

논문 2009-46SD-8-7

JPEG2000 시스템의 코드블록 메모리 크기 및 대역폭 감소를 위한 Multi-mode Embedded Compression 알고리즘 및 구조

(Multi-mode Embedded Compression Algorithm and Architecture for Code-block Memory Size and Bandwidth Reduction in JPEG2000 System)

손 창 훈*, 박 성 모**, 김 영 민**

(Chang Hoon Son, Seong Mo Park, and Young Min Kim)

요 약

Motion JPEG2000과 같은 동영상 압축 시스템에서는 데이터 메모리에 대한 빈번한 접근이 전체 시스템에 큰 병목 현상이 된다. 이처럼 시스템에서 요구하는 메모리의 대역폭을 감소시키기 위해서, 본 논문은 약간의 화질 손실이 있는 새로운 embedded compression(EC) 알고리즘과 구조를 고안하였다. 또한, 메모리 내의 압축된 데이터에 임의 접근성(Random Accessibility)과 짧은 지연 시간(Latency)을 보장하기 위해서 매우 단순하면서도 효율적인 entropy 부호화 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 JPEG2000 표준안 알고리즘에는 어떠한 변경도 하지 않으면서, 제안한 multi-mode 알고리즘을 통해 JPEG2000 시스템에서 요구하는 메모리의 대역폭의 감소(약 52~81%)와 코드블록 메모리의 크기를 약 2 배 이상 감소시킬 수 있었다.

Abstract

In Motion JPEG2000 encoding, huge bandwidth requirement of data memory access is the bottleneck in required system performance. For the alleviation of this bandwidth requirement, a new embedded compression(EC) algorithm with a little bit of image quality drop is devised. For both random accessibility and low latency, very simple and efficient entropy coding algorithm is proposed. We achieved significant memory bandwidth reductions (about 53~81%) and reduced code-block memory to about half size through proposed multi-mode algorithms, without requiring any modification in JPEG2000 standard algorithm.

Keywords : Memory Size and Memory Bandwidth Reduction, Embedded Compression Algorithm, Multi-mode, JPEG2000, Discrete Wavelet transform

I. 서 론

Motion JPEG2000과 같은 비디오 처리를 위한 하드웨어 구조는 일반적으로 입력 영상들을 저장하기 위해 외부 또는 내부에 공유 가능한 frame 메모리를 사용한다. 비디오 시스템에서 요구하는 연산 능력이 빠르게

증가하고 있기 때문에, 특히 외부에 위치한 frame 메모리를 통한 영상 데이터들의 전송의 경우 시스템의 전반적인 성능에 장애요소가 되고 있다. 이것은 memory wall이라고 알려져 있다. 범용의 중앙 처리 장치는 내장된 캐시(Cache) 메모리의 크기를 꾸준히 확장해오고 있으며, off-chip 메모리의 대역폭과 on-chip 메모리의 대역폭 사이의 상충 관계 때문에 multi-level caching 기술을 도입하고 있다^[1]. 그러나 미디어 처리의 경우에는 시스템 구현 비용의 효율성을 고려하면, 처리하고자 하는 입력 영상의 크기가 캐시 또는 on-chip 메모리의

* 학생회원, ** 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과
(Department of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University)
접수일자: 2009년2월25일, 수정완료일: 2009년8월6일

크기에 적당하지 않기 때문에 캐시의 사용으로는 off-chip의 메모리의 데이터 전송을 크게 줄이지 못한다. 이것은 최근의 미디어 처리 시스템이 사용하는 영상의 크기가 빠르게 증가하는 것과 함께 보다 많은 영상 프레임들을 요구하기 때문이다.

초기의 선행 연구 논문들^[2~3]에서는 MPEG 동영상의 부호화/복호화 시스템에서 외부 메모리의 대역폭 감소를 위한 알고리즘과 구조들을 제안하였다. 그러나 이 기법들은 복잡한 하드웨어 구조로 인하여 큰 지연 시간을 가지고 있으며, 화질 열화와 함께 외부 메모리의 데이터에 대한 임의적인 접근성을 저하시킨다. 또한 선행 논문^[4~5]의 저자는 MPEG-2 video 디코더 시스템에 적용한 고정 압축률 방식의 frame-recompression이라는 알고리즘들을 제안하였다. 우리는 시스템에서 요구하는 외부 DRAM의 대역폭을 감소시키기 위하여 무손실의 고정 길이 부호화와 Golomb-Rice 부호화 방식의 EC 알고리즘을 JPEG2000에 적용하는 방법을 제안했었다^[6].

그림 1은 일반적인 JPEG2000 부호화 시스템을 나타낸 블록도이다. 입력 영상들이 외부의 DRAM에 저장된 후에, 가장 먼저 DC level shifting 과정을 거친다. 다음으로 입력 영상을 명도와 컬러 성분으로 나누어 변환시켜주는 컬러 변환을 수행한다. 이러한 컬러 변환에는 YCbCr로 변환하는 ICT(Irreversible Color Transform)와 YUV로 변환하는 RCT(Reversible Color Transform) 두 가지가 있다. 그 다음으로는 입력 영상 프레임에 대해 각 타일마다 이차원 DWT(Discrete Wavelet Transform)를 수행한다. 타일은 원래의 영상을 겹치지 않게 분할한 블록으로, 만약 영상이 타일 크기의 정수배가 아니라면 영상의 경계영역 부분의 타일을 제외하고는 모든 타일은 정확히 같은 크기를 갖는다. 물론 전체 영상이 하나의 타일이 될 수 있다. DWT의 결과인 서브밴드(Sub-band)들에 대해 양자화(Quantization)를 수행한다. 양자화된 후 각 서브밴드들은 코드블록(Code-Block) 단위로 나뉘어져 비트-평면

(bit-Plane)별로 컨텍스트(Context) 기반 산술 부호화기인 Tier-1에 의해 부호화된다. 그 후, Tier-2 부호화기는 적절한 헤더를 추가하고 압축된 데이터를 패킷(packet)형태로 만든 후, 최종적으로 코드-스트림(Code-Stream)을 전송한다^[7].

본 논문에서는, Motion JPEG2000에서 코드블록 메모리의 크기와 대역폭을 줄일 수 있는 EC 알고리즘을 적용하는 구조를 제안한다. 다중 해상도 분해를 위한 이산 웨이블릿 변환은 매우 큰 외부의 메모리 대역폭을 요구한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 웨이블릿 계수들에 약간의 손실을 가하고 압축하여 시스템에서 요구하는 메모리 대역폭 뿐 아니라, 코드블록 메모리의 크기를 약 절반 이상으로 줄일 수 있다. 양자화된 웨이블릿 계수들은 라플라시안(Laplacian) 분포를 사용하여 모델링^[8]되기 때문에, 단순한 압축 알고리즘을 사용하여도 계수들을 크게 압축할 수 있다. 본 논문은 양자화된 웨이블릿 계수의 압축을 위하여 단순하지만 효율적인 entropy 부호화기 구조를 사용한다. 본 논문에서 제안한 알고리즘이 JPEG2000 시스템에 효율적으로 통합되기 위해서는, 기본적으로 EC 알고리즘에 의한 압축 시 손실이 적어야 하며, 단순한 하드웨어 구조를 가져야 하고, 압축된 데이터들에 임의 접근성이 용이해야 한다. 코드블록의 크기와 대역폭을 줄이기 위해 가변적인 CR(Compression Ratio)과 VLC(variable length coding) 방식을 사용할 경우, 압축된 데이터는 가변적으로 만들어 지기 때문에 데이터의 임의 접근성을 어렵게 만든다. 따라서 본 논문은 짧은 압축 지연 시간과 임의 접근의 효율성을 위하여 fixed CR 과 FLC(fixed length coding) 방식을 사용하여 웨이블릿 계수들을 하나의 세그먼트(Segment)로 지정하여, 각 세그먼트마다 단순하지만 효율적인 entropy 부호화를 적용하였다. 선행 논문^[6]은 JPEG2000 시스템에 무손실의 압축 방식을 사용하여 메모리의 대역폭을 줄일 수 있었지만, 손실 없이 부호화하였기 때문에 메모리의 크기까지는 줄일 수 없었다. 본 논문에서는 이전 논문^[6]에서와 같이 매우 중요한 영상 정보들이 집중된 LL 서브밴드에는 무손실의 압축 기법을 적용하였고, 상대적으로 중요도가 덜한 Non-LL 서브밴드(LH, HH, HH 서브밴드들)에는 손실의 압축 기법을 적용하여 코드블록 메모리의 크기와 대역폭을 줄일 수 있는 새로운 방식의 EC 알고리즘을 제안한다.

