

# 고정 압축률에서의 JPEG2000 코덱을 위한 최적의 데이터 형식 모델링

강창수, \*서춘원

유한대학 전자과, \*김포대학 컴퓨터네트워크과

e-mail : cskang@yuhan.ac.kr, cwseo@kimpo.ac.kr

## The Modeling of the Optimal Data Format for JPEG2000 CODEC on the Fixed Compression Ratio

Chang Soo Kang\*, Choon Weon Seo

\*Dept. of Electronics, Yuhan College

Dept. of Computer Networks, Kimpo College

### Abstract

This paper is related to optimization in the image data format, which can make a great effect in performance of data compression and is based on the wavelet transform and JPEG2000.

This paper established a criterion to decide the data format to be used in wavelet transform, which is on the bases of the data errors in frequency transform and quantization. This criterion has been used to extract the optimal data format experimentally. The result were (1, 9) of 10-bit fixed-point format for filter coefficients and (9, 7) of 16-bit fixed-point data format for wavelet coefficients and their optimality was confirmed.

### I. 서 론

웨이블릿 변환은 근본적으로 아날로그 필터를 사용하여 데이터를 주파수 대역으로 재구성하는 변환방식이며, DWT는 이 아날로그 필터를 디지털화하여 데이터를 대상으로 변환과정을 수행한다. 따라서 디지털화된 필터는 무한 길이의 디지털 값을 가지며, 따라서 변환 후의 데이터 또한 무한소수가 된다. 그러나 연산을 수행하는 소프트웨어(software, SW) 또는 HW는 무한소수를 처리할 수 없으므로, 일반적으로 일정 양의 데이터만을 변환과정에 사용한다. 연산에 사용하는 데이터양은 SW 및 HW의 동작속도를 크게 좌우하며, 반면 변환과 압축과정을 거친 영상을 복원 할 때 그 영상의 화질에도

큰 영향을 미칠 수 있다. 즉, 적은 데이터양은 동작속도를 증가시키나, 복원 후의 영상화질을 저하시키는 결과를 초래할 수 있다.

본 논문에서는 영상압축을 목적으로 리프팅 기반의 DWT를 수행할 때 사용되는 최적의 데이터 형식을 도출하고, 그 데이터 형식이 영상화질 및 HW 구현에 미치는 영향에 대해서 연구한다. 즉, 본 논문의 목적은 최소의 데이터 양으로 최대의 영상화질과 HW 구현 시 HW 양을 최소화 할 수 있는 최적의 데이터 형식을 구하는데 있다. 이를 위해서, 먼저 DWT 수행시 영상화질에 미칠 수 있는 영향들을 분석하고 이를 정량화하여 DWT 시 가질 수 있는 데이터 형식의 정량적인 기준을 설립한다. 이 기준을 기초로 실험적으로 최적의 데이터 형식을 도출하며, 그 결과와 정량적인 데이터 형식의 기준을 비교하여 분석한다.

### II. JPEG2000을 이용한 영상압축

이번 장에서는 본 연구가 목적으로 하고 있는 이산 웨이블릿 변환을 기반으로 하는 JPEG2000 영상압축 과정에 대해서 설명한다.

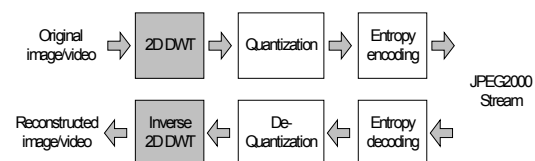


그림 1. 2-D DWT 기반 영상압축 및 복원 과정

그림 1은 JPEG2000의 영상압축 및 영상복원에 대한 기본

적인 핵심과정을 나타낸 블록도이다. 영상 압축기/복원기의 성능은 압축된 영상의 데이터 양, 복원된 영상의 원영상에 대한 차이, 그리고 압축 및 복원이 수행되는 시간으로 그 성능을 평가한다. 그림 1의 압축과정과 복원과정을 비교하면 압축과정의 역순으로 복원과정이 진행됨을 알 수 있고, 압축과정의 각 단계는 그 역함수를 사용하여 복원과정에 사용된다.

