

고정 압축률에서의 JPEG2000 코덱을 위한 최적의 데이터 형식 모델링

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

서준원*

(Choon-Weon Seo)

요 약

최근의 통신매체로는 함축적이고 인식이 용이한 영상/비디오가 매우 선호되고 있다. 그러나 이들 데이터는 그 양이 과다해 영상/비디오 데이터의 압축이 큰 연구과제가 되어 왔다. 본 논문에서는 영상압축 시 그 성능을 크게 좌우할 수 있는 데이터 형식의 최적화에 관련되고, 웨이블릿 변환과 이를 이용한 JPEG2000을 기반으로 한다.

본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환 시 이용되는 데이터 형식을 결정하는데 있어서의 기준을 주파수 변환 및 양자화 과정에서의 데이터 손실 양으로 설정하였으며, 이를 바탕으로 실험적으로 최적의 데이터 형식을 도출하였다. 그 결과 필터계수는 (1, 9)의 10-비트 고정소수점 형식, 웨이블릿 계수는 (9, 7)의 16-비트 고정소수점 형식이 최적임을 확인하였다.

Abstract

Recently, images/videos have been preferred as the communication media because of their information-implication and easy recognizability. But the amount of their data is so large that it has been the major research area to compress their data. 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.

Key Words : Compression, JPEG2000, Data format

* 주저자 : 김포대학 컴퓨터네트워크과
Tel : 031-999-4652, Fax : 031-999-4775
E-mail : cwseo@kimpo.ac.kr
접수일자 : 2005년 8월 12일
1차심사 : 2005년 8월 17일
심사완료 : 2005년 8월 29일

1. 서 론

DWT(Discrete Wavelet Transform)는 DCT

(Discrete Cosine Transform)보다 늦은 1970년대 말부터 본격적인 연구가 시작되었다. 이 변환방법은 영상을 블록으로 나누지 않고 전체 영상을 대상으로 하기 때문에 DCT와 달리 고압축률에서도 블로킹 효과가 나타나지 않는 특징을 갖고 있다. DWT의 변환 결과, 영상이 주파수에 따른 부대역(sub-band)으로 재구성된다. 따라서 부대역별로 압축과정을 처리할 수 있으므로, 압축률을 쉽게 조정할 수 있기 때문에 현재 많은 연구가 진행되고 있고, JPEG2000의 표준 변환방식으로 채택되었다[1]. 최근에는 컨벌루션(convolution) 방식에 비해서 우수한 성능을 보이는 리프팅(lifting) 방식의 DWT 변환이 주로 연구되고 있다. 리프팅 기법은 기본적인 웨이블릿 변환(컨벌루션 방식)을 이용한 필터링 기법에 비해서 메모리량과 메모리에 대한 참조 횟수가 적고 정변환과 역변환이 동일한 구조로 이루어진다는 장점을 가지고 있다[2]. DWT를 기반으로 하는 영상압축 방법은 그 속도를 증가시키기 위해서 하드웨어(hardware, HW)화시키는 경우가 늘어나고 있으며, 특히 DWT 기반 영상압축 전용(dedicated) HW를 사용함으로써 영상처리의 속도를 최대로 하고자 하는 노력이 많이 경주되고 있다[3-5].

웨이블릿 변환은 근본적으로 아날로그 필터를 사용하여 데이터를 주파수 대역으로 재구성하는 변환 방식이며, 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 구

현에 미치는 영향에 대해서 연구한다. 즉 본 논문의 목적은 최소의 데이터 양으로 최대의 영상화질과 HW 구현 시 HW 양을 최소로 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.

2. JPEG2000을 이용한 영상압축

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

그림 1은 JPEG2000의 영상압축 및 영상복원에 대한 기본적인 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.

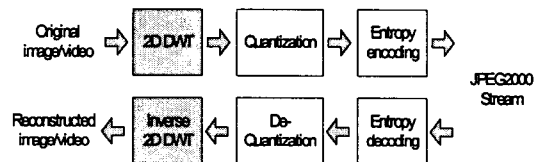


그림 1. 2-D DWT 기반 영상압축 및 복원 과정
Fig. 1. The procedure of image compression/reconstruction based on 2-D DWT

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 인수 분해(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.

