

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学 号: 23320111153165

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

水下图像劣化模拟与质量估测方法研究

The Simulation of
Typical Degradations of Underwater Images
and Research on
Quality Estimation Methods

张 籍

指导教师姓名: 袁飞 副教授

专 业 名 称: 通信与信息系统

论文提交日期: 2014 年 月

论文答辩时间: 2014 年 月

学位授予日期: 2014 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2014 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文（包括纸质版和电子版），允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

() 1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于 年 月 日解密，解密后适用上述授权。

() 2. 不保密，适用上述授权。

（请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。）

声明人（签名）：

年 月 日

摘要

为了建立完善的水声通信技术质量评价系统,准确描述和评价水下图像劣化特性有很大的实际意义。本文在分析总结水下图像劣化类型的基础上,搭建了水下图像劣化模型,并提出了劣化图像感知质量(PQoS, Perceived Quality of Service)的评测定义和预测算法。本文的主要研究工作包括:

- 1) 调研、总结了水下图像在获取、传输、和处理各过程中的劣化类型和原因。重点分析了海水吸收、散射和硬件对水下光学成像的影响,水声图像压缩的必要性,以及劣化特点。
- 2) 基于模板劣化模型和 Jaffe-McGlamery 模型进行了水下图像劣化仿真,成功模拟了光源分布、海水吸收和散射、高斯模糊、离焦模糊、运动模糊和色彩降维等图像劣化类型。
- 3) 基于 Gilbert 丢包模型建立了水声图像通信仿真系统,进行了非压缩图像和 SPECK 压缩图像的传输劣化仿真实验。其中,对压缩图像采用了不等差错保护机制。
- 4) 引入 IPSNR 和 SSIM 作为图像感知质量评价体系, IAM_0 作为区分图像内容的本征参数,分别提出了非压缩图像和压缩图像的质量预测算法,并进行实验验证了该算法的有效性和实用性。

本文对水下图像劣化仿真与图像感知质量评价型主要问题进行了详细分析和研究,基于 Matlab 开发平台提出了图像感知质量预测算法,研究成果具有一定的理论指导意义和实际应用前景。

关键词: 图像劣化; 水下成像; Jaffe 模型; Gilbert 模型; PQoS; 图像质量预测

Abstract

In order to construct a complete quality evaluation system for underwater communication, it is practically significant to describe and evaluate the properties of underwater image distortion precisely. Based on plenty of precedent work on analyzing and summarizing categories of underwater image distortion, underwater image distortion models have been built, and the definition and forecasting methods of degraded image's perceived quality (PQoS) have been proposed in this paper.

Cardinal researches are as follows:

1. The categories and causes of distortion of underwater image in the process of acquiring, transmission have been studied. Emphases lie in impacts of water absorption, scattering and devices on underwater optical imaging. Necessities of image compression and correspondent distortions have also been discussed.
2. A simulation of underwater image distortion has been made based on template model and Jaffe-McGlamery model, successfully realizing the emulation of illumination, water absorption, scattering, Gaussian blur, defocus blur, motion blur as well as chromatic degradation.
3. A simulation system of underwater image communication base on Gilbert model has been developed, and applied in simulation of the transmitting uncompressed and compressed images experimentally. In addition, the compressed images were protected in the system particularly.
4. IPSNR and SSIM were introduced as evaluation standards for image perceived quality, while IAM was utilized as an intrinsic factor to discriminate image contents. Then forecasting methods of perceived quality of uncompressed and compressed images were proposed, and relevant experiments results proved validity and practicability of these methods.

Abstract

This paper made a detailed analysis and technical research on simulation of underwater image distortion as well as issues on evaluating image perceived quality. Quality forecasting methods based on Matlab platform were developed. The research results were proved to be theoretically instructional and had a application promise.

