

# MPEG 오디오 신호처리를 위한 MDCT/IMDCT의 FPGA 구현

<sup>0</sup>노진수, 이강현

조선대학교 전자정보통신공학부 MSI Lab.

http://multimedia.chosun.ac.kr

khrhee@chosun.ac.kr

## MDCT/IMDCT

<sup>0</sup>Bjin Soo NOH, and, Kang Hyeon RHEE

School of Electronics, Info-Communications Eng.

Multimedia SoC Lab., Chosun University

### 요 약

음향압축에 있어서 인간의 청각신경의 특성을 이용하는 방식이 사용되고 있다. 이러한 방법은 심리음향 모델(psychoacoustical model)에서 도입되었다. 음향압축에서는 이러한 심리음향모델을 사용하여 인간이 지각할 수 없는 한도 내에서 부호화하지 않는 지각음향 부호화(perceptual audio coding)사용한다. 지각음향부호화는 분석필터와 합성필터로 각각 부호화 복호화하는데 이것은 필터뱅크(filter bank)로 구현된 서브밴드 코더(subband coder)이다. 본 논문에서는 분석필터와 합성필터에 사용되는 MDCT(Modified Discrete Cosine Transform)와 IMDCT(Inverse Modified Discrete Cosine Transform)를 FPGA에 구현하였다.

### 1. 서 론

지각부호화에 있어서 재생신호는 원 신호와 다르다. 그러나 인간의 지각으로는 이 차이가 거의 감지되지 않기 때문에 실상 같은 신호로 간주되는 경우가 많다.

마스킹 특성은 주로 왜곡이나 배경잡음의 감지한계와 관계가 있다. 특정 음의 감지한계는 함께 들리는 다른 음에 의해 큰 영향을 받는다. 가령, 고요할 때의 물 흐르는 소리는 들을 수 있지만, 폭풍이 칠 때는 들

을 수 없다. 이것을 "마스킹 효과"라고 한다. 마스킹하는 음을 "마스커(Masker)"라고 하고 마스킹되어 들리지 않는 음을 "마스키(Maskee)"라고 한다. 마스킹 효과가 일어나는 주파수 폭을 "크리티컬 밴드(Critical Band)"라고 한다. 마스커와 마스키가 시간적으로 차이가 있는 경우에도 그 시간차가 짧으면 마스킹 효과가 일어난다. 이 효과를 "temporal masking"이라 부른다. 이 템포럴 마스킹은 마스커가 시간적으로 선행되고 있는 경우에는 마스킹 효과가 크다.

그림 1은 심리음향 모델을 사용하는 지각음향 부호화 및 복호화의 블록 다이어그램이다.

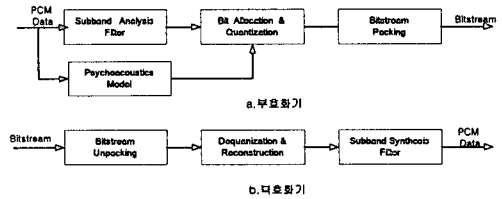


그림 1 지각음향 부호화기 및 복호화기

심리음향 모델은 주파수 분석에 의해 각각서브밴드의 양자와 레벨을 조절한다. 일반적으로 서브밴드는 32개로 나누어지며 DFT(Discrete Fourier Transform)과 DCT(Discrete Cosine Transform)으로 필터 뱅크를

구현한다<sup>1)</sup>. DCT의 블록화 현상을 없애기 위해 time domain aliasing cancellation을 사용하는 MDCT(Modified Discrete Cosine Transform)<sup>2)</sup> 서브밴드 필터로 사용한다.

## 2. 서브밴드 분석, 합성필터

MPEG/audio에서는 서브밴드 부호화에서 알리어싱을 일으키지 않고 대역을 필터뱅크에 의해 분할하여 서브샘플링하는(낮은 샘플링 주파수로 만드는)것이 필요하다. 이와 같은 주파수 분할 방식에서 32밴드로 분할하여 막대한 연산량을 처리하는데 사용되는 방법이 폴리페이즈 필터뱅크이다. 마찬가지로 512샘플을 한꺼번에 시간신호로부터 주파수신호로 변환하는 방법인 MDCT방법이 사용된다. 그리고 FFT(고속 푸리에 변환)와 같은 고속 알고리즘을 사용하여 승산횟수 등을 크게 줄일 수 있다.