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

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

(\tilde{h}, \tilde{g}) 가 상보적인 필터쌍이라면 다상함수 $\tilde{P}(z)$ 는 반드시 아래의 식 (3) 혹은 (4)와 같은 리프팅과 정들로 인수분해 될 수 있다.

$$\tilde{P}_1(z) = \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & \frac{1}{K} \end{bmatrix} \prod_{i=1}^m \begin{bmatrix} 1 & \tilde{s}_i(z) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \tilde{t}_i(z) & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\tilde{P}_2(z) = \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & \frac{1}{K} \end{bmatrix} \prod_{i=1}^m \begin{bmatrix} \tilde{t}_i(z) & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \tilde{s}_i(z) \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서 K는 상수이다.

2.2 양자화 과정과 엔트로피 코딩

JPEG2000에서 사용되는 선형 스칼라 양자화는 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 저주파수 영역을 제외한 부대역들은 0 부근의 WC(wavelet coefficient) 값들을 매우 많이 포함하며, 그림 3에서도 확인할 수 있다. 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 (5)에 나타냈다

$$q_b(u, v) = \text{sign}(a_b(u, v)) \cdot \left[\frac{|a_b(u, v)|}{\Delta_b} + 0.5 \right] \quad (5)$$

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

그림 1에 나타낸 것과 같이 양자화 과정을 거친 데이터는 엔트로피 코딩(entropy coding)의 과정을 다시 거치게 된다. 이 과정은 QX의 빈도수에 따라 QX 자체나 QX간의 확률 관계를 다시 새로운 심볼 혹은 대표값으로 치환할 수 있으며, QX들에 모두 같은 비트수를 할당하는 것이 아니라 빈도수에 따라 다른 비트수를 할당하여 코딩하는 방식이다. JPEG2000에서는 EBCOT(Embedded Block Coding with Optimized Truncation)이라는 하이브리드 방식의 엔트로피 코딩을 사용한다[7]. 이 방식은 주파수 계수를 일정크기의 블록으로 나누고, 각각의 블록을 독립적으로 처리한다.

3. 데이터형식 분석 및 오차

이번 장에서는 영상압축 과정에서 의도적, 비의도적인 데이터의 손실에 대해서 설명한다. 연구의 목적이 최적의 데이터 형식을 찾는 것이므로, 이번 장의 내용을 통해 이 목적의 정량적인 기준이 될 수 있다.

3.1 DWT과정에서의 데이터의 손실

앞서 설명한 바와 같이 리프팅 방식의 DWT 또는 2D DWT는 곱셈과 누적덧셈으로 이루어진다. DWT 시 사용되는 필터는 일반적으로 아날로그 값을 가지고 이를 디지털로 처리하기 위해서 디지털 값으로 변환하여 사용한다.

부동소수점 형식으로 WC를 계산하면 계산시간이 매우 길어지며, HW로 구현할 경우 비트 수의 증가로 HW 양이 매우 증가하고 따라서 수행시간 또한 길어진다. 이러한 문제는 고정소수점(fixed-point) 형식을 사용함으로써 어느 정도 해결할 수 있다. 그

러나, 고정소수점 형식은 부동소수점 형식에 비해 일반적으로 표현된 수의 정밀도가 떨어진다.

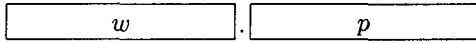


그림 2. 고정소수점 데이터 형식
Fig. 2. Fixed-point data format

고정소수점 형식은 그림 2에 나타난 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. 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 (6)과 같다.

