

一种实时低成本压缩算法的 VLSI 实现

田磊磊, 张 瑛

(南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京 210023)

摘要:针对传统视频图像压缩算法时延长和成本高的问题,提出一种新的无损/近无损视频压缩算法。该算法由码率控制器和熵编码器组成,其中码率控制器通过对已有信息进行分析(上下文)来确定当前宏块的可用比特数,然后根据大量实验得出的高效 Huffman 码表,并结合位平面编码器对残差进行编码。实验结果表明,文中提出的视频图像压缩算法能够工作在 300 MHz,吞吐量最差为 1.3 pixel/cycle,同时仅用一块 120 * 720 的 SRAM 来存储上一行像素值,因此很好地解决了时延和成本问题。

关键词:视频压缩;无损视频压缩;低成本;VLSI

中图分类号:TP402

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2014)10-0101-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2014.10.024

Realization of VLSI of an Real-time and Low Cost Compression Algorithm

TIAN Lei-lei, ZHANG Ying

(College of Electronic Science and Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210023, China)

Abstract: In view of the problem of time delay and high cost for traditional video image compression algorithm, a novel lossless/near-lossless video compression algorithm is proposed. This algorithm consists of rate controller and entropy encoder, the rate controller can determine the bits of current block by analyzing the information, then according to the Huffman code table obtained by plenty of experiments, the residual is encoded combined with bit-plane encoder. The experimental results illustrate that the proposed algorithm can work in 300 MHz and the worst throughput is 1.3 pixel/cycle, while only a 120 * 720 SRAM is used to store the top-line pixel, thus the problem of time delay and high cost can be solved properly.

Key words: video compression; lossless video compression; low cost; VLSI

0 引言

由于有损压缩技术充分利用视觉冗余对视频图像信息进行压缩,可以获得较高的压缩比,所以成为了数字视频压缩领域的主流趋势,但是当利用有损压缩后的视频图像进行图像处理,如去噪、缩放和增强时,使得处理后的视频图像质量变得更差,这就大大限制了该方法的应用^[1-3]。目前的无损视频算法压缩^[4]率远远比不上有损压缩算法,再加上带宽、移动存储设备和DDR价格等实际应用因素的制约使得无损视频图像压缩算法没有成为主流。

然而随着4K * 2K数字电视的普及以及高分辨率

图像在航空航天上的广泛应用,对视频流畅度、清晰度和实时性的要求也在不断提高,同时网络带宽与移动存储设备容量的不断增加,DDR价格的不断下降,使得高质量视频图像无损压缩技术必将成为工业领域发展的主流。

针对上述情况,基于现有的有损和无损视频图像压缩算法设计了一个新型的无损/近无损视频压缩算法,提出了一种改进的码率控制方法。文中通过Verilog HDL语言来进行VLSI实现,并采用Synopsys公司的design compiler工具在smic 40 nm CMOS标准单元库下进行综合并进行面积和时序等性能分析。结果

收稿日期:2013-12-01

修回日期:2014-03-07

网络出版时间:2014-07-28

基金项目:国家自然科学基金青年科学基金项目(61106021);江苏省高校自然科学研究面上项目(11KJB510019)

作者简介:田磊磊(1988-),男,陕西榆林人,硕士研究生,研究方向为集成电路与系统;张 瑛,博士,副教授,研究方向为模拟与射频集成电路设计。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20140728.1224.027.html>

表明提出的算法工作频率可以达到 300 MHz,每个周期至少解码 1.3 个像素点,而对于 $1\,920 \times 1\,080$ 大小的视频流,最低帧率可达 188 帧/s,远远高于目前主流的 120 帧/s,并且 VLSI 实现时仅用了一块 120×720 的单口 SRAM,实现了低成本,从而很好地满足了市场需求。