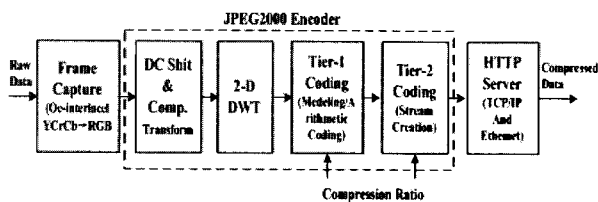


그림 1. JPEG2000 시스템의 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of JPEG2000 System.

II 장에는, 이론적 배경으로서 JPEG2000 시스템에서

사용하는 DWT 방식과 영상 압축의 효율을 높이기 위해 채택한 양자화 방법을 설명하고, 본 논문에서 사용한 DWT와 bit-plane 부호화기 간의 데이터 전송 구조를 소개한다. III장은 본 논문에서 제안한 EC 알고리즘의 이론적 배경을 보여주고, IV장에서는 새롭게 제안한 multi-mode EC 알고리즘을 설명한다. V장에는 JPEG2000 시스템에 제안한 알고리즘을 적용하여 통합하는 방법을 설명한다. VI장에서는 실험 결과와 성능 분석을 나타낸다. 최종적으로, VII장에서 결론을 맺는다.

II. DWT와 양자화기 Bit-plane 부호화기의 데이터 전송 구조

본 논문에서는 JPEG2000 표준안의 9/7 Daubechies 필터를 기반으로 하는 이차원 이산 웨이블릿 변환을 사용하였다. 이산 웨이블릿 변환은 대역 분할 부호화(Sub-band Coding)와 결합된 다중 해상도(Multi-Resolution) 분석이라고 표현될 수 있다. 원래의 입력 영상은 고역 필터와 저역 필터를 각각 통과한 후, 입력 샘플들에 비해 절반의 샘플수로 서브샘플링(Sub-Sampling)된다. 따라서 입력 신호의 샘플수가 N 일 때, 이산 웨이블릿 변환 후 고주파 필터링(Filtering)된 계수는 $N/2$, 저주파 필터링된 계수는 $N/2$ 개의 샘플들이 생성된다. 저역 필터를 통과한 출력은 다중해상도 분석을 위해 동일한 고역 필터와 저역필터를 통과한 후, 서브샘플링 과정을 따르게 된다. 이 과정은 미리 지정한 level에 이를 때까지 반복된다.

이차원 이산 웨이블릿 변환은 일반적으로 위에 설명된 일차원 웨이블릿 변환을 분해 가능한(Separable) 접근법을 사용하여 수행될 수 있다. 전체적인 이차원 이산 웨이블릿 변환은 각각의 웨이블릿 변환 단계에서 만들어진 LL 서브밴드를 반복적으로 다음 웨이블릿 변환 단계의 입력으로 전달함으로써 수행된다. K level의 이산 웨이블릿 변환은 총 K 단계의 이차원 이산 웨이블릿 변환을 필요로 한다. k_{th} 웨이블릿 변환 단계에 입력은 LL_{k-1} 로 나타내어지고, k_{th} 웨이블릿 변환 단계에 의하여 만들어진 서브밴드들은 LL_k, LH_k, HL_k, HH_k 로 표현된다. $k = 0, 1, 2, \dots, K-1$ 일 때, 마지막 LL_{K-1} 를 제외하고, 모든 LL_k 는 임시적인(Intermediate) 서브밴드이다. 영상에서 시간적으로 중요한 정보는 LL 서브밴드에 집중된다^[9].

이산 웨이블릿 변환으로부터 생성된 웨이블릿 계수

는 그것들을 표현하기 위한 코드 비트(Code-bit)의 수를 줄이기 위하여 양자화 과정을 거친다. 코드 비트의 수는 양자화 bin의 크기로 구해진다. 양자화 bin의 크기가 클수록, 코드 비트의 수는 줄어든다. 본 논문에서는 같은 서브밴드의 모든 웨이블릿 계수는 같은 양자화 bin 크기로 나누어진다. 본 논문에서는 단일 스칼라 데드 존 양자화기(Uniform Scalar Dead Zone Quantizer)를 사용하여 웨이블릿 계수의 양자화를 수행한다. 거의 최적이라고 할 수 있는 방법은 서브밴드 b 에 해당하는 양자화 Step의 크기를 아래의 식 (1)을 통해 선택하는 것이다^[10].

$$\Delta b \approx \Delta \cdot \sqrt{1/2^{2d_b}} \quad (1)$$

시스템에서 요구하는 전체적인 압축 비트율(bit-rate) 또는 화질의 왜곡 정도를 조정하는 Δ 가 기본적인 Step의 크기를 나타내는 요소이다. d_b 는 서브밴드 b 의 이산 웨이블릿 변환의 level 목차를 나타낸다. 예를 들어, b 가 서브밴드 HL_2 일 때, $d_b = 2$ 이다. 식 (1)의 근사적 표현은 JPEG2000 표준안의 9/7 웨이블릿 변환과 같은 직교 변환의 경우 매우 정확한 방법이라고 할 수 있다. 위에서 설명한 LL 서브밴드의 에너지의 집중 현상으로 인해, LL_k 의 dynamic range는 여러 레벨을 거치는 동안 이전 레벨에 비해 약 두 배씩 증가하게 된다. 또한 같은 이유로 LH_k, HL_k, HH_k 의 dynamic range도 증가하게 된다. 여기에 식 (1)의 양자화 과정을 거치게 되면, 첫 번째 레벨의 LH_1, HL_1, HH_1 에는 가장 큰 양자화 스텝 크기로 나누어지게 되어 계수 값이 더욱 작아지게 되고, 마지막 레벨로 갈수록 더 작은 양자화 스텝 크기를 사용하기 때문에 상대적으로 값이 크게 되는 경향이 뚜렷하게 나타난다. 이것은 마지막 레벨로 갈수록 LL_k 뿐 아니라 LH_k, HL_k, HH_k 서브밴드의 계수를 압축률이 상대적으로 낮아진다는 것을 의미한다. 따라서 본 논문에서 제안한 부호화 알고리즘에는 레벨별로 다른 CR을 지정할 수 있는 multi-mode CR 방식을 적용하였다.

