

# 2차원 이산 웨이블릿 변환 알고리즘의 하드웨어 설계

심정섭, 송문빈, 박상원, 이두영, 정연모  
경희대학교  
chung@khu.ac.kr

## Hardware Design of 2-Dimension Discrete Wavelet Transform Algorithm

Jungsub Sim, Moonvin Song, Sangwon Park, Dooyoung Yi,  
Yunmo Chung  
Dept of Electronic Engineering, Kyung Hee University

### 요 약

본 논문에서는 2차원 영상을 다중 해상도(Multi-Resolution)로 분해하는 이산 웨이블릿 변환 알고리즘을 하드웨어로 구현하기 위한 연구를 하였다. 이 알고리즘을 효율적으로 연산하기 위한 하드웨어 구조를 제시하였고, 이를 VHDL을 통하여 모델링 하였다. 또한 시뮬레이션과 합성을 통하여 기능을 검증하였다.

### 1. 서론

멀티미디어 기술이 발전하면서 영상의 전송이나 처리를 위한 영상 압축의 중요성이 부각되고 있다. 최근에는 웨이블릿 변환 알고리즘이 기존의 압축 알고리즘에 비하여 많은 우수성이 있기 때문에 이를 이용한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 웨이블릿 변환은 영상 정보를 효율적으로 압축할 수 있는 기능을 제공한다[1]. 웨이블릿 변환을 이용하면 영상의 정보를 주파수별로 대역 분할을 할 수 있다. 대역 분할된 영상에서는 대부분의 영상 정보가 저주파 대역 부분에 있다[2]. 따라서 대역의 특성에 맞는 압축 방법을 선택하면 효율적인 압축을 달성할 수 있다.

지금까지 주로 사용한 DCT 기반의 JPEG 영상 압축 기술은 한 개의 영상을 여러 개의 블록으로 나누어 처리하지만 웨이블릿 변환은 영상 전체에 대해서 수행되기 때문에 블록 현상이 발생되지 않는다. 하지만 웨이블릿 변환 과정에서는 연산의 복잡도가 증가하게 되는데, 이를 실시간으로 빠르게 처리하기 위해서는 하드웨어로 처리하는 것이 효율적이다. 구

체적으로 설명하면 영상을 대역 분할하기 위해서는 필터링 과정을 거치게 되는데, 이때 필터 연산의 합성 곱으로 인하여 연산의 복잡도가 증가하게 된다. 따라서 이러한 연산을 효과적으로 처리할 수 있는 연구가 필요하다.

본 논문에서는 웨이블릿 변환을 하드웨어로 구현하기 위한 효율적인 하드웨어 구조를 제시하였고, 이를 VHDL을 통하여 모델링 하였으며 시뮬레이션을 통해 검증하였다..

### 2. 웨이블릿 변환 이론

다중 해상도 분석은 이미지 또는 신호를 직교기저를 형성하는 스케일 함수 및 웨이블릿을 이용하여 이분 주파수 구간(dyadic frequency band)으로 순차적으로 사영(projection)시키거나 다시 복원(reconstruction)하는 방법을 의미한다. 즉, 해상도가 다른 벡터공간에 신호  $f(t)$ 를 근사 계수  $c_{j,k}$ 와 상세 계수  $d_{j,k}$ 로 순차적으로 사영하거나 다시 이 값들로부터 상위 함수  $f(t)$ 를 복원하는 것을 의미한다.

$c_{j,k}$ 를 근사 계수(approximation coefficient)라 정의하며 식 (1)에 의해 정의된다. 여기서  $b(k)$ 는 상위 영역에서 하위 영역으로의 확장을 가능케 하는 척도 계수(scaling coefficient) 또는 팽창 계수(dilatation coefficient) 부른다.

$$c_{j,k} = \sum_n b(k)c_{j+1,k} \quad (1)$$

$d_{j,k}$ 는 상세 계수 (detail coefficient)라 정의하며 식 (2)와 같이 정의된다. 식(2)에서  $h(k)$ 는 Mallat의 공식에 의해서 주어진 계수이다.

$$d_{j,k} = \sum_n h(k)c_{j+1,k} \quad (2)$$

함수  $f(t)$ 에 대한 복원은 식 (3) 으로 정의된다.

$$f(t) = \sum_{k=0}^{n-1} c_{j,k}b(k) + \sum_{k=0}^{n-1} d_{j,k}h(k) \quad (3)$$

위의 수식들에 근거한 함수  $f(t)$ 의 다중 해상도 영역으로의 사영과 복원 관계를 나타내면 [그림 1]과 같다[3].

