

基于视觉特性的小波变换编码 及图像质量评价方法的研究

作者：王青海
专业：通信与信息系统
导师：张兆扬
莫玉龙



上海大学出版社

· 上海 ·

2004 年上海大学博士学位论文

基于视觉特性的小波变换编码 及图像质量评价方法的研究

作 者： 王青海
专 业： 通信与信息系统
导 师： 张兆扬
莫玉龙

上海大学出版社

• 上海 •

Shanghai University Doctoral Dissertation (2004)

Researching Wavelet Transform Coding and Quality Evaluation Methods of Image Based Human Visual System

Candidate: Wang Qing-hai

Major: Communication and Information System

Supervisors: Prof. Zhang Zhao-yang
Prof. Mo Yu-long

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：	戚飞虎	教授，上海交大电子计算机系	200030
委员：	王汝笠	研究员，中科院上海技物所	200083
	张一钧	教授，上海广电集团研究院	201108
	王朔中	教授，上海大学电子信息工程系	200072
	王治钢	研究员，上海航天局 809 研究所	200031
导师：	张兆扬	教授，上海大学	200072

评阅人名单:

周源华	教授, 上海交大电子信息工程学院	200030
王朔中	教授, 上海大学通信工程系	200072
张立明	教授, 复旦大学	200433

评议人名单:

戚飞虎	教授, 上海交大计算机工程系	200030
陈咏恩	教授, 同济大学中德学院通信研究所	200092
方 勇	教授, 上海大学电子信息工程系	200072
翁默颖	教授, 华东师大电子科学系	200062

答辩委员会对论文的评语

王青海同学的论文“基于视觉特性的小波变换编码及图像质量评价方法的研究”探讨了数字图像处理中的一些热点问题，包括图像的压缩编码中小波变换的软硬件实现、人眼视觉特性的应用和重建图像质量评价方法等，取得了以下具有创新性的成果：

(1) 构建了 JPEG2000 的软硬件测试平台，并将具有视觉特性的紧支双正交小波用于参考软件中，取得了优于传统小波基的重建图像的视觉效果。

(2) 提出小波变换硬件实现中能提高计算效率和精度的方法，分析小波变换的提升结构，突出在硬件实现中通过调整提升系数降低硬件实现复杂度的一种方法。

(3) 将人眼视觉特性引入压缩编码系统中，在相同的压缩比下，可以改善重建图像的视觉效果。

(4) 提出了一种基于 JND 视觉特性的数字图像质量评价方法，使重建图像的质量评价更接近视觉效果。

论文立论正确，述理清楚，实验数据可信，表明作者已掌握了坚实的基础理论和系统深入的专业知识，独立科研工作能力。答辩中回答问题正确，论文已达到授予博士学位的水平。

答辩委员会表决结果

经答辩委员会表决,全票同意通过王青海同学的博士学位论文答辩,建议授予工学博士学位。

答辩委员会主席: **戚飞虎**

2004 年 7 月 6 日

摘 要

数字图像压缩在多媒体信息的存储和传输中扮演着非常重要的角色. 变换编码技术是目前最成熟、应用最广泛的主流技术, 离散余弦变换和离散小波变换是最常用的变换手段. 基于传统香农信息理论的图像变换编码方法目前已经发展到极限, 在数字图像的编码中根据人眼视觉特性发展新的编码方法是打破香农信息理论框架, 提供更有效压缩方法的途径之一, 从而进一步推动数字图像压缩编码技术的发展.

小波变换作为一种良好的时频分析工具, 在信号处理和图像压缩编码领域获得了广泛的应用. 本文首先对小波变换理论进行研究, 详细地分析小波变换在新一代数字图像压缩标准 JPEG2000 中的应用. 以 JPEG2000 的校验模型为基础讨论了 JPEG2000 中小波变换的分解级数, 不同小波基对压缩性能和编码算法复杂度的影响, 提出一种适用于多种小波基的统一提升格式实现方法, 使得根据不同的图像内容选择不同的小波基成为可能.

小波变换与离散余弦变换相比, 运算复杂度高, 如何解决小波变换的快速实现对小波变换的广泛应用具有重要的意义. 文中讨论了小波变换卷积计算和提升格式计算具体实现方法和二者之间的关系, 设计了一个 JPEG2000 硬件实现的开发平台. 该开发平台采用 FPGA 和 ARM 微处理器构成, 可以方便地对算法的硬件实现和仿真进行调试分析. 本文对小波变换的硬件实现进行了详细的讨论并提出相应的解决方法, 并提出

一种在频域上利用自由参数构造小波基的方法,采用该方法构造的小波基具有易于硬件实现的特点,从而降低小波变换硬件实现的复杂性.

