

웨이블릿 변환의 메모리 크기와 대역폭 감소를 위한 Prediction 기반의 Embedded Compression 알고리즘

최우수[†], 손창훈^{**}, 김지원^{***}, 나승유^{****}, 김영민^{*****}

요 약

본 논문에서는 JPEG2000 부호화 시스템의 과도한 메모리 요구 사항을 감소시키기 위해 예측 부호화 기반의 새로운 임베디드 압축(Embedded Compression, EC) 알고리즘을 제안한다. 본 논문의 EC 기법은 EC가 적용되지 않은 DWT 프로세서와 비교하여 DWT 과정에서 발생하는 임시적인 저주파 웨이블릿 계수들의 메모리 접근 및 크기를 50 %로 줄일 수 있다. 무손실의 영상 압축 시스템에 널리 쓰이면서 단순하지만 좋은 성능을 갖는 LOCO-I(Low Complexity LOSSless COmpression for Image)와 MAP(Median Adaptive Predictor) 예측기를 제안한 EC 알고리즘에 적용하였다. 제안한 예측 기반의 EC 알고리즘은 예측 오차 값들을 인코딩하기 위하여 포워드 적응형 양자화와 고정 길이 코드를 사용한다. 시뮬레이션 결과를 통해 예측기가 LOCO-I와 MAP인 경우, 본 논문에서 제안한 EC 알고리즘에 의한 평균적인 PSNR 저하는 각각 0.48 dB와 0.26 dB임을 알 수 있다. 선행 논문 [9]에서 제안한 하다마드 변환(MHT) 기반의 EC 알고리즘과 비교하여 평균적인 PSNR이 약 1.39 dB 향상된다.

A New Predictive EC Algorithm for Reduction of Memory Size and Bandwidth Requirements in Wavelet Transform

Woo-Soo Choi[†], Chang-Hoon Son^{**}, Ji-Won Kim^{***},
Seong-Yu Na^{****}, Young-Min Kim^{*****}

ABSTRACT

*In this paper, a new prediction based embedded compression (EC) codec algorithm for the JPEG2000 encoder system is proposed to reduce excessive memory requirements. The EC technique can reduce the 50 % memory requirement for intermediate low-frequency coefficients during multiple discrete wavelet transform (DWT) stages compared with direct implementation of the DWT engine of this paper. The LOCO-I predictor and MAP are widely used in many lossless picture compression codec. The proposed EC algorithm use these predictor which are very simple but surprisingly effective. The predictive EC scheme adopts a forward adaptive quantization and fixed length coding to encoding the prediction error. Simulation results show that our LOCO-I and MAP based EC codecs present only PSNR degradation of 0.48 and 0.26 dB in average, respectively. The proposed algorithm improves the average PSNR by 1.39 dB compared to the previous work in [9].

Key words: Memory Size and Bandwidth Reduction(메모리 크기 및 대역폭 감소), Predictive Coding(예측 부호화 방식), Embedded Compression Algorithm(내장 압축 알고리즘), JPEG2000(제이펙 2000), Discrete Wavelet Transform(이산 웨이블릿 변환)

※ 교신저자(Corresponding Author): 김영민, 주소: 광주광역시 북구 용봉로 77 전남대학교 공대7호관 440호(500-757), 전화: 062-530-0812, FAX: 062-530-0813, E-mail: kym@jnu.ac.kr

접수일: 2011년 3월 22일, 수정일: 2011년 5월 8일

완료일: 2011년 6월 8일

[†] 준회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과 (E-mail: wschoi@ejnu.net)

^{**} 준회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과 (E-mail: chson03@ejnu.net)

^{***} 준회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과 (E-mail: hellojwz@ejnu.net)

^{****} 준회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과 (E-mail: synal2@jnu.ac.kr)

