

学校编码: 10384
学 号: S200330010

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学
硕 士 学 位 论 文

基于 DM642 的 H. 264 视频解码器的设计与优化

Design and Optimization of H.264 Video Decoder Based on
DM642

陈 梅 芳

指导教师姓名: 苏钟人 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而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

摘 要

H.264/AVC是ITU_T和ISO/IEC联合制定的新一代的视频编码标准。同以往的视频编码标准相比，H.264具有更高的编码效率、更好的容错能力和网络适应性，这些优点必将使其在视频通信领域得到非常广泛的应用。

然而 H.264 编码效率的提高是以极大地增加了算法的复杂度为代价的，从而限制了其在实时通信领域的应用。视频标准的实时实现，一般可有两种方法：一是专用 ASIC 芯片硬件实现，二是软件编程实现（基于 PC 或 DSP）。其中，DSP 实现是目前流行的 H.264 编解码的实时解决方案，它的优点是开发周期短、灵活性强。因此，在保持 H.264 编码效率的同时如何提高编解码器的运算速度成为目前研究的热点问题之一。

本文的主要工作即是以 JM86 为参考模型，探讨 H.264 解码器在 DM642EVM 嵌入式系统上的实时实现问题。首先，详细分析了 H.264 视频编码标准及其测试软件 JM86；其次，在结合 DM642 硬件特性的基础上，通过调整 JM86 解码器软件框架流程和数据结构等，提出了基于该硬件平台的 H.264 Baseline 视频解码器的实现方案；然后，采用编译级、算法级和代码级三种优化手段对解码器进行优化，算法级优化主要是：图像边界扩展、改进 CAVLC 码表查找算法、相邻块信息快速获取。代码级优化主要是：对运算密集模块进行汇编优化，其它的则进行 C 语言的优化；最后，给出了优化的结果，并对结果进行分析。

目前，本文所开发的 H.264 视频解码器实现了对测试软件 JM86 编码器编码的 CIF 格式视频流的实时解码，基本满足可视电话、视频会议等领域的实时要求。

关键词：H.264；DM642；优化

Abstract

H.264/AVC is the newest video-coding standard jointly developed by ITU-T and ISO/IEC. Relative to existing standards, H.264 has achieved a significant improvement in coding efficiency, error tolerance and networking adaptability. That will certainly bring H.264 to a widely application in video communication fields.

However high compression efficiency comes at the cost of additional complexity, which limits H.264 in the application of real-time communication. Currently, there are two kinds of implementation in real-time video decoding: implementation based on dedicated ASIC and implementation by software program running on PC or DSP. And DSP scheme has recently been used to implement the real-time H.264 video encoder and decoder, which has the benefits including to shorten time to market and excellent flexibility. Therefore, improving the algorithms for optimization of DSP calculating speed becomes one of the hot topics in research area.

The major work in this paper is to implement real-time H.264 decoder over the DM642EVM platform based on the reference software JM86. Firstly, H.264 standard and JM86 are analyzed. Then according to the characteristics of DM642, with the software frame and data structure of the JM86 decoder re-adjusted, the design of a H.264 baseline decoder implemented on DM642 platform is proposed. And then three major optimization methods are introduced: selection of appropriate compiling options, improvement of the decoding algorithms and modification of program codes. The improvement of decoding algorithms includes algorithms of spreading image boundary, modifying CAVLC code-table searching and fast fetching adjacent block information. The program-code modification includes improving the program structure and functions of software by C language, and using assembly language for the extensive computing parts of the H.264 decoder. Finally the result of optimization is compared and analyzed.

At present, the H.264 decoder developed in this paper can implement the real-time decoding of the video stream in CIF format originally encoded by the JM86 encoder. That basically satisfies the real-time requirement in videophone and video conferencing applications.

Key Words: H.264; DM642; Optimization

目 录

第一章 绪论	1
1.1 引言	1
1.2 视频编码标准的发展历程	1
1.3 视频编码标准的实时实现方法	4
1.4 论文内容及结构	5
第二章 H.264/AVC 标准介绍	6
2.1 概述	6
2.2 H.264 编解码器结构	7
2.3 帧内预测编码	8
2.3.1 <i>Intra</i> _4×4 预测	9
2.3.2 <i>Intra</i> _16×16 预测	9
2.3.3 色度块的帧内预测	10
2.4 帧间预测编码	10
2.4.1 树状结构的运动补偿	11
2.4.2 亚像素精度的运动补偿	12
2.4.3 多帧参考	15
2.5 整数变换和量化	16
2.5.1 4×4 残差块的整数变换和量化	16
2.5.2 4×4 亮度分量的直流系数变换	18
2.5.3 2×2 色度块的 DC 系数变换	19
2.6 熵编码	19
2.6.1 Exp-Golomb (指数哥伦布编码)	20
2.6.2 CAVLC	21
第三章 DM642 概述	25
3.1 TMS320DM642 介绍	25
3.2 TMS320DM642 的软件开发	26
3.2.1 软件开发流程	26