### 2.1 리프팅 변환

리프팅 방식의 기본적인 원리는 웨이블릿 필터의 다상 행렬(polyphase matrix)을 삼각 행렬(triangular matrix)과 대각 행렬(diagonal matrix)로 인수분해(factoring)하는 것이다.[5,6] 이는 밴드 행렬(banded-matrix) 곱셈에 의해서 웨이블릿이 수행되도록 하는 것이다.  $\tilde{h}(z)$ 와  $\tilde{g}(z)$ 를 각각 저주파 및 고주파 해석 필터(analysis filter)라 하고  $h(z)$ 와  $g(z)$ 를 합성 필터(synthesis filter)라 할 때 아래와 같이 식 (1)과 (2)로 각각의 다상 함수를 정의할 수 있다.

$$\tilde{P}(z) = \begin{bmatrix} \tilde{h}_e(z) & \tilde{h}_o(z) \\ \tilde{g}_e(z) & \tilde{g}_o(z) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$P(z) = \begin{bmatrix} h_e(z) & h_o(z) \\ g_e(z) & g_o(z) \end{bmatrix} \quad (2)$$

### 2.2 양자화 과정과 엔트로피 코딩

JPEG2000에서 사용되는 선형 스칼라 양자화기는 각 부대역에 한 개의 데이터를 표시할 비트 수를 미리 정하고 이에 따라 2D DWT 결과 데이터 범위를 분할하여 각 분할된 데이터 영역 내의 값은 한 개의 대표값으로 치환한다. 일반적으로 2D DWT 결과 최저주파수 영역을 제외한 부대역들은 0 부근의 WC(wavelet coefficient) 값들을 매우 많이 포함된다. 따라서 WC가 0 근처의 값을 갖는 영역을 다른 영역보다 크게 함으로써 대표값이 0으로 되는 확률을 높일 수 있다. 이는 엔트로피 코딩에서 압축률을 증가시킬 수 있는 방법 중 하나이다. JPEG2000의 양자화 방식을 식 (3)에 나타냈다

$$q_b(u, v) = \text{sign}(a_b(u, v)) \cdot \left[ \frac{|a_b(u, v)|}{\Delta_b} + 0.5 \right] \quad (3)$$

여기서  $q_b(u, v)$ 는 양자화된 계수,  $a_b(u, v)$ 는 DCT 또는 DWT 계수,  $\Delta_b$ 는 양자화 단계크기,  $\Delta_b(u, v)$ 는 양자화의 계수,  $\text{sign}(x)$ 는  $x$ 의 부호를 각각 나타낸다.

## III. 데이터형식 분석 및 오차

이번 장에서는 영상압축 과정에서 의도적, 비의도적인 데이터의 손실에 대해서 설명한다. 연구의 목적이 최적의 데이

터 형식을 찾는 것이므로, 이번 장의 내용을 통해 이 목적의 정량적인 기준이 될 수 있다.

### 3.1 DWT과정에서의 데이터의 손실

고정소수점 형식은 그림 2에 나타낸 것과 같이, 소수점 위의 자리수와 소수점 아래의 자리수가 모두 고정되어 있다. 즉, 전체 비트 수가 고정되어 있고, 그 중 소수점의 위치가 미리 정해진 데이터 표현 형식이다. 그림 2에서는 소수점 위의 수로  $w$  비트, 소수점 아래의 수로  $p$  비트가 각각 할당된 것을 보이고 있다.

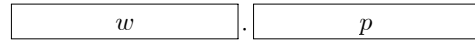


그림 2. 고정소수점 데이터 형식

따라서 이 경우는  $(w, p)$ 의 고정소수점 형식을 사용한다고 하며, 한 숫자를 표현하는데  $w + p$  비트를 사용하는 것이다. 이 경우 무한소수에 대한 이 형식의 오차  $E_{fixed}$ 는 식 (4)과 같다.

$$E_{fixed} \leq 2^{-(p+1)} \quad (4)$$

이후,  $L$ 번의 2-D DWT를 수행한 최종 데이터의 오차는 식 (5)의 값을 가진다.

$$E_{fixed, total} \leq 2L \cdot (2m - 1) \cdot 2^{-(p_w+1)} = L \cdot (2m - 1) \cdot 2^{-p_w} \quad (5)$$

### 3.2 양자화 과정에서의 데이터 손실

앞에서 설명한 바와 같이 양자화 과정은 원영상 또는 DWT결과 데이터의 일부 정보를 소실하는 댓가로 데이터의 압축을 얻어내는 과정이다. 일반적으로 영상처리는 데이터 압축을 목적으로 하므로, 반드시 양자화 과정을 거치게 된다. 따라서 양자화 과정에서의 정보소실은 피할 수 없는 것이라 할 수 있다. 따라서 압축률이 높을수록 화질이 떨어지는 것도 이 때문이다.