필터뱅크와 그의 역에서는 무손실 변환이 아니다. 심지어 양주화 되지 않았어도 역변환은 완벽하게 원신호로 회복할 수 없다. 각각의 필터뱅크는 인접한 2개의 필터뱅크 출력에 영향을 미치게된다.

$x(k)$ 는 시간영역 샘플이라 하고,  $t$ 번째 블록의 시간영역 샘플을  $x_t(k)$ ,  $t$ 번째 블록의 주파수영역 샘플을  $X_t(k)$ , 그리고 시간영역의 샘플 수  $k=0 \dots n-1$ 개, 주파수영역의 샘플 수  $k=0 \dots \frac{n}{2}-1$ 개이다. MDCT 방정식은 식 1과 같다.

$$X_t(m) = \sum_{k=0}^{n-1} f(k)x_t(k) \cos\left(\frac{\pi}{2n}(2k+1+\frac{n}{2})(2m+1)\right)$$

$$\text{for } m=0 \dots \frac{n}{2}-1$$

$X_t(m)$ 는 MDCT하여 얻은 결과로 주파수영역의 샘플이다. 여기서 주파수 영역의 샘플의 수는 위와 같이  $\frac{n}{2}$  개다. 즉  $m=0 \dots \frac{n}{2}-1$  이다.  $f(k)$ 는 분석 원도 함수이다.

IMDCT는 식 2 IMDCT와 같다.

$$y_t(p) = f(p) \frac{n}{4} \sum_{m=0}^{\frac{n}{2}-1} X_t(m) \times \cos\left(\frac{\pi}{2n}(2p+1+\frac{n}{2})(2m+1)\right)$$

$$\text{for } p=0 \dots n-1$$

$y_t(p)$ 는 MDCT를 역변환 한 것이다. 시간영역 알리어스 구간의 제거는 중첩 가산연산에 의해 구해진다.

다. 즉 식 3과 같이 구할 수 있다

$$\tilde{x}_t(q) = y_{t-1}\left(q + \frac{n}{2}\right) + y_t(q) \quad \text{for } q=0 \dots \frac{n}{2}-1$$

$t$  번째 블록  $q$ 번째 원시 샘플  $\tilde{x}_t(q)$ 은  $t-1$ 번째 블록의  $q + \frac{n}{2}$  번째 주파수영역  $y_{t-1}\left(q + \frac{n}{2}\right)$  (IMDCT 한 값) 샘플에  $t$  번째(현재)에  $q$ 번째 IMDCT 샘플 값을 더하여 얻을 수 있다.

알리어스 구간 소거를 위해 각각의 원도 범위는 다음0과 같다. 연속적인 블록내의 원도 형태는 각각의 중첩 부분을 꼭 맞게 한다. 이것은 각각 긴 블록을 작은 블록으로 나눔으로써 가능하다. 여기서 각각의 원도는 중앙에 대칭이다.

그림 2는 32개의 서브밴드에 대한 원도형태이다.

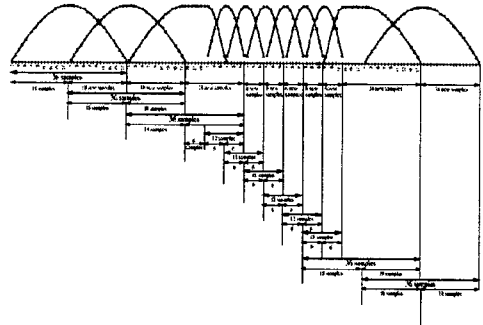


그림 2 서브밴드원도

$$f_i(k)^2 + f_i\left(\frac{n}{2} - k\right)^2 = 1$$

$$\text{for } k=0 \dots \frac{n}{2}-1$$

$$f_i\left(k + \frac{n}{2}\right)^2 + f_i(n-1-k)^2 = 1$$

$$\text{for } k=0 \dots \frac{n}{2}-1$$

식 4는 주파수영역의 중첩을 나타내며, 이로부터 FFT를식어용한 고속의 MDCT 및 IMDCT를 구현할 수 있다.

## 3. MDCT/IMDCT 코어 설계

MDCT와 IMDCT는 식 1과 식 2에서 보는바와 같이 같은 구조로 되어있다. 전체 시스템은 외부 ROM에 원도 테이블과 Cosine 계수 값을 입력순서에 맞게 배열하여 저장한 후 입력 신호와 계수 값을 변형

Booth 승산기를 사용하여 곱하여 MDCT와 IMDCT를 구현하였다.

