

오디오 압축을 위한 IMDCT의 최적 DSP 근사구현 기법 연구

*손용기, 정중훈, 장태규, *이전우
 중앙대학교, *전자통신연구원

An efficient fixed-point implementation of the IMDCT for audio compression

J. H. Jeong, T. G. Chang, *Y. K. Son, *J. W. Lee
 Chung-Ang University, *ETRI

Abstract - 본 논문에서는 유한비트 근사화를 통하여 고정소수점 연산을 이용하여 DCT구현시 발생하는 오차 영향에 대한 해석을 수행하였다. 고정소수점 연산을 위해서는 유한 비트 근사화를 실시하여야 하는데 이 과정에서 수치 표현범위의 제약으로 인한 오차가 발생하게 되고, 특히 순환 연산구조를 가지는 DCT등의 알고리즘 구현시 급격한 성능의 감소를 가져오게 된다. 본 논문에서는 순환 연산식을 유한비트 근사화를 통하여 구현시 발생하는 에러에 대한 분석을 수행하고, 해석식을 도출하였다.

1. 서 론

DCT(Discrete Cosine Transform)은 시간영역의 신호를 주파수 영역의 신호로 변환시키는 과정에서 발생하는 에너지 압축의 특징으로 인하여 오디오 및 비디오 신호의 압축에 널리 사용되는 신호처리 기법이다. 하지만 신호의 변환을 위하여 많은 연산량이 요구되기 때문에 이를 극복하기 위한 방안으로서 다양한 고속처리 기법의 도입 및 DCT 연산을 위한 전용 프로세서들을 사용한다. [1][2] 최근의 DSP(Digital Signal Processor) 성능의 비약적인 발달로 인하여 이러한 신호처리 연산들을 범용 프로세서들을 이용하여 실시하는 비중이 점점 높아지고 있다. 대부분의 DSP는 하드웨어 구조의 간략화 및 고속연산 실행, 소비전력의 감소를 위하여 고정소수점 연산구조를 사용하고 있다. 따라서 각종 디지털 신호처리를 DSP를 이용하여 실시하기 위해서는 수치들의 유한비트 근사화를 통한 고정소수점 연산을 실시하여야 한다. 이 과정에서 유한비트 근사화에 따른 수치 표현범위의 제약으로 인하여 오차 신호들이 발생하게 되고, 이 오차신호들은 잡음신호로서 작용하여 결론적으로 신호들의 SNR을 감소시키는 영향을 미치게 된다.

본 논문에서는 오디오 및 비디오 신호압축에서 널리 사용되는 DCT연산을 고정소수점 연산구조를 이용하여 수행시 발생하는 오차신호에 대한 분석을 위하여, MPEG-2 AAC(Advanced Audio Coding)의 IMDCT 기능블럭에 유한비트 근사화를 통한 고정소수점 연산방식을 적용함으로써 발생하는 신호들의 시뮬레이션을 실시하고, 이를 통하여 오차 영향을 분석하고, 오차영향 해석식을 도출하였다.

2. 본 론

2.1 고정소수점 연산구조의 고속 IMDCT 연산

DCT 연산을 수행하기 위한 방법으로는 연산과정의 중복성을 제거하여 고속연산을 실시하는 FDCT(Fast DCT), 신호의 대칭적 특성을 이용하여 FFT를 이용하는 DCT 방법 [3], 그리고 순환 반복문을 사용한 방법들이 있다. 이중 FFT연산을 이용한 DCT 연산기법은 그림 1에서 보여주는 것과 같이 주파수 영역 신호의 대칭성을 이용함으로써 N-point DCT연산을 N/4-point FFT 연산으로서 수행하는 방법이다. [4]

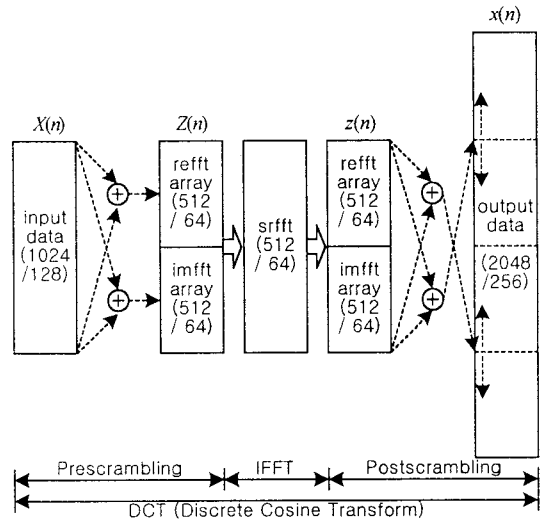


그림 1 - FFT에 기반한 IMDCT의 블럭도

DCT를 수행하기 위한 첫 번째 과정은 FFT연산에 적합하도록 데이터들을 재정렬 하는 과정이다. 이 과정을 식으로 나타내면 식 (1), (2)와 같다.