^{*****} 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과

1. 서 론

영상 압축을 위한 하드웨어 구조는 일반적으로 입력 영상과 참조 영상들을 저장하기 위해 외부에 공유 가능한 프레임(frame) 메모리를 사용한다. 시스템의 과도한 메모리 대역폭 요구 사항은 시스템 성능과 파워 소모에서 주요한 장애 요소가 되고 있다[1]. 이것은 최근의 미디어 처리 시스템이 사용하는 영상의 크기가 빠르게 증가함과 동시에 많은 영상 프레임을 요구하기 때문이다. VLSI 기술의 발전을 통해 시스템이 요구하는 높은 수준의 계산량은 연산 요소들을 병렬 처리함으로써 메모리 대역폭 문제에 비해 쉽게 해결된다.

이로 인해 과도하게 요구되는 프레임 메모리의 크기와 대역폭을 줄이기 위하여 사용하는 임베디드 압축 기술은 MPEG/H.26x 비디오 압축 구조에서 광범위하게 적용되고 있다[2-7]. JPEG2000 정지 영상 압축에서의 이산 웨이블릿 변환은 높은 압축률에서 좋은 화질을 갖도록 코딩하기 위해 쓰인다. 논문 [8]은 JPEG2000 인코더 시스템의 외부 DRAM 대역폭을 감소시키기는 방안으로 고정 길이 부호화(fixed length coding, FLC)와 골롬 라이스(Golomb Rice) 부호화 방식을 적용한 무손실의 EC 알고리즘을 제안하였다. 또한 논문 [1]은 JPEG2000의 코드블록 메모리의 크기와 대역폭을 효율적으로 줄이기 위한 멀티모드의 압축률(compression ratio, CR)을 갖는 EC 알고리즘을 제안하였고, 논문 [9]는 임시적인 저주파 웨이블릿 계수들을 저장하는 임시 메모리의 대역폭과 크기를 효율적으로 줄일 수 있도록 하다마드 변환 기반의 EC 알고리즘을 제안하였다.

선행 논문 [10]에서는 LL 서브밴드를 블록 단위로 예측하고 골롬 라이스 코딩하여 압축하는 예측 기반의 무손실 EC 알고리즘을 제안하였다. 이는 예측 오차 값에 따라 가변 길이 부호화를 수행하기 때문에 압축하기 전보다 더 많은 비트가 부여될 수 있다. 본 논문에서는 고정 압축률 50%로 압축하고, LL 서브밴드를 임시적으로 저장하는 메모리의 크기와 대역폭을 줄이기 위한 예측 기반의 새로운 EC 알고리즘을 제안한다. 제안한 무손실에 가까운 EC 알고리즘은 예측기 LOCO-I와 MAP을 적용하여 선행 논문 [9]에서 제안한 하다마드 변환 기반의 EC 알고리즘과 성능을 비교 평가하였다.

2. 무손실의 예측 부호화 압축 방식

영상 압축은 영상의 손실 유무에 따라 손실 압축(lossy compression)과 무손실 압축(lossless compression)으로 구분된다[11]. 영상 정보의 정확성이 중요한 경우 무손실의 영상 압축 기법이 사용되며 최근 영상의 정밀성과 신뢰도가 요구되는 추세에 따라 무손실 압축의 사용은 증가하고 있다. 일반적으로 무손실의 영상 압축은 크게 두 가지 과정에 중점을 둔다. 첫째는 기존 영상을 복원이 가능한 범위 안에서 엔트로피를 최소화시키는 방향으로 재 표현하는 것이며, 둘째는 재 표현된 영상의 엔트로피에 가장 근접한 bpp(bits per pixel)를 갖도록 압축 효율을 달성하는 것이다[12]. 영상 내 인접한 화소 값 사이에는 매우 높은 상호 연관성이 존재한다[13]. 무손실의 영상 압축은 인접 화소간의 상관관계를 이용한 예측 방식을 사용하며 높은 압축률을 얻기 위해서는 이러한 예측기의 성능이 중요하다. 다음은 무손실의 영상 압축 시스템에서 이용되는 예측 방식에 관하여 살펴보고자 한다.