Key words: Image Distortion, Underwater Imaging, Jaffe Model, Gilbert Model, PQoS, Image Quality Forecasting

厦门大学博硕士学位论文摘要库

目 录

第一章 绪论	1
1.1 选题背景与研究意义	1
1.2 国内外研究现状	2
1.2.1 水声通信概况	2
1.2.2 水下图像相关技术	2
1.3 主要工作及章节安排	6
第二章 水下图像劣化类型研究	7
2.1 水下图像获取的劣化分析	7
2.1.1 水下光学成像	7
2.1.2 声纳成像	11
2.2 水下图像处理的劣化分析	13
2.2.1 水下图像压缩的必要性	13
2.2.2 压缩图像的劣化类型	14
2.3 水下图像传输的劣化分析	16
2.3.1 水声信道对传输的主要影响	16
2.3.2 水声网络特性	18
2.3.3 图像传输的劣化类型	19
2.4 本章小结	21
第三章 水下图像劣化与传输模拟	23
3.1 水下图像基础劣化	23
3.1.1 模板劣化	24
3.1.2 离焦模糊劣化	25
3.1.3 高斯模糊	28
3.1.4 运动模糊劣化	29
3.1.5 色彩降维	30
3.2 简化 Jaffe-McGlamery 水下成像模型	31
3.2.1 成像模型原理	31
3.2.2 照明、反射和照相机的参数	32
3.2.3 简化 Jaffe-McGlamery 模型	33
3.3 基于 Gilbert 丢包模型的图像传输	37
3.3.1 Gilbert 丢包模型	37
3.3.2 Gilbert 水声信道丢包模型	38
3.3.3 基于小波变换的 SPECK 图像压缩编码	42
3.3.4 针对 SPECK 图像的 Gilbert 模型改进	44
3.4 本章小结	45
第四章 图像感知质量评测	47
4.1 图像空域活动性	47

目 录

4.1.1 对比方差检测法.....	47
4.1.2 边缘信息检测法.....	47
4.1.3 小波系数检测法.....	48
4.1.4 图像梯度检测法.....	48
4.2 图像感知质量客观评价.....	50
4.2.1 改进峰值信噪比 IPSNR.....	50
4.2.2 结构相似度 SSIM.....	51
4.2.3 非压缩传输图像的质量评价.....	52
4.2.4 压缩图像的质量评价.....	54
4.3 图像感知质量预测方法研究.....	56
4.3.1 基于 Gilbert 丢包模型的非压缩图像质量预测.....	56
4.3.2 SPECK 压缩图像质量预测.....	58
4.3.3 压缩图像的传输质量预测.....	61
第五章 总结与展望.....	65
5.1 研究工作总结.....	65
5.2 后续工作展望.....	66
参考文献.....	67
科研成果与参与项目情况.....	71
致谢.....	72

Catalog

Chapter1 Introduction.....	1
1.1 Research Background & Motivation.....	1
1.2 Research Progress Overview in Home and Abroad.....	2
1.2.1 Overview of Underwater Acoustic Communication.....	2
1.2.2 Overview of Technology of Underwater Images.....	2
1.3 Main Contents of Paper.....	6
Chapter2 The Category & Analysis of Underwater Image Distortion 7	
2.1 Analysis of Distortion in Underwater Imaging.....	7
2.1.1 Underwater Optical Imaging.....	7
2.1.2 Sonar Imaging.....	11
2.2 Analysis of Distortion in Underwater Image Processing.....	13
2.2.1 Necessity of Underwater Image Compression.....	13
2.2.2 Category of Compressed Images.....	14
2.3 Analysis of Distortion in Underwater Image Transmission.....	16
2.3.1 Impacts of Underwater Channel.....	16
2.3.2 Properties of Underwaer Networks.....	18
2.3.3 Category of Image Transmission.....	19
2.4 Summary.....	21
Chapter3 Simulation of Distortion & Transmission of Underwater Images.....	23
3.1 Basical Distortions of Underwater Images.....	23
3.1.1 Template Distortion.....	24
3.1.2 Defocus Distortion.....	25
3.1.3 Guassian Blur.....	28
3.1.4 Motion Blur.....	29
3.1.5 Chromatic Degradation.....	30
3.2 Simplified Jaffe-McGlamery Model.....	31
3.2.1 Theory of Jaffe-McGlamery Model.....	31
3.2.2 Parameters of Illumination, Reflection & CCD.....	32
3.2.3 Simplified Version of Jaffe-McGlameryModel.....	33
3.3 Image Communcation based on Gilbert Model.....	37
3.3.1 Gilbert Model.....	37
3.3.2 Gilbert Model for Underwater Communication.....	38
3.3.3 SPECK Image Compression Encoding based on Wavelet Transform.....	42
3.3.4 Model Modification for SPECK Images.....	44
3.4 Summary.....	45
Chapter4 Evaluation for Perceived Quality of Image Service.....	47