본 논문에서 사용한 DWT와 bit-plane 부호화기 간의 데이터 전송 구조에 대한 설명은 아래와 같다. 대부분의 JPEG2000 VLSI 구현에서는, 여러 개의 bit-plane 부호화기(보통 3개)와 하나의 DWT 모듈을 사용한다. 3개의 bit-plane 부호화기를 사용하는 주된 이유는 DWT 모듈이 4 개의 서브밴드를 병렬적으로 만들어 내는 구조를 가질 수 있기 때문이다. DWT 모듈의 throughput은 필수적으로 기존의 일반적인 bit-plane

부호화기보다 훨씬 높기 때문에, 3 bit-plane 부호화기가 3 개의 고주파수 성분을 갖는 LH, HL, HH 서브밴드들을 병렬적으로 처리하기 위해 사용되고 LL 서브밴드는 다음 레벨의 DWT 분해(multi-decomposition)를 위해 필요하다. 그림 2는 Block-based DWT와 3 개의 bit-plane 부호화기로 구성된 JPEG2000 부호화기의 VLSI 구조를 나타낸다. 세 개의 bit-plane 부호화 모듈은 DWT로부터 LH, HL 그리고 HH 서브밴드들을 받아서 바로 처리하기 위해서 사용된다. LL 서브밴드는 intermediate LL 메모리에 저장된다. LL 서브밴드는 다음의 DWT decomposition을 위해 메모리에서 읽혀지거나, 마지막 레벨의 LL 서브밴드의 경우 bit-plane 부호화기에 압축하기 위해 보내진다. LL 서브밴드는 세 개의 중 우선적으로 잠시 동작을 멈춘 idle 상태에 있는

한 개의 bit-plane 부호화기에 보내지거나, 하나 이상의 bit-plane 부호화기에서 나누어 압축되어 질 수 있다.

JPEG2000 시스템의 throughput은 DWT와 bit-plane 부호화기 모듈의 throughput에 큰 영향을 받는다. Block based 방식의 DWT 시스템은 모든 서브밴드들을 병렬적으로 만들어낸다. 네 개의 서브밴드 계수(LL, LH, HL, HH 서브밴드에서 각각 하나의 계수를 발생시킴)는 2D-DWT의 한번의 동작마다 발생한다. 따라서 코드블록 크기만큼 DWT 계수가 발생하여 코드블록에 계수가 모두 저장되면 bit-plane 부호화기에 의해서 처리되고, LL 서브밴드는 LL 메모리에 다음 레벨의 DWT 처리를 위해 저장된다. 이전 논문^[11~12]에서 볼 수 있듯이, block-based 방식의 DWT가 동시에 3개의 bit-plane 부호화기에서 처리되기 위해서는 블록의 크

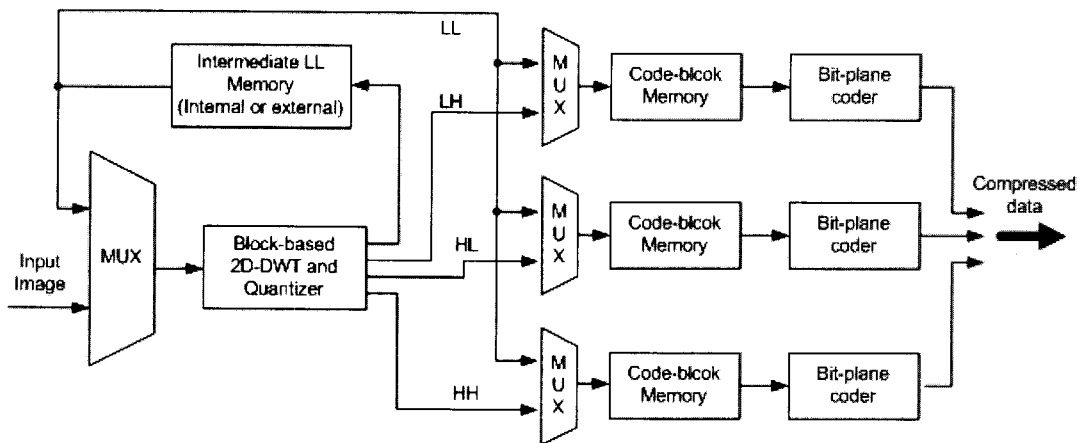


그림 2. Block 기반의 2D-DWT와 3 개의 bit-plane 부호화기를 사용하는 JPEG2000 부호화기의 VLSI 구조
 Fig. 2. JPEG2000 encoder VLSI architecture employing Block-based 2D-DWT and three Bit-plane coder engine.

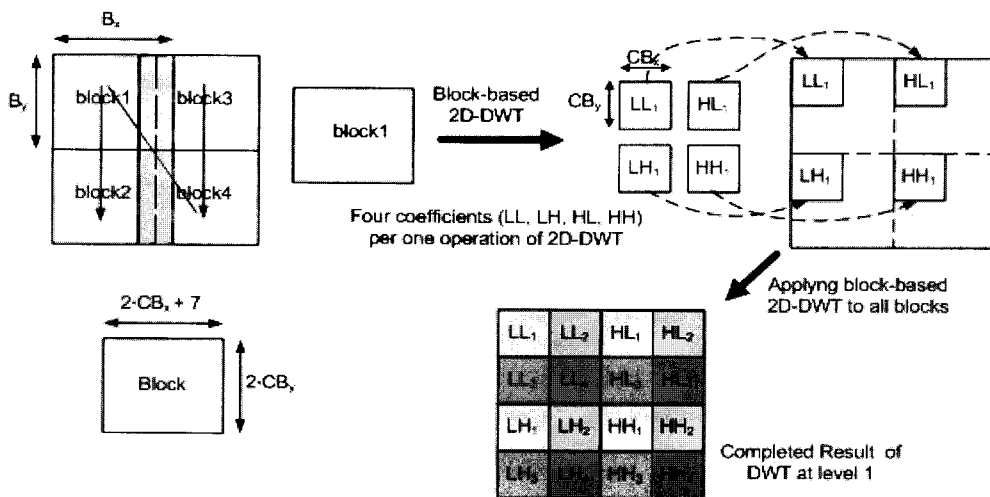


그림 3. Block 기반의 2D-DWT의 과정
 Fig. 3. Procedure of the Block-based 2D-DWT.

기가 코드블록의 크기의 두 배가 되어야 한다(실제로는 block noise를 없애기 위해 코드블록 width와 보다 7개의 DWT 계수를 더 overlap해서 읽어야 함). 2D-DWT는 위에서 아래 방향으로 연속적으로 모든 블록에서 수행된다. 영상 맨 아래의 블록이 처리되면, 블록의 다음 column에 있는 블록들을 처리하기 위해 오른쪽으로 이동한다. 일반적인 block-based 방식은 원래의 입력영상을 수평과 수직 방향으로 7개의 계수씩 더해서 정사각형의 블록으로 나눈다. DWT는 이러한 정사각형 블록들에 각각 수행된다. 만약 블록이 overlap되지 않으면, 블록 사이의 연속성이 사라지고 블록 경계에서 noise가 발생하게 된다. 그러나 선행 논문^[11]과 같은 DWT 구성을 사용하면 인접한 블록들 간에 수평 또는 수직 한 방향으로만 overlap 하는 것이 가능하다. 그림 3은 수평 방향으로만 7개의 계수를 더 필요로 하는 block-based 방식의 DWT 과정을 나타낸다.