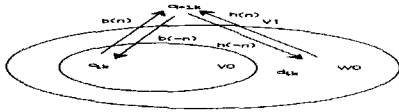


그림 1. 함수  $f(t)$ 의 다중해상도 영역으로의 사영 및 복원

다시 설명하면 다중 해상도 분석 방법을 통해 함수  $f(t)$ 에 대한 유사 계수(approximation coefficient) 및 상세 계수(detail coefficient)가 결정된다. 유사 계수는 함수  $f(t)$ 에 대한 순차적인 저주파 필터링 결과와 유사하며, 상세 계수는 순차적인 고주파 필터링 결과와 유사하다. 결국 다중 해상도 분석 방법은 함수  $f(t)$ 를 충분히 해상도가 높은 영역에서 확장되어진 유사 계수로 가정하고 이를 하위 영역에서 순차적으로 유사 계수와 상세 계수를 결정하는 방법이다.

위에서 유사 계수와 상세 계수는 각각 저주파 필터링과 고주파 필터링 과정을 통하여 구할 수 있음을 알 수 있다. 이는 영상을 필터 뱅크를 통하여 필터링 하는 것과 같은 방법이다.

필터뱅크는 필터들의 집합인데, 보통 [그림 2]의 분석 필터 뱅크(analysis filter bank)와 [그림 3]의 합성 필터뱅크(synthesis filter bank)의 두 종류로

나눈다. 일반적으로 분석 필터 뱅크는 입력 신호를 대역 필터들을 이용하여 몇 개의 분할 대역(subband)으로 분해한다. 합성 필터뱅크는 분할 대역의 신호를 가지고 입력 신호를 재구성해 낸다. 필터 방식을 입력 신호에 적용되면, 저주파 필터, 고주파 필터를 통과한 각각의 출력 신호는 처음 입력 신호 길이의 두 배가 된다. 이것은 필터와의 합성 곱 때문이며, 필터의 길이에 의존적이다. 따라서 분석 필터 뱅크를 적용한 이후에 다운 샘플링을 적용하게 된다[4].

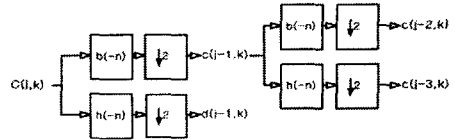


그림 2. 분석 필터 뱅크

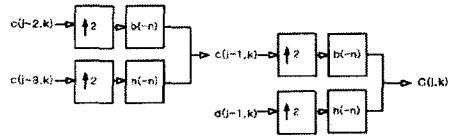


그림 3. 합성 필터 뱅크

2차원 영상의 주파수별 대역 분할은 입력 영상에 대해서 저주파 필터와 고주파 필터를 반복적으로 수행함으로써 이루어질 수 있다. 입력 영상은 2차원이므로 [그림 4]와 같이 수평과 수직 방향으로 저주파 필터와 고주파 필터를 통과하면 [그림 5]와 같이 4개의 부 대역으로 분해 할 수 있다. 가로 방향으로 저주파 필터를 통과한 부 대역이 LL 밴드이다. 가로 방향으로 저주파 필터, 세로 방향으로 고주파 필터를 통과한 부 대역이 LH 밴드이다. 가로 방향으로 고주파 필터, 세로 방향으로 저주파 필터를 통과한 부 대역이 HL 밴드이다. 가로 방향으로 고주파 필터, 세로 방향으로 고주파 필터를 통과한 부 대역이 HH 밴드이다. 이 부 대역들 중에서 LL 밴드에 영상의 거의 모든 정보가 집중되게 된다.

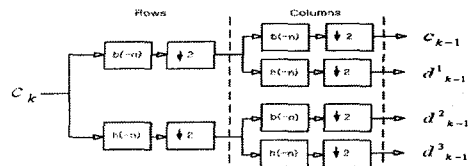


그림 4. 영상의 대역 분할

LL	HL
LH	HH

그림 5. 4개의 부대역으로 분할한 모습



그림 6. 실제 영상을 분할하였을 때의 모습

[그림 6]에서 저주파 대역의 영상이 원래 영상의 거의 모든 정보를 가지고 있음을 확인할 수 있다.