4.1 Image Spatial Activity Measure(IAM)	47
4.1.1 IAM from Variance	47
4.1.2 IAM from Edges	47
4.1.3 IAM from DCT Coefficients.....	48
4.1.4 IAM from Gradient	48
4.2 Objective Evaluation of Image Perceived Quality	50
4.2.1 Improved Peak Signal to Noise Ratio	50
4.2.2 Structure Similarity	51
4.2.3 Evaluation of Uncompressed Image Quality in Transmission.....	52
4.2.4 Evaluation of Compressed Image Quality	54
4.3 Forecasting Methods of Image Perceived Quality	56
4.3.1 Forecast of Uncompressed Image Quality in Gilbert Model.....	56
4.3.2 Forecast of Compressed Image Quality	58
4.3.3 Forecast of Compressed Image Quality in Gilbert Model.....	61
Chapter5 Conclusions & Follow-up Work	65
5.1 Main Work & Innovation	65
5.2 Follow-up Work	66
References	67
Research Achievements during Study	71
Acknowledgement	72

第一章 绪论

1.1 选题背景与研究意义

地球表面海洋与陆地的面积比约为 7:3，不到三成的陆地又被以海洋为主的水域分割成无数大大小小的区域。全球 200 多个国家和地区中，80% 以上有海洋边界。随着人口剧增，人类生存空间压缩，资源吃紧，环境恶化，人类迫切需要进一步开发和利用海洋资源，传统的海洋科技亟待发展。海啸、海洋地震的准确预警，海底石油的勘探和开采，国家安全有关的多种监控等，都要求现代通信贯通陆——海——空三维空间，而三维空间的移动互联通信主要制约于水下通信。

与陆上较完善的因特网和无线通信相比，水下通信远远落后。有缆水下通信不足以克服远距离、恶劣海况和特殊海域的通信障碍，而电磁波在海水介质中衰减巨大。因此，水下通信采用海水中波长较长、衰减较小的声波作为信号载体，即水声通信。目前水声通信技术应用范围覆盖军事侦察、海洋信息采集、海洋资源勘测、气象监测等方面，在军事战略及商用方面也具有极高应用价值。我国将“数字海洋”列入“十一五”国家高科技研究发展计划和国家海洋科学技术发展计划（863 计划），“数字海洋”新概念将促进人类对海洋利用的方式合理化，保障海洋的可持续发展^[1]。

建立水声通信系统所需的硬件设备庞大而复杂，研究周期长、耗费资源大，很大程度上制约了相关科研发展。因此，在无硬件设备情况下进行水声通信软件仿真是研究水声通信不可或缺的手段。水声通信中，水下探测、海洋资源勘查、水下救援、军事通信多个领域都涉及水下图像传输，这也促使水下成像技术、水下图像处理技术成为研究热点。水声通信系统中水下图像的质量不仅与信道环境特点有关，也与成像技术、图像预处理算法、设备参数等有关，水下图像质量能够直接反映出算法有效性或系统鲁棒性。因此，通过对水声信道建模，水声通信系统仿真，建立基于水下劣化图像业务的仿真平台，进一步建立基于客观质量评价体系的图像劣化素材库与数据库，有助于水声通信的硬件设计、图像处理以及信道补偿等技术的研究。