2.1 DPCM (Differential Pulse Code Modulation)

DPCM은 화소를 기반으로 인접한 화소 값들을 이용하여 현재 화소에 대한 예측치를 구한 후, 이 예측치와 현재 화소 값과의 차이만을 부호화하는 예측 부호화 방법이다[14]. 현재의 화소 값을 바로 부호화하는 것보다 예측 에러만을 부호화하는 것이 더 적은 비트를 사용하여 부호화함으로써 원본 영상보다 더 낮은 평균 엔트로피를 가질 수 있게 한다. 그러나 영상 내에서 상관관계가 작은 edge로 인하여 큰 오차가 발생할 수 있고, 부분적으로 상관관계가 다르기 때문에 모든 화소 값을 정확하게 예측하기에는 한계가 있다.

2.2 LOCO-I (LOW COMplexity LOSSless Compression for Image)의 예측 방식

LOCO-I는 무손실/준무손실(lossless/near lossless) 전용 영상 압축 포맷으로 지정된 JPEG-LS 표준에서 쓰이는 압축 알고리즘이며, 낮은 복잡도와 압축 수행시간이 빠른 장점이 있다[12]. 또한 MED

(Median Edge Detector)를 기반으로 크게 예측(Prediction), 컨텍스트 모델링(Context modeling), 코딩(Coding)으로 나뉜다[15]. 그림 1은 화소(pixel) 기반의 컨텍스트를 나타낸다.

c	a
b	X

그림 1. 화소 기반의 컨텍스트

그림 1에서 X는 현재 예측하고자 하는 화소이며 a, b, c, d는 X와 상관성이 높은 이웃한 화소들을 말한다. 이러한 화소들을 이용하여 edge의 유무를 판별하고, edge가 존재하지 않을 경우 수직성분인 a, 수평성분 b, 대각성분 c의 값을 이용하여 $a+b-c$ 값으로 예측한다. edge가 존재하면, 수평 방향으로 edge가 있을 경우 수직성분인 화소 a 값으로 예측하고 수직 방향으로 edge가 있을 경우에는 수평성분인 화소 b 값으로 예측한다. 예측한 화소 값 P는 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$P = \begin{cases} \min(a, b), & c \geq \max(a, b) \\ \max(a, b), & c \leq \max(a, b) \\ a + b - c, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

2.3 MAP (Median Adaptive Prediction) 예측 방식

MAP은 JPEG-LS 국제 표준의 무손실 영상 압축 알고리즘에서 널리 쓰이는 예측 방식이며 인접한 화소 값들의 중간 값으로 예측 값을 구한다[16,17]. 일반적으로 MAP은 인접한 화소들 중 수직성분과 수평성분, 그리고 대각 예측 성분으로 구성된다.

$$P = \text{median}(a, b, z), \quad z = a + b - c \quad (2)$$

고정된 계수를 사용하지만 영상 내의 예측 값으로 항상 최적의 값을 선택하는 장점이 있다. 또한 매우 간단하면서도 예측 성능은 우수하여 국제 표준 기구(ISO)에서는 JPEG-LS의 새로운 무손실 압축 알고리즘으로 채택하였다.