$$\text{refft}[k] = -\text{data}[2k] * \cos\left\{\frac{2\pi * k}{N} + \frac{1}{8}\right\} - \text{data}[N-2k-1] * \sin\left\{\frac{2\pi * k}{N} + \frac{1}{8}\right\} \quad (1)$$

$$\text{imfft}[k] = +\text{data}[2k] * \sin\left\{\frac{2\pi * k}{N} + \frac{1}{8}\right\} - \text{data}[N-2k-1] * \cos\left\{\frac{2\pi * k}{N} + \frac{1}{8}\right\} \quad (2)$$

IFFT과정은 식(3)에서 보여주는 것과 같이 FFT의 역과정으로 주파수 영역의 계수들을 시간영역의 오디오 샘플들로 변환시켜준다.

$$z(n) = \sum_{k=0}^{N/4-1} Z(k) e^{-j\frac{2\pi}{N}kn} = \sum_{k=0}^{N/4-1} \left\{ jX\left(\frac{N}{2}-1-2k\right) - X(2k) \right\} e^{j\left(\theta_k - \frac{2\pi}{N}kn\right)} \quad (3)$$

마지막 단계는 시간영역에서의 데이터들의 재정렬 과정이며 식 (1), (2)의 역과정을 실시한다.

2.2 계수 근사화 기법

IMDCT를 수행하는데 있어서 계수 근사화에 의한 영향은 크게 주파수 영역에서의 데이터들의 재정렬 과정, IFFT과정, 시간영역에서의 데이터들의 재정렬 과정

에서 발생하게 된다. 일반적으로 유한비트로의 계수 근사 방법으로는 look-up table에 의한 방법이 주로 사용된다. 이 방식은 검색 테이블 작성시 최적의 계수값을 산출한다면 유한비트 근사화에 따라 발생하는 오차 영향을 최소화 할 수 있으나, 계수값을 저장하기 위한 추가적인 메모리를 요구한다.

식 (1),(2)의 데이터 재정렬 과정에서 사용하는 계수 값들은 식 (4),(5)와 같은 순환 연산식에 의하여 추출함으로써 계수값들을 저장하기 위한 메모리 공간을 절약할 수 있으나 유한비트 근사화 기법을 사용시, 수치 표현 범위의 제약으로 인한 여러 누적현상이 발생하는 단점이 있다. 그림(2)에서는 유한비트 근사화를 통해 추출된 계수 신호의 오차신호를 나타내고 있다. 그림(3)에서는 가로축의 값으로 코사인의 에러값, 세로축의 값으로 사인의 에러값을 나타내고 있다. 그림에서 나타낸바와 같이 순환 연산식이 반복됨에 따라 에러가 누적되는 것을 알 수 있다.

$$\cos[k+1] = \cos[k] \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N}\right) - \sin[k] \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N}\right) \quad (4)$$

$$\sin[k+1] = \sin[k] \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{N}\right) + \cos[k] \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{N}\right) \quad (5)$$