$$E_{fixed} \leq 2^{-(p+1)} \quad (6)$$

DWT를 수행하기 위해서 필터 계수(Filter Coefficient, FC)에 (w_f, p_f) , 그리고 WC에 (w_w, p_w) 의 고정소수점 형식을 각각 배정하였다고 가정하자. 이 경우 FC와 WC 모두 부호비트(±)가 필요하므로 실제 유효숫자는 각각 $(w_f - 1, p_f)$ 와 $(w_w - 1, p_w)$ 의 형식과 동일하다. DWT 연산 결과는 WC의 형식을 다시 취하므로, 곱셈은 소수점 위의 $(w_f + w_w - 2)$ 자리수와 $(p_f + p_w)$ 자리의 소수점 이하 수를 다시 (w_w, p_w) 의 형식으로 근사하게 된다. 따라서 $(w_f + p_f + p_w - 2)$ 의 소수점 이하의 자리를 p_w 로 근사하게 된다. 이 경우의 오차 $E_{fixed, mlt}$ 는 식 (7)이 된다. 덧셈의 경우도 마찬가지로 계산하면 한 번의 덧셈에서 식 (8)과 동일한 최대 오차를 갖는다. 또한 필터 탭 수를 m 이라 하면, 한 번 DWT를 수행할 때 발생하는 오차는 식 (9)와 같다. 여기서 m 탭의 필터를 사용하면 누적덧셈은 $(m - 1)$ 번 수행하게 되므로, 식 (9)는 한 번의 덧셈에 대한 오차를 감한 결과이다. 따라서 L 번의 2-D DWT를 수행한 최종 데이터의 오차는 식 (10)의 값

을 가진다.

$$E_{fixed, mlt} \leq 2^{-(p_w+1)} \quad (7)$$

$$E_{fixed, add} \leq 2^{-(p_w+1)} \quad (8)$$

$$E_{fixed, DWT} \leq (2m - 1) \cdot 2^{-(p_w+1)} \quad (9)$$

$$E_{fixed, total} \leq 2L \cdot (2m - 1) \cdot 2^{-(p_w+1)} = L \cdot (2m - 1) \cdot 2^{-p_w} \quad (10)$$

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 (11)과 같다고 가정할 수 있다.

$$E_{Q, worst} = 2^{b - q_{i, max}} \quad (11)$$

3.3 데이터 형식의 오차 한계

영상 압축을 위해서 양자화과정이 필수적이고 양자화 과정에서 데이터의 손실이 필연적으로 일어나기 때문에 DWT 수행 시 정확한 데이터 형식을 사용하는 것은 여러 가지 측면에서 효과적이지 못하다. 즉 양자화 과정에서 일어날 데이터의 손실을 감안하여 DWT의 데이터 형식을 조절하면 최적의 영상압축 과정을 진행시킬 수 있다.

부동 소수점 형식을 이용하여 Daubechies의 (9, 7) 필터를 사용하고 5 레벨의 2D DWT를 PC에서 수행하는 경우 양자화에서 최대 할당비트가 7비트만 되어도 양자화 과정의 데이터 손실이 DWT 데이터 형식에서의 데이터 손실을 충분히 수용할 수 있고,

부동소수점 형식의 과다한 정밀도를 갖고 있음을 알 수 있다. 따라서 연산의 효율성, 구현의 용이성 등을 고려할 때 고정소수점 형식이 적합할 것으로 판단되며, 본 논문에서도 고정소수점 형식을 택한다.

고정소수점의 경우 양자화기의 데이터 손실이 DWT에서의 데이터 모두 포함하기 위해서는 식 (10)과 식 (11)에서 식 (12)의 조건을 만족하여야 한다. 앞서서와 같이 $L = 4$, $m = 9$ 를 가정할 때 식 (12)는 근사적으로 식 (13)과 같이 표현될 수 있다. 즉 양자화기에서 최대 할당 비트 수가 7이라 가정하면, p_w 는 5 이상의 값만 가지면 되는 것이다.