III. 제안한 EC 알고리즘의 이론적 배경

JPEG2000 시스템에서 양자화 과정의 다음 단계는 본 논문에서 제안하는 부호화 과정이다. 이 부호화 과정을 통하여 coding redundancy들을 제거함으로써, 웨이블릿 계수들을 표현하기 위한 코드 비트의 수를 더욱 줄일 수 있다. coding redundancy를 제거하는 방법 중 가장 알려진 기술은 소스 심볼(Source Symbol)당 가능한 가장 작은 코드 비트의 수를 만들어 내는 허프만 부호화(Huffman coding)이다. 허프만 부호화에서 각 소스 심볼의 발생 빈도는 세어지고, 모든 심볼들은 그것들의 확률에 따라서 순서가 정해진다. 비록 허프만 부호화가 최적의 방법이라고 알려져 있지만, 모든 소스 심볼에 대해 정렬된 히스토그램(Histogram)을 필요로 하기 때문에 시스템을 하드웨어로 구현하는 비용이 크다. 허프만 부호화는 모든 심볼들의 발생 빈도를 세고 그것들을 순서대로 정하기 위해서 과도한 데이터 접근과 계산 능력을 요구한다.

본 논문에서 제안한 부호화 알고리즘에서, 양자화된 웨이블릿 계수는 1차원적으로 읽혀진다. 따라서 입력 자료들은 1차원 데이터들의 집합으로 볼 수 있다. 본 논문에서 설명하는 부호화 기법들은 하드웨어 복잡성을 줄이기 위해서, 다른 부호화 기법들이 압축의 효율성을 높이기 위해 사용하는 이차원의 컨텍스트 모델을 사용하지 않는다. 본 논문은 양자화된 웨이블릿 계수를 압

축하기 위해 새롭고 효율적인 부호화 알고리즘을 제안한다. 웨이블릿 계수의 통계적인 특성을 알아보기 위하여, 선행 연구 논문^[6]에서는 몇 가지 표준적인 영상들을 가지고 계수 값의 분포를 구하였다. 비 LL 서브밴드들(LH와 HL, HH 서브밴드)은 유사한 분포 특성을 가지고 있다. 그러나 그것들의 Entropy는 논문^[6]에서 보이는 바와 같이 조금씩 다르다는 것을 알 수 있다. 또한 그림 4를 통해 LL 서브밴드의 웨이블릿 계수는 다른 서브밴드에 비해 훨씬 평탄하게 분포하는 것을 알 수 있다. 비 LL 서브밴드들의 경우에는, 웨이블릿 계수가 값이 0인 점에서 날카로운 끝을 갖는 라플라시안 분포 특성을 보이고 있다.

이러한 관찰을 통해 얻은 사실을 바탕으로, 본 논문은 각 level에서 발생한 LL 서브밴드들을 1개의 그룹으로서 정하고, LH, HL, HH 서브밴드를 또 다른 그룹으로서 간주하고 부호화 방식을 달리하였으며, 두 그룹의 웨이블릿 계수를 각기 다른 부호화 방식을 사용하여 압축하였다. LL 서브밴드의 웨이블릿 계수는 열과 행 방향에서 가장 저주파 성분의 데이터를 나타낸다. LL 서브밴드의 웨이블릿 계수의 분포 특성은 평탄하기 때문에, 본 논문에서는 이 그룹에 논문^[6]에서와 같은 고정 길이 부호화(Fixed-length coding)를 사용하기로 결정하였다. 비 LL 서브밴드의 웨이블릿 계수 값들은 라플라시안 분포로 간주될 수 있기 때문에, 본 논문에서는 비 LL 서브밴드의 웨이블릿 계수들을 압축하기 위하여 새로운 방식의 multi-mode CR을 갖는 손실 부호화를 사용하였다.

또한 본 논문은 임의 접근성에 대한 제약 조건을 만족시키기 위하여, 코드블록의 세그먼트마다 데이터 패킷들을 만드는 압축 시스템을 사용한다. 코드블록의 폭보다는 작은 크기를 가지고 있는 각 세그먼트는 독립적으로 압축된다.

IV. Non-LL 서브밴드에 적용한 multi-mode CR의 새로운 부호화 알고리즘

본 논문에서 제안한 Non-LL 서브밴드 부호화 알고리즘은 DWT 모듈을 거쳐 스칼라 양자화기의 출력으로부터 얻은 1x4 배열(계수 당 2bytes)에 수행된다. 본 논문에서는 하나의 DWT 계수를 16-비트로 표현한다. 부호화 과정이 끝나면, 8 bytes는 예를 들어 CR을 2로 했을 경우 4 bytes(32-bit segment)로 줄어든다. 고정된

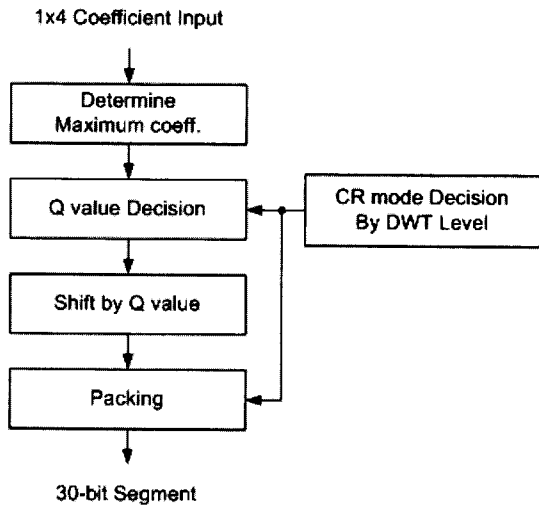


그림 4. 제안한 multi-mode CR 부호화기의 플로우 차트
Fig. 4. Flow chart of the proposed multi-mode CR encoder.

압축률과 고정된 길이의 세그먼트 구조를 사용함으로써 비트플랜 코더의 스트라이프(stripe) 스캔 방식에서 요구하는 충분한 임의의 접근성이 보장된다. 그림 4는 코드블록 EC 알고리즘의 flow chart를 보여주고, EC의 procedure는 아래와 같다. 1× 4-coefficient 배열은 현재의 세그먼트 내의 가장 큰 값을 결정하기 위해 입력된다. CR 모드에 따라 계수 하나를 표현하기 위해 필요한 비트 수 N이 결정된다. 세그먼트 내의 가장 큰 계수(Max coeff.)이 결정되면, Max coeff.가 N에 따른 값의 범위를 초과하지 않도록 하면서 양자화 값 Q value를 결정한다. 4 개의 계수들은 병렬적으로 Q value에 해당하는 비트만큼 오른쪽으로 shift되어 양자화 된다. Q value는 양자화된 결과 값들 앞에 붙고, CR에 따라 또 다른 압축된 세그먼트와 함께 30-bit의 압축된 스트림으로 packing이 된다. 세그먼트 내의 모든 계수들은 CR 모드에 의해 계수 당 비트 수 N이 결정되며, Q value에 따라 양자화 되고 N의 bit로 표현된다.

