

2차원 이산 웨이블릿 변환의 계산시간 감소를 위한 알고리즘

이 혁범, 유지상, 김 종현, 서 영호, 김 왕현, 김 동욱
광운대학교, 인티스닷컴 주식회사
전화 : (02)940-5167 팩스 : (02)919-3940

Calculation Time Reduction Algorithm of 2-Dimensional Discrete Wavelet Transform

Hyuk-Bum Lee, Ji-Sang Yoo, Jong-Hyeon Kim, Toung-Ho Seo, Wang-Hyun Kim,
Dong-Wook Kim
Kwangwoon University, Intis.com Inc.

Abstract

This paper is to propose an algorithm to reduce the calculation time to perform the 2-dimensional Discrete Wavelet Transform(2DWT). We call this algorithm as Reduced 2-dimensional Discrete Wavelet Transformation(R2DWT). This algorithm uses a modified Mallat-tree such that in each level, the column transform is performed only with the low-pass filtered row transform result. The resulting number of sub-band regions is $2L+1$, meanwhile the original(2DWT) has $3L+1$ sub-regions, where L is the transform level.

To show the proposed algorithm is useful without much loss in SNR(Signal-to-Noise Ratio), we performed experiments with various images. The results showed that above 5:1 in compression ratio, the proposed algorithm has less than 0.5dB difference in SNR from 2DWT with about 25% reduction in calculation time.

I. 서론

최근 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform, DWT)이 신호처리분야에서 많은 관심을 받고 있다^{[1][2][3]}. DWT는 DCT(Discrete Cosine

Transform)를 이용하여 신호를 압축하는 경우 발생하는 블록 효과(block effect)가 나타나지 않는다는 장점에 변환된 계수를 각 서브-밴드별로 다양하게 처리가 가능하기 때문에 많은 응용분야에서 사용될 것으로 기대되고 있다^[1]. DWT의 응용분야 중 가장 큰 관심을 보이고 있는 분야는 영상압축 분야이며, 이 경우 보통 2차원 separable DWT를 수행한다^{[2][3][4]}. 영상압축 분야에서의 가장 큰 관심은 압축률 증가에 따르는 SNR(Signal-to-Noise Ratio) 개선과 실시간 처리의 가능성이다. 2차원 separable DWT를 이용하여 영상을 압축할 때, 사용되는 웨이블릿 필터에 따라 각 화소를 처리하는 데는 7번 또는 9번의 곱셈과 6번 또는 8번의 덧셈(누적덧셈)을 수행하여야 한다. 따라서 고 압축률을 유지하면서 실시간 영상처리를 수행하기 위해서는 DWT 계산에 소요되는 시간을 최소화 하는 것이 현실적으로 가장 필요한 연구 내용이라고 하겠다^[5].

본 논문에서는 2차원 DWT를 수행하는 2차원 Mallat tree 수행절차를 수정하여 DWT 및 양자화를 통한 영상압축 결과가 SNR(Signal-to-Noise Ratio)의 손실 없이 DWT의 계산 량을 현저히 감소시킬 수 있는 방법을 제안하고자 한다. 이 방법은 2차원 이산 웨이블릿 변환의 간소화된 알고리즘(Reduced 2D DWT, R2DWT)이라 칭한다.

