

H. 264 反量化编码的优化设计与 FPGA 验证

韩斯晓, 邵丙铄

(复旦大学 国家微电子材料与元器件微分析中心, 上海 200433)

摘 要: 反量化、反变换(IQIT)是 H. 264 解码过程中的重要环节之一. 文中根据 H. 264 规范, 设计了一种节省资源的 IQIT 模块. 通过对其中矩阵运算单元进行多次复用, 大大降低了对资源的占用, 并通过 FPGA 进行了验证. 该设计结构能够满足低功耗、便携式解码设备要求.

关键词: 反量化; 反离散余弦变换; H. 264

中图分类号: TN4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)12-0124-03

Optimization Design for IQ Coded and FPGA Verify

HAN Si-xiao, SHAO Bing-xian

(National Microanalysis Center, Fudan University, Shanghai 200433, China)

Abstract: IQIT is an important process in H. 264 decoding. In this paper, a resource efficient structure compliant with H. 264 standard is presented. By multiplexing the IDCT module in different ways, the consumed resource was extremely reduced. This structure is verified on FPGA and is suitable for low-power and portable decoding device.

Key words: IQ; IDCT; H. 264

1 引言

H. 264/AVC 视频编码标准是由国际电信联合会 (ITU) 和国际标准化组织 (ISO) 联合视频小组 (JVT) 共同制定的新一代视频编码标准. H. 264 拥有更高的压缩率, 得益于复杂的编码算法, 这在节省传输带宽和存储空间的同时对编码、解码的设备和算法都提出了更高的要求, 其中主要体现在完成逻辑运算的同时控制电路规模和功耗, 降低延时. 文中根据规范, 设计了一种基于 FPGA 的高效反变换、反量化(IQIT)模块.

2 H. 264 中的整数 DCT 算法原理

H. 264/AVC 标准中采用的是 4×4 整数离散余弦(DCT)变换^[1]. 图像中空间上的样点经过变换后变成频率系数. 图像在空间上具有连续性和相似性导致这是由于离散余弦变换具有很强的“能量集中”特性——能量都集中在离散余弦变换后的低频部分. 由于低频信号的重要性, 通常将频率最低的系

数称为 DC 系数以示区别, 而将其他系数称为 AC 系数. AC 系数通常非常小, 故可对其进行饱和截位达到压缩数据、节省空间的目的. 设输入变量为矩阵 X , H. 264 中整数 IDCT 变换根据如下公式进行:

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ \frac{1}{2} & -1 & 1 & -\frac{1}{2} \end{bmatrix} [X]$$
$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & \frac{1}{2} \\ 1 & \frac{1}{2} & -1 & -1 \\ 1 & -\frac{1}{2} & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -\frac{1}{2} \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} a^2 & ab & a^2 & ab \\ ab & b^2 & ab & b^2 \\ a^2 & ab & a^2 & ab \\ ab & b^2 & ab & b^2 \end{bmatrix}$$

其中, $a = \frac{1}{2}$, $b = \frac{\sqrt{2}}{2} \cos \frac{\pi}{8}$, $c = \frac{\sqrt{2}}{2} \cos \frac{3\pi}{8}$.

克罗内克乘法可以和量化过程合并同时完成.

该变换算法中所有的操作数均为整数而非浮点无理数,这样的安排能够保证正变换和反变换的完全可逆,消除了变换过程中由于浮点精度不够带来的误差.另外,该变换中通过加减法和移位取代了乘法,大大降低了运算复杂度,从而提高了性能.

3 H.264 中的预测和量化

H.264 编码标准采用了多种预测方式便于灵活使用,但因其核心都是基于 4×4 离散余弦变换(DCT)及其反离散余弦变换(IDCT),所以大部分预测都是以 4×4 的色度、亮度块为单位进行.此外,也针对大面积简单图像,使用 16×16 亮度块和 8×8 色度块为单位进行预测.对于这两种宏块,操作时先划分成 4×4 子块进行 DCT,再将子块变换后的 DC 系数量化后拼成 4×4 或 2×2 的 DC 系数块进行 Hadamard 变换以进一步利用空间上的冗余信息. IQIT 则是这一过程的逆过程.根据这些不同的帧预测模式,对残差矩阵进行处理.其输入可相应分为 16×16 亮度块系数、 8×8 色度块系数和其他 4×4 亮度或色度系数^[2-3].

