

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学 号: 200330013

UDC _____

厦门大学

硕 士 学 位 论 文

JPEG2000 嵌入式块编码器 (EBC) 架构设计
与实现研究

Architecture Design of EBC for JPEG2000

林 伟

指导教师姓名: 陈 辉 煌 教授

专业 名 称: 电 路 与 系 统

论文提交日期: 2006 年 5 月

论文答辩时间: 2006 年 5 月

学位授予日期: 2006 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2006 年 5 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，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的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1、保密（），在 年解密后适用本授权书。

2、不保密（）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

厦门大学博硕士论文摘要库

摘要

JPEG2000 是目前最新一代的静止图像压缩国际标准。相对于目前通用的 JPEG 标准提供了更高的压缩率、更优秀的低比特率压缩性能，并且具备了许多新的功能，比如：渐进传输、感兴趣编码、同时支持对不同类型图像的有损和无损压缩、良好的容错性、码率可控等。JPEG2000 应用范围广泛，然而其运算复杂度高且对存储器空间需求大，在通用的嵌入式处理器上执行效率低，因此对于高速、实时的嵌入式应用场合，必须用 ASIC 设计来加快处理速度和提高效率。

本论文针对 JPEG2000 的嵌入式块编码器(EBCOT T1)作研究，它在 JPEG2000 中运算时间最长，属于 JPEG2000 的关键和核心部分。它包含了两个子模块：位平面系数位建模以及自适应 MQ 算术编码器。

对于位平面系数位建模，其软件算法对每个位平面都要经过三次扫描，其过程最大需要存储 12K 比特的状态变量。为了减少编码周期数，有关文献提出了编码通道并行的设计架构，它可以将三次扫描结合在一块同时执行，并且只用 8K 比特的外部双端口存储器。本论文提出了另外一种新的编码通道并行架构，它仅仅需要 68 个内部寄存器，而且也可以扩展到位平面并行架构；在论文中对小波系数的存储架构也进行了节省资源的讨论。

对于自适应 MQ 编码器，有关文献提出了流水线的设计架构，它可以在一个周期内处理一个上下文符号。本论文进一步研究了流水线架构的原理，在数学推导公式的基础上，对其内在的资源和速度进行了优化。针对上下文符号未连续输入时，流水线架构有可能产生错误数据并往下级流水线单元传播，也提出了解决方案；同时在优化后的架构中，实现了 JPEG2000 MQ 编码器的代码终结功能。

关键字：嵌入式块编码；编码通道并行；MQ 编码器

厦门大学博硕士论文摘要库

ABSTRACT

JPEG2000 system is the newest international standard for still image compression. The standard not only offers better compression and superior low bit-rate performance but also provides a wide range of features and functionalities compared to conventional JPEG, such as progressive transmission by resolution and quality, region-of-interest coding, lossless and lossy compression of different types of image with different characteristics, post-compression rate allocation, good error resilience. JPEG2000 has broad application fields. However, JPEG2000 needs more complicated computation and more memory requirement which is not efficient executing on general embedded processor. It must be implemented by ASIC design to promote the real time computation.

In this thesis, we focus on the research and FPGA implementation of EBCOT Tier-1 of JPEG2000. The EBCOT Tier1 is of high complexity which occupy most of the computation time and hence the critical component of JPEG2000 encoder. There are two main parts in it: the bit-plane context modeling and self-adaptive MQ arithmetic coder.

In the flow of the bit-plane context modeling coder, every bit-plane is encoded by three sequential passes which would totally need 12K bits external dual-port memory to store state variables. For reducing clock cycles, the pass-parallel architecture based on vertical causal mode is proposed in some reference. It can merge the three coding passes into a single pass and save 4K bits memory. In this thesis, we further propose a different pass-parallel architecture with memory requirement dramatically reducing to 68 internal registers. This architecture can also extend to bit-plane parallel module. We also discuss the effective architecture design of memory blocks to save DWT coefficients.