1 编码器模型描述

目前比较流行的压缩算法都是基于宏块来进行压缩,如静态压缩算法 JPEG2000 与 JPEG-LS 和视频压缩算法 MPEG 与 H. 264^[5-7] 系列,但其不可避免都会产生块响应,同时这类图像视频压缩算法需要存储大量的块信息,使得面积比较大。文中在保证实时压缩的前提下,采用基于行预测的方式^[8-11] 进行编码来达到面积最小化的目的。

图 1 为算法流程图。

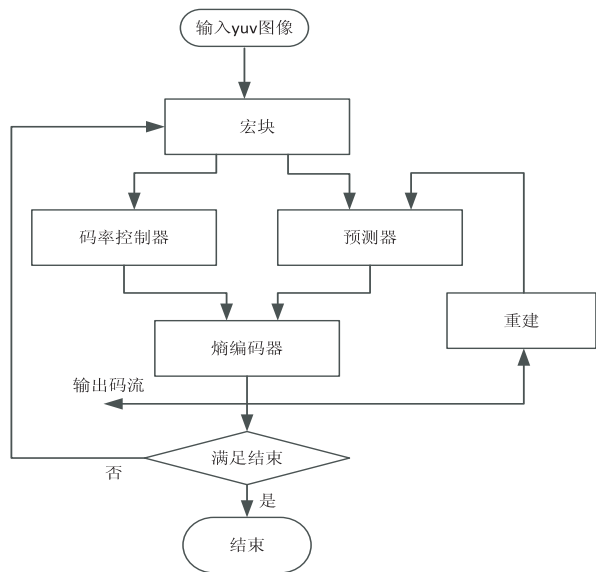


图 1 算法流程图

首先对输入的 yuv444 格式的图像以 1×32 形式进行分块(MB),再把每个 MB 细分为 4 小块(cell_{mb})。例如对于 $1\,920 \times 1\,080$ 大小的图像,每行有 60 个 MB,240 个 cell_{mb} ,那么整幅图像有 $1\,080 \times 60$ 个 MB, $1\,080 \times 240$ 个 cell_{mb} ;然后把 MB 送给码率控制器来统计并产生本 MB 可用于编码的比特数,同时把 MB 送给预测器来判定预测方式并产生残差(diff);再通过熵编码器模块来产生编码后的数据流(即码流);最后判定是否为最后一个 MB,如果是则结束,反之,进入下一 MB 进行编码。为了防止图像漂移现象的发生,重建模块通过预测值加上编码后残差来重建当前 MB 的像素值,作为下一行中“左上预测”、“上预测”和“右上预测”的参考值。

1.1 码率控制器

码率控制一直是视频图像压缩领域一个重要的研

究领域。在航天通信系统和 IPTV 等应用中,用于数据传输的信道带宽是有限制的,所以编码器必须输出与信道带宽匹配的码流,才能使视频图像数据准确可靠的传输,如果码流的波动比较大,则可能造成不同程度的带宽浪费或信息丢失。由于人类视觉系统对图像复杂区域反应比较迟钝,用 is_cmplx 来表示图像复杂度,如果复杂度高于某个指定的阈值(cmplx_thrd),则分配较少比特数,反之则分配固定比特数,如式(1)。

$$\text{is_cmplx} = \begin{cases} \text{cmplx_thrd}, & \text{grad} > \text{cmplx_thrd} \\ \text{cmplx_bits}, & \text{其他} \end{cases} \quad (1)$$

而对于平滑区,人眼敏感度比较高,用 is_smth 来表示图像平滑度,通过统计 MB 内的梯度来量化图像平滑度,如果梯度值小于某个阈值(smth_thrd),则认为是平滑区,则分配较多比特数,反之分配固定比特数,如式(2)。

$$\text{is_smth} = \begin{cases} \text{smth_thrd}, & \text{grad} > \text{smth_thrd} \\ \text{smth_bits}, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