3.2.2 集成开发环境.....	27
3.3 DM642EVM 介绍	29
第四章 H.264 解码器的实现与优化	30
4.1 基于 DM642 的 H.264 解码器的系统设计	30
4.1.1 程序框架设计	31
4.1.2 视频输出端口驱动程序设计	32
4.1.3 代码结构设计	33
4.1.4 数据结构设计	35
4.2 解码器分析	36
4.2.1 性能测试	37
4.2.2 优化策略	37
4.3 利用编译器选项优化	38
4.4 程序算法优化	40
4.4.1 参考图像的边界扩展 ^[18]	40
4.4.2 CAVLC 解码的分组优化	41
4.4.3 相邻块信息的快速获取	45
4.5 利用 DSP 的结构进行优化	47
4.5.1 存储器优化	47
4.5.2 程序代码优化	51
4.6 汇编优化	55
4.6.1 直接用汇编语言进行优化	55
4.6.2 使用线性汇编语言进行优化	57
4.7 其它优化	58
4.8 优化结果及分析	58
第五章 总结与展望	60
参考文献	61
致谢	62
附录 视频输出端口配置参数	63

Contents

Chapter 1: Preface	1
1.1 Introduction	1
1.2 Development History of Video-Coding Standards	1
1.3 Real-time Implementation Methods of Video-Coding Standards	4
1.4 Arrangement of the Thesis	5
Chapter 2: Overview of H.264/AVC	6
2.1 Introduction	6
2.2 H.264 CODEC Structure	7
2.3 Intra Prediction	8
2.3.1 Intra_4x4 Prediction	9
2.3.2 Intra_16x16 Prediction	9
2.3.3 Chroma Prediction.....	10
2.4 Inter Prediction	10
2.4.1 Tree Structured Motion Compensation.....	11
2.4.2 Sub-Pixel Motion Compensation.....	12
2.4.3 Multi-frame Reference	15
2.5 Transform and Quantization	16
2.5.1 4×4 Residual Transform and Quantization	16
2.5.2 4×4 Luma DC Coefficient Transform.....	18
2.5.3 2×2 Chroma DC Coefficient Transform	19
2.6 Entropy Coding	19
2.6.1 Exp-Golomb.....	20
2.6.2 CAVLC.....	21
Chapter 3: Overview of DM642	25
3.1 Introduction of TMS320DM642	25
3.2 TMS320DM642 Software Development	26
3.2.1 Software Development Flow	26
3.2.2 Code Composer Studio.....	27
3.3 Introduction of DM642EVM	29

Chapter 4: Implementation and Optimization of H.264 Decoder	30
4.1 System Design of H.264 Decoder Based on DM642	30
4.1.1 Program Frame Design	31
4.1.2 Driver Design of Video Export Port	32
4.1.3 Code Structure Design	33
4.1.4 Data Structure Design	35
4.2 Decoder Analysis	36
4.2.1 Performance Testing	37
4.2.2 Optimization Strategies	37
4.3 Compiler Optimization	38
4.4 Algorithms Optimization	40
4.4.1 Spreading Image Boundary ^[18]	40
4.4.2 Group-based CAVLC Optimization	41
4.4.3 Fast Fetching Adjacent Block Information	45
4.5 DSP Optimization	47
4.5.1 Memorizer Optimization	47
4.5.2 Program Code Optimization	51
4.6 Assembly Optimization	55
4.6.1 Direct Assembly Implementation	55
4.6.2 Linear Assembly Implementation	57
4.7 Other Optimization Methods	58
4.8 Optimization Analysis	58
Chapter 5: Summary and Improvement	60
Referances	61
Acknowledgements	62
Appendix	63

厦门大学博硕士学位论文摘要库

第一章 绪论

1.1 引言

21 世纪是一个数字信息时代，数字信息化几乎涉及到世界的各个角落，改变了人类的生活和工作方式。以多媒体和网络为依托的信息技术已成为拓展人类能力的创造性工具。信息化的一个主要特征就是多媒体技术的广泛应用，随着多媒体业务的不断拓展，多媒体技术已成为工业界和学术界的一个研究热点。同时，超大规模集成电路技术、数字信号处理技术、双通道 VRAM 和网络技术的飞速发展，有效的促进了数字视频压缩算法和视频处理器结构的改进，使得多媒体技术的实际应用成为可能。