In the self-adaptive MQ arithmetic coder, pipeline architecture is proposed by some reference which can process one context label in one cycle. In this thesis, we further study the principle of pipeline structure and generalize some useful formation which can guide us with less area consumption and higher speed. Error data will be generated and propagated to next pipeline unit when context labels are not continuously inputted. We also resolve this problem with supporting FLUSH algorithm in our pipeline architecture.

Key words: EBC; pass-parallel; MQ encoder

厦门大学博硕士论文摘要库

目 录

第 1 章 绪论.....	1
1. 1 静态图像压缩标准的历史发展状况	1
1. 2 JPEG2000 的主要特点及关键技术.....	2
1. 3 JPEG2000 性能及编码器算法复杂度分析.....	4
1. 4 JPEG2000 编码器硬件实现的国内外发展状况	6
1. 5 JPEG2000 嵌入式块编码器的研究历史	8
1. 6 本论文的研究意义	9
1. 7 本论文内容结构安排.....	10
第 2 章 JPEG2000 嵌入式块编码器算法流程	13
2. 1 小波系数比特平面建模算法流程.....	13
2. 1. 1 重要性编码的上下文决定方式	15
2. 1. 2 级性位编码的上下文决定方式	16
2. 1. 3 幅值细化编码的上下文决定方式	17
2. 1. 4 游程编码的上下文决定方式	17
2. 1. 5 VC 编码模式及 LAZY 编码模式	18
2. 1. 6 基于状态变量的系数位建模流程	19
2. 2 二进制自适应算术编码流程	22
2. 2. 1 概率模型索引表及概率估值状态表	23
2. 2. 2 JPEG2000 MQ 编码器的整体编码流程	24
2. 2. 3 初始化 INITENC 流程	26
2. 2. 4 ENCODE 编码流程	26
2. 2. 5 FLUSH 终结流程	30
2. 3 本章小节	31
第 3 章 系数位建模架构设计研究.....	33
3. 1 系数位建模架构设计的研究方向和重点	33
3. 2 编码通道并行处理架构实现的基本原理	35
3. 2. 1 重要性传播过程编码 (SP)	36
3. 2. 2 幅值细化扫描通道编码 (MR)	38

3.2.3 清除扫描通道编码 (CLRN)	39
3.3 编码通道并行及位平面并行架构设计	40
3.3.1 上下文编码窗口的架构设计	40
3.3.2 小波系数存储器的架构设计	42
3.4 编码通道并行处理器的总体设计架构及其实现性能	44
3.4.1 编码通道并行处理架构设计	45
3.4.2 比特平面并行处理架构设计	46
3.4.3 编码通道并行处理架构的实现性能	47
3.5 本章小节	47
第 4 章 自适应 MQ 编码器架构设计	49
4.1 MQ 编码器架构设计的研究现状及重点	49
4.2 MQ 编码器流水线架构设计的基本原理	51
4.2.1 MQ 编码器流水线设计的基本出发点——拆解	51
4.2.2 码字寄存器基本输出表达式的推导	52
4.2.3 码字寄存器基本输出表达式的并行化分解	56
4.3 单周期流水线 MQ 编码器架构设计	60
4.3.1 区间间隔寄存器处理模块的优化设计	61
4.3.2 基于码字寄存器输出表达式的内在资源优化设计	62
4.3.3 解决流水线空白问题的架构设计	64
4.4 MQ 编码器的总体设计架构和实现性能	64
4.4.1 状态控制器模块接口信号定义	65
4.4.2 概率模型索引表处理模块设计	66
4.4.3 区间间隔寄存器处理模块设计	67
4.4.4 码字寄存器处理模块设计	68
4.4.5 FIFO 模块设计	70
4.4.6 单周期流水线 MQ 编码器架构设计实现性能	70
4.5 本章小节	70
第 5 章 总结	72
参考文献	74
致 谢	76