根据压缩率算出每个 MB 分配比特数(tgg_bits),例如对于 $1\,920 \times 1\,080$ 、10 比特精度和压缩率为 2 的图像, tgg_bits 则等于 $(1\,920 \times 1\,080 \times 30)/(2 \times 32)$,最后再结合剩余比特数(left_bits)得出最后的用于本 MB 的目标比特数(mb_bits),如式(3)。

$$\text{mb_bits} = \text{is_cmplx} + \text{is_smth} + \text{tgg_bits} + \text{left_bits} \quad (3)$$

1.2 预测器

预测编码已经成为视频图像压缩领域的重要分支,其基本依据是:视频图像在空间上通常具有较强的相关性,即可以根据已知像素值来预测相关的一些像素值^[12-14]。编码方法是:将当前像素值减去预测值得到残差(diff),通过对 diff 进行编码来节省比特数。文中每个像素值都有四个预测方向,分别是左、左上、上、右上,如图 2 所示。如果为左端预测,则本 MB 的所有像素点的预测值为上一个 MB 的最后一个像素值。同时每 8 个像素点(即一个 cell_{mb})有一个共同的预测方向,具体计算方法如式(4)和式(5)。

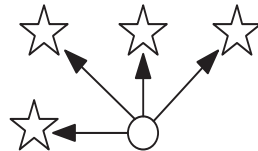


图 2 四种预测方向

$$\text{sad} = \sum_{j=0}^2 \left(\sum_{i=0}^7 \text{cur_pix}(i,j) - \text{prd_pix}(i,j) \right) \quad (4)$$

$$\text{prd_mode} = \min(\text{sad}_l, \text{sad}_u, \text{sad}_t, \text{sad}_r) \quad (5)$$

其中, j 表示像素值的 3 个分量 y, u, v ; $\text{cur_pix}(i, j)$ 表示第 i 个当前像素点的第 j 个分量值; $\text{prd_pix}(i, j)$ 表示第 i 个预测像素点的第 j 个分量值; $\text{sad}_l, \text{sad}_u, \text{sad}_t, \text{sad}_r$ 分别表示:左端,左上,上端,右上 4 个预测方

向上,一个 cell_{mb} 的残差和 (sad)。

1.3 熵编码器

熵编码又称变长编码,其目的是用来减少视频图像的编码冗余,其基本思想是:分配较少的码字给出现频率较高的信号值,即信号出现的频率越低,其对应的码字就越长。

位平面编码是以 cell_{mb} 为基本编码单位,通过对位平面进行扫描来输出判定码字,其基本思想是:同一个 cell_{mb} 内像素的残差值均小,如果从最高非零比特面进行编码即可节省码字,即对高于最高非零比特面的比特面不进行编码。图 3 是精度为 10 的一个 cell_{mb} 的比特面示意图,其中虚线左边表示第几个比特面,右边为对应的残差值。

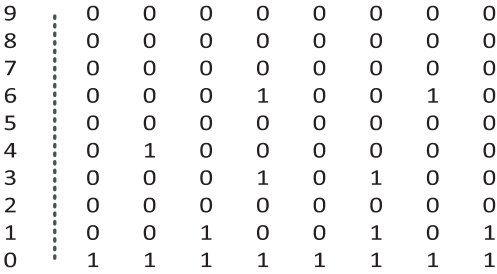


图 3 图像精度为 10 的比特面示意图

进一步压缩位平面编码码字的方法是用专门的码表来表示全为 0、只有一个 1 和全为 1 的比特面。通过大量实验实现,高比特面和低比特面出现全为 0、只有一个 1 和全为 1 的比特面的概率也是不同的,所以对高比特面和低比特面指定不同的码表,如表 1 和表 2 所示。最后根据码表把判定字和码字一起编入码流中。