多媒体内容丰富，包括文字、声音、图像、图形和视频等数据，信息容量大，表达能力强，它代替单一的语音通信模式已是不可阻挡的趋势。其中视频又是多媒体信息中最重要的成分，它具有直观、形象、准确、高效和应用广泛等特点，但视频信息的庞大数据量对通信系统中有限的带宽和存储空间提出了严峻的挑战。例如，对于标准清晰度数字电视，若不采取任何压缩措施，总的的数据码率为 216Mbps(每采样点色差格式为 4:2:2，8 比特量化)；对于 DVD，输入视频格式为 D1，帧率为 30fps，则视频数据的码率为 $720 \times 480 \times 16 \times 30 = 165.9 \text{ Mbps}$ ，DVD 容量为 4.7GB，仅能存储 $4.7 \times 8 / 165.9 = 226.4$ 秒长度的节目。

从上面的数据可见，视频信息在数据量的存储和传输上及处理的速度都受到很大的限制，现有的通信和存储设备一般不足以承受几十甚至上百兆的码率。因此，如何压缩视频数据量成为多媒体技术发展的关键问题，它是降低存储成本，缓解网络带宽，突破存储空间和处理器主频限制的一个重要手段。视频压缩技术相应地成为一个重要的课题，而由此产生的各种视频编码标准则为视频数据的传输和存储提供了解决方案。

1.2 视频编码标准的发展历程

自上个世纪 80 年代以来，ISO/IEC 制定的 MPEG-X 和 ITU-T 制定的 H.26x 两大系列视频编码国际标准的推出，开创了视频通信和存储应用的新纪元。从 H.261 视频

编码建议，到H.262/3/4、MPEG-1/2/4等都有一个共同的不断追求的目标，即在尽可能低的码率（或存储容量）下获得尽可能好的图像质量。而且，随着市场对图像传输需求的增加，如何适应不同信道传输特性的问题也日益显现出来。于是IEO/IEC和ITU-T两大国际标准组织联手制定了最新一代视频标准H.264来解决这些问题。下面回顾视频编码标准的发展历程。

H.261是最早出现的视频编码建议，目的是规范ISDN网上会议电视和可视电话应用中的视频编码技术。它采用的算法是结合了减少时间冗余的帧间运动补偿预测和减少空间冗余的DCT变换的混合编码方法。以后的视频编码标准都以此为基础。H.263是低码率图像压缩标准，在技术上是H.261的改进和扩充，支持码率小于64kb/s的应用。但实质上H.263以及后来的H.263+和H.263++已发展成支持全码率应用的建议，从它支持众多的图像格式这一点可看出，如Sub-QCIF、QCIF、CIF、4CIF甚至16CIF等格式。

MPEG-1标准的码率一般为1.2Mb/s左右，可提供30帧CIF(352x288)质量的图像，是为CD-ROM光盘的视频存储和播放所制定的。MPEG-1标准视频编码部分的基本算法与H.261/H.263相似，也采用运动补偿的帧间预测、二维DCT、VLC游程编码等措施。此外还引入了帧内帧(I)、预测帧(P)、双向预测帧(B)和直流帧(D)等概念，进一步提高了编码效率。在MPEG-1的基础上，MPEG-2标准在提高图像分辨率、兼容数字电视等方面做了一些改进，例如它的运动矢量的精度为1/2像素；在编码运算中（如运动估计和DCT）区分“帧”和“场”；引入了编码的可分级性技术，如空间可分级性、时间可分级性和信噪比可分级性等。1999年推出的MPEG-4标准引入了基于视听对象(AVO: Audio-Visual Object)的编码，大大提高了视频通信的交互能力和编码效率。MPEG-4中还采用了一些新的技术，如形状编码、自适应DCT、任意形状视频对象编码等。但是MPEG-4的基本视频编码器还是属于和H.263相似的一类混合编码器。

H.264/AVC (Advanced Video Coding) 是近年来由ISO的MPEG (Moving Picture Experts Group) 和ITU的VCEG (Video Coding Experts Group) 两大国际组织共同制定的最新的视频压缩编码国际标准。H.264标准的主导思想是与其他的视频编解码标准一致——基于块的混合编码，但它引入了许多当今最新的编码思想和技术，使其编码性能优于之前的标准，但同时复杂度比之前的编码标准要大很多。