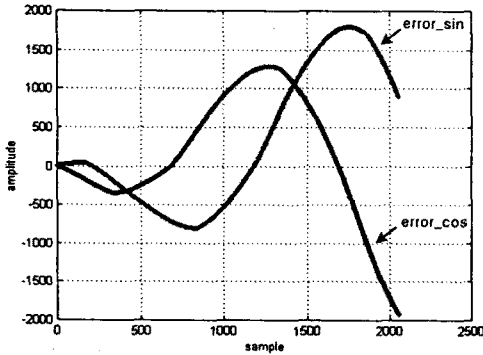


그림 2 - 순환 연산식에 의해 추출된 계수값의 오차

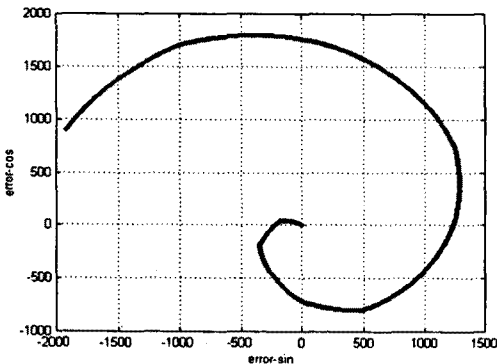


그림 3 - 2차원 평면상에 나타낸 계수값의 오차

2.3 유한비트 근사화의 오차신호 해석

유한비트 근사화를 기반으로 순환연산식에 의하여 추출된 계수 신호는 연산과정에서 오차 신호를 발생시키게 된다. 이 오차신호는 계수값의 부호에 따라 양 또는 음의 오차신호를 가지게 되고 이를 식으로 나타내면 식 (6)과 같이 해석할 수 있다.

$$err[n] = \beta \cdot x[n] \cdot (-1)^n \quad (6)$$

위의 식은 β 값만큼의 가중치를 가지며 n의 값에 따라

양 혹은 음의 에러 값을 가지게 된다. 이 식을 통하여 출력신호 $x'[n]$ 을 추출하게 되면 식 (7)과 같이 오차신호가 부가된 형태로 모델링 할 수 있다.

$$x'[n] = x[n] + \beta \cdot x[n] \cdot (-1)^n \quad (7)$$

이를 그림으로 나타내면 그림(4)와 같이 원신호가 β 의 가중치를 가지며 위상이 π 만큼 이동된 이미지로 나타낼 수가 있다.

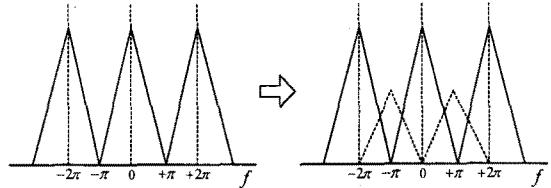


그림 4 - 원신호 스펙트럼과 오차가 신호가 포함된 신호의 스펙트럼

2.4 실험결과

도출된 해석식의 검증을 위하여 MPEG-2 AAC 디코더의 IMDCT부를 순환 연산 방식을 이용한 FFT를 이용하여 구성을 실시하고, look-up table을 이용하여 IMDCT단을 구성한 MPEG-2 AAC디코더의 결과 파형을 사용하여 두 파형의 비교, 분석을 실시하였다. 각 주파수별 오차패턴의 확인을 위하여 시간의 변화에 따라 주파수가 0~16kHz지 선형적으로 변화하는 sweeping 신호를 입력으로 하여 그 출력결과와의 관찰을 실시하였다. 그림 5에서는 오차 패턴을 분석하기 위한 시뮬레이션 블록도를 나타낸다.

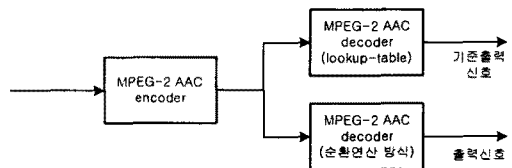


그림 5 - 오차패턴을 분석하기 위한 시뮬레이션 블록도

그림 6은 기준출력 신호와, 오차 신호를 포함한 출력결과를 나타내고 있다. 오차 해석식에서 예측한바와 같이 유한비트 근사화에 의한 순환 연산에서 발생된 오류는 원신호가 일정한 가중치를 가지며 위상이 π 만큼 어긋난 것을 볼 수 있다.

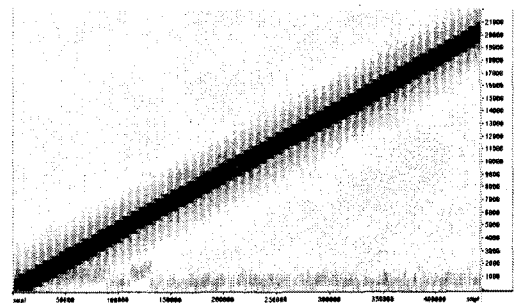


그림 6 - 기준 출력신호 (look-up table 사용)

