

2001 年上海大学博士学位论文 17

基于小波变换和视觉系统的图像 质量综合评价新算法

作者：丁艺芳

专业：通信与信息系统

导师：张文俊



上海大学出版社

2001 年上海大学博士学位论文

基于小波变换和视觉系统的 图像质量综合评价新算法

作 者： 丁艺芳

专 业： 通信与信息系统

导 师： 张文俊

上海大学出版社

· 上 海 ·

Shanghai University Doctoral Dissertation (2001)

**A New Algorithm for Integrated Image
Quality Measurement Base on Wavelet
Transform and Human Visual System**

Candidate: Ding Yifang

Major: Communication and Information System

Supervisor: Prof. Zhang Wenjun

Shanghai University Press

• Shanghai •

上海大学

本论文经答辩委员会全体委员审查，确认符合上海大学博士学位论文质量要求。

答辩委员会名单：

- | | | | |
|-----|-----|-------------------|--------|
| 主任： | 余松煜 | 教授，上海交通大学图象研究所 | 200030 |
| 委员： | 周源华 | 教授，上海交通大学图象研究所 | 200030 |
| | 张兆杨 | 教授，上海大学 | 200072 |
| | 薛向阳 | 教授，复旦大学计算机系 | 200072 |
| | 王治钢 | 研究员，上海航天局 803 研究所 | 200031 |
| 导师： | 张文俊 | 教授，上海大学 | 200072 |

评阅人名单:

余松煜	教授, 上海交通大学图象研究所	200030
张兆杨	教授, 上海大学通信与信息工程学院	200072
翁默颖	教授, 华东师大电子科学系	200062

评议人名单:

朱维乐	教授, 电子科技大学	610054
王朔中	教授, 上海大学电子信息工程系	200072
莫玉龙	教授, 上海大学通信与信息工程学院	200072
侯正信	教授, 天津大学电子工程系	300072

答辩委员会对论文的评语

丁艺芳的博士学位论文“基于小波变化和视觉系统的图像质量综合评价新算法”在深入研究人眼视觉系统和小波变化相互关系的基础上,引入了视觉小波加权均方误差的概念,提出的图像质量评价的方法,解决了传统的图像质量评价体系中的某些缺陷,使图像质量评价建立在更科学、更合理的基础上。

论文的主要特点如下:

(1) 作者建立了引入 HVS 特性的图像质量客观评测新算法 WWMSE 的实现公式;

(2) 建立了基于 CCIR 五级质量标准的 IQS 数学模型,它对人脸图像的评价可得到和传统的 MOS 主观评价方法一致性较好的结果。

作者进行了大量仿真实验,论文的工作有创新,为图像质量综合评价做了积极有益的工作。研究成果具有较高的实用价值,反映了作者具备了很强的科研能力。

作者在答辩中论述清晰,条例性强,回答问题正确。

答辩委员会表决结果

经答辩委员会无记名投票,一致通过丁艺芳同学的博士论文答辩,建议授予工学博士学位。

答辩委员会主席: **余松煜**

2001 年 11 月 12 日

摘 要

结合人眼视觉系统(HVS)特性,将传统的图像质量主观评价方法与客观评价方法有机地结合起来是图像质量计测研究领域的发展方向。本文结合离散小波变换(DWT)技术,利用DWT与HVS相结合的良好特性,探索和建立了一种新的图像质量综合计测算法。

本文分析了图像DWT与HVS特性之间的相互关系,确立了新算法的立论依据。对实际工程应用中尚无定论的小波基选取难点进行了系统性的探讨和总结,确定了适合本文算法的小波基函数。基于DWT制作了对应各小波子带的单子带噪声图像,通过一系列的实验分析,建立了加噪图像质量的客观评价与主观评价结果之间的关系。新的图像质量综合计测算法以添加高斯噪声的人脸图像为研究对象,由WWMSE(小波加权均方误差)算法和IQS(图像质量等级)算法组成。基于CCIR 500推荐的图像质量五级评价标准和PMSE(峰值均方误差)算法,对各子带对应的单子带噪声图像进行主、客观评价,获取了各子带CCIR五级噪声阈值。结合人眼视觉特性,分析HVS对各子带噪声阈值的敏感程度来确定各子带的视觉加权值。采用四级小波分解方式,对产生的单子带目标图像的PMSE值进行视觉加权处理,建立了引入HVS特性的WWMSE客观计测新算法。在此基础上,建立了基于CCIR五级质量标准的HVS噪声阈值数学模型和IQS数学模型。对模型赋以数值,便可直接得出目标图像的质量等级IQS,取代了传统的MOS(平均评价分数)主观评价方法。本文