CONTENT

Chapter 1 Preface.....	1
1.1 Still image compression standard overview.....	1
1.2 Main characteristics and critical technica of JPEG2000.....	2
1.3 Analysis of JPEG2000 performance and complexity.....	4
1.4 Current research on JPEG2000 encoder architecture design.....	6
1.5 Overview of EBC architecture design.....	8
1.6 Motivation.....	9
1.7 Thesis organizaiton.....	10
Chapter 2 Specification OF JPEG2000 EBC.....	13
2.1 Algorithm of Bit-plane context modeling.....	13
2.2.1 Sinificance coding.....	15
2.2.2 Sign coding.....	16
2.2.3 Magnitude refinement coding.....	17
2.2.4 Run-length coding.....	17
2.2.5 VC mode and LAZY mode.....	18
2.2.6 Flow of EBC.....	19
2.2 Algorithm of MQ encoder.....	22
2.3.1 Probability index table and probability estimation table.....	23
2.3.2 FLOW of MQ coder.....	24
2.3.3 FLOW of INITENC.....	26
2.3.4 FLOW of ENCODER.....	26
2.3.5 FLOW of FLUSH.....	30
2.3 Summarization.....	31
Chapter 3 Architecture Design of BPC.....	33
3.1 Overview of current research on BPC architecture design.....	33
3.2 Basic Analysis of Pass-parallel architecture.....	35
3.2.1 Analysis of SP implementation.....	36
3.2.2 Analysis of MR implementation.....	38
3.2.3 Analysis of CLRN implementaion.....	39
3.3 Further Analysis of Pass-parallel and Bit-plane parallel architecture design.....	40

3.3.1 Architecture design of context-window modeling.....	40
3.3.2 Architecutre design of DWT coefficient memory block.....	42
3.4 Proposed pass-parallel context modeling and FPGA implementation performance.....	44
3.4.1 Proposed pass-parallel context modeling.....	45
3.4.2 extended bit-plane parallel context modeling.....	46
3.4.3 FPGA implementation of pass-parallel architecture.....	47
3.5 Summarization.....	47
Chaper 4 Architecture Design of MQ CODER.....	49
4.1 Overview of current research on MQ encoder.....	49
4.2 Basic analysis of pipeline MQ encoder architecture.....	51
4.2.1 Consideration of pipeline architecture.....	51
4.2.2 Formula of code-register output expression.....	52
4.2.3 Further Parallel decomposition.....	56
4.3 Further Analysis of pipeline MQ encoder	60
4.3.1 Design of interval-register processing module.....	61
4.3.2 Optimization of code-register processing module.....	62
4.3.3 Resolution of bubble problem in pipeline architeture.....	64
4.4 Proposed pipeline MQ encoder and FPGA implementation performance.....	64
4.4.1 Interface of controller module.....	65
4.4.2 Design of probability index table processing module.....	66
4.4.3 Interface of area-register processing module.....	67
4.4.4 Design of code-register processing module.....	68
4.4.5 Design of FIFO module.....	70
4.4.6 FPGA implementation of proposed architecture.....	70
4.5 Summarization.....	70
Chaper 5 Conclusion.....	72
BIBLIOGRAPHY.....	74

第1章 绪论

本章为序论部分，共分为 7 个小节。第 1 个小节中回顾了静态图像压缩标准的历史发展状况；第 2 个小节介绍了新一代 JPEG2000 标准的主要特点及关键技术；第 3 个小节引用文献的资料论述了 JPEG2000 的性能及其算法复杂度分析，引出其核心算法——嵌入式块编码部分；第 4、5 个小节对 JPEG2000 编码器整体硬件实现的当前状况及其编码器核心部分——嵌入式块编码器(EBC)的架构设计作了介绍；第 6 个小节阐述本论文的研究意义；最后一节给出了论文整体的内容结构安排。