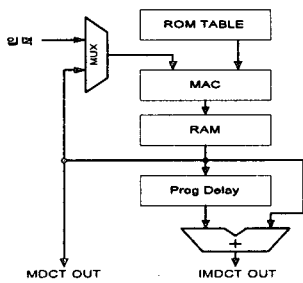


그림 3 MDCT/IMDCT

그림 3은 MDCT와 IMDCT의 하드웨어 구조를 나타낸다. MDCT는 ROM TABLE에서 시간영역의 신호와 ROM TABLE의 계수 값을 곱하여 서브밴드 출력을 구하고, IMDCT는 주파수영역 신호와 ROM TABLE의 계수 값을 곱하여 시간영역 신호를 바꾼 후 전 블록(시간영역 t-1)의 절반과 현재 블록(시간영역 t)의 절반을 중첩 가산하여 지각음향 복호화한다.

#### 4. 승산기 및 가산기의 구현

##### 4.1. 변형 Booth3 승산기

Booth 승산기는 쉬프트를 사용하여 승산 할 때 가산의 횟수를 1/2로 줄여준다.

본 논문에서는 병렬 파이프라인으로 Booth 승산기를 구현하였다. 병렬처리에 따라 booth encoder와 decoder는 10개씩 필요하고, decoder의 출력을 가산하기 위한 가산기 및 파이프라인 레지스터로 구성되어있다. Booth Decoder는 파이프라인 스테이지를 소비하지 않게 설계하며 디코더출력을 가산할 때 가산기 뒤단에 레지스터를 두어 가산만 파이프라인 스테이지를 소비한다.

booth 디코더에 의해 출력된 결과는 그림 4와 같이 하여 병렬로 계산한다.

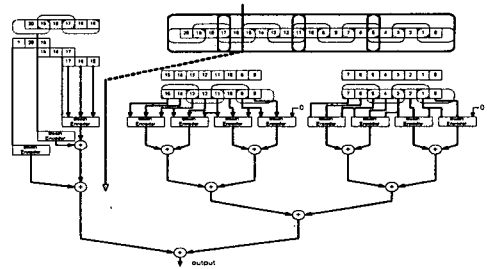


그림 4 병렬 파이프라인 Booth 승산기

##### 4.2. 캐리선택 가산기와 리플캐리 가산기

캐리선택 가산기는 가산시에 발생하는 캐리 프로파게이션 지연을 일정구간이상 전달되지 않게 상위 그룹 가산기(4비트 단위) 캐리 입력에 1과 0을 입력하여 하위 그룹가산기의 캐리 출력으로 상위 그룹가산기의 출력을 선택하여 가산시 전달지연시간이 다음 상위 그룹 가산기에 전달지연 않는 구조의 가산기이다. 본 논문의 CSA는 4비트 리플캐리 가산기(RCA4)를 그룹으로 하여 CSA를 구성한 후(CSA4) 이것을 다시 그룹으로 하여 CSA8을 구성하고 CSA8을 그룹 가산기로 하여 전체 CSA40가산기를 설계하였다. 이러한 구조의 이론적 지연시간은  $D_i$ 는 식 5와 같다.

$$D_i = RCA_{4i} + MUX_i$$

$D_i$  : 총 연산시간  
 $RCA_{4i}$  : 4비트 리플캐리가산기 연산시간  
 $MUX_i$  : MUX 지연 시간

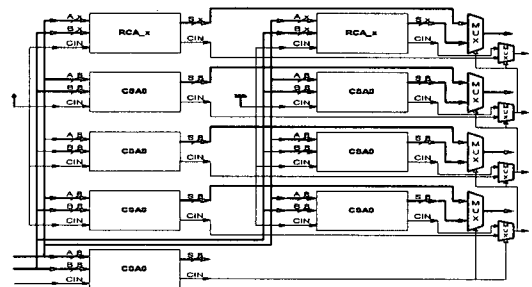


그림 5 CSA40

보통 CSA는 ASIC으로 구현할 때 최적의 성능을 발휘한다. FPGA 상에서 CSA 가산기는 합성된 MUX의 지연시간에 의존하며, XILINX의 FPGA에서 MUX 전달지연은 12~24 ns 이상 되어 실제 고속의 성능을 얻을 수 없다. 본 논문에서는 실제 합성에 XILINX사에서 제공하는 라이브러리로 구현하였다.