在理论探索与研究的同时,做了大量的仿真实验工作,特别是选取噪声阈值和加权系数的实验分析,为实现图像质量的综合评价奠定了坚实的理论和实验基础。

一系列系统性的实验结果证明了本文提出的基于 DWT 和 HVS 的图像质量综合计测新算法的可行性、可靠性和有效性。这种新的综合计测方法实现了图像质量主、客观评价结果的一致性,有效地克服了图像质量主观评价方法耗时、耗资而传统客观评价方法与实际图像质量不相吻合等弊端,为现代图像技术的分析提供了一种有效的手段。

关键词 离散小波变换, 人眼视觉系统, 图像质量评价, 视觉加权处理

Abstract

Using the properties of human visual system (HVS), the combination of subjective and objective measurement methods is the most effective way to assess image quality, and also the trend of this research field. According to this idea and taking advantage of the similarities of discrete wavelet transform (DWT) with HVS, a new algorithm for integrated image quality assessment is presented in this paper.

Firstly, the mutual relationship between the DWT and HVS is analyzed, which becomes the theory basis of the new algorithm. An important question that has no conclusion yet, the selection of wavelet bases in the practical application, is also discussed and summarized, and the fit wavelet base function of the new algorithm is selected. Based on DWT, we make lots of singleband noise images corresponding to different wavelet subbands, and establish the relationship between the subjective and objective assessment results of noise images after series of experiments and analysis. The new algorithm is composed of wavelet Weighted mean square error (WWMSE) and image quality scale (IQS) choosing face images as research object. Adopting CCIR 500 recommendation standard and the peak mean square error (PMSE) criterion, we obtain the CCIR five-point noise thresholds of each subband corresponding to four-level wavelet decomposition. Combining the properties of HVS to analyze the sensitivity to each subband's noise thresholds, we then

obtain the visual weighted coefficient of each subband. Thus the new method for image quality objective measure, WWMSE, is proposed by having visual weighted processing to the PMSE of singleband target image. According to these, we finally establish mathematical models of HVS noise threshold and IQS based on CCIR five-point quality scale. Assigning value to the model parameters, we can measure the IQS of assessed target image directly, which replace the traditional method of mean opinion score (MOS) effectively. In this paper, besides the systemic theory research, we also do lots of emulation experiments especially the obtaining of noise thresholds and weighted coefficients of subbands, that founds the credible basis for the new algorithm we proposed in this paper.

In terms of experiment results, the new algorithm shows good feasibility, reliability and validity comparing with conventional image quality assessment methods. It not only preserves the merits of conventional image quality measurement methods, but also overcome their defects such as time-consuming, costly and objective assessment results not accordance with subjective perception quality, etc., effectively. The new algorithm we proposed in this paper reliably realizes the goal of the combination of subjective and objective measurement methods, and also provides an effective analysis method for modern image processing technology.

Key words DWT, HVS, image quality assessment, visual weighted processing

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 图像信息的重要性	1
1.2 图像质量评价、视觉系统与图像技术	2
1.3 图像质量评价的现状与发展方向	5
1.4 本文的主要内容和研究成果	10
第二章 图像与视觉系统特性	13
2.1 人眼的生理结构	13
2.2 HVS 特性研究	15
2.3 人眼的信息处理机制和感知模型	21
第三章 小波分析理论基础	25
3.1 从 Fourier 变换到短时 Fouier 变换	25
3.2 连续 (积分) 小波变换	28
3.3 小波级数展开	31
3.4 多分辨率分析	32
第四章 小波变换、图像与 HVS 特性	36
4.1 CWT 与 HVS 特性	36
4.2 离散小波变换(DWT)—Mallat 算法	38
4.3 图像的 DWT 与 HVS 特性	43
第五章 图像质量评价与 HVS 特性	50
5.1 图像质量的客观评价方法	50
5.2 图像质量的主观评价方法	55