2.4 CALIC (Context-Based Adaptive Lossless Image Coding)

CALIC의 부호화는 예측 과정과 이전에 이미 부호

화된 두 개의 라인만을 포함한 컨텍스트를 이용하여 진행된다[12]. 따라서 부호화와 복호화 알고리즘은 현재의 화소 값 이전의 단순한 두 개의 라인 버퍼가 필요하다. 컨텍스트 적응형 비선형 예측기를 기본으로 하는 이진(binary)모드와 연속 색조(continuous-tone) 모드를 갖고, 알맞은 모드를 자동으로 선택하여 부호화한다. CALIC 알고리즘은 연속 색조 모드에서 GAP(Gradient-Adjusted Prediction), 컨텍스트의 선택과 양자화, 예측 오차 값들의 컨텍스트 모델링, 그리고 예측 오차 값들의 엔트로피 부호화라는 4가지 과정을 거친다. 그러나 이 방법은 다른 무손실의 압축 방법에 비해 높은 복잡도를 보이면서 두 개의 라인 버퍼가 필요하다. 또한, 시뮬레이션 실험 결과 다른 예측 방식들과 비교할 때 성능 차이가 크지 않아 본 논문에서 제안하는 예측 방식으로 사용하지 않았다.

3. 예측 기반의 제안 EC 알고리즘

본 논문에서는 영상 압축 시스템에서 이용되는 EC(Embedded Compression)[18]를 기반으로 데이터를 압축하여 이산 웨이블릿 변환에 필요한 메모리의 크기와 대역폭을 줄이기 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 선행 논문 [9]에서는 하다마드 변환 기반의 EC 알고리즘을 사용하는 구조를 제안하였으나, 본 논문은 예측을 기반으로 하는 EC 알고리즘을 이용하여 임시적인 LL 서브밴드 웨이블릿 계수들을 저장하는 임시 메모리의 대역폭을 효율적으로 줄이고 압축 성능을 개선하고자 한다.

이산 웨이블릿 변환은 원 신호에 대해 한 쌍의 필터를 적용시켜 저주파 대역과 고주파 대역으로 분리하여 만들어진 LL, LH, HH, HL 서브밴드들 중 LL 서브밴드만을 반복적으로 웨이블릿 변환함으로써 미리 지정한 단계에 이를 때까지 수행한다. 임의의 단계에서 생성된 LL 서브밴드는 임시적인(Intermediate) 서브밴드이며, 영상에서 시각적으로 중요한 정보는 LL 서브밴드에 집중된다[10]. 본 논문에서는 9/7 Daubechies 필터를 사용하여 선행 논문 [19]에서 제안한 블록 기반의 이산 웨이블릿 변환을 하였다. 입력 영상을 64×64 블록 크기로 웨이블릿 변환을 수행한 결과 32×32 블록 크기의 LL 서브밴드 한 개와 3개의 Non-LL 서브밴드들이 생성된다. 32×32 블

록으로 구성된 LL 서브밴드를 수직 방향으로 웨이블릿 변환을 하기 위해 복원된 32 개의 화소 값들을 저장하는 하나의 라인 버퍼가 필요하다. 다음 그림 2의 (a)는 본 논문에서 제안한 EC 알고리즘의 흐름도이며, 예측을 기반으로 LL 서브밴드 계수들을 압축한다.

이산 웨이블릿 변환의 마지막 단계에서 생성된 LL 서브밴드는 화소 단위로 예측기를 거치고, 예측된 화소 값들은 1×4 세그먼트(계수 당 2 bytes)로 구성되어 양자화를 수행한다. 예측기는 이전 장에서 설명한 MAP과 LOCO-I 예측 방식을 사용하여 성능을 비교하였으며, 선행 논문 [10]의 연구 결과 웨이블릿 변환 후 MAP 예측 방식으로 구현했을 때의 압축률이 LOCO-I 방식에 비해 약 1.5 배가량 높은 것으로 나타났음을 알 수 있다. 본 논문에서는 화질 열화가 크지 않도록 압축률(Compression Ratio)을 2로 하여 세그먼트의 헤더에 부여한 Q-value에 의해 양자화 되도록 하였으며, 최종 압축된 세그먼트의 형식은 그림 2의 (b)와 같다.

