

MP3 音频解码速度优化

任雁鹏¹, 梁利平²

(1 清华大学 微电子与纳电子学系, 北京 100084; 2 中国科学院 微电子研究所, 北京 100029)

摘 要: MP3 采用 MPEG-1 Layer III 层标准压缩编码格式, 压缩率很高, 失真也较小, 算法也较为复杂. 就 MP3 解码过程中, 针对各解码模块的特点, 通过浮点转定点运算、分段拟合、查找表等方法, 对解码复杂度较高的模块进行算法优化, 并且在 16 位定点 DSP 芯片实现, 优化后解码每帧音频格式的指令数降到最初的 1/20.

关键词: MPEG-1 Layer III 解码; DSP; 反量化采样; IMDCT; 子带合成

中图分类号: TP37

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)04-0043-03

Optimization of MP3 Audio Decoding Speed

REN Yan-peng¹, LIANG Li-ping²

(1 Institute of Microelectronics, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2 Institute of Microelectronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China)

Abstract: MP3 used MPEG-1(Moving Pictures Experts Group) Layer III audio codec standard. Its compression ratio can be 1:10~1:12. As its high compression ratio and low Distortion, the on time decoding algorithm is more complex. Based on 16 bit fix point Digital Signal Processor, some optimization can be done in MP3 audio decoding. With the optimize algorithm such as fix point algorithm instead of floating point algorithm, sub-curve fitting, looking for table, the number of decoding instructions decrease to 1/20 per frame.

Key words: MPEG-1 Layer III decoding; DSP; dequantize sample; IMDCT; subband synthesis

1 引言

MP3 音频解码流程图如图 1 所示, 主要包括读帧头信息、霍夫曼解码、反量化采样、频谱重排和混迭消除、联合立体声处理、修正逆离散余弦变换(IMDCT)、合成子带滤波等模块^[1]. 其中算法较复杂且占用 DSP 内部存储器较大的模块主要有反量化采样模块、IMDCT 模块和合成子带滤波模块. 针对上述模块采用相应的算法处理, 在保证解码音频数据质量没有明显失真的前提下, 提高整个音频解码速度, 使定点 DSP 芯片用于音频解码并为进行扩展提供了便利.

2 反量化采样模块优化

在 MP3 编码模块中, 霍夫曼编码前使用乘方非正规量化器对编码数据进行优化, 得到量化值和边

信息. 在解码过程中, 对每个霍夫曼解码器的输出, 利用编码位流中边信息进行反量化, 得到输出值, 它是下一步合成滤波器的输入.

下面的公式给出了从霍夫曼解码值到合成滤波器输入的所有处理, 此公式包含了所有必须的缩放因子、全局增益和子块增益会影响到一个时间窗内的所有值. 缩放因子和 preflag 可进一步调整每一个缩放因子频带中的增益.

式(1)、式(2)、式(3)为对于短块的反量化采样公式^[1]:

$$xr[i] = \text{sign}(is[i] \mid is[i]) \mid^{\frac{4}{3}} \quad (1)$$

$$xr[i] = 2^M \quad (2)$$

$$M = \frac{1}{4} * [\text{global_gain} - 210 - 8 * \text{subblock_gain} - 2 * (1 + \text{scalefac_scale}) * \text{scalefac_s}] \quad (3)$$

式(4)、式(5)、式(6)为对于长块的反量化采样

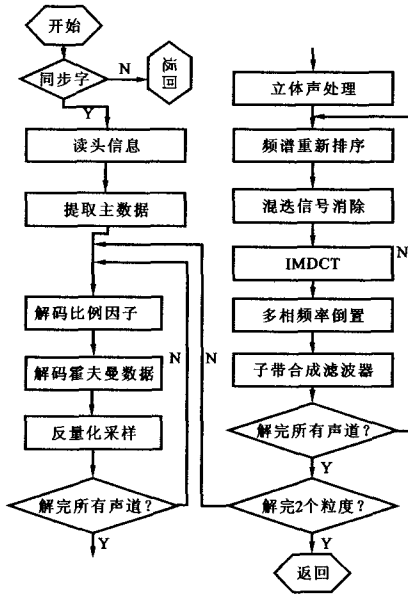


图1 MP3 音频解码流程图

公式^[1]:

$$xr[i] = \text{sign}(is[i]) | is[i] |^{4/3} \quad (4)$$

$$xr[i] = 2^M \quad (5)$$

$$M = \frac{1}{4} * (\text{global_gain} - 210) - \frac{1}{2} * (1 + \text{scalefac_scale}) * (\text{scalefac_l} + \text{preflag} * \text{pretab}) \quad (6)$$

由于使用定点 DSP 芯片进行指数运算需要大量的指令数,而且对浮点数处理也需要大量的空间,这里根据算法的特点并且结合实际 DSP 的处理能力,采用查找表和曲线拟合的方法进行处理,在空间使用率和处理速度之间进行折中。

对于 2 的指数次方分解为式(7):

$$2^{N+P/4} (N < 0; P = -1, -2, -3) \quad (7)$$

这样只占用存储器三个空间地址,在处理过程中只需要进行一次右移运算就可以实现,而且不会带来运算精度的误差。

对于指数为 $\frac{4}{3}$ 次方的运算,根据实际解码的需要, $is[i]$ 的取值主要集中在 $[0, 255]$ 之间,将这段值的 $\frac{4}{3}$ 次方使用查找表的方式实现,占用内存空间为 256 个地址.对于大于 256 的值根据实际需要进行分段二次曲线拟合,分段拟合在 $[256, 1024]$ 和 $[1024, 8192]$ 之间,由于在起始段曲线拟合误差较大,因此将拟合范围调整为 $[0, 1500]$ 和 $[0, 9000]$,然后取相应的 $[256, 1024]$ 和 $[1024, 8192]$ 段.经拟合后曲线如图 2 和图 3 所示。

进行误差分析,拟合曲线与指数函数的相对误

差都在 5.5% 以内,对于最终的解码结果不会引进太大的误差,图 4 和图 5 为相对误差曲线。

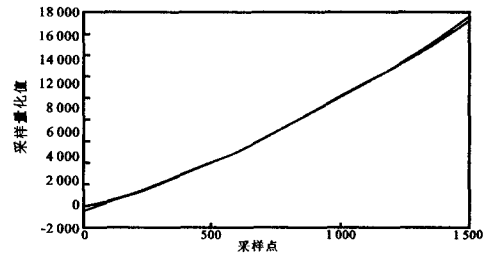


图2 [256,1024]段拟合曲线

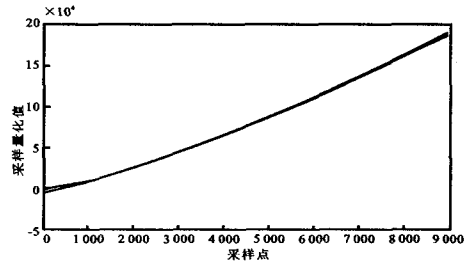


图3 [1024,8192]段拟合曲线

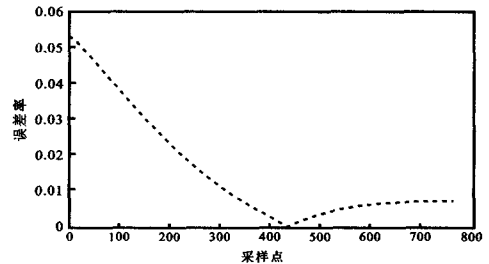


图4 [256,1024]相对误差曲线

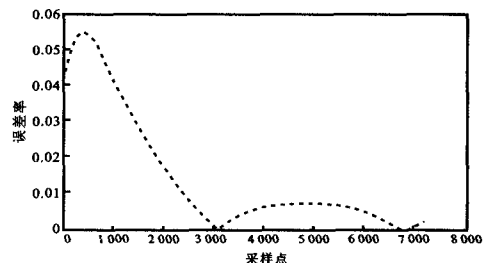


图5 [1024,8192]相对误差曲线

以上算法应用于实际解码中,再应用浮点转定点的实现方法,使反量化采样模块指令数降低到原来的 3.1%。

3 IMDCT 模块优化

IMDCT 的分析表达式为

$$x_i = \sum_{k=0}^{\frac{n}{2}-1} X_k \times \cos\left[\frac{\pi}{2n} \times (2 \times i + 1 + \frac{n}{2}) \times (2 \times k + 1)\right]$$