(1) 4×4 亮度色度块

这是基本操作块,可直接根据 IDCT 公式变换并量化.

(2) 8×8 色度块

对 DC 系数作 2×2 hadamard 变换,公式为 $Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} [X] \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$, 矩阵 X 为 DC 系数.变换后的 DC 系数经反量化后即可与同一子块中的 AC 系数组装变成基本 4×4 单元,即可进行 IDCT 变换. Chroma 变换如图 1 所示.

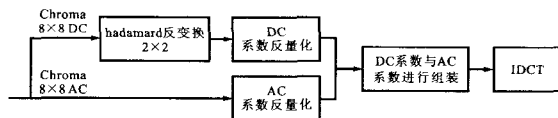


图1 Chroma 变换

(3) 16×16 亮度块

对 DC 系数作 4×4 hadamard 变换,公式为 $Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} [X] \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix}$, 矩阵 X 为 DC 系数.余下的系数拼装变换与前面 8×8 的输入相同. Luma 变换如图 2 所示.

4 实现方案

基本的蝶形变换单元如图 3 所示.

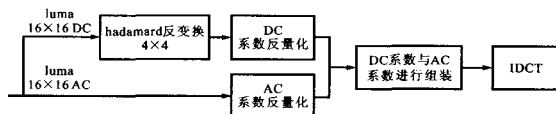


图2 Luma 变换

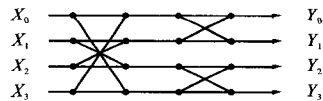


图3 蝶形变换

文中发现 4×4 hadamard 变换和 IDCT 变换矩阵形式相同,只不过有 4 个系数有的是 1,有的是 $1/2$. 据此对蝶形变换单元加一个控制信号,来控制是进行 hadamard 变换还是 IDCT 变换. 除 2 运算只需右移 1 位,不会影响电路性能. 由于二维变换需要分别进行行、列两次变换,将行变换的结果用 16 个寄存器保存. 保存时结果依次存入 reg0~reg15,进行列变换时,数据依次从 reg0, reg4, reg8, reg12, reg1, reg5, reg9……读出,完成矩阵的转秩. 读出的数据再次送入同样的蝶形单元,即完成了列变换. 这样可以减少一个蝶形单元和一组寄存器^[4].

再分析 2×2 hadamard 变换.

$$Y = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} [X] \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix}$$

将 2×2 的 DC 写成 $[X_0, X_2, X_3, X_1]^T$ 的形式后,即可用一次 4×4 行变换替代 2×2 的行、列变换. 到此为止,所有的矩阵预算都可以由一个蝶形运算单元和简单的控制逻辑来完成. 整个 IQIT 的数据流程如图 4 所示.

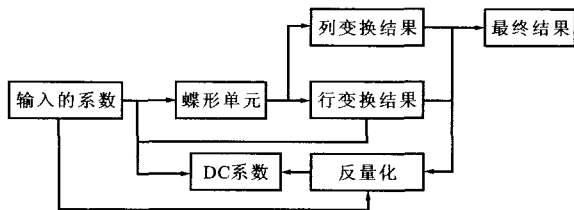


图4 IQIT 的数据流程

最后,为了提高整体电路设计以及避免寄存器不必要的空翻,需要检测 DC 系数是否为零. 对于零 DC 块的情况,可以直接作旁路设计. 另外由于该设计中大量使用组合逻辑,为了提高性能,根据标识位将主时钟分频,可以提高主时钟频率,也有利于减少不必要的空翻.

5 测试结果

文中根据上述设计思路,通过 modelsim 进行了仿真,结果如图 5 所示. 其中 D0~D3 为变换的输入, F0~F3 为变换输出. 图 5 验证了二维 DCT 变换中先实现行