여기서 CR 모드는 아래와 같은 이론적인 배경을 통해 결정된다. 상위 level(1 level이 가장 상위 level임)의 서브밴드는 보다 많은 0의 값이나 0에 가까운 작은 값을 많이 포함하기 때문에, 하위 level(본 논문의 경우 4

level이 가장 하위 level임)의 서브밴드 분포 특성에 비해 0의 값을 중심으로 첨두치를 갖는 매우 급격한 경사를 이루는 분포 특성을 보인다. 보다 하위 level의 서브밴드는 0이 아닌 계수나 큰 값을 갖는 계수를 더 많이 포함하기 때문에, 보다 평탄한 모양의 분포 곡선들을 보인다. 본 논문에서 비 LL 서브밴드의 경우에는 상위 level일수록 더 큰 양자화 스텝 크기를 사용하였기 때문에, 상위 level의 비 LL 서브밴드에는 0의 값을 갖는 웨이블릿 계수와 보다 작은 값을 갖는 웨이블릿 계수가 더 많이 포함된다. 따라서 상위 level의 비 LL 서브밴드일수록 제한한 부호화기의 압축 효율은 증가하게 된다. 따라서 본 논문은 레벨별로 CR을 multi mode로 선택할 수 있는 구조를 사용한다. 만약 CR이 2라고 설정한 경우, 네 개의 화소는 32-비트의 압축된 세그먼트로 표현되어야 한다. 32-비트에서 2-비트의 Q value(Q-value는 모의 실험을 통해 2-비트면 정보를 잃지 않기에 충분하다는 결과를 얻음)를 나머지 30-비트는 네 개의 화소에 정확히 같은 비트를 갖도록 할당할 수 없다. 따라서 네 개의 화소에 동등한 비트를 할당하기 위해 CR을 2보다 조금 큰 2.133(64/30 = 4개 계수의 비트 수/압축된 세그먼트의 비트 수)을 사용한다. 또한 4가 아닌 4.266(64/15)과 6이 아닌 6.4(64/10)를 CR을 DWT 레벨에 맞춰 사용한다. 그림 5는 CR이 2.133일 때의 압축된 세그먼트의 한 형태를 나타낸다. Q-value는 세그먼트내의 가장 왼쪽 위치에 저장되고 네 개의 계수는 정해진 비트 N으로 표현되어 순서대로 저장된다. 따라서 코드블록 메모리의 크기는 정확히 2배가 아닌 2.133 배로 줄어든다. 코드블록 메모리의 데이터 width는 30 비트가 되고, CR에 따라 하나의 어드레스에 해당하는 저장 공간마다 1에서 3개의 압축된 세그먼트가 들어가게 된다. 이런 방식을 통해 코드블록 메모리의 크기 뿐 아니라, 데이터를 쓰고 읽을 때의 메모리 대역폭까지 줄일 수 있다. 그림 6에는 CR mode에 따라 코드블록 메모리에 저장되는 압축 세그먼트의 방식을 나타내었다.

CR이 2.133일 경우에는 한 어드레스 메모리 공간에 1개의 압축 세그먼트만 저장되고, CR이 각각 4.266과 6.4일 경우에는 2개와 3개의 압축 세그먼트가 30비트의 저

Q_value (2 bits)	coeff1 (7 bits)	coeff2 (7 bits)	coeff3 (7 bits)	coeff4 (7 bits)
---------------------	--------------------	--------------------	--------------------	--------------------

그림 5. 압축된 세그먼트의 형식
Fig. 5. The format of a compressed segment.

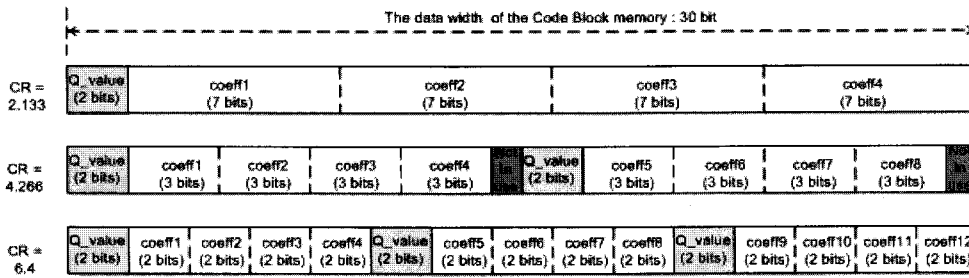


그림 6. CR mode에 따른 압축 세그먼트들의 저장 방식
 Fig. 6. Store scheme of compressed segments for CR modes.

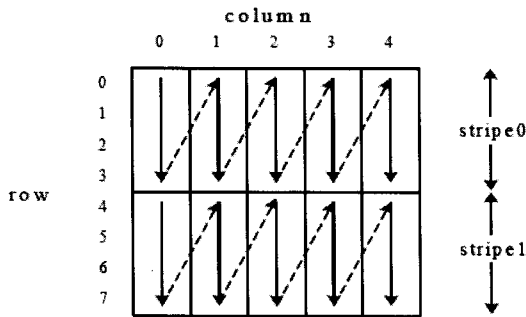


그림 7. 코드블록의 스트라이프 스캔 순서
 Fig. 7. Stripe scan-order of the code-block.

장 공간에 연달아 저장되는 것을 보여준다. 그림 6에서 보이는 것처럼 CR이 4.266 일 때, 1비트를 사용하지 않는 이유는 충분한 임의의 접근성을 보장하기 위해서이다.

Bit-plane 부호화기의 코드블록 스캔 순서는 raster scan order가 아닌 부호 비트를 제외한 최상위 비트-평면으로 부터 하위 비트-평면으로 스캔 되어지며, 각 비트-평면은 샘플들의 4 개의 행들로 구성된 스트라이프 단위로 위에서 아래로 스캔 되어진다. 스트라이프 내의 데이터는 그림 7과 같이 하나의 열에서는 상위 비트에서 하위 비트로, 열 단위로는 왼쪽에서 오른쪽으로 스캔 되어진다. 코드 메모리가 1/2 크기로 줄어든 위 구조에서 임의의 접근이 가능하기 위해서는, 어드레스 계산이 즉각적으로 되어야 하기 때문에 한 코드블록 내에서는 CR이 반드시 고정적이어야 한다. 물론 남은 비트수의 공간을 다음 세그먼트에 빌려주는 식으로 연달아 다른 세그먼트를 접속시켜 저장하면 밴드위스를 더 줄일 수 있지만, 필요한 수만큼의 데이터를 추출하기 위한 어드레스 계산이 쉽지 않고, 보다 복잡한 어드레스 계산을 위해서는 하드웨어 로직(logic)이 복잡해지게 된다.

본 논문에서 세그먼트의 크기 결정을 위해 2, 4, 8, 16, 32 개의 계수들을 사용하여 같은 조건의 고정 CR로 실험한 결과 1x4의 크기가 가장 화질 열화가 적었다.

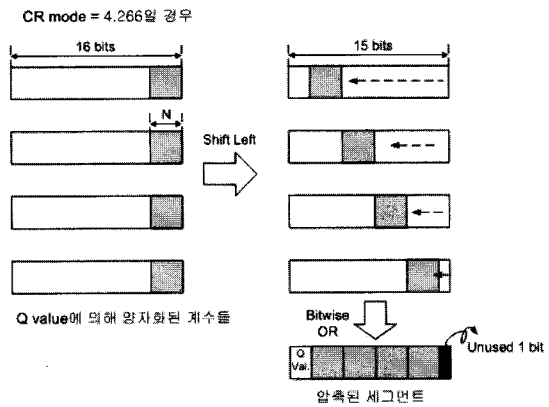


그림 8. 하나의 압축된 세그먼트를 packing 하는 과정
 Fig. 8. Procedure of packing a compressed segment.

따라서 본 논문의 엔트로피 부호화는 1x4 계수 배열 크기를 사용한다. 세그먼트가 작을수록 하드웨어 크기는 작아지고, 클수록 Q_value에 의한 오버헤드가 작아진다. 코드블록 32x32를 중간에 끊지 않고 VLC를 적용하면 압축률은 최대로 할 수 있으나, Bit-plane 부호화기가 스트라이프 방향으로 스캔해야 하므로 데이터의 충분한 임의의 접근성의 보장이 줄어든다.