$$0 \leq i \leq n-1 \quad (8)$$

当 $n = 36$ 时,进行长块的 IMDCT 变换,根据余弦函数的对称性可得^[2]

$$x\left(\frac{n}{2} - i - 1\right) = -x(i) \quad (9)$$

$$x\left(\frac{n}{2} + i\right) = x(n - i - 1) \quad (10)$$

由式(9)和式(10),可使运算量缩减到 50%。

对于 $k = 4$ 和 $k = 13$,乘积多项式可简化为式(11)和式(12):

$$X_4 \times \cos\left[\frac{3\pi}{8} + \frac{\pi \times i}{4}\right] \quad (11)$$

$$X_{13} \times \cos\left[\frac{9\pi}{8} + \frac{3\pi \times i}{4}\right] \quad (12)$$

根据函数的奇偶对称性可得在整个计算过程中仅需两次乘就可实现,这样可以进一步缩减运算量,使乘法运算进一步缩减 35%。

当 $n = 12$ 时,进行短块的 IMDCT 变换,同样根据余弦的对称性可使计算量缩减到 50%。同时,根据 3 项的快速余弦变换方法^[3],可使乘法运算量进一步缩减 45%。

计算过程中所有的余弦计算值采用查表法,仅需用 18 个字的地址,再将运算中的浮点运算改为定点运算,最终的指令数降低到原来的 5.07%。

4 子带合成模块优化

子带合成滤波器将 32 个等频带宽内的频域信号反变换成时域信号,再通过 D/A 转换器得到原始的音频信号。在运算过程中也是大量使用了乘加累积的余弦变换式,因此也同样采用快速变换的方法,并且将浮点运算转为定点运算,可使运算量缩减到原来的 35%,而且对于余弦值进行查找表法,仅需用 512 个地址空间,空间开销率缩减了原来 2048 的 3/4,最终的指令数降低到原来的 7.67%^[4-5]。

5 结束语

经过对上述主要模块的算法优化,每次优化后的总指令数如表 1 所示,在 DSP 芯片内进行优化,音质效果良好。

表 1 每帧的总指令数

	指令数/帧	时钟周期/帧
浮点运算	110.6M	120.2M
定点运算	34.5M	43.4M
反量化采样优化	22.4M	29.7M
IMDCT 优化	13.96M	18.6M
子带合成优化	8.4M	11.3M
软件编译优化	5.6M	6.5M

参考文献:

- [1] Moving Pictures Expert Group. ISO/IEC 11172-3. Information technology-coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 μ bits/s[S]. American: ISO-IEC/JTC1 CS29, 1993.
- [2] Bydong Gi Lee. A new algorithm to compute the discrete cosine transform[J]. IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1984, Assp-32(6):1243-1245.
- [3] Vladimir Britanak, Rao K R. An efficient implementation of the forward and inverse MDCT in MPEG Audio Coding[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2001, 8(2):48-51.
- [4] 刘丽. 音频压缩编码中参数比特分配算法的研究和实现[J]. 微电子学与计算机, 2008, 25(2):160-163.
- [5] 陶智. 一种心理声学模型的自同步音频数字水印[J]. 微电子学与计算机, 2006, 23(4):27-30.

作者简介:

任雁鹏 男, (1984-), 硕士研究生. 研究方向为多媒体解码。

梁利平 男, (1969-), 博士, 研究员. 研究方向为高性能数字信号处理器和高速混合信号集成电路设计技术。