1.1 静态图像压缩标准的历史发展状况

科学技术的进步使得图像压缩技术得到越来越广泛的应用，人们对图像质量和压缩效率提出了越来越高的要求。为了满足多媒体通信中对图像处理的要求，早在 1991 年，国际标准化组织 ISO 就提出了第一代国际静止图像压缩标准 JPEG(ISO/IEC10918-1)，之后也被 ITU 批准，成为 ITU-T T.81)[22]，其基本系统是以离散余弦变换(DCT)为基础，结合游程长度编码和霍夫曼编码(算术编码为可选项)。由于其实现技术相对简单而且提供了有效的图像压缩能力，因而在其提出的短短几年内就获得了极大的成功。

然而，各种影像资料通信量的迅速激增，人们已经无法满足于传统 JPEG 技术所能提供的图像压缩能力。随着 JPEG 在医学图像、数字图书馆、多媒体应用、INTERNET 和移动网络的推广，它的一些应用缺点也日益明显。一个突出的问题是 JPEG 在低比特率编码时块状编码失真(马赛克效应)明显。这是因为其压缩时将图像划分成 8x8 的方块，低比特编码时各块内产生的编码失真在块边缘形成了不连续状况的缘故。第二个问题是针对不同的应用场合，人们必须采用不同的编码压缩技术。如针对灰度和彩色图像的有损压缩 JPEG(也包含了以 DPCM 为基础的可逆压缩，但是效果较差)和高效无损压缩 JPEG-LS(ITU-T T.87)[22]以及专门针对黑白二值图像压缩的技术 JBIG(ITU-T T.82)，这些压缩技术都不能互相兼容。

为了更高的图像压缩率，更好的视觉显示效果，以及可以用单一的码流提供多种性能，满足更为广泛的应用需要，ISO 又在 2000 年 12 月份提出的新一代静止图像压缩标准 JPEG2000(ISO/IEC 15444-1)[22][16]，它采用了一系列的图像压缩新技术，代表了静止图像

压缩领域的新的技术发展水平，应用前景广阔。

1.2 JPEG2000 的主要特点及关键技术

JPEG2000 与传统 JPEG 的最大不同在于它放弃了 JPEG 所采用的以 DCT 变换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。相对于 JPEG，JPEG2000 具有许多崭新的优良特征，概述如下[21][22][23]：

1. 良好的低比特率压缩特性，这是 JPEG2000 技术的热点之一。JPEG2000 覆盖了从高比特率到低比特率压缩的所有优良性能。在有损压缩时，平均压缩效率较 JPEG 提高约 20%-30%；另外 JPEG 在低比特率编码时，会产生 DCT 所固有的方块效应，而 JPEG2000 采用 DWT 小波变换编码，失真以图像的模糊形式表现出来，更符合人眼的视觉特性。

2. 感兴趣编码(ROI)和优先解码。用户在处理的图像中可以指定感兴趣区域，对这些区域进行压缩时可以指定特定的压缩质量，或在恢复时指定特定的解压缩要求，这将给人们带来极大的方便。在有些情况下，图像中只有一小块区域对用户是有用的，对这些区域采用低压缩比，而感兴趣区域之外采用高压缩比。在保证不丢失重要信息的同时，能有效地压缩数据量。这就是基于感兴趣区域的编码方案时所采取的压缩策略。基于感兴趣区域的压缩方法的优点，在于它结合了接收方对压缩的主观要求，实现了交互式压缩。而接收方随着观察，常常会有新的要求，可能对新的区域感兴趣，也可能希望某一区域更清晰一些。这种特性是以往的技术所不具备的。

3. 渐进传输，这是 JPEG2000 的一个极其重要的特征。它先传输图像的轮廓，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显示。JPEG2000 具有多种渐进传输方式，能够分级解码，满足不同的应用需求。

4. 兼容连续色调图像和二值图像，无损和有损压缩图像的处理。JPEG2000 突破了以往图像压缩标准只对某一类型的图像具有较好性能的局限，可以同时应用于不同的处理场合。以前，彩色静态画面有损压缩采用 JPEG，二值图像采用 JBIG，高效率无损压缩采用 JPEG-LS，多种方式同时存在，而 JPEG2000 则将上述方式统一起来，成为对应各种图像的通用编码方式。在处理连续色调图像时，JPEG2000 还可以处理每个分量上限值为 38 的高精度图像。