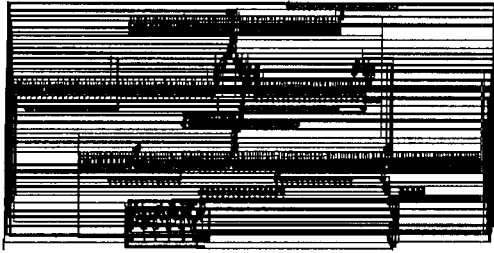


그림 6 XILINX Cell Library를 사용한 Booth 승산기 합성결과

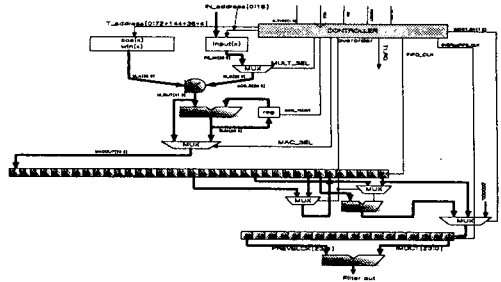


그림 8 MDCT/IMDCT

### 5. 컨트롤러의 구현

컨트롤러는 입력 블록의 타입에 따라 window와 Cosine를 곱하여 MDCT 및 IMDCT를 수행한다. 특히 IMDCT는 시간영역 샘플 18개를 구하고 앞 블록의 주파수영역 샘플 18개와 중첩 가산하여 overlap 출력을 구한다.

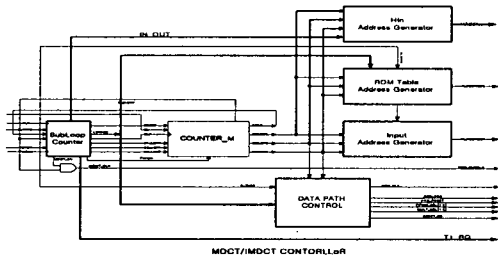


그림 7 MDCT/IMDCT 컨트롤러

그림 7은 MDCT/IMDCT 컨트롤러의 블록도 이다. MDCT/IMDCT를 처리하기 위해 SubLoop counter에서 cosine, Analysis window, synthesis windows중 어떤 값과 연산해야 할지를 결정하고, 블록 타입에 따라 COUNTER\_M의 최대 값을 설정하고 COUNTER\_M의 출력 COUNT1, COUNT2, COUNT3의 값에 의해 ROM Table Address Generator에서 ROM Table Address를, Input Address Generator에서 Input Address 생성하고, DATA PATH CONTROL 에서 FIFO를 제어한다. 또한 Hin Address Generator는 입출력 버퍼의 Address counter 이다.

그림 8은 MDCT/IMDCT의 전체 블록도 이다.

그림 9는 전체 시스템의 합성도면이다. 전체 시스템의 시스템크기 및 하드웨어 구성요소를 표 1에 나타낸다. 전체 시스템은 크리티컬 패스는 승산기 내에 40비트 가산기에 존재한다. 동작속도는 27ns이내이다. 따라서 시스템전체의 CLK는 37.03MHz이다.



그림 9 MDCT/IMDCT XILINX FPGA 합성

FG Function Generators	1274
H Function Generators	253
Number of CLB cells	973
Number of Hard Macros and Other Cells	274
Number of CLBs Other Cells	322
Total Number of CLBs	1295
Number of Ports	93
Number of Clock Pads	0
Number of IOBs	0
Number of Flip Flops	1496
Number of 3-State Buffers	0
Total Number of Cells	1247

표 1 MDCT/IMDCT XILINX FPGA Design Statistics

### 6. 결론

본 논문에서는 MPEG 오디오에서 사용하는 서브밴드 분석필터와 서브밴드 합성필터를 XILINX XC4052XL에 구현하였다. 서브밴드 분석 및 합성필터는 MDCT와 IMDCT로 구현되며 FFT를 이용해 고속

의 필터를 구현할 수 있었다. 구현된 MDCT 및 IMDCT는 고음질 오디오에서 사용하는 44.1KHz 샘플링, 21비트 양자와 데이터를 Stereo 뿐만 아니라, 최대 8채널을 동시에 분석 및 합성할 수 있다.

MDCT와 IMDCT는 현재 MPEG1-LayerIII AC3, MP3, MPEG2-LayerIII AAC에서 사용되고 있으며, 현재 MPEG4에서 T/F코더로 표준화가 진행되고 있다.

## 7. 참고문헌

- 1) AC3 standard~
- 2) Digital Audio ~
- 3) ISO/IEC CD 14496-3 Subpart 5:1998(E)

Contains the informative part of the description of the T/F coder