II. 제안한 DWT 알고리즘

R2DWT가 기존의 2차원 DWT(2DWT로 표기)와 다른

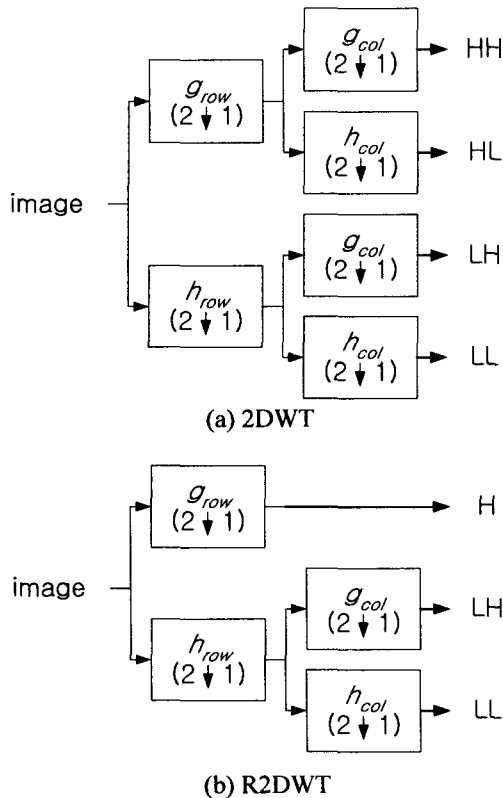


그림 1. 2DWT와 R2DWT에 대한 1-레벨 Mallat tree 비교

점을 그림 1에 Mallat tree 형태로 나타내었다. 2DWT가 각 영상 또는 DWT 결과의 서브-밴드 전체에 대해 행과 열 방향으로 1/2 축소과정을 포함한 저주파 및 고주파 필터링을 수행하는 반면, 본 논문에서 제안하는 R2DWT는 열 방향 저주파 및 고주파 필터링(1/2 축소과정 포함)한 결과 중 저주파 필터링 결과만 행 방향 DWT를 수행한다. DWT는 고주파 및 저주파 필터링을 통하여 에너지를 저주파 영역으로 결집시키는 변환방법이다. 이것은 인간의 눈이 고주파, 즉 갑자기 변화하는 영상부분에 대한 감지능력이 떨어지는 것을 이용한다고 볼 수 있는데, 본 논문에서 제안하는 R2DWT 또한 이러한 현상을 좀더 확대 이용하는 것이라 할 수 있다. R2DWT를 수행하는데 필요한 계산량은 2DWT의 75%에 해당하며, 이것은 실시간 영상 처리 속도에도 그대로 반영되므로 상당한 양의 계산시간 감소를 얻을 수 있다.

그림 2는 언급한 두 가지의 DWT의 결과로 나타나는 2차원 영상의 서브-밴드 분할 과정을 나타내고 있는데, 이 그림은 두 레벨의 DWT를 수행하는 각각의

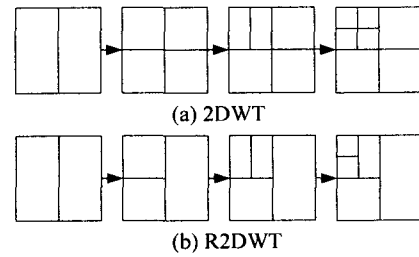


그림 2. 2-레벨 DWT를 수행한 결과

경우를 보이고 있다. 두 레벨의 DWT를 수행한 결과 원 영상은 2DWT의 경우 7개의 서브-밴드로, R2DWT는 5개의 서브-밴드로 각각 나뉘어지는데, 일반적으로는 N 레벨의 DWT를 수행한 경우 2DWT는 3N+1 개, R2DWT는 2N+1 개의 서브-밴드로 각각 나뉘어진다. 따라서 R2DWT는 DWT 수행결과 2DWT에 비해 나누어지는 서브-밴드 수가 적으므로, 서브-밴드별로 처리하는 응용에서 그 융통성이 다소 떨어질 수 있다. 그러나, 매우 정교한 처리를 요하지 않는 부분에서는 이러한 융통성 저하는 그리 큰 문제가 되지 않는다.

III. S/W 및 H/W 구현

이 R2DWT는 2DWT와 함께 성능비교를 위해 S/W 및 H/W로 구현하였다. 본 연구가 영상압축과 밀접한 관계가 있으므로 양자화 과정을 포함하는 처리과정을 구현하였는데, 그림 3에 이 과정을 개략적으로 나타내었다. 본 논문에서는 그림 중 회색으로 표시한 부분만 구현하였다. 일반적으로는 양자화 과정 뒤에 엔트로피 코딩을 수행하는 것이 상례적이며, 이 과정에서 추가적인 압축효과를 얻을 수 있다. 그러나, 이 엔트로피 코딩은 영상정보의 손실이 없는 방법을 주로 사용하므로, 본 논문에서 의도하는 DWT 자체의 성능비교에는 큰 영향을 미치지 못해 제외시켰다.

