播规律,研究者们可以推导出校正参数并将其应用于图像中,从而进行色彩校正。

统计方法: 利用大量的水下图像数据,研究者们可以通过统计分析,对不同水下条件下的颜色偏移进行建模和预测,进而实现色彩校正。这种方法不依赖于特定的参考物体,适用于更广泛的水下场景。

深度学习方法: 近年来,深度学习技术在水下图像增强中的色彩校正方面也取得了显著进展。通过深度卷积神经网络和大量标记的数据集,可以训练出具有强大表达能力的模型,用于水下图像的色彩校正。

色彩校正技术可以提高水下图像的色彩还原度和视

觉效果,有助于增强图像的清晰度和细节。这对于水下勘探、海洋观测和水下摄影等领域具有重要意义。未来的研究应重点关注如何提高色彩校正的准确性和效率,以满足实际应用需求。

3 对比度增强技术

水下图像的对比度通常较低,使得细节难以辨认。对比度增强技术通过直方图均衡化、拉普拉斯变换、对比度拉伸等方法,增加图像的对比度,提高细节的可见性。由于水下环境中的光线衰减和散射,水下图像常常呈现低对比度和模糊不清的特点。因此,通过开发对比度增强技术以改善水下图像的可视化效果和信

息获取能力。对比度增强技术旨在增强图像中的灰度级差异,使得图像中的细节更加明显。以下是常见的对比度增强技术:

直方图均衡化:直方图均衡化是一种常用的对比度增强技术,通过调整图像的灰度级分布,使得图像中的像素灰度值尽可能地均匀分布。这种方法可以提高图像的整体对比度,使得细节更加明显^[1]。

自适应直方图均衡化:自适应直方图均衡化是对直方图均衡化的改进,它根据图像的局部领域灰度信息进行均衡化。这可以避免过度增强图像的背景和噪声,而更专注于增强图像的有用信息。

对比度拉伸:对比度拉伸是通过拉伸图像的灰度值范围来增加图像的对比度。它将图像的最小灰度值映射到0,最大灰度值映射到255,以便更好地利用整个灰度范围。

非线性增强:非线性增强方法能够克服传统线性增强方法中的一些问题,如饱和度和失真。这些方法利用图像中的局部细节信息,通过应用非线性函数来调整和增强图像的对比度。

深度学习方法:深度学习技术也在水下图像增强中的对比度增强方面得到了应用。通过深度卷积神经网络,可以学习和提取图像中的特征,并进行显著性增强和对比度调整。

对比度增强技术可以提高水下图像的可视化效果和信

4 图像恢复和重建技术

在水下图像中由于水下环境中的光线衰减、散射和颜色失真等因素,水下图像常常呈现出模糊、噪声和细节丢失的问题,导致图像中的细节和纹理丧失。图像恢复和重建技术旨在通过图像复原、插值和超分辨率重建等方法,提高水下图像的清晰度和细节还原能力。

图像恢复和重建技术旨在根据已观测到的水下图像,重建出原始未受损的图像,或通过去除噪声和增强细节,改善图像的视觉效果。以下是常见的图像恢复和重建技术:

单图像恢复技术:单图像恢复技术是指仅利用单个水下图像进行恢复和重建。这些技术常基于图像的统计特性和先验知识,通过降噪、去雾、超分辨率等方法来改善图像质量。

多图像融合技术:多图像融合技术利用多个观测到的水下图像,通过图像配准和合成等方法,提取并融合不同图像中的有用信息,以获得更准确的图像恢复和重建结果。

物理模型方法:基于水下光学和物理现象建立的模型,可以描述和修复水下图像中的光线衰减、散射和颜色失真等问题。通过理论模型与实际观测数据的拟合和调整,恢复和重建出更准确的图像。

深度学习方法:近年来,深度学习技术在水下图像恢复和重建方面取得了显著进展。通过深度卷积神经网络和大量标记的数据集,可以训练出具有强大表达能力的模型,用于水下图像的恢复和重建。

图像恢复和重建技术可以显著提高水下图像的质量和可视化能力,有助于更准确地分析和理解水下环境中的目标和特征。这在水下勘探、海洋科学研究和水下工程等领域具有重要意义。未来的研究应着重改进图像恢复和重建方法,以提高恢复和重建的准确性和效率,满足实际应用需求。

5 水下目标检测和跟踪技术

水下目标检测与跟踪是水下图像处理关键技术的重要应用研究之一,非常核心且具有挑战性。由于水下环境复杂,传播介质(水)对光学特性产生严重影响,造成水下图像在对比度、清晰度和亮度等方面存在明显问题,这对目标检测与跟踪具有很大挑战。

5.1 水下目标检测技术

水下目标检测技术的目标是从一副或多副水下图像中识别出感兴趣的目标,并定位其在图像中的位置。一般可以使用以下一种或多种技术实现:

传统方法:包括基于特征的方法(如SIFT、SURF特征)、基于统计的方法(如利用图像颜色、纹理等进行背景建模和前景检测)等。这些方法经过优化设计,能够适应水下环境和挑战。

深度学习方法:基于深度学习的方法,尤其是卷积神经网络(CNN),在目标检测领域取得显著进步。网络模型如Faster R-CNN、YOLO和SSD等在水下目标检测

中也得到了应用。

5.2 水下目标跟踪技术

在连续的水下图像序列或视频中,检测并跟踪连续帧的感兴趣目标。以下是一些主要的水下目标跟踪方法:

传统的目标跟踪方法:包括卡尔曼滤波器、粒子滤波等预测模型,以及光流法、连续自适应均值SHIFT(CAMSHIFT)等。

深度学习的目标跟踪方法:基于深度学习的目标跟踪方法,如Siamese网络,已被证明在复杂的跟踪场景下,如物体遮挡、光照变化等具有出色的性能。

在水下机器人、海洋生物研究和军事应用等领域,水下目标检测与跟踪技术扮演着至关重要的角色。然而,由于水下环境的复杂性和挑战性,其研究仍然面临诸多问题,并且仍有很多具有潜力和前景的研究方向等待我们去探索。

6 三维重建和场景理解技术

6.1 三维重建技术

在水下图像增强中,三维重建技术通过从多个角度获取水下图像,并利用计算机视觉和计算机图形学的方法,对这些图像进行处理和分析,从而重建出水下环境的三维模型。具体而言,这种技术包括摄像机标定、多视图几何恢复、稠密点云生成和三维模型重建等步骤。通过三维重建,可以获得水下环境的真实几何形状和深度信息,为后续的分析应用提供基础。常用的技术方法:

立体匹配:通过对水下图像中的对应点进行匹配,获得景深信息,从而恢复出三维场景的几何结构。常见的立体匹配方法包括基于特征的匹配、基于区域的匹配和基于深度学习的匹配。

结构光投影:通过投射特定的结构光模式(例如条纹或格点)到水下场景中,通过分析得到的光斑形变或反射情况,推导出场景的三维形状。

视差法:利用从不同视角或时间采集的水下图像的视差信息,来推断出场景的三维形状。视差法常用于光线条件较好的水下环境。

水下摄像机姿态估计:通过对水下图像序列进行姿态估计,提供相机的视角和运动信息,从而实现对三维场景的重建。

6.2 场景理解技术

场景理解技术在水下图像增强中也发挥着重要作用。该技术可以帮助我们自动识别和分割水下图像中的目标,如海洋生物和植物,以及分析水下环境中的地形和构造特征。通过目标检测、语义分割和实例分割等计算机视觉算法和深度学习模型,我们可以将水下图像中

的目标和区域进行准确的标记和分类。这对于海洋生态研究、水下监控和水下资源管理具有重要意义。例如,场景理解技术可以帮助我们监测珊瑚礁的健康状况、鱼群的数量和种类,以及水下设施的建设和维护。

水下环境的复杂性和光学特性使得三维重建和场景理解技术在水下图像增强中具有挑战性。然而,随着传感器技术和计算能力的不断进步,以及深度学习的应用,这些技术正在取得越来越好的结果。未来的研究应继续改进和创新三维重建和场景理解技术,以提高其准确性和适应水下环境的能力,实现更深入的水下场景分析和理解。

7 结束语

水下图像增强这一领域的研究主要集中在色彩补偿、对比度增强和清晰度提升等方向,以解决水下环境中图像的暗蓝色调、低对比度和模糊问题。物理模型方法、统计方法、直方图均衡化、对比度拉伸以及深度学习方法是当前研究的主要工具和手段。

具体来讲,颜色校正技术可以通过物理模型去除水下图像的色彩偏差,统计方法可以根据图像的统计特性进行色彩校正,深度学习方法可以通过训练深度网络模型进行色彩修复。

对比度增强技术主要针对水下图像的低对比度和模糊问题。其中,直方图均衡化和对比度拉伸是传统的对比度增强方法,而深度学习方法通过训练深度网络模型可以进行更精细的对比度增强。

同样,深度学习技术也在水下目标检测与跟踪技术以及三维重建和场景理解技术等方面发挥着重要作用。这些技术能提升水下图像的可视性并得到更丰富的信息,从而推进水下探索、监测和工程等领域的发展。

通过研究并应用水下图像增强的关键技术,可以提高水下图像的质量和可视化能力,推动水下探测、海洋科学研究和水下工程等领域的发展。

参考文献

[1]李艳宇,伍峰琼,李杰.自适应联合颜色校正和融合的水下目标检测[J].中国图象图形学报,2020,25(7),1036-1049.

[2]李超,罗懿,王晓勇.基于最小信息损失和直方图分布先验的水下图像去雾增强方法[J].中国图象图形学报,2019,24(8),1314-1329.

基金项目:文章受海南省自然科学基金项目资助,项目编号:621QN269,海南省教育厅项目资助,项目编号:Hnky2023-36