기본적으로, packing 과정은 parallel이 아닌 serial 방식을 따르는 것이 packing 하는 쉬운 방법이 될 수 있다. 그것은 양자화 된 계수들은 한 번에 한 개의 계수만이 packing 된다는 것을 의미하므로 긴 처리 시간이 필요하다^[4-5]. 따라서 왼쪽 shift 방식을 이용해 병렬적으로 packing하여 하나의 압축된 세그먼트를 만드는 그림 8의 과정을 사용한다. shift할 길이는 CR 모드에 따른 비트수 N에 의해 손쉽게 결정된다. 정렬된 네 개의 비트들은 bitwise-OR 연산을 통해 연달아 packing된 형태로 구해진다. 2-비트 Q value를 앞에 붙여 하나의 압축된 세그먼트를 완성한다. CR에 따라 최대 3개의 압축된 세그먼트들이 모여서 30-비트의 최종적인 압축 스트림을 구성한다. 그림 9에 최종 압축 스트림으로

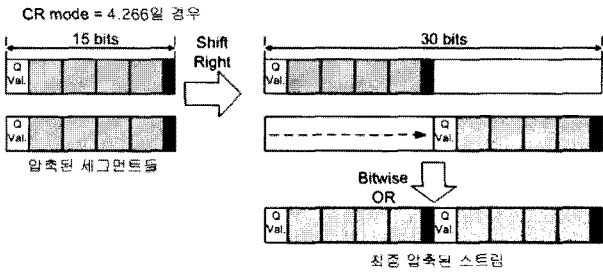


그림 9. 최종 32-비트 압축 스트림으로 packing하는 과정

Fig. 9. Packing of a final 32-bit compressed stream.

packing 되는 과정을 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 EC 방식은 양자화 된 값에 VLC를 별도로 쓰지 않으며, CR 모드 또한 고정적이므로 코딩 과정이 매우 단순하고 packing하는 과정에서도 복잡한 barrel shifter가 아닌 간단한 shifting logic을 사용하여 보다 작은 하드웨어로 구현될 수 있다. 고정된 길이로 shift 되는 단순한 하드웨어 로직은 실제의 shifter 로직이 아닌 적당한 wiring에 의해 구현될 수 있다.

제안한 알고리즘이 기존의 논문^[4-5, 13]의 GR 방식에 비해 훨씬 간단하면서도 오히려 화질의 왜곡 정도가 덜하다는 것을 실험을 통해 증명하기로 한다. 위 논문에서 제시한 방법과 같이 GR(Golomb Rice) 코딩과 같은 VLC 기법을 사용하면 기본적으로 다음과 같은 어려움을 지닐 수 있다. 먼저, GR 코딩의 k 값은 영상의 분포 특성에 영향을 받는 요소이므로 최적의 값을 정하는데 어려움이 있으며, 영상의 에지부분과 같이 큰 값의 경우 코딩하고자 하는 값이 조금이라도 크게 되면 매우 큰 코드길이를 가질 수 있다는 점이다. 이는 정해진 비트로 할당하기 위해서는 매우 크게 양자화 되어야 한다는 의미로 화질의 열화에 큰 영향을 미치게 된다. Variable 한 GR 코드 비트들을 고정된 비트수로 제한하기 위해 필요한 양자화 값 결정하는데 많은 처리 시간 또는 hardware area가 필요하다. 또한 variable한 코드 길이로 인해 packing 하는 과정이 본 논문에서 제안한 구조에 비해 더 복잡하다고 할 수 있다.

압축된 스트림을 decompression을 하기 위한 과정은 다음과 같다. 30-비트 스트림으로부터, CR에 따라 최대 3개의 압축된 세그먼트가 추출된다. 그중 하나의 압축된 세그먼트에서는 Q value와 네 개 계수의 압축된 비트가 unpacking이 된다. 추출된 네 개의 비트는 역양자화되어 복원되는 과정을 거친다.

V. Embedded Compression 알고리즘의 JPEG2000 시스템에 통합

본 논문의 III절과 IV절에서 제안한 embedded compression 장치는 JPEG2000 시스템의 버스 인터페이스를 수정하지 않으면서 시스템에 쉽게 통합될 수 있다. 이것은 EC 장치가 메모리 접근에만 관련되는 작업이기 때문이며, 압축 지연 시간과 하드웨어 구현의 복잡함이 낮은 구조이기 때문이다. 그러므로 통합을 위한 회로는 단순하며 인터페이스를 위해 사용되는 버퍼 메모리는 작게 된다. 그림 5는 본 논문의 EC 장치가 일반적인 JPEG2000 부호화 시스템에 통합된 블록 다이어그램을 나타낸다. 이 구조에는 내장된 두 개의 부호화와 두 개의 복호기가 있다. 그림 10에서 (1)과 (2)에 해당하는 한 쌍의 부호화와 복호화는 무손실의 EC 알고리즘에 의해 압축된 데이터를 복호화 과정을 통해서 압축된 LL 웨이블릿 계수를 복원하여 다음 레벨의 DWT를 위한 올바른 입력을 만들어 낸다. 그림 10에서 (3)과 (4)에 해당하는 다른 한 쌍은 Tier-1 과정의 bit-plane 부호화를 수행하기 위한 입력을 만들어 내기 위해 약간의 손실을 갖는 고정 압축률로 Non-LL 서브밴드의 웨이블릿 계수들을 압축하고, 압축된 데이터를 다시 복호화 하는 과정을 수행한다. 보다 자세한 동작 순서는 다음과 같다. 저장된 원본 입력 영상 또는 임시적인 LL 서브밴드들의 32개 화소는 FLC에 의하여 무손실로 압축된다. 그 다음에는 외부나 내부에 위치하는 Intermediate LL라는 큰 크기를 갖는 메모리에 저장된다. 다음의 이산 웨이블릿 변환 단계를 수행하기 위해, 세그먼트 내의 압축된 데이터들은 LL 메모리부터 읽혀서 복호화 된 후, 웨이블릿 변환 부의 입력으로 들어간다. Non-LL 서브밴드들의 4 개의 양자화된 웨이블릿 계수의 모임들은 본 논문에서 제안한 새로운 손실 부호화에 의하여 압축된 후, 코드블록 메모리로 저장된다. bit-plane 부호화를 위해서, 압축된 데이터인 세그먼트들은 메모리로부터 읽혀서 복호화 된 후, bit-plane 부호화에 보내져 압축된 비트스트림을 JPEG2000 시스템의 산술부호화에 전달한다. VI. 실험결과

본 논문의 실험들은 JPEG2000 시스템에 본 논문에서 제안한 내장 압축 알고리즘을 소프트웨어로 구현하여 수행되었다. 본 논문에서는 제안한 알고리즘의 유효함을 보이기 위해 정지 영상 압축에서 널리 사용되는 512 × 512 화소 크기를 갖는 Lena, Tiffany, Peppers,

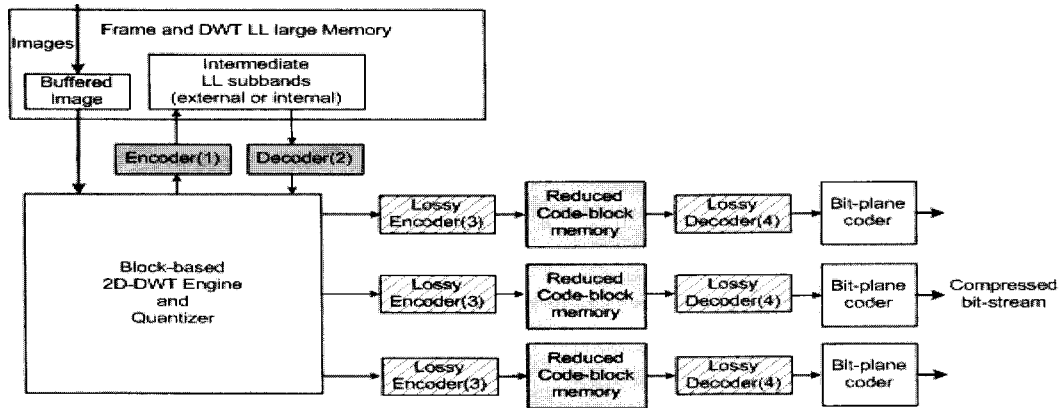


그림 10. 제안한 EC 장치가 통합된 JPEG2000 부호화 시스템
 Fig. 10. JPEG2000 encoder system with the proposed EC units.