이 과정 중 DWT는 2DWT와 R2DWT의 두 가지 경우를 각각 구현하였으며, 양자화기는 H/W 구현의 용이성을 고려하여 그림 4에 나타낸 log-scale 고정 양자화기를 설계하여 구현하였다. 이 양자화기는 다수의

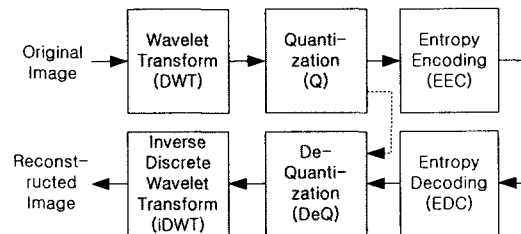


그림 3. 영상처리 과정 및 구현대상

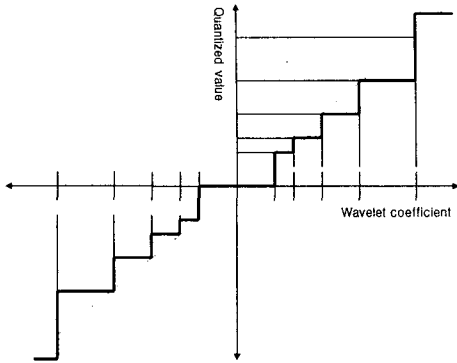


그림 4. 설계된 log-scale 고정 양자화기

영상을 대상으로 최적의 감마(Gamma, 웨이블릿 계수의 양자화 대상범위)값과 각 압축률에 따르는 서브-밴드의 할당 비트수를 구하여 설계하였다. 각 압축률에 따르는 서브-밴드별 할당 비트수 및 감마 값은 표 1에 나타내었으며, 서브-밴드번호는 그림 5에 나타나 있다.

이러한 수행과정에 대해 S/W적으로는 C-언어를 사용하여 구현하였으며, H/W적으로는 VHDL 행위-레벨로 설계한 후 합성하는 방법으로 구현하였다. H/W 구현에 있어서 대상 플랫폼은 Altera FPGA를 선택하였고, MAX+Plus 설계 툴을 사용하였다. 구현에 사용된 웨이블릿 필터는 Daubechies의 (9, 7) Bi-Orthogonal 필터이었으며, 2DWT 및 R2DWT 공히 3 레벨 DWT를 수행하는 것으로 하였다. 그 결과는 각 서브-밴드의 번호와 함께 그림 5에 나타내었다. 그림 6에는 H/W로 구현한 결과를 나타내고 있는데, 그림에 나타난 것과 같이 본 논문에서는 두 개의 MAC(Multiplier and Accumulator)을 사용하는 DWT 프로세서 사용하였으며, 영상정보를 저장하는 메모리(RAM), 메모리에 저장된 영상정보를 읽어 일시 저장하는 레지스터 군(FIFO), log-scale 고정 양자화기, 그리고 제어부분과 필요한 레지스터들로 구성되었다. 그림 6의 H/W는 Altera FPGA 10K의 약 31% 즉, 3,140셀 해당하며, 게이트 수로는 약 62,000개에 해당한다.

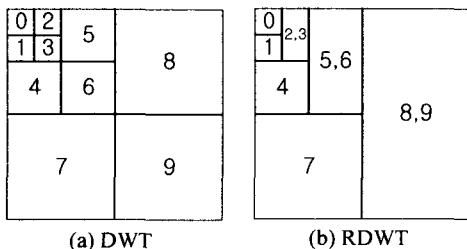


그림 5. 3 레벨 DWT를 수행한 결과

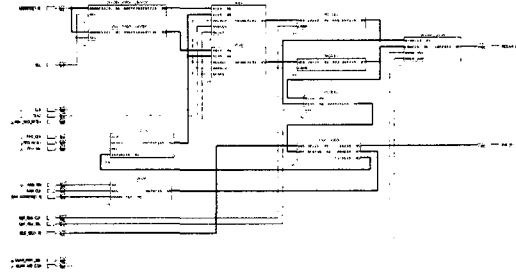


그림 6. Altera MAX+Plus 합성 결과

IV. 실험결과

구현된 S/W 및 H/W 공히 다수의 영상에 적용하여 SNR에 해당하는 성능을 비교하였다. 그 결과를 그림 7에 나타내었는데, 이 그림의 값은 R2DWT와 2DWT의 SNR 차이를 나타내는 것으로,