데이터 축소를 얻기 위해 양자화과정에서 부대역  $i$ 에  $q_i$ 의 비트가 할당되었다고 할 경우, 최대 허용오차는 식 (6)과 같다고 가정할 수 있다.

$$E_{Q, worst} = 2^{b-q_{i, max}} \quad (6)$$

### 3.3 데이터 형식의 오차 한계

고정소수점의 경우 양자화기의 데이터 손실이 DWT에서의 데이터 모두 포함하기 위해서는 식 (5)와 식 (6)에서 식

(7)의 조건을 만족하여야 한다. 앞에서와 같이  $L = 4$ ,  $m = 9$ 를 가정할 때 식 (12)는 근사적으로 식 (8)과 같이 표현될 수 있다. 즉, 양자화기에서 최대 할당 비트 수가 7이라 가정하면,  $p_w$ 는 5 이상의 값만 가지면 되는 것이다.

$$2^{b-q_{i,\max}} \geq L \cdot (2m-1) \cdot 2^{-p_w} \quad (7)$$

$$2^{b-q_{i,\max}} \geq 2^{-(p_w-6)} \quad (8)$$

#### IV. 실험 및 결과 고찰

본 장에서는 최적의 데이터 형식을 도출하는 방법으로 시뮬레이션 방법을 사용하고, 그 결과의 데이터 형식은 식 (7) 또는 식 (8)에 의해 재분석한다.

##### 4.1 실험에 의한 최적화

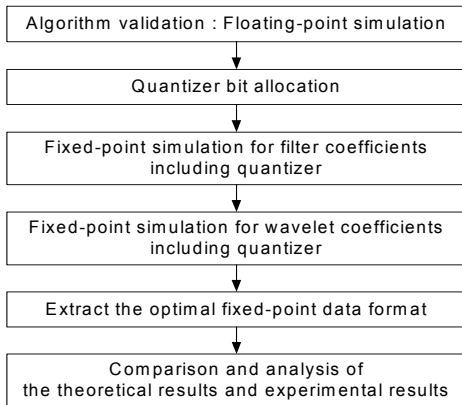


그림 2. 실험에 의한 최적 데이터 형식의 도출과정

그림 1의 압축과정에 대한 동작여부 및 복호화과정에 의한 영상의 화질 등을 검사하기 위해 부동소수점의 데이터 형식에 대한 실험을 실시하였다. 이 실험으로 압축률이 조정되었으며, 일반적으로 사용되는 30:1의 압축률을 기준으로 양자화기를 결정하였다.



(a) 원영상 (b) 압축 및 복원된 영상

그림 3. Lena 영상의 영상압축 결과  
(a) 원영상 (b) 압축 및 복원된 영상

그림 3에 Lena 영상에 대해서 부동소수점 데이터형식으로 압축 및 복원과정을 수행한 결과를 나타내었으며, 실험영상 중 대표적인 여덟 개의 영상에 대한 영상화질을 표 1에 나타내었다. 30:1의 압축률에서 약 30 dB 정도의 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)을 가지며[8], 그림 4에서 보는 바와 같이 이 값은 영상을 식별하기에는 충분한 값이다.

영상압축 및 복원과정에 대한 검증 및 적절한 부대역 비트 할당과정을 마친 후 그 결과를 이용하여 고정소수점 실험을 수행한다. 고정소수점 실험을 수행하는 과정은 다음과 같다. 식 (14)에 의하면, 데이터 형식의 오차는 WC의 형식에 거의 의존하고 있다. 따라서 먼저 FC의 데이터 형식을 결정한다 다음, 그 결과를 이용하여 WC의 데이터 형식을 결정하는 과정으로 실험을 진행하였다.

##### 4-2. 이산 웨이블릿 변환 데이터 형식 실험결과

앞에서 설명한 바와 같이 FC의 데이터 형식을 결정하는 실험과정을 먼저 거친다. 이것은 WC의 데이터 형식을 고정하고 FC의 비트수를 변화시키면서 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)의 변화를 관찰하여 결정한다.