1.2 国内外研究现状

1.2.1 水声通信概况

现代水声通信技术始于上世纪初。1914 年，水声电报系统诞生，此后一些水下通信设备开始应用于军事领域中。1945 年，美国海军实验室研制出第一部水下电话，信号传输距离可达数公里。经历了一段时间的缓慢发展，直到 70 年代，得益于电子信息科学、计算机技术的突飞猛进，水声通信才有了质的飞跃。新一代水声通信系统采用了基于 QPSK、OFDM 或 CDMA 的数字调制技术。水声通信的数字化，使带宽限制、低速率及通信距离的劣势有了长足进步和发展空间。

近年来，国内外许多院校和科研机构都对水声技术进行了深入研究，并取得丰硕成果。国际上以美、英、法、日的高校和科研机构为主，有美国麻省理工学院、美国 Space&Naval Warfare 系统中心、美国伍兹豪海洋研究所、美国佛罗里达大学、日本冲绳电气公司、英国海洋研究所等，水声通信系统的通信距离与通信速率目前已经从上世纪 80 年代早期的 $0.5\text{km}\times\text{kbit}$ 提高到深海 $100\text{km}\times\text{kbit}$ 和浅海 $40\text{km}\times\text{kbit}$ 左右^[2]。

我国在“十一五”规划中提出了“海洋环境立体监测技术”课题，厦门大学、中科院声学研究所、哈尔滨工程大学、中船重工 715 研究所、中国海洋大学等国内水声领域传统优势院校和单位相继展开相关研究。厦门大学是国内首批开展水声通信研究的单位之一，在水声数字图像传输、水声数字语音传输、水声数据传输、水声遥测遥控等方面取得了先进的研究成果。课题组开发的 3 代水声语音通信样机在浅海海域稳定通信距离达 10000m 左右，扩展通信距离可达 12000m，鲁棒性理想^[3]。然而，总体上国内相关研究还停留在水声信道特性和水声通信算法本身，并未大规模投入生产，且性能相对落后，离国际顶尖水平还有不小的差距。

1.2.2 水下图像相关技术

水下图像的相关技术研究包括水下成像技术、水下图像处理技术、图像质量评价等。首先，水下成像技术是勘查海洋资源与探测海底环境的重要环节，主要

采用有声探测和光电探测两种方式获取光学水下图像和声学水下图像。

有声探测是指图像声纳通过电子波束形成技术或声透镜波束形成技术产生声波波束，接收回波波束并处理分析，获取目标的空间位置和相位关系从而形成图像。图像声纳最重要的两个参数是工作距离和成像分辨率。电子波束技术采用阵列技术，通过传感器阵列接收空间声场信息，对阵列信号进行时空相关处理得到多个波束。该技术涉及阵列信号处理理论和与阵列规模匹配电路支撑的多波束技术。声透镜波束技术则基于几何射线成像理论，类似于光透镜原理，利用声透镜将来自各方向的声波汇聚到一点，对其采样处理分析后获得目标距离信息，完成二维或三维成像。声波存在衍射效应，波束的旁瓣在像平面主瓣的对应点产生伪像，对目标识别造成干扰。相关研究集中在如何设计旁瓣影响小的声透镜^[4]。

英国 codaoctopus 公司研制的 Echoscope 成像声纳能够实现三维实时成像，采用相控阵技术和波束内插技术能同时产生上万声波波束，图像刷新率达 12 帧/秒。美国 Reson 公司研发的 Seabats125 成像声纳采用宽带聚焦多波束成像技术，发射阵列与接收阵列为分体结构，水平观测范围为 120°，距离分辨率 6mm。挪威 KongsbergMaritime 公司开发的 HlsAs1030 合成孔径声纳的分辨率比常规固定孔径声纳高 10 倍以上。美国华盛顿大学应用物理实验室研制出首个声透镜图像声纳 LIMIS，可胜任浑浊水域中的目标识别任务^[5]。