각각의 세그먼트는 4 개의 예측 오차 값들에 따라 포워드 적응 양자화(Forward Adaptive Quantization) 방식으로 adaptive하게 Q-value를 결정하여 양자화 된다. 포워드 적응 양자화란, 입력된 계수 값들

의 크기에 따라 adaptive하게 양자화 하는 방식을 말한다. 이를 적용하여 웨이블릿 변환된 LL 서브밴드 계수는 화소 단위로 예측한 후에 발생하는 예측 오차들을 1×4 블록으로 구성되고, 이 오차 값들에 따라 양자화 파라미터인 Q-value를 설정한다. 포워드 적응 양자화는 메모리에서 데이터의 임의 접근성을 용이하게 하며 지연시간 및 계산 요구를 향상시킨다 [20]. 본 논문에서는 Q-value로 3 bits를 부여하고, 양자화 크기(step size)인 Δ는 8 가지 모드를 갖는다. 이때 8 가지 모드는 $\Delta = \frac{1}{32}, \frac{1}{16}, \frac{1}{8}, \frac{1}{4}, \frac{1}{2}, 1, 2, 4$ 이며, 하나의 1×4 세그먼트 내에서 Q-value를 결정한 후 각각의 계수를 균일 양자화 하였다.

그림 2의 (a)의 알고리즘에 의해 양자화한 후 바로 인코딩(encoding)한다면 예측 오차로 인해 손실이 발생하여 화질 열화가 심하게 된다. 즉, 디코딩(decoding)된 화소는 원래의 화소와 동일하지 않을 수 있으며 이는 오차가 누적되는 원인이 되어 복원시 화질 열화가 발생한다. 이를 개방 루프(open-loop)라 하며, 본 논문에서는 폐쇄 루프(closed-loop)를 기반으로 예측 오차를 양자화 한 세그먼트를 역양자화 하여 예측한 이전의 화소 값을 다시 복원하고, 이 복원한 값으로 현재 입력된 화소 값을 예측하는 피드백 과정을 거쳐 예측과 양자화 과정을 수행한 후 인코딩하였다. 이러한 경우 개방 루프에 비해 예측 오차의 발생을 줄일 수 있고 더 효율적으로 데이터를 압축할 수 있게 한다. 또한 양자화 된 세그먼트는 미리 정해진 고정 비트수에 의해 고정 길이 부호화로 인코딩되고, 이는 가변 길이 부호화 방식에 비해 접근성이 뛰어나며 하드웨어 복잡도가 개선되는 장점이 있다. 이렇게 압축된 세그먼트는 그림 2의 (b)에서 보이는 바와 같이 고정 비트수에 의해 Q-value를 포함하여 패킷화 된다.

4. 실험 결과

다음은 JPEG2000 인코더에 적용될 수 있는 본 논문에서 새롭게 제안한 예측 기반의 EC 알고리즘을 소프트웨어로 구현한 실험 결과이다. 논문 [9]의 하다마드 변환을 사용한 EC를 레퍼런스로 하고, 새롭게 제안한 알고리즘들을 LL 그룹에 적용하여 고정 압축률 50 %로 성능을 비교 평가하였다. 화질 열화는 EC가 없는 인코더와 EC가 적용된 인코더 사이에