5. 码率可控，压缩文件大小可控。为了适应不同应用的需要，JPEG2000 提供了固定码率，固定总码率两种控制方法。固定码率是指对局部图像进行压缩时，输出码率可以

控制；固定总码率是指对大图像压缩时，码流的总比特为一固定值。其具体实现有两种不同方法：通过调整量化步长及压缩后率失真优化算法截短(PCRD-OPT)。

6. 具有一定的差错控制和抗误码能力。JPEG2000 采用了具有再同步标志的分组结构，较小尺寸的编码单位(代码块最大为 64x64)、各编码处理单位(三种不同的编码扫描)算术编码的终结以及各代码块内的差错检测和隐藏机制等。

7. 能够通过电子水印、标记等信息加密技术保护图像的知识产权。

JPEG2000 的优良技术特征决定了其良好的应用前景。一是面向传统的图像归档、数字摄影等领域，如印表机，扫描仪，数码相机、传真机等；同时又以低比特率下的优良特征、渐进传输、感兴趣编码，对码流的任意访问，有效抑制误码、保护知识产权等特点，可以在一些新兴领域取得广泛应用，如：WEB 页浏览、文档成像、电子商务、多媒体、医疗图像、数字图书馆、无线通信及遥感等方面。

JPEG2000 目前可分为 12 个大部分[17][23]，其中比较重要的是前面六个部分。PART1 是核心编码部分，规定 JPEG2000 系统最低限度级别的实现框架。PART2 规定了核心系统的一些功能扩展，如扩展颜色空间处理、感兴趣编码等。PART3 规定了以 JPEG2000 为帧内编码技术的运动图像压缩算法。PART4 则对图像测试方面作出了规定。PART5 提供了标准的参考软件实现，可参见[18]。PART6 对以图形文字混合图像为对象的代码格式作出了规定，主要针对印刷和传真应用。

图 1-1 所示是 PART1 中规定的编码器的主要算法流程。输入图像首先经过 DC 直流偏移和分量变换，以提高重建图像时的峰值信噪比；之后再经过小波变换和量化器，送往系数编码器的层 1 部分(EBCOT T1)进行系数位平面分层扫描；对系数位建模得到的二进制判决代码和上下文信息，再用 EBCOT T1 的自适应 MQ 编码器进行高效率的算术编码压缩；最后对压缩后得到的码流用系数编码器的层 2 部分(EBCOT T2)实现码率控制，最后将码流组织成代表码流质量层的分组，加入必要的头信息，形成 JPEG2000 格式的压缩文件。

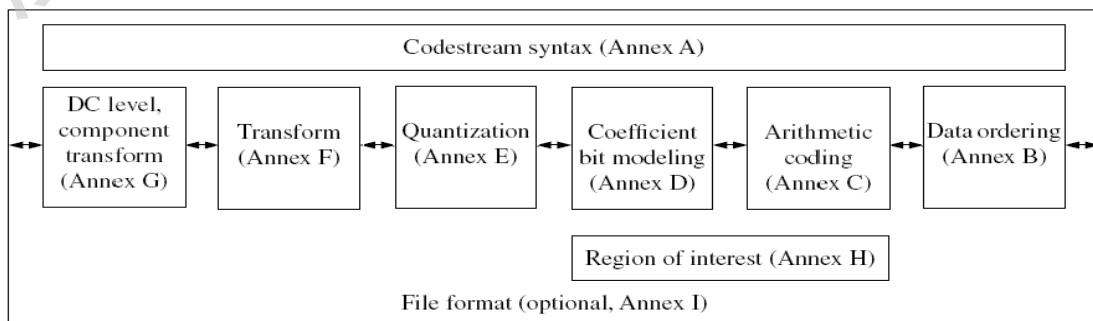


图 1-1 JPEG2000 核心系统的编码流程

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