$$2^{b-q_{i,\max}} \geq L \cdot (2m-1) \cdot 2^{-p_w} \quad (12)$$

$$2^{b-q_{i,\max}} \geq 2^{-(p_w-6)} \quad (13)$$

그러나 앞서서도 언급한 바와 같이 최저주파수 부대역은 주어진 영상의 대부분의 에너지를 갖고 있기 때문에, 이 부대역은 일반적으로 양자화를 수행하지 않고 DWT의 결과를 그대로 사용한다. 그러나 식 (13)은 모든 부대역이 b 비트, 즉 원 영상의 화소당 비트수보다 적은 비트수가 할당된다고 가정하였으므로, 이 식을 100[%] 사용할 수는 없다. 다행히 4 레벨의 2D DWT를 수행한 결과 최저주파수 대역의 크기는 원영상 크기의 1/256 밖에 안 되므로 식 (13)의 영향을 크게 받지 않을 것이라 짐작할 수 있다. 이 같은 상황을 고려하여 본 논문에서는 최적의 고정소수점 데이터 형식을 시뮬레이션을 통하여 구하고, 이를 식 (12) 또는 식 (13)과 비교하여 분석하는 방법으로 최적의 데이터 형식을 도출하고자 한다.

4. 실험 및 결과 고찰

본 장에서는 최적의 데이터 형식을 도출하는 방법으로 시뮬레이션 방법을 사용하고, 그 결과의 데이터 형식은 식 (12) 또는 식 (13)에 의해 재분석한다.

4.1 실험에 의한 최적화

실험적으로 최적의 데이터 형식을 도출하는 과정을 그림 3에 나타내었다. 이 과정은 그림 1의 과정을

C/C++ 언어로 구현하였으며, 실험 환경은 Pentium IV 3.0GHz의 PC이었다. 모든 실험은 400여 개의 실험영상에 대해서 실시하였으며, 논문에서는 8개의 선택 영상을 나타내었다.

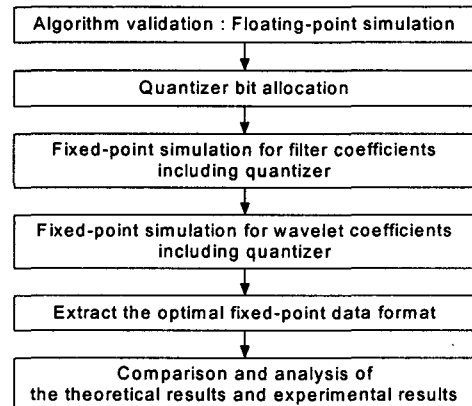


그림 3. 실험에 의한 최적 데이터 형식의 도출과정
Fig. 3. The procedure to extract the optimal data format by simulations

먼저 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.

표 1. 부동소수점 실험결과와 영상화질
Table 1. Image quality of the resulting image from floating-point experiments

	Before quantization	After quantization
lena	59.076264[dB]	30.451840[dB]
barbara	47.725392[dB]	29.639621[dB]
boats	50.645034[dB]	30.333816[dB]
castle	53.690013[dB]	34.481873[dB]
f16	43.668204[dB]	31.509658[dB]
goldhill	43.605300[dB]	31.593478[dB]
peppers	46.835109[dB]	33.806840[dB]
bridge	45.686925[dB]	27.965854[dB]

그림 4에 Lena 영상에 대해서 부동소수점 데이터 형식으로 압축 및 복원과정을 수행한 결과를 나타내었으며, 실험영상 중 대표적인 여덟 개의 영상에 대한 영상화질을 표 1에 나타내었다. 30:1의 압축률에

고정 압축률에서의 JPEG2000 코덱을 위한 최적의 데이터 형식 모델링

서 약 30[dB] 정도의 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)을 가지며[8], 그림 4에서 보는 바와 같이 이 값은 영상을 식별하기에는 충분한 값이다.

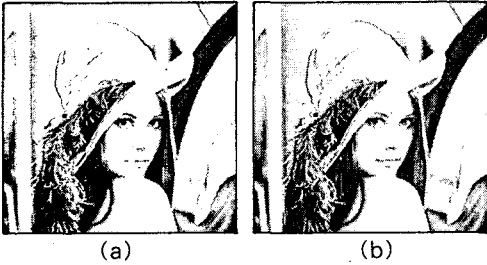


그림 4. Lena 영상의 영상압축 결과
 (a) 원영상 (b) 압축 및 복원된 영상
 Fig. 4. Image compression result of Lena image
 (a) Original image
 (b) Compressed and reconstructed image

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 결정하는 다음, 그 결과를 이용하여 WC의 데이터 형식을 결정하는 과정으로 실험을 진행하였다.