$$SNR_{Difference} = SNR_{R2DWT} - SNR_{2DWT}$$

로 계산한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이, 압축률이 1:0(영상압축이 이루어지지 않은 원 영상 그대로)인 경우 2DWT가 R2DWT보다 2내지 2.5dB정도 높은 SNR을 보이다가 압축률이 증가함에 따라 그 차이가 감소함을 알 수 있다. 압축률이 약 5:1 정도부터는 오히려 본 논문에서 제안한 R2DWT가 2DWT에 비해 약간 높은 SNR을 보이고 있으며, 그 차이는 ±0.5dB 정도로 미미하였다. 그림 8은 Lenna 영상을 대상으로 압축률이 5.33:1의 그림 3 과정을 거쳐 압축/복원된 영상예로 나타낸 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 2차원 영상 압축/복원에 이산 웨이블릿 변환을 사용할 때 웨이블릿 변환의 시간을 감소시킬 수 있는 알고리즘을 제안하였다. R2DWT(Reduced 2D Discrete Wavelet Transform)이라 칭하는 이 알고리즘은 웨이블릿 변환을 Mallat tree 방식으로 수행할 때 각 레벨에서 지역 필터링된 행 변환 결과만을 열 변환시키는 방법이다.

원래의 Mallat tree에 의한 변환이 3L+1(L은 변환 레벨 수)개의 서브-밴드를 가지는 반면, 본 알고리즘의 결과로는 2L+1의 서브-밴드가 형성된다. 따라서 양자화기에서의 양자화 과정 중 정교한 압축을 수행하는데 그 융통성이 저하된다는 단점을 갖고 있으나, 이러한 문제는 제안한 알고리즘의 결과 서브-밴드에 대한

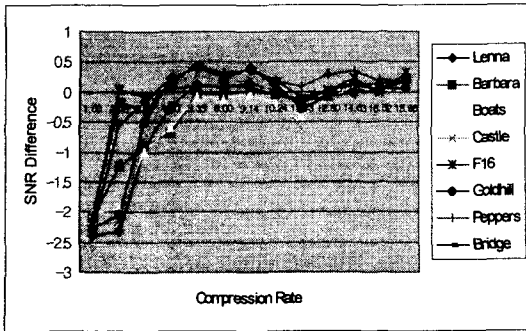


그림 7. 2DWT와 R2DWT의 SNR 비교

보다 정교한 비트 할당이나 보다 융통성 있는 양자화 알고리즘을 사용하여 충분히 보상할 수 있으리라 사료된다.

여러 영상을 대상으로 실험한 결과 본 논문에서 제시한 R2DWT 방법은 압축률이 약 5:1(양자화과정까지) 이상의 영상압축을 수행할 때 계산 양을 75% 정도로 감소시키면서 SNR이 2DWT에 비해 뒤지지 않음을 알 수 있었다. 따라서 R2DWT 방법은 고 압축률로 영상을 압축하여야 하는 응용분야에서 실시간 영상처리를 위해 유용하게 사용될 수 있을 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

- [1] R. M. Rao and A.S. Bopardik, *Wavelet Transforms, Introduction to Theory and Applications*, Addison Wesley, Reading, 1998.
- [2] A. Grezeczak, et al., "VLSI Implementation of Discrete Wavelet Transform", *IEEE Trans. on VLSI Systems*, Vol. 4, No. 4, pp. 421-433, Dec. 1996.
- [3] K. Paul, D. R. Chowdhury, and P. P. Chaushuri, "Scalable Pipelined Micro-Architecture for Wavelet Transform", *Intl. Conf. on VLSI Design*, pp. 144-147, Jan. 2000.
- [4] O. M. Neilsen and M. Hegland, "A Scalable Parallel 2D Wavelet Transform Algorithm", *Technical Report TR-CS-97-21*, Dept. of CS, Australia Natl. Univ., Dec. 1997.
- [5] J. N. Bradley and C. M. Brisa주, "The Wavelet/Scalar Quantization Compression Standard for Digital Fingerprint Images", *IEEE ISCAS-94*, 1994.



(a) 원 영상



(b) R2DWT 적용 영상



(c) 2DWT 적용 영상

그림 8. 압축률 5.33:1일 때의 압축/복원 Lenna영상