5.3 图像质量评价与 HVS 特性	58
第六章 基于 DWT 与视觉加权处理的图像质量计测新算法	64
6.1 算法概述	64
6.2 小波基函数的选取	66
6.3 图像小波变换的系数分析	75
6.4 算法实验采用噪声图像的制作	80
6.5 单子带噪声图像 PMSE 值与主观评价价值之间关系	83
6.6 WWMSE 算法的实现	89
6.7 实验结果比较	113
第七章 基于人脸图像的图像	121
7.1 算法概述与实现框图	121
7.2 选用人脸图像为算法的研究对象	122
7.3 人脸图像的 CCIR 五级噪声阈值实验	124
7.4 基于人脸图像的 WWMSE 算法实现	129
7.5 基于人脸图像的 IQS 算法实现	135
7.6 算法实验结果比较	139
第八章 总 结	144
参考文献	147
致 谢	155

第一章 绪 论

1.1 图像信息的重要性

人类社会已步入信息时代,作为信息社会基础设施的计算机、通信和网络技术得到了迅猛发展.随着这些科技的不断发展和日益普及,它们正极大地影响着人们的生活方式乃至整个社会的生产方式,而这一切的发生和发展都是建立在一块共同的基石之上——信息的交换与传递.

人们获取信息的途径无外乎是通过自身的生理感官得来,即视觉、听觉、触觉、味觉及嗅觉.而人们通过感觉器官日常收集到的各种信息中,最主要的是视觉信息和听觉信息.据有关学者统计,视觉信息约占全部信息的 60%,听觉占 20%,触觉占 15%,味觉占 3%,嗅觉占 2%.也就是说,我们获得的各种信息中,有一半以上是视觉信息,即图像信息.与听觉信息相比,图像信息具有如下一些优点^[1]:

- ◆ 确切性

同样的内容,通过听觉和视觉获取信息的效果是不同的.后者显然比前者容易确认,不易发生错误.

- ◆ 直观性

同样的内容,看图显然要比声音更为形象直观,印象更为深刻,易于理解.也就是说,图像信息产生的效果更好.

- ♦ 高效率性

由于视觉系统具有很高的图案识别能力,人们能在很短的时间内,通过视觉接受到比听觉多得多的大量信息.俗话说,百闻不如一见也说明了这个道理.

- ♦ 多种业务的适应性

随着人们生活水平质量的提高,对信息业务也必将提出多样化的要求,而利用视觉得到的图像信息更易于满足信息检索、生活指南、传真通信、会议电视、电子邮件等各种各样业务的要求.

1.2 图像质量评价、视觉系统与图像技术

1.2.1 图像质量评价与图像系统的关系

由于图像信息具有的重要性,人们对图像信息的需求带动了其相关技术的飞速发展.图像通信的最终信宿是人,而且图像系统输出的图像一般是给人观察和评价的,因而图像质量评价的研究是图像信息工程的重要技术之一,图像质量评价的意义实际上就是对图像通信及图像处理技术质量的评价^[2].图 1.1 给出了图像通信和图像质量关系的模型.