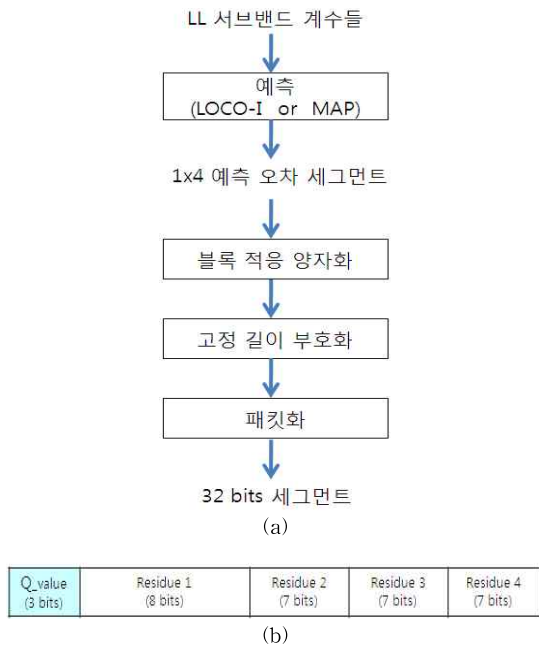


그림 2. (a) EC 알고리즘의 흐름도. (b) 압축된 세그먼트

서 평균적인 PSNR의 차이로 정의한다. 본 논문은 고정 압축률 50 %의 EC를 사용하였기 때문에 EC에 의한 대역폭의 감소량은 항상 50 %를 보장한다.

입력 영상의 주파수 변환을 위해 Daubechies 9/7 리프팅 DWT를 사용하여 4 단계로 분해하고 EC 알고리즘을 통해 압축하였다. 웨이블릿 필터 계수 값은 $\alpha = -1.586134342$, $\beta = -0.05298011854$, $\gamma = 0.8829110762$, $\delta = 0.4435068522$, $K(\text{scaling factor}) = 1.230174104914$ 이다. 선행 논문 [1]에 따라, 본 논문의 실험에서 모든 임시적인 서브 밴드의 LL 계수들은 16 비트 표현이 충분하다고 가정하였다. 임시적인 LL 서브밴드 계수들은 정수부 11 비트와 소수부 5 비트의 고정 소수점 형식을 사용하였으며, 모든 양자화 된 웨이블릿 계수들은 11 비트의 정수를 사용하였다. JPEG2000 인코더에서 사용한 DWT 단계별 Non-LL 서브밴드들의 양자화 크기는 모두 1로 하여 EC에 의한 LL 서브밴드만의 화질 열화를 평가하였다.

JPEG2000 인코더에 본 논문의 예측기가 적용된 EC 알고리즘과 선행 논문 [9]에서 제안한 하다마드 변환 기반의 EC 알고리즘을 구현하여 실험한 결과인 PSNR을 표 1에 나타내었다. 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 영상 압축에서 널리 쓰이는 Airplane, Baboon, Barbara, Goldhill, Lenna, Peppers,

Sailboat의 7 가지 흑백 영상들을 이용하였다. 또한 EC를 적용하지 않은 JPEG2000 알고리즘을 통해 재복원한 영상들의 PSNR을 기준으로 하였다. 표 1의 결과에 의하면 EC를 적용하지 않은 경우와 비교할 때, 하다마드 변환을 사용한 EC 알고리즘의 평균적인 PSNR 감소는 1.65 dB임에 비해 본 논문에서 제안한 LOCO-I는 단지 0.48 dB이며 MAP은 0.26 dB임을 알 수 있다. 또한 하다마드 변환 기반의 EC 알고리즘은 라인 버퍼가 필요하지 않은 반면, 본 논문에서 적용한 예측기들은 라인 버퍼가 필요로 하는 대신에 계산 복잡도는 낮으면서 성능은 훨씬 개선된다. 따라서 표 1의 결과는 본 논문에서 제안한 새로운 예측기 기반의 EC 알고리즘을 LL 서브밴드에 적용하였을 때 무손실에 가까운 LL 서브밴드들의 임시 메모리 크기 및 대역폭을 줄일 수 있음을 보여준다.

5. 결 론

본 논문에서는 이산 웨이블릿 변환을 사용한 영상 압축 시스템에서 요구되는 LL 그룹용 임시 메모리의 크기 및 대역폭을 감소시키기 위하여 예측 기반의 새로운 EC 알고리즘을 제안하였다. 실험 결과는 EC가 적용되지 않은 영상 압축 인코더와 본 논문에서

표 1. 제안한 LL 서브밴드용 EC 알고리즘과 하다마드 변환 방식[9]의 성능 비교 (EC의 압축률=2)