变换,将结果转秩后进行列变换并输出的过程。

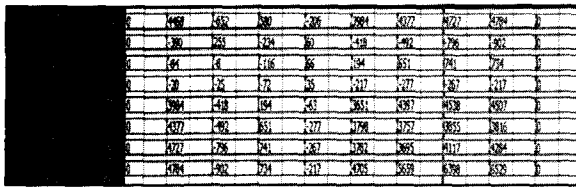


图5 仿真结果

用 Quartus 在 Stratix IV 系列器件 EP4SGX530 中进行了综合、布局布线及时序分析,得到结果如表 1 所示。

因为进行反量化时需要使用到 16×16 的乘法运算,如采用内置 18bit-DSP,会影响工作频率,对 DSP 资源也是一种浪费。这里全部采用逻辑单元,显然更加适合,这也在结果中得到印证。时序上该模块在慢工艺角中主时钟可以运行在 90MHz,对一个 4×4 宏块的平均处理过程不超过 25 个时钟周期。

6 结束语

文中通过对 IDCT 运算单元的复用,设计了一种结构精简的 IQIT 模块。与文献[2]中的 140 000 个 LE 相比,节省了超过 90% 的资源。并且主时钟可以运行在 90MHz,这样的结果在延时和吞吐率上能够

满足 1080 线全高清 H. 264 解码过程的要求,可以广泛的运用在低功耗和便携式设备中。

表 1 测试结果比较

采用电路	资源占用	工作频率
乘法器 IP	1393LE + 4 DSP18	70MHz
采用纯逻辑电路	1774LE	90MHz

参考文献:

- [1] International Telecommunication Union ITU-T Recommendation H. 264: Advanced video coding for generic audiovisual services[S]. Version 2007. 11.
- [2] 赵爽,王勇. H. 264 中的反变换反量化器的硬件设计[J]. 微电子学与计算机,2008,25(1):144-148.
- [3] 张晓燕,谢珺堂. H. 264 的整数 DCT 变换编码与量化过程[J]. 军民两用技术与产品,2005(4):40-43.
- [4] 蒋剑飞,郭炜. H. 264 中一种基于矩阵分解的变换算法及硬件实现[J]. 微电子学与计算机,2007,24(5):189-193.

作者简介:

韩斯晓 男,(1985-),硕士研究生.研究方向为数字电路的系统及 VLSI 设计与实现。

邵丙铤 男,教授,博士生导师.研究方向为微电子技术和半导体集成电路设计与分析。

(上接第 123 页)

模拟输出功率放大器的非线性特性,记忆 Saleh 函数模型能够较好的模拟输出功率放大器的非线性和记忆效应。从表 1 中可以看到,对于记忆 Saleh 函数模型和记忆多项式模型,在相同记忆深度的情况下,记忆 Saleh 函数模型的 NRMS 要好于三阶记忆多项式模型劣于五阶记忆多项式模型,因此 Saleh 函数模型更适用于弱非线性功率放大器。

4 结束语

精确模型功率放大器的行为 and 了解模型的适用情况是进行系统仿真时关键的内容,对实际设计具有重要的参考意义。文中在原 Saleh 模型的基础上,提出了无记忆 Saleh 函数模型和记忆 Saleh 函数模型,并对其两种模型进行了仿真。结果表明,所提出的模型结构简洁,系数数量少,复杂度相对较低,能够精确描述功率放大器的非线性和记忆效应,更适用于弱非线性系统电路中。

参考文献:

- [1] 罗志聪,林伟,孙奇燕,等. 一个功率可控型蓝牙

CMOS 功率放大器设计[J]. 微电子学与计算机,2009,26(6):202-205.

- [2] 丘春辉,陈向东,沈冰. 射频功率放大器前馈线性化技术研究[J]. 微电子学与计算机,2008,25(11):133-136.
- [3] Saleh A. Frequency-independent and frequency-dependent nonlinear models of TWT amplifiers[J]. IEEE Trans. Commun,1981(29):1715-1702.
- [4] Jose C Pedro, Stephen A Mass. A comparative overview of microwave and wireless power-amplifier behavioral modeling approaches [J]. IEEE transactions on microwave theory and techniques, 2005, 53(4):1150-1163.
- [5] 南敬昌. Freescale device data-wireless RF product [M]. China, Freescale semiconductor, Inc. 2005:495-499.
- [6] 南敬昌. 宽带功率放大器非线性、行为模型与数字预失真系统研究 [D]. 北京:北京邮电大学,2007.

作者简介:

张玉梅 女,(1985-),硕士研究生.研究方向为射频功放模型与仿真技术。

南敬昌 男,(1971-),博士,教授.研究方向为射频电路与器件、多媒体信息编码、通信系统仿真等。