Goldhill 그리고 Airplane 의 흑백 영상들을 이용하여 실험하였다. 본 논문은 LL 서브밴드들에는 논문^[6]에서 선보인 무손실의 고정길이부호화 방식을 적용하고, non-LL 서브밴드들에는 새롭게 제안한 손실 부호화기를 사용하였다. Non-LL 밴드에 적용한 제안한 부호화 방식을 JPEG2000 시스템의 Tier1의 코드블록 메모리의 크기와 대역폭의 감소량을 평가하고 비교하였다. 9/7 웨이블릿 필터를 사용한 블록 기반의 이산 웨이블릿 변환을 수행하여 입력 영상을 3 단계로 분해하는 것을 실험조건으로 하였으며, Tier-1 과정에서 사용하는 코드블록의 크기는 32× 32로 가정하였다. 또한 본 논문은 단일 스칼라 데드 존 양자화기의 실험 조건으로 2 크기의 dead zone을 사용하였다. 비록 위의 양자화 조건이 최적의 실험 조건은 아닐 수 있지만, 이 방법은 스칼라 양자화기의 하드웨어 구현을 보다 간단하게 할 수 있다. 또한 구현의 단순함을 위해, 본 논문은 모든 임시적인 서브밴드 계수들을 표현하기 위해 16 비트를 사용하는 것이 충분하다고 가정하였다^[10].

본 논문에서 제안한 알고리즘을 통한 영상의 왜곡 정도를 살펴보기 위하여, EC를 적용하지 않은 채 이산 웨이블릿 변환 후 양자화된 영상을 다시 역양자화와 역이산 웨이블릿 변환 과정을 통해 만들어진 영상들로부터 계산된 PSNR을 구하였다.

LL 서브밴드의 웨이블릿 계수는 영상의 질을 결정하는 매우 중요한 성분이기 때문에, 본 논문의 실험에서는 양자화 스텝사이즈로 1을 사용하였다. LL 서브밴드에 적용한 고정길이 부호화는 0이 아닌 웨이블릿 계수와 큰 값을 갖는 계수들이 많이 포함되어 있기 때문에, 논문^[6]의 실험 결과를 통해 코딩 효율이 좋지 않음을

알 수 있다.

표 1은 본 논문에서 새롭게 제안한 알고리즘과 논문^[4~5, 12]에서와 같이 GR 방식을 사용하는 VLC 기반의 알고리즘을 같은 CR 조건에서 EC를 적용하지 않은 original JPEG2000 알고리즘의 PSNR과의 비교를 통해 화질 열화를 평가한 결과이다. EC를 사용하지 않은 original JPEG2000 알고리즘을 통해 테스트 영상들을 압축하고 재복원한 후, 재복원 영상들의 PSNR을 비교의 기준으로 정했다. 제안한 알고리즘과 기존의 논문의 GR 기반의 알고리즘을 4개의 CR 모드에서 각 레벨별로 발생하는 non-LL 서브밴드들에 적용하였다. 예를 들어 CR mode 1은 DWT과정의 첫 번째 레벨(level 1), 두 번째(level 2)와 세 번째 레벨(level 3)에는 CR을 약 2배인 2.13으로 할당한다. 가장 큰 대역폭 감소를 보일 수 있는 CR mode 4는 level 1, level 2, level 3에 각각 6.4, 4.27, 2.13의 CR을 할당한다. 기존의 GR 알고리즘의 k 파라미터는 레벨별로 0(level 1), 1(level 2), 2(level 3)의 값을 설정하였다. 표의 결과에 따르면, 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 코딩 효율이 더 좋은 것을 알 수 있다. CR mode에 따라서 제안한 EC에 의한 평균적인 PSNR의 감소는 기존의 알고리즘이 0.7~4.7 dB인 것에 비해 단지 0.01~2.5 dB이다. 표 1의 (A)는 각 레벨에서 발생하는 LH, HL, HH 서브밴드들의 계수에 EC를 적용하지 않은 경우 계수의 byte 단위로 총합이다. CR mode에 따라 Non-LL 밴드의 memory bandwidth reduction을 보이는 표 2를 통하면, 가장 낮은 압축률을 갖는 CR mode 1에서는 거의 무손실에 가까우면서 non-LL bands에서 약 53 %의 메모리 접근이 감소하였다. 또한 코드블록 메모리의 크기는 약 절

표 1. 표준 흑백 영상 512 × 512 크기의 재복원 영상들의 PSNR/Quality Drop
Table 1. PSNR/Quality Drop of standard grayscale 512 × 512 reconstructed images.

(PSNR/Quality Drop)									
images	Non EC	CR mode 1 (level1, level2, level3 = 2.1, 2.1, 2.1)		CR mode 2 (level1, level2, level3 = 4.3, 2.1, 2.1)		CR mode 3 (level1, level2, level3 = 4.3, 4.3, 2.1)		CR mode 4 (level1, level2, level3 = 6.4, 4.3, 2.1)	
		GR-based EC	proposed EC	GR-based EC	proposed EC	GR-based EC	proposed EC	GR-based EC	proposed EC
		Lena	38.5962	38.1047 /0.4915	38.5790 /0.0172	37.7461 /0.8501	38.4781 /0.1181	36.2674 /2.3288	36.9555 /1.6407
Tiffany	39.4438	38.7159 /0.7279	39.4416 /0.0022	37.1565 /2.2873	38.8480 /0.5958	36.2588 /3.185	38.0481 /1.3957	32.0790 /7.3648	36.5605 /2.8833
Peppers	37.0310	36.6507 /0.3803	37.0228 /0.0082	36.2697 /0.7613	36.7697 /0.2613	35.3038 /1.7272	35.8246 /1.2064	34.6158 /2.4152	35.4301 /1.6009
Goldhill	37.2187	36.8431 /0.3756	37.2141 /0.0046	36.1345 /1.0842	36.9748 /0.2439	34.7970 /2.4217	35.7156 /1.5031	33.5201 /3.6986	35.0083 /2.2104
Airplane	38.4617	37.1771 /1.2846	38.4399 /0.0218	35.7848 /2.6769	37.9001 /0.5616	33.9288 /4.5329	35.7075 /2.7542	31.4497 /7.010	34.5616 /3.9001
Average PSNR/ Quality Drop	38.15	37.498 /0.65	38.139 /0.011	36.618 /1.53	37.794 /0.36	35.311 /2.84	36.45 /1.7	33.438 /4.71	35.623 /2.53

표 2. 테스트 영상들의 Non-LL 서브밴드들에서 메모리 대역폭 감소(영상 크기 512 × 512, 9/7 filter, 3 level 웨이블릿 분해)

Table 2. Memory Bandwidth Reduction in Non-LL subbands of test images(Image size 512 × 512, 9/7 filter, 3 level wavelet decomposition).