水下光电成像分辨能力更强，且直观、快速地传递水下目标和背景的二维、三维信息。但是光线在水中随传输距离的增大而迅速衰减，使水下光电成像必须借助辅助照明。传统水下光电成像采用相机+照明光的组合，照明光通常是闪光灯或 LED。由于照明与成像设备往往同向，照明光的后向散射效应对水下光电成像有效距离有很大的影响。传统光电成像有效距离较短，现代科技发展了六种特殊光电成像技术：时间分辨/距离选通光电成像技术、空间分辨/激光同步线扫描技术（LLS）、结构光成像技术、调制/解调去除散射光技术、偏振区分技术和多视角图像构造技术^[6]。

最有名的距离选通成像是加拿大国防研究所开发的 LUCIE 系列，可完成 200m 海下的探测、监测等工作。瑞典国防研究所采用二极管泵浦 Nd:YAG 激光器研制的 Aqua Lynx 水下距离选通相机，探测距离是传统摄像机的 2 倍，识别距离是传统摄像机的 1.5 倍。中国北京理工大学“十五”期间研制出的高性能纳

秒级选通型超二代微光 ICCD 器件,突破了距离选通成像小型程控电源及其控制技术^[5]。

LLS 最有可能获取较高分辨率。L-Bath 系统可成功获取对比度极佳、分辨率毫米级的水下景观。Raytheon^[7]在 90 年代开发的激光线扫描系统,成功地在浑浊水质中获取了高分辨率图像。许多海洋动物使用偏振感受器来增强与外界照明的对比度。Schechner 和 Karpel^[6]提出应用于水下成像的偏振成像技术,提高了自然照明条件下的能见度,并研制出 Aqua-Polaricam 水下偏振成像系统,增强了水下图像对比度和色彩。

Levoy 等^[6]2004 年提出了基于特定结构照明光源组的合成孔径成像法,使背景目标与前景后向散射光得以分离。NAVAIR 公司开发了一款机载水下成像系统,采用了激光载波强度调制技术,成像对比度和作用距离得到有效提升。Mullen^[7]和同事采用调制光束和外差检测技术,减小了相邻区域的后向散射光影响。Kim^[6]提出一种利用前帧图像的目标信息来增强声纳视频序列的算法,实现了光学-声学联合成像。

其次,提高水下图像质量还可以借助图像处理技术,图像增强和复原、图像分割和图像压缩等;声学图像处理技术中,图像识别技术是研究重点。文献[8]设计了一套以分辨蛙人和鱼群为主要功能的水下目标识别系统。其预处理部分采用基于小波阈值的改进型算法,特征提取部分采用迭代阈值法和大律法,目标识别部分则采用了 BP 神经网络。文献[9]提出了先用表面波结合自适应比值图像去噪,再用多尺度 Retinex 对图像增强的处理方法,被处理的声纳图像保持了较好的边缘细节且颜色保真度良好。文献[10]提出了一种结合 Ncut 和谱抠图的声纳图像分割方法,改进 Ncut 算法的拉普拉斯公式得到图像透明度估计,该方法能够准确提取出目标区域。文献[11][12]提出一种基于修正的灰度——梯度二维直方图的最大熵分割方法,能有效地提取图像中的目标部分。

再次,从图像的获取方式、处理技术到调制传输,存在很多因素导致图像劣化,各种复杂成因的劣化不仅能量化反映获取、处理和传输技术的性能,也为逆向研究图像复原、信道补偿等技术提供了前置基础。因此,水下图像劣化仿真和质量评价是最基础和重要的研究课题。

文献[13]提出了航拍影像的模拟生成算法,可以在战场模拟和教育训练等情

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库