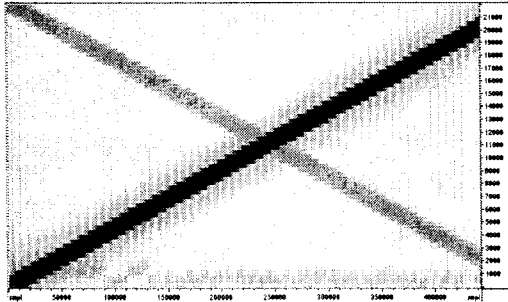


그림 7 - 순환 연산방식에 의한 연산구조에 의하여 출력된 신호

이러한 오차신호는 출력 패턴상의 오류뿐만 아니라 오디오 신호와 같은 신호대 잡음의 비를 중시하는 곳에서 급격한 성능저하를 가져오는 원인이 된다. 이를 확인하기 위하여 IFFT기반 연산구조의 IMDCT블럭의 신호의 전처리 과정, IFFT과정, 후처리 과정의 세가지 부분을 lookup-table에 의한 방법 및 순환 연산방법을 가변하여 적용하면서 출력결과와 SNR 검증을 실시하였다. 표 1에서 나타낸 결과에 의하면 look-up table을 사용하는 경우에 비하여 순환 연산방법에 의한 계수 추출방법을 사용시 유한비트 근사화에 따른 영향은 SNR에 있어 약 30dB정도의 성능 저하를 가져옴을 알 수 있었다. 또한 반복적인 연산을 실시하는 IFFT블럭 내부의 연산을 순환 연산방법을 적용시 최대 56dB의 급격한 성능 저하가 있음을 알 수 있었다.

구분 연산방법	데이터 전처리 과정	IFFT 과정	데이터 후처리 과정	SNR
○:look-up table	×	×	×	77dB
	○	×	○	32dB
	○	×	×	38dB
×:순환연산	×	×	○	37dB
	×	○	×	21dB

3. 결 론

본 논문에서는 유한비트 근사화를 통하여 고정소수점 연산을 이용하여 DCT구현시 발생하는 오차 영향에 대한 해석과 함께, 해석식의 도출을 실시하였다. DCT는 에너지 압축의 이점으로 인하여 오디오, 비디오 등의 압축에 널리 사용되는 방법이다. 하지만 연산과정에서의 연산량의 요구로 인하여 이를 극복하기 위한 많은 연산방법이 개발되었다. 이러한 연산방법들을 고정소수점 연산구조의 DSP에 적용하기 위해서는 유한 비트 근사화를 실시하여야 하는데 이 과정에서 수치 표현범위의 제약으로 인한 오차가 발생하게 되고, 특히 순환 연산구조를 가지는 DCT등의 알고리즘 구현시 급격한 성능의 감소를 가져오게 된다. 순환 연산식에 의한 계수 추출 방법은 look-up table 구성을 위한 추가적인 저장공간이 불필요하므로 효율적인 메모리 사용이 가능해진다. 본 논문에서는 순환 연산식을 유한비트 근사화를 통하여 구현시 발생하는 에러에 대한 분석을 실시하고, 해석식을 도출함으로써 오차 영향에 대한 해석을 실시하였다. 차 후 연구에서는 해석식을 기반으로 발생된 오류의 보상기법을 도출함으로써 고정소수점 연산의 문제점인 유한비트 근사화에 따른 성능 저하에 대한 극복방안을 마련하고자 한다. 이는 휴대 클라이언트등의 제한된 자원을 가지는 시스템의 구현에 있어 성능개선에 이바지 할 수 있을 것으로 사료된다.

(참 고 문 헌)

- [1] B.G.Lee, "A new algorithm to compute the discrete cosine transform", IEEE Trans on ASSP, vol. 32, pp 1243-1245, 1984
- [2] Vladimir Britanak and K. R. Rao, "An efficient implementation of the forward and inverse MDCT in MPEG audio coding", IEEE signal processing letters, vol. 8, pp 48-51, 2001
- [3] K. R. Rao, "Discrete cosine transform algorithms, advantages, applications", Academic press, pp 48-53, 1990
- [4] P. Duhamel, Y. Mahieux, "A fast algorithm for the implementation of filter banks based on time domain aliasing cancellation", IEEE, pp 2209-2212, 1991
- [5] Y. K. Son, "A study on the implementation of DCT for MPEG audio coder", Chung-Ang univ. pp 18-27, 2001
- [6] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N1650 "IS 13818-7 (MPEG-2 Advanced Audio Coding, AAC)"