表 1 高比特面码表

判定字	说明	码长
0	全为 0	1
10	有且仅有一个 1	5
110	全为 1	3
111	其他	11

表 2 低比特面码表

判定字	说明	码长
0	全为 1	1
10	其他	10
110	有且仅有一个 1	6
111	全为 0	3

具体编码过程为:首先确定最高非零比特面,图 3 中为第 6 个比特面;然后根据码表来进行编码。因为码表有两张,所以要确定哪些比特面为高比特面,哪些为低比特面,据大量实验文中规定低比特面为 1 和 0 比特面,其余为高比特面。如第 6 个比特面编码的码

字为 11100010010,其中高三位为判定字,低八位为对应位的比特值;又如第 0 个比特面编码的码字为 0,因为其是低比特面且全为 1,所以只需一位码字即可。

2 压缩算法 VLSI 架构设计

由于 IPTV 应用的特殊需求,使得图像压缩不可能在通用设备上通过软件方式来实现,这就涉及到如何将压缩设计方法通过硬件描述语言 (Verilog-HDL) 转换到实际应用中。通过对压缩方法设计的深入研究和分析,同时考虑成本和实时性解码,采用模块化设计方法设计硬件架构,如图 4 所示。硬件架构设计图中主要包含逻辑功能模块和数据处理模块。在接下来的小节中,将简单介绍逻辑功能模块(因为在第一章进行了详细解释),重点介绍数据处理模块,并对数据处理中的难点部分 lbuf 的读写控制做单独说明。

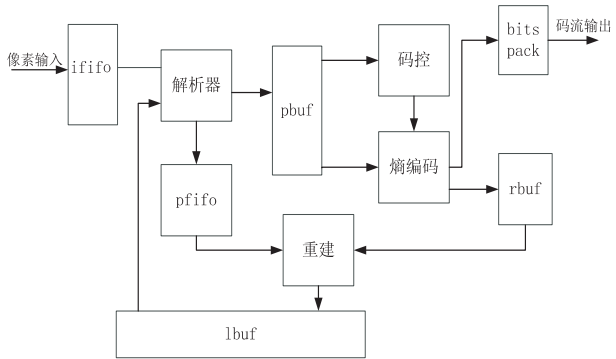


图 4 压缩算法架构设计图

2.1 逻辑功能

逻辑功能模块包括:
“解析器”模块主要功能为统计码率控制器所需信息和熵编码所需的残差值;

“码控”模块主要功能为根据统计信息并结合压缩率和当前剩余比特数计算出当前 MB 可用比特数;

“熵编码”模块主要功能为在满足“码控”指定比特数的情况下对残差值进行比特面编码;

“重建”模块主要功能为根据预测值和编码后的残差(因为可能出现比特面截断现象,所以编码后残差和编码前残差有一定区别)计算出当前点的重建值。

2.2 数据处理

数据处理模块包括:
“ififo”的功能为对输入像素值进行缓冲,因为从外部输入的像素值是一个点一个点的格式,而在“解析器”模块中对数据的处理(如求残差)等都是相邻两个点,所以通过 ififo 对输入数据进行缓冲;
“bitspack”,因为本设计最终输出的码流会送入到 DDR 中,所以必须对数据进行打包,而由于熵编码是可变长编码,所以必须通过专门的打包模块(即 bits-

720;工作频率为 300 MHz,吞吐量最差为 1.3 pixel/cycle,平均为 1.6 pixel/cycle。

4 结束语

文中根据项目需求,设计了一款低成本实时解码的视频图像压缩芯片,该芯片仅用一块 120 * 720 的单口 SRAM 来存储上一行的像素值,使得芯片成本得到了很好的控制。算法还可以在几乎不增加成本的前提下,添加数据纠错功能来提高系统的鲁棒性。

参考文献:

[1] Egger O, Fleury P, Ebrahimi T, et al. High-performance compression of visual information – a tutorial review – Part I: still pictures[J]. Proc of the IEEE, 1999, 87(6): 976–1013.

[2] Wong S, Zaremba L, Gooden D, et al. Radiologic image compression – a review[J]. Proc of the IEEE, 1995, 83(2): 194–219.