저주파 부대역 LL 밴드만을 계속해서 대역 분할하면 저주파 대역의 정보를 더욱 집중시킬 수 있다. [그림 7]과 같이 LL 밴드만을 계속해서 분해해 가는 방법을 옥타브(Octave) 분해법이라 한다[5].

LL2	LLH3	LH2	LH1
HL3	HH3		
HL2	HH2	HH1	
HL1	HH1		

그림 7. 옥타브 분해 되었을 때의 부대역

Daubechies에 의해 개발된 웨이블렛은 그의 이름을 따서 dbN이라고 하며, N은 종류에 따른 숫자를 가르킨다[6]. 본 논문에서 사용한 웨이블렛은 Daubechies 웨이블렛이며 db2를 사용한다.

### 3. 설계 및 검증

[그림 8]은 시스템 전체 블록도이며 'CONTROL BLOCK'은 시스템 전체의 동작을 컨트롤한다. 또한 데이터의 입·출력이 메모리를 통해서 이루어지기 때문에 메모리 컨트롤러의 역할도 수행하게 된다. 메모리에서 데이터를 가져올 때 처음에는 열 방향의

데이터 가져온 후 행 방향의 데이터를 가져온다. 연산된 결과 값은 다운 샘플링 과정을 통해 입력 데이터의 반으로 줄게 된 후 메모리에 저장되는데 'CONTROL BLOCK'은 이러한 부분을 고려하여 메모리 액세스를 위한 제어 신호와 어드레스를 생성한다. 실제 연산이 이루어지는 부분은 'LOWPASS FILTER BLOCK'와 'HIGHPASS FILTER BLOCK'으로 대역 분할 과정을 수행한다.

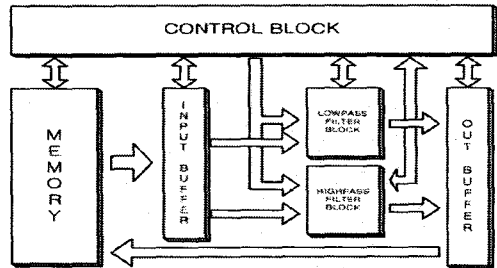


그림 8. 시스템 전체 블록도

[그림 9]는 실제로 필터 연산이 이루어지는 연산부의 구조를 나타낸다. 연산이 수행될 데이터를 메모리로부터 받아서 'INPUT BUFFER'에 저장했다가 필터 블록으로 데이터를 전달한다. 각각의 필터 부분은 연산의 속도를 증가시키기 위하여 각각 4개씩의 'Multiplier' 블록을 가지며 병렬 연산을 수행한다. 연산된 결과는 'Adder' 블록을 통하여 'OUTPUT BUFFER'로 출력하게 된다.

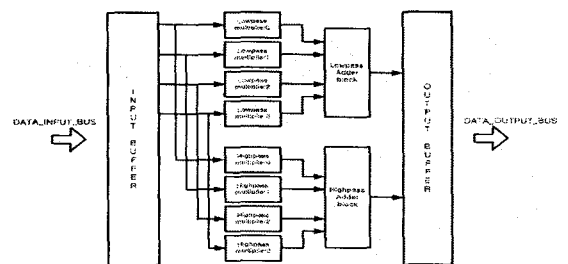


그림 9. 시스템 연산부 블록도

필터를 통과한 출력 신호의 데이터 량은 입력 신호의 두 배가 된다. 이는 합성곱 때문이며 그 길이는 필터의 길이에 의존적이다. 따라서 분석 필터를 적용한 후 다운 샘플링 과정을 수행한다. 시간 영역에서의 다운 샘플링은 분석 영역에서 나오는 데이터의 반을 취하는 것이다. 출력 신호 중 보통 짝수 번째 성분만을 취하고 나머지는 버리게 된다. 이를 고려할 때 홀수 번째 연산 결과는 불필요한 연산이므로

로 위에서 제시한 구조에서는 처음부터 홀수 번째 결과는 계산하지 않는다. 이렇게 함으로써 각 필터의 연산의 수가 반으로 줄게 된다. 이렇게 계산된 결과 값은 다운 샘플링이 적용된 것과 같게 되어 다운 샘플링을 위한 하드웨어가 필요 없어져 하드웨어 구조가 간단해 지고, 연산의 수가 감소함으로써 처리 속도나 효율성 면에서 이득이 있다.