테스트 영상	Non EC	PSNR/화질 열화		
		MHT-based EC [9]	제안한 EC 기법	
			LOCO-I	MAP
Airplane	44.75	43.26 /1.49	44.34 /0.41	44.54 /0.21
Baboon	44.95	43.90 /1.05	44.67 /0.28	44.75 /0.2
Barbara	46.53	44.43 /2.1	45.83 /0.7	46.17 /0.36
Goldhill	46.12	44.84 /1.28	45.80 /0.32	46.03 /0.09
Lenna	46.09	43.95 /2.14	45.53 /0.56	45.76 /0.33
Peppers	45.06	43.56 /1.5	44.54 /0.52	44.81 /0.25
Sailboat	45.13	43.14 /1.99	44.55 /0.58	44.74 /0.39
평균 PSNR/화질 열화	45.51	43.86 /1.65	45.03 /0.48	45.25 /0.26

제안한 예측 기반의 EC 인코더의 성능을 비교하여 나타내었다. 예측 방식은 LOCO-I와 MAP을 각각 적용하였으며 고정 압축률 50 %로 압축한 결과, 평균적인 PSNR은 각각 0.48 dB와 0.26 dB로 화질 열화는 크지 않았다. 또한 선행 논문 [9]에서 제안한 하드마드 변환 기반의 EC 인코더와도 비교할 때 평균적으로 PSNR이 1.39 dB 향상되어 성능이 크게 개선됨을 알 수 있었다. 이는 LL 서브밴드의 임시 메모리 크기와 대역폭을 50 %로 감소시킴과 동시에, 화질 열화는 작으면서 매우 단순한 하드웨어 구조와 충분한 임의 접근성을 제공할 수 있음을 보여준다.

참 고 문 헌

- [1] 손창훈, 박성모, 김영민, "JPEG2000 시스템의 코드블록 메모리 크기 및 대역폭 감소를 위한 Multi-mode Embedded Compression 알고리즘 및 구조," 대한전자공학회지, 제46권, 제8호, pp. 41-52, 2009.
- [2] P.H.N. deWith, P.H. Frencken, and M. v.d. Schaar-Mitrea, "An MPEG Decoder With Embedded Compression for Memory Reduction," *IEEE Trans. Cons. Electr.*, Vol.44, No. 3, pp. 545-555, 1998.
- [3] M. v. d. Schaar-Mitrea and P. H. N. deWith, "Near-lossless Complexity-Scalable Embedded Compression Algorithm for Cost Reduction in DTV Receivers," *IEEE Trans. Cons. Electr.*, Vol.46, No.4, pp. 923-933, 2000.
- [4] T.Y. Lee, "A New Algorithm and Its Implementation for Frame Recompression," *IEEE Trans. Cons. Electr.*, Vol.47, No.4, pp. 847-852, 2001.
- [5] T.Y. Lee, "A New Frame-Recompression Algorithm and Its Hardware Design for MPEG-2 Video Decoders," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol.13, No.6, pp. 529-534, 1998.
- [6] T. C. Chen, K. C. Wu, Y. H. Chen, and L. G. Chen, "Hybrid-Mode Embedded Compression for H.264/AVC Coding System," in Proc. of IEEE ISPACS2005, Hong Kong, China, 2005.
- [7] C. C. Cheng, P. C. Tseng, C. T. Huang, and L. G. Chen, "Multi-Mode Embedded Compression Codec Engine for Power-Aware Video Coding System," *IEEE SIPS*, pp. 532-537, 2005.
- [8] C. H. Son, S. M. Park, and Y. M. Kim, "An Embedded Compression Algorithm Integrated With JPEG2000 System for Reduction of Off-Chip Video Memory Bandwidth," *IEEE CIT2008*, pp. 571-576, 2008.
- [9] 손창훈, 송성근, 김지원, 박성모, 김영민, "JPEG2000의 웨이블릿 변환용 메모리 크기 및 대역폭 감소를 위한 새로운 Embedded Compression 알고리즘," 한국멀티미디어학회지, 제14권, 제1호, pp. 101-109, 2011.
- [10] 최우수, 손창훈, 나승유, 김영민, "MAP 방식의 Embedded Compression을 이용한 이산 웨이블릿 변환의 효율적인 메모리 대역폭 감소," 대한전자공학회 추계학술발표회, pp. 2557-2558, 2010.
- [11] 박노혁, 전서현, "RGB 성분을 갖는 24비트 이미지의 무손실 압축 기법," 한국정보과학회지, 제23권, 제1호, pp. 711-714, 1996.
- [12] 원종우, 오현중, 장의선, "영상 적응형 무손실 영상 압축," 한국방송공학회지, 제9권, 제3호, pp. 246-256, 2004.
- [13] 안현수, "저복잡도 구현을 위한 무손실 영상 압축," 한양대학교 학위논문, 2007.
- [14] 고성제, 김재원, DIPSIM을 이용한 디지털 영상 처리, IDEC 교재개발시리즈 27, 2002.
- [15] 최정렬, 위영철, "무손실 이미지 압축을 위한 컨텍스트 기반 예측 알고리즘," 한국정보과학회 추계학술발표회, 제35권, 제2호, pp. 250-253, 2008.
- [16] D.D.Estrakh and H.B.Mitchell, "Soft Median Adaptive Predictor for Lossless Picture Compression," *Signal Processing*, pp. 1985-1989, 2001.
- [17] Martucci, "Reversible Compression of HDTV Images Using Median Adaptive Prediction and Arithmetic Coding," *IEEE Circuits and Systems*, pp. 1310-1313, 1990.