首先，H.264标准采用了“回归基本”的简洁设计，不用众多的选项，获得

比H.263++多得好的压缩性能；加强了对各种信道的适应能力，采用“网络友好”的结构和语法，有利于对误码和丢包的处理；应用目标范围较宽，以满足不同速率、不同解析度以及不同传输（存储）场合的需求；它的基本框架(Baseline Profile)是开放的，使用无需版权。

其次，在技术上，H.264标准中有多个闪光之处，也就是H.264标准的关键技术，如更多种帧内预测编码模式；高精度、多模式运动估计；残差图像的 4×4 整数变换编码；改进的去块效应滤波器；增强的熵编码方案(CAVLC或CABAC)等等。这些措施使得H.264算法具有很高的编码效率，在相同的重建图像质量下，能够比H.263或MPEG-2节省50%左右的码率。

视频编码国际标准的发展示意图如图 1-1：

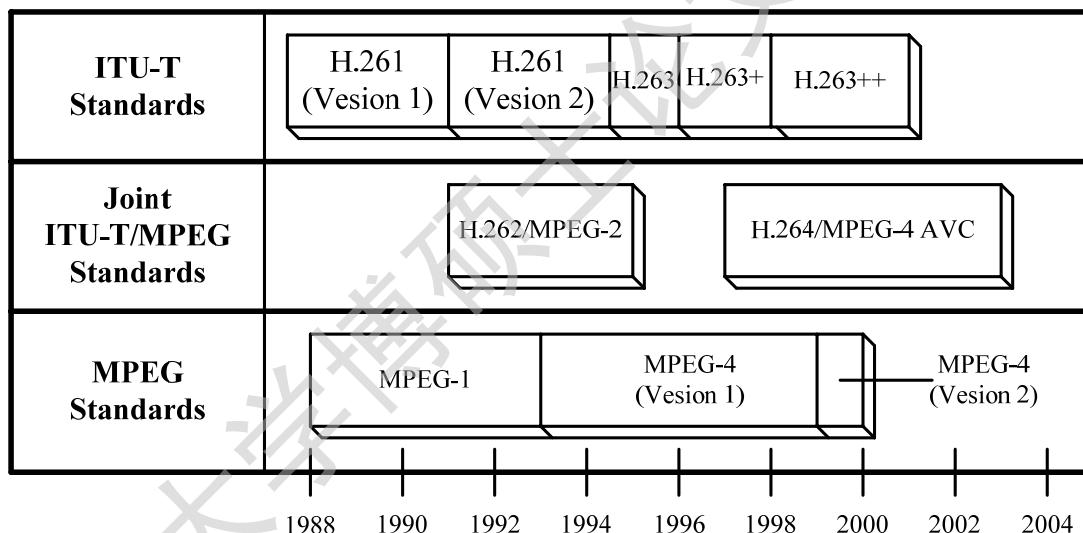


图1-1 视频编码国际标准历史发展演变

2002年6月，我国成立了AVS工作组，并于2003年12月定稿AVS视频部分。AVS是由我国自主制定的音/视频编码技术标准，以当前国际上最先进的H.264/MPEG-4 AVC框架为基础，强调自主知识产权，同时充分考虑了实现的复杂度。相对于H.264，AVS的主要特点有：1) 8×8 的整数变换与64级量化；2) 亮度和色度的帧内预测都是以 8×8 块为单位，亮度块采用五种预测模式，色度块采用四种预测模式；3) 采用 16×16 、 16×8 、 8×16 和 8×8 四种块模式进行帧间运动补偿；4) 在 $1/4$ 像素运动估计方面，采用不同的四抽头滤波器进行 $1/2$ 像素插值和 $1/4$ 像素插值；5) P帧可以利用最多2帧的前向参考帧，而B帧采用前后各一个参考帧。AVS应用目标

明确，技术有针对性。在高分辨率应用中，其压缩效率明显要比现在常用于数字电视、光存储媒体中的MPEG-2高。同时，在压缩效率相当的前提下，其实现复杂度又较H.264的Main Profile大为降低。

1.3 视频编码标准的实时实现方法

各种视频编码技术都存在一个共同的特点，那就是计算量很大，这对于视频标准的实时实现是一个挑战。因此，视频标准的实时实现方案是一个研究的热点。一般可有两种方法来实现，一是专用ASIC芯片硬件实现，二是软件编程实现，软件实现可基于PC也可基于DSP。

基于专用的ASIC芯片实现既可以作为专用的编解码器，又可以作为其中的核心模块。这种方法十分有效，因为芯片设计可以针对专门的算法进行高度优化。和微处理器相比，专用视频解码器芯片不需要取指、译码等过程，还可以将控制器所需要的硬件开销减到最小，因此它可以获得更高的处理速度，并占用更少的硬件电路。其缺点在于其中有大量的专用模块，当算法需要修改时，便无法适应新的算法，只能重新设计。