结合 JPEG2000 的校验模型和人眼视觉特性,本文提出三种在数字图像编码中利用人眼视觉特性来改善重建图像视觉效果的方法. ①在多级小波变换编码系统中,人眼最敏感的信息集中在第三和第四分解级和低频子带中,通过加权的方法增强这些分解级的信息,抑制其他分解级对人眼不敏感的信息可以有效地改善重建图像的视觉效果;②利用人眼的视觉掩蔽效应掩蔽重建图像中的编码噪声从而改善重建图像的视觉效果,视觉掩蔽效应主要体现为不同幅度的信号对编码噪声的掩蔽能力不同和相邻像素对自身编码噪声的掩蔽;③采用具有视觉特性的小波基也可以在相同的压缩比下有效地改善重建图像的视觉效果:采用不同的小波基进行小波变换,变换后小波系数的能量集中特性也不同,具有视觉特性的小波基可以将更多的能量集中到人眼视觉敏感的子带中,在编码中可以为这些子带分配更多的编码比特,从而改善重建图像的视觉效果.

最后本文通过对数字图像压缩系统中重建图像质量的评价方法的研究,提出一种基于编码噪声视觉感知阈值的质量评价方法. 根据人眼感知视觉失真的阈值将编码失真分为人眼无法感知的失真和人眼能够感知的失真两类. 对这两类失真系数进行不同的处理,只考虑能够引入视觉失真的系数,从而得到一种基于人眼视觉感知失真阈值的图像质量评价方法. 本文还对算法的评价结果与 PSNR、SSIM 和 UIQ 等评价方法进行比较,讨论了这些方法的优缺点.

对基于人眼视觉特性的小波变换编码和重建图像质量评价

方法尚有不少的问题有待解决,本文在文末也指出了今后继续研究的方向.

关键词 图像压缩编码, 离散小波变换, 提升格式, JPEG2000, 人眼视觉特性, 数字图像质量评价

Abstract

The technologies of the compression of digital image act key role to storing and transferring of multimedia information. Transform coding is the most extensive mainstream coding technology, and the discrete cosine transform and discrete wavelet transform were used widely. The coding method based Shannon information theory had developed to the limit. For the development of digital image compression, finding another coding method is an efficient approach, so it will promote the development of digital image compression technologies.

As a perfect time-frequency analyzing tool, wavelet transform is used widely in signal processing and image compression. In this paper we first research the theory of wavelet transform then describe the JPEG2000 standard that was developed recently in detail. Based on the verification model of JPEG2000 analyzing numbers and choosing of wavelet base in wavelet transform was discussed in detail in image compression and a uniform implementation method of lifting scheme was put forward, so we can use different wavelet bases with the image context in digital image compression.

Comparing to the DCT(discrete cosine transform), the realizing of DWT(discrete wavelet transform) is more complex, so solving the fast calculating of DWT is very significative to use widely DWT. With discussing the relationship of lifting scheme and convolution of

DWT, we design a hardware platform for JPEG2000 standard. The platform uses ARM micro-processor and FPGA chip. The hardware implementation of JPEG2000 algorithm can be debugged and analyzed on it, specially the hardware implementation of DWT is researched. We propose a biorthogonal wavelet base constructed method on frequency domain based free factor and construct a series of biorthogonal wavelet bases. These wavelet bases are low computation complexity and easily implemented on hardware.

Combining the verification model of JPEG2000 and human visual system (HVS), we propose three methods that using HVS to the digital image compression for improving the reconstruction image visual quality. 1) In multi-level wavelet transform of digital image the important coefficients information to human eyes is concentrated in the third, forth and low frequency grades. Through weighting the wavelet coefficients, the important coefficients is enhanced and the unimportant coefficients is restrained, so we can get better visual effect on reconstructed image. 2) Using the mask of human visual system to improve the visual effect: visual masking effects to encoding noise include pixel-self different masking ability with different amplitude and masking from neighbor pixel. 3) Using new wavelet that constructed by characters of human visual system the better visual effect can be obtained in digital image compression system.

Finally the evaluating method of reconstruction image quality is researched, we put forward a new evaluating method that based just notification visual distortion in wavelet transform field. In this

means, the distortion is divided into two types: one can be detected and the other can not be detected. Only detected distortion is considered in evaluating model. We compare the new method with similar evaluating methods named PSNR, SSIM and UIQ. This evaluating method is more accordant to subject sense than traditional methods.

There are some problems to need solve in wavelet transform coding based human visual system(HVS). Then we present developing direction of the evaluating method of image quality and compressing of image in future.