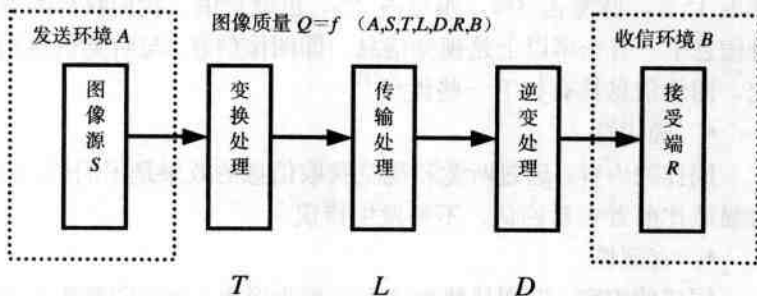


图 1.1 图像通信和图像质量关系图模型

在图像通信工程中,将原始的光学图像传送到接受端,经由光电变换、传输、处理、记录及其他变换等过程,最终输出可接受的图像,这时评价该图像系统质量的好坏主要是看输出图像的质量好坏以及输出图像与输入图像之间的差异大小而定,而所有这些技术的优劣都会归结为图像质量评价。例如,图像处理中的压缩编码技术,就是在保证编码图像一定质量的前提下,利用图像数据中存在的大量冗余度,以尽可能少的码字来表示图像,以便节省信道和存储容量,减少图像传输和处理时间;图像增强就是为了改善图像的主观视觉显示质量;图像复原则是用于补偿图像的降质,使复原后的图像尽可能地接近原图像质量。那么这些技术的好坏直接影响到输出的图像质量,而传输等过程中产生的噪声也必然会对输出图像的质量产生影响。所有这些都要求有一个合理的图像质量评价方法。

1.2.2 视觉研究与图像技术的关系

为了有效地设计图像系统,尤其是输出供人观测的照片或屏幕显示的图像系统,必须充分研究人的视觉系统(Human Visual System, HVS),因为HVS才是这类图像系统的最后终端,即图像信息的信宿,而且此类系统输出的图像最终总是由视觉系统来评价。另一方面,从某种意义上来讲,HVS本身就是一个结构复杂、性能优越的图像系统。

视觉研究可分为视觉生理、视觉特性和视觉模型等三个方面,也可分为视觉基础和视觉应用研究,它们与图像技术的关系见图1.2。

近年来,人们越来越清楚地认识到HVS在图像信息的产生、传输和处理等方面具有的优越性能,许多方面是图像系统还不能

具备的. 因此, 从仿生学角度出发, 有关视觉生理、视觉特性以及视觉模型的研究, 对图像工程技术人员来说, 是非常具有启发性和吸引力的.

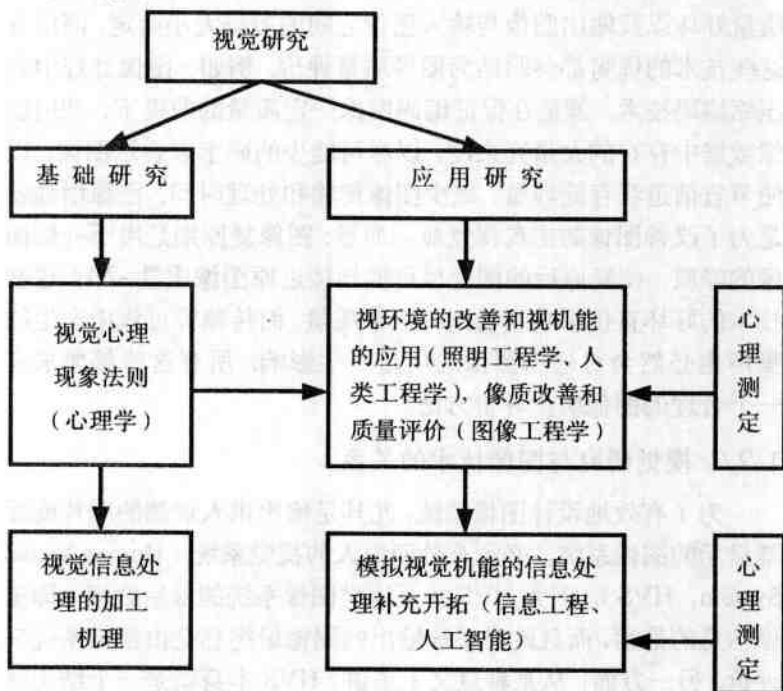


图 1.2 视觉研究与图像技术的关系图

1.2.3 图像质量评价与视觉心理

如果把图像信息简单地看成是二维平面上具有亮暗和色彩变化的若干单个像素信息的集合, 那是非常初步的认识. 应该说, 对图像的认识或评价是由感觉和心理状态决定的, 即, 与图