[그림 10]의 'INPUT BUFFER' 블록에서는 메모리에서 가져온 데이터를 입력 받아서 'LOWPASS FILTER BLOCK' 과 'HIGHPASS FILTER BLOCK'에서 연산 될 데이터를 적절히 선택한 후 출력하게 된다.

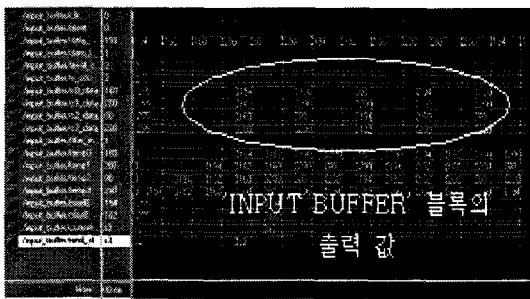


그림 10. 'INPUT BUFFER' 블록 시뮬레이션

[그림 11]은 저주파 필터와 고주파 필터를 통과한 결과 값을 보여준다. 필터의 입력 데이터는 'INPUT BUFFER'를 통하여 출력된 데이터이며, 필터 블록에서는 이러한 입력을 받아서 필터링 한 후 'CONTROL BLOCK'으로 출력하게 된다.

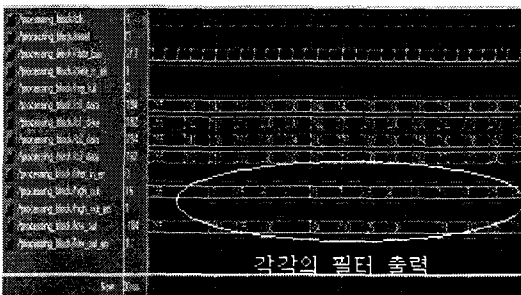


그림 11. 연산부 블록의 시뮬레이션

#### 4. 결론

본 논문에서는 영상 압축을 위한 웨이블릿 변환 알고리즘을 하드웨어로 처리하기 위한 구조를 제시

하고 이를 VHDL로 모델링 하였다.

[그림 12]는 설계한 시스템의 합성 결과이다.

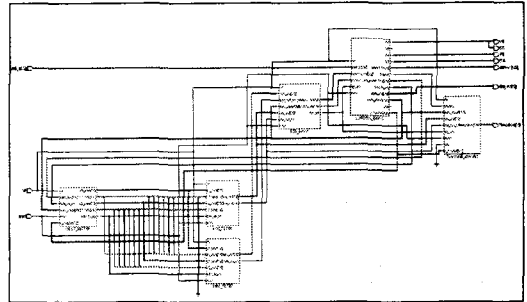


그림 12. Top block 합성 결과

웨이블릿 변환을 필터를 이용하여 할 수행할 경우 'LOWPASS FILTER' 와 'HIGHPASS FILTER'를 통과한 데이터는 다운 샘플링 되는 과정이 필요하다. 본 논문에서는 불필요한 홀수 번째 연산을 수행하지 않고 짝수 번째 결과만을 연산하는 구조로 하드웨어를 설계함으로써 불필요한 연산의 수를 줄였으며, 다운 샘플링을 위한 추가의 하드웨어가 필요 없어지기 때문에 하드웨어가 간단해 지고 연산의 수 감소로 하드웨어 처리 속도를 증가 시켰다.

#### 참고문헌

- [1] O. Rioul, "Regular Wavelet: A Discrete-time approach," *IEEE Transactions, on Signal Processing*, Vol. 41, No. 12, Dec. 1993.
- [2] A. Lewis and G. Knowles, "Image compression using 2-D wavelet transform," *IEEE Transactions. on Image Processing*, Vol. 1, pp. 244-250, Apr. 1992.
- [3] 이승훈, 윤동환, 웨이블릿 변환(알기쉬운). 진한 도서, 2002.
- [4] P. P. Vaidyanathan, *Multirate Systems and Filter Bank*, Prentice Hall, 1993.
- [5] J. W. Woods and S. O'Neil, "Subband coding of images," *IEEE Transactions. on Acoust., Speech, Signal Processing*. Vol. 34, pp. 1278-1288, Oct 1986.
- [6] I. Daubechies, "Orthonormal basis of compactly supported wavelet," *Comp. Pure Appl. Math*, Vol. 46, pp. 909-996, 1988.