更加灵活的方案是利用可编程多媒体DSP处理器。在DSP平台上进行视频产品开发有以下几方面的优势：

第一 户开发自由度更大，支持多种个性化开发，可以满足市场不断提出的新的要求，在第一时间提升产品性能，增强产品的竞争能力。例如，H.263编解码器可以很容易的修改成MPEG-4 Simple Profile编解码器，如果需要实现更高的框架，只需相应增加更多的功能；

第二 DSP处理能力强，可以在一个DSP上同时实现多路音/视频信号的压缩处理，还可提供很多视频专用功能，比如视频滤波、高分辨显示输出、OSD功能等；

第三 外围接口丰富，开发周期短，可实现快速技术更新和产品换代；

第四 芯片功耗低，为提高产品的稳定性提供可靠保障。

当前可用于视频压缩的DSP主要有TI的C6X DSP、Equator的MAP-CA/BSP-15和Philips的TriMedia等。

其中Equator公司和Philips公司的DSP都是图像处理专用芯片。芯片内部针对图像、视频处理专门做了优化，例如有专门适合图像处理的协处理器和专门进行图像处理的SIMD指令。在专用的图像处理DSP上开发图像处理程序可以完全采用C

语言开发，并具有开发周期短、开发难度低的特点，但是也具有通用性不强，成本过高等缺点。

TI的DSP一般都是通用性DSP，只是根据运算能力分为不同的系列。其中C6X系列运算能力最高，适合运算量最大、算法复杂度高的多媒体处理。在TI的DSP上开发DSP程序具有开发灵活、成本低廉的优点，但是需要开发者针对其芯片特点进行多种优化，对开发者有较高的要求。本文的主要工作就是围绕这些优化技术进行研究，探讨H.264视频解码算法的DSP实时实现问题。

1.4 论文内容及结构

本文在研究H.264参考软件JM86的基础上，设计了基于TI的DM642硬件平台上的H.264视频解码器，并采用了算法优化、利用DSP硬件资源优化和线性汇编优化等多种优化手段，实现了CIF格式视频流的实时解码。

第一章 介绍了视频编码标准的发展历程及其实时实现方法。

第二章 具体介绍了H.264/AVC标准，详细阐述了其关键技术。

第三章 介绍了DM642硬件平台的结构、特点及其软件开发流程和集成开发环境。

第四章 结合DM642硬件平台的特性，调整和优化了基于PC上的H.264解码器JM86，实现了基于DM642的H.264视频解码器的实时解码。

第五章 对全文进行了总结，并指出基于DM642的H.264视频解码器的进一步研究方向。

第二章 H.264/AVC 标准介绍

2.1 概述

H.264/AVC标准作为当前国际上最新的视频编码标准，被ITU-T命名为H.264，ISO/IEC则把此标准称做国际标准14496-10(MPEG-4的第10部分)高级图像编码(AVC)。它的主要目标就在于提高视频编码效率和增强网络适应能力，从而满足多种视频应用的要求。H.264标准在当前图像标准中压缩效率是最高的，在相同的重建图像质量下，能够比H.263节约50%左右的码率。标准的草案于2003年3月最终修订完成。

H.264是在原有技术框架下开发的新的标准。标准的编码技术的高效，一方面来源于对压缩技术的进一步理解，采纳了当前新编码技术成果，另一方面则归于摩尔定律揭示的技术进步；正是IT产业的迅猛发展使得过去不可能采用的复杂技术及高性能硬件可以用于商业用途。H.264主要有三个框架模式(Profile)，即基本框架(Baseline Profile)、主要框架(Main Profile)、扩展框架(Extend Profile)。他们分别适用于不同的业务需求：Baseline Profile是为会议电视、可视电话等实时视频通信设计的，Main Profile针对电视广播应用，Extend Profile则面向视频流媒体、移动信道及其他场合的应用。

H.264的算法在概念上可以分为两层：视频编码层(VCL: Video Coding Layer)包含了代表视频图像内容的核心压缩编码部分的表述；网络提取层(NAL: Network Abstraction Layer)负责以网络所要求的特定方式对数据信息进行打包和传输。为了更好地适应网络传输，H.264在系统层上提出了一个新的概念，即在视频编码层(VCL)和网络提取层(NAL)之间进行概念性分割。这样的结构能够更好地适应网络数据信息的封装和对信息进行更好的视频流优先级分类控制。目前，本论文仅实现VCL部分的功能。H.264的分层编码传输结构如图2-1所示。

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