Key words Digital Image Compression Coding, JPEG2000, Human Visual System(HVS), Discrete Wavelet Transform(DWT), Lift Scheme, Evaluating method of image quality

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.2 图像压缩的研究现状与发展方向	5
1.3 本文的研究方法和主要内容	8
1.4 本文的研究成果及论文结构安排	9
第二章 小波分析理论及其在数字图像压缩中的应用	12
2.1 小波变换概论	13
2.2 小波变换的性质	21
2.3 小波函数分类	25
2.4 小波与多分辨率分析	27
2.5 小波变换的提升格式	32
2.6 JPEG2000 的实现原理	38
2.7 本章小结	48
第三章 多种小波基在 JPEG2000 中的应用	50
3.1 JPEG2000 中小波变换分析	50
3.2 小波基的选择准则	53
3.3 JPEG2000 中多种小波基的实现	57
3.4 多种小波基统一实现格式	67
3.5 小波变换其他问题的研究	70
3.6 本章小结	75
第四章 JPEG2000 中小波变换的硬件实现	77

4.1 硬件实现背景及器件的选择	77
4.2 硬件的总体结构	80
4.3 小波变换的硬件实现方法	84
4.4 小波变换硬件实现分析	91
4.5 适用于硬件实现的小波构造方法	100
4.6 本章小结	115
第五章 基于视觉特性的小波变换编码	117
5.1 视觉系统的基本构造	117
5.2 人眼视觉特性及应用	120
5.3 不同的分解级中小波系数加权方法	127
5.4 小波变换不同子带视觉加权方法	134
5.5 采用视觉掩蔽效应改善重建图像视觉效果	141
5.6 利用视觉特性小波基改善重建图像的视觉效果	149
5.7 本章小结	155
第六章 基于视觉特性的图像质量评价方法	157
6.1 图像质量评价标准的必要性	157
6.2 图像质量评价方法的现状	158
6.3 JND 模型中的视觉阈值计算方法	162
6.4 基于 JND 模型的图像质量评价方法	167
6.5 本章小结	177
第七章 结论与展望	179
7.1 本文工作总结	179
7.2 进一步工作展望	181
参考文献	183
致 谢	193

第一章 绪 论

1.1 研究背景及意义

多媒体技术及其应用是进入 20 世纪 90 年代后发展起来的一个新型综合学科. 多媒体本身是一个计算机技术、视频、音频和通信等技术集成的产物. 数字图像作为多媒体信息的主要组成部分, 在多媒体技术的研究中起着重要的作用.

数字图像的数据量尤其巨大, 同时由于受到通讯带宽和存储空间的限制, 所以图像压缩在数字电视、网络多媒体通信、会议电视、可视电话、遥感图像传输、图像数据库、自动指纹识别系统的指纹存储等应用中起着重要的作用. 如果图像不经过处理就进行存储或者在网络上进行传输, 将占用非常大的存储空间和网络带宽, 必将限制数字图像在众多领域中的广泛应用^[2], 其压缩技术一直是多媒体信息处理技术研究中最活跃的领域^[1, 2].

1.1.1 本文的研究背景

随着电子技术的飞速发展, 计算机性能的不断提高, 数字图像压缩技术的研究进入一个日新月异的阶段. 20 世纪 80 年代末期, JPEG 压缩标准的制定, 在数字图像压缩发展历史上具有里程碑的意义. 该标准的制定不仅使得静止图像的压缩技术进入一个新的时代, 同时带动了视频信号的压缩技术的发展, 随后出现 MPEG1 和

MPEG2, 都与该标准的制定和广泛应用有密切的关系.

数十年此领域的研究表明, 选用合适的数据压缩技术, 图像数据量压缩到原来的二分之一到六十分之一甚至更高, 而编码噪声不被人的视觉系统所觉察. 目前获得广泛应用的压缩编码标准已经充分地说明了这一点, 并且这方面的研究使得数字图像的压缩正在朝着更高压缩比、更灵活编解码方法的方向前进.

从 20 世纪 80 年代中期开始, 小波变换在数字信号处理领域的应用成为研究热点, 并取得了瞩目的成就. 到了 90 年代末期, 采用小波变换作为图像信号去相关技术的压缩编码标准——JPEG2000 问世^[3], 标志着数字图像压缩编码技术的发展进入一个崭新的阶段.

JPEG2000 是由 ISO/IEC JTC1 SC29 标准化小组负责制定的, 相应的国际标准号为 ISO15444. JPEG2000 与传统 JPEG 不同之处在于它放弃了 JPEG 算法中所采用的以离散余弦变换(DCT)为主的分块编码方式, 而采用以小波变换为主的多分辨率编码方式.

JPEG2000 的优点主要体现在如下几个方面:

(1) JPEG2000 提供更高的压缩比, 其压缩率比 JPEG 提高约 30%左右.

(2) JPEG2000 同时支持有损和无损压缩, 因此应用领域比 JPEG 更加广泛.

(3) JPEG2000 能实现渐进传输, 这是 JPEG2000 的一个极其重要的特征. 它先传输图像的主要成份, 然后逐步传输数据, 不断提高图像质量, 让图像由朦胧到清晰“渐进”显示.

(4) JPEG2000 支持“感兴趣区域”(Region Of Interesting)特性, 可以任意指定图像上感兴趣区域的压缩质量, 还可以选择指定的部分先解压缩. 这样可以方便地突出图像中的感兴趣区域, 从而实现一幅图像上不同的区域具有不同的压缩质量.