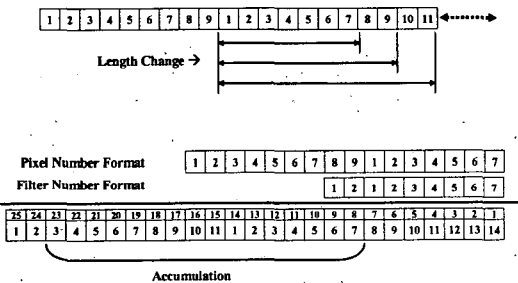


그림 5. 고정소수점 데이터 형식의 실험 방법
 Fig. 5. Experiment method for fixed-point data format

고정소수점 실험을 진행하는 방법은 그림 5에 나타내었는데, WC와 FC 중 하나의 형식을 고정하고 나머지 하나의 형식에서 소수점 이하의 자리를 두 자리씩 감소하면서 영상의 화질을 관찰하는 방법을 사용하였다. FC는 소수점 상위의 수가 없으며 단지

부호비트가 필요함을 알 수 있고, WC는 -255에서 +255까지의 데이터 범위를 가짐을 알 수 있다. 따라서 FC의 소수점 상위는 1비트, WC의 소수점 상위는 9비트로 고정할 수 있다. 이와 같은 방법으로 FC 및 WC의 데이터 형식이 구해지면, 이 형식과 식 (12) 또는 식 (13)의 결과를 비교하여 그 차이를 구하고 그 원인을 규명한다.

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.

이 실험 결과를 그림 6과 그림 7에 양자화 과정을 포함하지 않은 경우와 양자화 과정이 포함된 경우를 각각 나타내었다. 그림에 나타난 것과 같이 고정된 WC의 형식은 16-비트 (9, 7) 고정소수점 형식이었으며, FC의 형식을 32(1, 31) 비트에서 2(1, 1)비트까지 2비트씩 감소하면서 실험을 수행하였다.

그림 6의 양자화 과정을 포함하지 않은 결과에서 보면, 대부분의 영상에 대한 결과가 12-비트의 FC 데이터 형식까지는 양상화질을 유지하다가 그 이상 비트수를 감소하면 급격히 PSNR 값이 감소함을 알 수 있다.

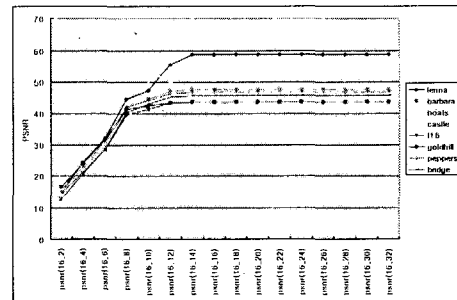


그림 6. 8개의 선택 영상에 대한 양자화를 포함하지 않은 FC의 데이터형식 결정실험 결과
 Fig. 6. Experimental results of the 8 selected images for FC data format without quantization

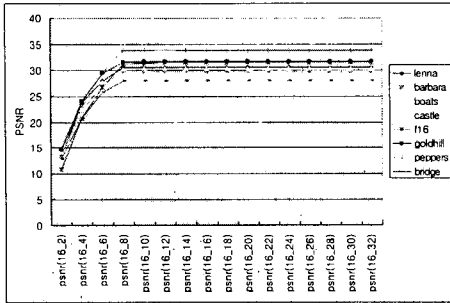


그림 7. 8개의 선택 영상에 대한 양자화 과정이 포함된 FC 데이터형식에 대한 결정실험 결과
 Fig. 7. Experimental results of the 8 selected images for FC data format decision with quantization

그러나 그림 7의 양자화 과정이 포함된 결과에서는 이러한 현상이 8-비트 데이터 형식에서 나타난다. 이 두 그림으로 3장에서 언급한 양자화에 의한 데이터 손실이 PSNR로 15[dB] 정도로 나타남을 알 수 있고, 또한 FC의 데이터 형식에도 4 비트 정도의 영향을 미침을 알 수 있다. 본 논문에서는 그림 7과 그림 8의 두 경우를 모두 고려하여 10-비트의 데이터 형식, 즉 (1, 9)의 형식을 택한다.