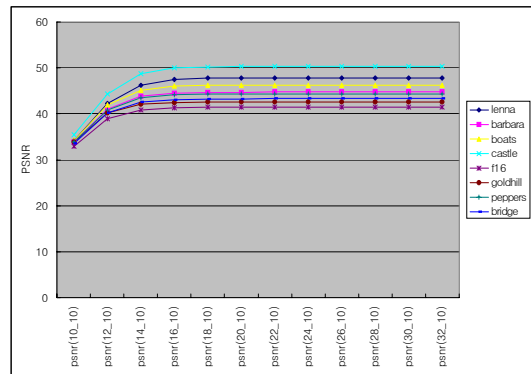


그림 4. 8개의 선택영상에 대한 양자화를 포함하지 않은 WC 데이터형식 결정 실험결과

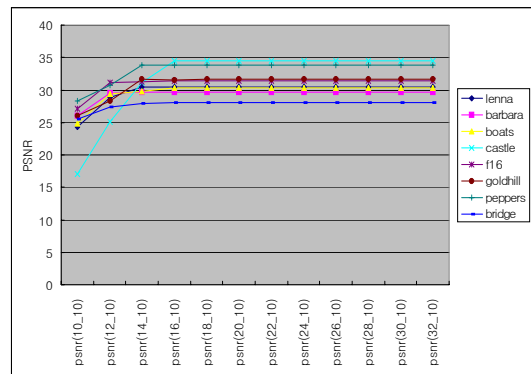


그림 5. 8개의 선택영상에 대한 양자화를 포함한 WC 데이터 형식 결정실험 결과

이후, FC의 형식이 (1, 9)의 형식으로 결정되었으므로, 이

형식으로 FC를 고정하여 WC에 대한 실험을 진행하였다. 진행방법과 과정은 FC의 실험과 동일하다.

그림 4과 그림 5에 양자화과정이 포함되지 않은 경우와 포함된 경우의 WC에 대한 실험결과를 각각 나타내었다. FC의 경우와는 달리 WC의 경우에 있어서는 대부분의 영상 및 평균치 모두에 있어서 양자화의 포함여부와 관계없이 16-비트, 즉 (9, 7)의 형식보다 적은 비트 수에서 영상화질이 급격히 나빠짐을 알 수 있다. 따라서 (9, 7)의 16-비트 형식이 가장 적절한 형식으로 판단되어 이 형식을 WC의 데이터 형식으로 채택하였다. WC의 결과가 FC의 결과와는 달리 양자화의 영향이 그림 4와 그림 5에 나타나지 않은 것은, FC의 실험에서 WC의 데이터 형식을 이미 16-비트로 선택하였기 때문이다.

## V. 결 론

본 논문에서는 JPEG2000에서 주변환 도구로 채택된 웨이블릿 변환의 기반으로 하는 영상압축/복원 과정에서 필터 계수 및 웨이블릿 계수의 최적 데이터 형식에 대하여 연구하였다. 웨이블릿 변환 시 발생하는 데이터의 오차 및 양자화기의 오차를 바탕으로 데이터 형식을 결정하는 기준을 이론적으로 설정하였으며, 이를 바탕으로 실험적으로 최적의 데이터 형식을 도출하였다. 실험적으로 도출된 최적의 데이터 형식을 이론적 기준에 다시 적용하여 이론적 기준의 적합성을 입증하였다. 본 논문에서 도출한 최적의 데이터 형식은 30:1의 압축률을 기준으로, 웨이블릿 필터의 경우 소수점 상위 1비트와 소수점 하위 9비트의 10비트 (1, 9)이었으며 웨이블릿 계수는 16비트 (9, 7) 형식이었다.

본 논문에서는 고정 압축률에서의 JPEG2000 코덱을 위한 최적의 데이터 형식을 모델링 하였으며, 이에 따라 웨이블릿 영상 압축기 하드웨어 제작에 따른 여러 요소들을 크게 향상시킬 것으로 보인다.

## References

- [1] M. Boliek, C. Christopoulos, and Eric Majani, "JPEG 2000 part-I final draft international standard", ISO/IEC JTC1/SC29 WG1, 24 Aug. 2000.
- [2] W. Sweldens, "The lifting scheme: A new philosophy in biorthogonal wavelet constructions," in Proc. SPIE, vol. 2569, 1995, pp. 68-79.
- [3] M. Ferretti and D. Rizzo, "A parallel architecture for the 2-D discrete wavelet transform with integer lifting scheme," J. VLSI Signal Processing, vol. 28, pp. 165-185, July 2001.
- [4] K. Andra, C. Chakrabarti, and T. Acharya, "A VLSI architecture for lifting-based forward and inverse wavelet transform", IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 50, no. 4, April 2002.
- [5] G. Dillen, B. Georis, J. D. Legat, and O. Cantineau, "Combined Line-Based Architecture for the 5-3 and 9-7 Wavelet Transform of JPEG2000", IEEE

Transactions on Circuit Syst. Video Technol., vol. 13, no. 9, Sep. 2003.

- [6] I. Daubechies and W. Sweldens, "Factoring wavelet transforms into lifting schemes," J. Fourier Anal. Appl., vol. 4, pp. 247-269, 1998.
- [7] M. Boliek, C. Christopoulos, and Eric Majani, "JPEG 2000 part-I final draft international standard", ISO/IEC JTC1/SC29 WG1, 24 Aug. 2000.
- [8] Julien Reichel, Gloria Menegaz, Marcus J. Nadenau and Murat Kunt, "Integer Wavelet Transform for Embedded Lossy to Lossless Image Compression", IEEE Trans. on Image Proc., vol.10, no.3, 2001