[3] Shi Y Q, Sun H. Image and video compression for multimedia engineering: fundamentals, algorithms, and standards[M]. 2nd ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2008.

[4] 张天序, 邹 胜, 曾永慧. 基于 FPGA 的图像无损压缩算法的实现[J]. 系统工程与电子技术, 2004, 26(10): 1340–1343.

[5] 郭艳平. 视频压缩技术及其标准[J]. 广播电视信息, 2005

(11): 89–91.

[6] 钟玉琢, 王 琪, 贺玉文. 基于对象的多媒体数据压缩编码国际标准: MPEG4 及其校验模型[M]. 北京: 科学出版社, 2000.

[7] 黎洪松. 数字视频处理[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2006.

[8] Chrysafis C, Ortega A. Efficient context-based entropy coding for lossy wavelet image compression[C]//Proc of data compression conference. Snowbird, UT: [s. n.], 1997: 241–250.

[9] Chrysafis C, Ortega A. An algorithm for low memory wavelet image compression[C]//Proc of IEEE international conference on image processing. Kobe, Japan: IEEE, 1999: 354–358.

[10] Chrysafis C, Ortega A. Line based, reduced memory, wavelet image compression[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2000, 9(3): 378–389.

[11] Chrysafis C. Wavelet image compression rate distortion optimizations and complexity reductions[D]. California: University of Southern California, 2000.

[12] 胡 栋. 静止图像编码的基本方法与国际标准[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2003.

[13] 毕厚杰. 多媒体信息的传输与处理[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1999.

[14] 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准—H. 264/AVC[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005.

2014 中国计算机大会(CNCC)10 月 23 ~ 25 日
在河南郑州国际会展中心举行

会议由 CCF 主办,信息工程大学和郑州市人民政府联合承办。大会的主题是“信息安全,数据为先”,将探讨在互联网时代、大数据背景下的信息安全所面临的全新挑战和问题,会议还将探讨互联网金融、数字医疗、可穿戴计算等业界关心的问题。欢迎相关领域的专家、学者、业界人士、研究生踊跃参加会议。

计算机图形学之父、ACM 图灵奖获得者伊凡·苏泽兰(Ivan Sutherland)教授将作大会报告。国内知名信息安全专家方滨兴(CCF 会士、中国工程院院士)主持大会主题论坛“信息安全论坛”,将邀请多个研究领域的信息安全专家,阐述在互联网和大数据背景下所面临的严峻挑战 and 解决之道。北京航空航天大学赵沁平(CCF 会士、中国工程院院士)教授、信息工程大学教授邬江兴(中国工程院院士)、IBM 中国研究院院长沈晓卫博士、百度深度学习研究院首席科学家张潼教授、英特尔研究院副总裁斯里达尔·艾扬格(Sridhar R. Iyengar)也将应邀出席大会并作报告。

本届大会推出的十大专题论坛,涉及互联网金融、拟态安全、智能系统、数字医疗、可穿戴计算、数据开放与隐私管理、移动通信与移动计算、群体化软件开发、高性能计算、云计算等学科前沿热点。同期还将在郑州国际会展中心举办规模超过历届的科技成果展览和交流活动。

一种实时低成本压缩算法的VLSI实现

作者：[田磊磊](#)，[张瑛](#)，[TIAN Lei-lei](#)，[ZHANG Ying](#)

作者单位：[南京邮电大学 电子科学与工程学院, 江苏 南京, 210023](#)

刊名：[计算机技术与发展](#)

英文刊名：[Computer Technology and Development](#)

年，卷(期)：2014(10)

引用本文格式：[田磊磊](#), [张瑛](#), [TIAN Lei-lei](#), [ZHANG Ying](#) [一种实时低成本压缩算法的VLSI实现](#) [期刊论文] - [计算机技术与发展](#) 2014(10)