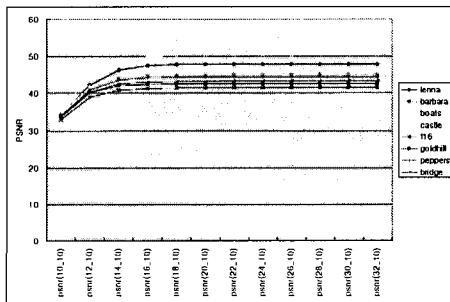


그림 8. 8개의 선택영상에 대한 양자화를 포함하지 않은 WC 데이터형식 결정 실험결과
 Fig. 8. Experimental results of the 8 selected images for WC data format decision without quantization

FC의 형식이 (1, 9)의 형식으로 결정되었으므로, 이 형식으로 FC를 고정하여 WC에 대한 실험을 진행하였다. 진행방법과 과정은 FC의 실험과 동일하다.

그림 8과 그림 9에 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 8과 그림 9에 나타나지 않은 것은, FC의 실험에서 WC의 데이터 형식을 이미 16-비트로 선택하였기 때문이다.

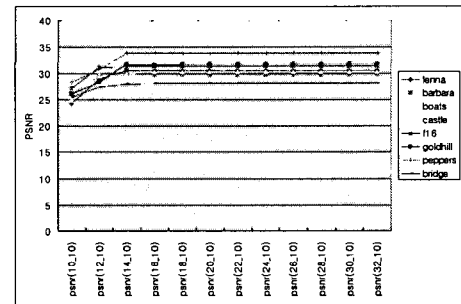


그림 9. 8개의 선택영상에 대한 양자화를 포함한 WC 데이터형식 결정실험 결과
 Fig. 9. Experimental results of the 8 selected images for FC data format decision with quantization

4.3 결과 분석

양자화기의 비트 할당에서 최저주파수 대역에 9 비트를 할당하고, 원영상의 화소당 비트수가 8이며, 최저주파수 부대역의 크기가 전체 영상의 크기에 비해 매우 작으므로 할당된 비트수를 8로 근사한다. 이 경우 식 (12)의 b 는 8, $q_{i,max}$ 또한 8을 갖고 L 은 4, m 은 9, 그리고 p_w 는 7값을 갖는다. 따라서 식 (12)의 결과는 식 (14)와 같다.

$$\{2^{8-8} = 2^0 = 1\} \geq \{4 \times (2 \times 9 - 1) \times 2^{-7} = 0.53125\} \quad (14)$$

여기서 만약 p_w , 즉 WC의 비트수를 더 감소하면 식 (12) 또는 식 (13)을 만족하지 않으므로, 앞 절에서 구한 (1, 9)의 FC 데이터 형식과 (9, 7)의 WC 데이터 형식이 최적으로 해결됨을 알 수 있고, 3장에

서 이론적으로 구한 데이터 형식을 결정하기 위한 기준 식인 식 (12) 및 식 (13)이 적절히 모델링된 것을 확인할 수 있다.

이에 따라 JPEG2000에서 주변환 도구로 채택된 웨이블릿 변환의 기반으로 하는 영상압축/복원 과정에서 필터 계수 및 웨이블릿 계수에 대한 최적 데이터를 구함으로써 하드웨어 제작의 기반으로 그 가능성을 높였다.

5. 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.

JPEG2000코덱을 위한 최적의 데이터 형식의 모델링은 시각을 이용하는 응용 공학의 영상을 데이터로서 최적화 하는데 많은 발전을 기대할 수 있다.

References

[1] M. Boliek, C. Christopoulos, and Eric Majani, "JPEG 2000 part-1 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-1 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.

◇ 저자소개 ◇

서춘원 (徐春源)

1964년 7월 4일생. 1988년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업. 1990년 2월 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1997년 2월 광운대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1998년 3월~2000년 2월 강서기능대학 전자과 전임강사. 2000년 3월~현재 김포대학 컴퓨터네트워크과 조교수.