	Total bytes of original coefficients of Non-LL bands (A)	Total bytes of reduced coefficients of Non-LL bands (B)	Memory Bandwidth Reduction (%) (A-B)/A × 100
CR mode 1 (2.1, 2.1, 2.1)	516,096 = {256×256 + 128×128 + 64×64} × 3 (non-LL 3 bands) × 2 (2 bytes per coefficient)	241,920	53.1250
CR mode 2 (4.3, 2.1, 2.1)		149,760	70.9821
CR mode 3 (4.3, 4.3, 2.1)		126,720	75.4464
CR mode 4 (6.4, 4.3, 2.1)		96,000	81.3988

반 이상이 줄어든다. 이 모드에서 평균적인 영상의 화질 저하는 약 0.011 dB이다. 약 71 % 와 75 % 의 메모리 접근 빈도가 CR mode 2와 3에서 감소하였다. 또한 CR mode 4에서는 평균적으로 약 81%의 메모리 접근을 절약할 수 있었다. 그러나 CR mode 4에서는 다른 모드에 비해 더 많은 화질 저하가 뚜렷하게 보이므로, 적당한 화질의 손실이 허용되는 low-bit rate 응용에서 사용될 수 있다. 이러한 개선의 이유는 제안한 알고리즘이 기존의 방식에 비해 단순하지만, non-LL 밴드의

계수 값의 특성에 더욱 적합한 구조를 사용하였기 때문이다. 따라서 제안한 알고리즘은 복원된 영상의 화질과 하드웨어 구현 비용 측면에서 모두 장점을 갖는다. 따라서 코드블록 메모리의 크기는 약 두 배 이상으로 줄일 수 있다. 또한 CR 모드에 따라 화질의 왜곡정도를 감안하여 메모리 대역폭을 크게 줄일 수 있다.

VII. 결 론

본 논문에서는 JPEG2000 부호화기 시스템에서 요구하는 메모리 크기 및 대역폭을 감소시키기 위하여 낮은 하드웨어 비용과 짧은 지연 시간을 특징으로 하는 EC 알고리즘과 구조를 제안하였다. 이산 웨이블릿 변환 기반의 JPEG2000 시스템에서 요구되는 메모리 대역폭은 전체 시스템에서 심각한 병목 현상이 되기 때문에, 본 논문은 이 문제를 해결하기 위해 Motion JPEG2000의 구조에 새롭게 제안한 embedded compression 알고리즘을 적용하였다. 영상 압축에서 주로 사용되는 표준적인 영상들에서 얻어진 실험 결과는 제안한 메모리 크기 및 대역폭 감소 기법이 약간의 화질저하를 감수하고, JPEG2000 CODEC의 성능과 구조에 영향을 주지 않으면서 적용될 수 있음을 보여준다. 제안한 알고리즘과 구조를 JPEG2000 시스템의 구조에 적용함으로써 기존의 접근 방식과 비교할 때, Non-LL 서브밴드들의 평균적인 메모리 대역폭의 감소는 CR 모드 설정에 따라 약 53~81 % 정도이다. 여기에 코드블록 메모리 크기는 약 두 배 이상으로 감소하였다. 이러한 결과들은 SHD(Super High Definition) TV와 매우 큰 메모리 대역폭을 요구하는 Digital Cinema와 같은 분야에서 특히 필수적이며, 그 외에 다양한 분야들에 적용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] John L. Hennessy and David A. Patterson; "Computer architecture, A quantitative approach"; Morgan Kaufmann Publishers, 3rd edition, 2003, ISBN 1-55860-596-7.
- [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, Aug. 1998, pp. 545-555.
- [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, Nov. 2000, pp. 923-933
- [4] T.Y. Lee, "A new algorithm and its implementation for frame recompression", IEEE Trans. Cons. Electr., vol. 47, no. 4, Nov. 2001, pp. 847-852.
- [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, Jun. 1998, pp. 529-534.
- [6] C. H. Son, S. M. Park, Y. M. Kim, "An embedded compression algorithm integrated with JPEG2000 system for reduction of off-chip video memory bandwidth", CIT 2008, Jul. 2008, pp.571-576.
- [7] ISO/IEC 15444-1, "Information technology-JPEG2000 image coding system-Part 1: Core coding system", 2000.
- [8] G. Calvagno, C. Ghirardi, G. A. Mian, and R. Rinaldo, "Modeling of subband image data for buffer control," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 7, pp. 402 - 408, Apr. 1997.
- [9] A. Tinku, Ping-Sing Tsai, JPEG2000 Standard for Image Compression: Concepts, Algorithms and VLSI Architectures, Wiley-Interscience, 2004
- [10] D. S. Taubman and M. W. Marcellin, JPEG2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [11] H.Yamauchi, K.Mochizuki, K.Taketa, T. Watanabe, T.Mori, Y.Matsuda, Y.Matsushita, A.Kabayashi, and S.Okada, "A 1440x1080 pixels 30 frames/s motion-jpeg2000 codec for hd movie transmission," in ISSCC digest of technical papers, pp. 326 - 327, Feb. 2004.
- [12] M. Y. Chiu, K. B. Lee, and C. W. Jen, "Optimal data transfer and buffering schemes for JPEG2000 encoder," in Proc. IEEE Workshop Signal Process. Syst., 2003, pp. 177-182.
- [13] Yongje Lee, Chae-Eun Rhee and Hyuk-Jae Lee, "A New Frame Recompression Algorithm Integrated with H.264 Video Compression," ISCAS 2007, pp. 1621 - 1624.

저 자 소 개



손 창 훈(학생회원)
 2005년 전남대학교
 정보통신공학부 학사.
 2007년 전남대학교
 전자공학과 석사.
 2007년~현재 전남대학교 전자
 컴퓨터공학과 박사과정.
 <주관심분야 : VLSI 시스템 설계, 신호처리용
 ASIC 설계, 영상압축, RF 회로 설계 등>



박 성 모(정회원)
 1977년 서울대학교
 전자공학과 학사.
 1979년 한국과학기술원 전기 및
 전자공학과 석사.
 1988년 노스캐롤라이나 주립대학
 전기 및 컴퓨터공학과
 공학박사.
 1979년~1984년 한국전자기술연구소 설계개발부
 선임연구원.
 1988년~1992년 울드도미니언 대학교 전기 및
 컴퓨터공학과 조교수.
 1992년~현재 전남대학교 컴퓨터공학과 교수.
 <주관심분야 : 멀티미디어 프로세서 구조, VLSI
 시스템 설계, 신호처리용 ASIC 설계, 영상압축,
 임베디드 시스템 등>



김 영 민(정회원)
 1976년 서울대학교
 전자공학과 학사.
 1978년 한국과학기술원
 전기 및 전자공학과 석사.
 1986년 오하이오 주립대학교 전기
 공학과 박사.
 1978년~1979년 한국선박해양 연구소
 주임연구원.
 1979년~1982년 국방과학연구소 연구원.
 1988년~1991년 한국전자통신연구원 실장.
 1991년~현재 전남대학교 전자공학과 교수.
 <주관심분야 : 영상압축, VLSI 설계, RF 회로 설
 계, 신경회로망 등>