- [18] Sang-Heon Lee, Moo-Kyoung Chung, Sung-Mo Park, and Chong-Min Kyoung, "Lossless Frame Memory Recompression for Video Codec Preserving Random Accessibility of Coding Unit," *IEEE Consumer Electronics*, Vol.55, No.4, pp. 2105-2113, 2009.
- [19] 남정학, 심동규, 이영렬, 오승준, 안창범, 박호중, 서정일, 강경옥, "화소 단위 예측에 의한 무손실 영상 부호화," *대한전자공학회지*, 제43권, 제6호, pp. 97-104, 2006.
- [20] Chang-Hoon Son, Ji-Won Kim, Sung-Gun Song, Seong-Mo Park, and Young-Min Kim, "Low Complexity Embedded Compression Algorithm for Reduction of Memory Size and Bandwidth Requirements in the JPEG2000 Encoder," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.56, No.4, pp. 2421-2429, 2010.



김 지 원

2006년 2월~2010년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사
 2010년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정
 관심분야 : VLSI 시스템 설계, 신호처리용 ASIC 설계, 영상 압축 등



나 승 유

1977년 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1986년 미국 University of Iowa 전기 및 컴퓨터공학과 졸업(공학석사, 박사)
 1987년~현재 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 교수
 관심분야 : 지능제어, 뉴로퍼지 시스템, 센서 및 신호처리



최 우 수

2006년 2월~2010년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학부 학사
 2010년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 석사과정
 관심분야 : 임베디드 소프트웨어, 신호처리용 ASIC 설계, 영상 압축 등



김 영 민

1976년 서울대학교 전자공학과 학사
 1978년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1986년 오하이오 주립대학교 전기공학과 박사
 1978년~1979년 한국전박해양연구소 주임연구원
 1979년~1982년 국방과학연구소 연구원
 1988년~1991년 한국전자통신연구원 실장
 1991년~현재 전남대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 영상압축, VLSI 설계, RF 회로 설계, 신경회로망 등



손 창 훈

2000년 2월~2005년 2월 전남대학교 정보통신공학부 공학사
 2005년 3월~2007년 2월 전남대학교 전자컴퓨터공학과 공학석사

2007년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정
 관심분야 : VLSI 시스템 설계, 신호처리용 ASIC 설계, 영상 압축 등