

JPEG2000의 웨이블릿 변환용 메모리 크기 및 대역폭 감소를 위한 새로운 Embedded Compression 알고리즘

손창훈[†], 송성근^{**}, 김지원^{***}, 박성모^{****}, 김영민^{*****}

요 약

JPEG2000 시스템에서 요구하는 메모리의 크기와 대역폭을 감소시키기 위하여 본 논문은 약간의 화질 손실이 있는 새로운 임베디드 압축(Embedded Compression) 알고리즘을 제안한다. 또한, 메모리 내의 압축된 데이터에 임의 접근성(Random Accessibility)과 짧은 지연 시간(Latency)을 보장하기 위해서 매우 단순하면서도 효율적인 하다마드(Hadamard) 변환 기반의 부호화 방식을 제안한다. JPEG2000 표준안의 알고리즘에 변경을 주지 않고, 제안한 EC 알고리즘을 통해 LL 임시 메모리의 크기와 코드블록 메모리의 크기를 약 2 배로 줄이며, 약 52~73%의 메모리 대역폭을 감소시킬 수 있다.

A New Embedded Compression Algorithm for Memory Size and Bandwidth Reduction in Wavelet Transform Applicable to JPEG2000

Chang-Hoon Son[†], Sung-Gun Song^{**}, Ji-Won Kim^{***},
Seong-Mo Park^{****}, Young-Min Kim^{*****}

ABSTRACT

To alleviate the size and bandwidth requirement in JPEG2000 system, a new Embedded Compression(EC) algorithm with minor image quality drop is proposed. For both random accessibility and low latency, very simple and efficient hadamard transform based compression algorithm is devised. We reduced LL intermediate memory and code-block memory to about half size and achieved significant memory bandwidth reductions(about 52~73%) through proposed multi-mode algorithms, without requiring any modification in JPEG2000 standard algorithm.

Key words: Memory Size and Bandwidth Reduction(메모리 크기 및 대역폭 감소), Embedded Compression Algorithm(내장 압축 알고리즘), Multi-mode(다중 모드), JPEG2000(제이펙 2000), Discrete Wavelet Transform(DWT)(이산 웨이블릿 변환)

* 교신저자(Corresponding Author): 김영민, 주소: 광주광역시 북구 용봉로 77 전남대학교(500-757), 전화: 062) 530-0812, FAX: 062)530-0813, E-mail: kym@chonnam.ac.kr
접수일: 2010년 5월 25일, 수정일: 2010년 7월 27일
완료일: 2010년 11월 16일

[†] 준회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정
(E-mail: chson03@ejnu.net)

^{**} 준회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정

(E-mail: ssgun0@gmail.com)

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

^{****} 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과 정교수
(E-mail: smpark@chonnam.ac.kr)

^{*****} 정회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학과 정교수

* 이 논문은 2006년도 전남대학교 연구년 교수연구비 지원에 의하여 연구되었음.

1. 서 론

영상 및 비디오 처리를 위한 하드웨어 구조는 일반적으로 입력 영상들을 저장하기 위해 외부 또는 내부에 공유 가능한 프레임(frame) 메모리를 사용한다. 비디오 시스템에서 요구하는 연산 능력이 빠르게 증가하고 있기 때문에, 외부에 위치한 프레임 메모리에 의한 전력 소모 및 요구되는 메모리 대역폭은 시스템의 전반적인 장애요소가 되고 있다[1]. 따라서 과도하게 요구되는 프레임 메모리 크기와 대역폭을 줄일 수 있는 임베디드 압축으로 불리는 기술이 광범위하게 적용되고 있다.

선행 논문 [2,3]에서는 MPEG 동영상의 부호화/복호화 시스템에서 외부 메모리의 대역폭을 효율적으로 감소시키는 EC 알고리즘과 구조들을 제안하였다. 또한, 논문 [4,5]의 저자는 MPEG-2 video 디코더 시스템에 적용한 50%의 고정 압축률을 갖는 프레임-재복원(frame-recompression)이라는 알고리즘과 구조를 제안하였다. [6,7]에서는 H.264의 프레임 메모리를 줄이기 위해 하이브리드 및 멀티모드의 EC 알고리즘 및 구조를 제안하였다. 우리는 논문 [8]을 통해, JPEG2000에 적용하기 위한 외부 DRAM의 대역폭을 감소시키기 위한 방안으로 무손실의 고정길이 부호화(fixed length coding : FLC)와 골롬 라이스(Golomb Rice : GR) 부호화 방식의 EC 알고리즘을 제안하였다. [8]에서는 JPEG2000 시스템에 무손실의 가변길이부호화(variable length coding : VLC) 압축 방식을 사용하여 메모리의 대역폭을 줄일 수 있었지만, 손실 없이 부호화하였기 때문에 메모리의 크기까지는 줄일 수 없었다. 우리는 또한 논문 [1]에서 JPEG2000의 코드블록 메모리의 크기와 대역폭을 효율적으로 줄이기 위해 멀티 모드(multi-mode)의 압축률(compression ratio : CR)을 갖는 EC 알고리즘을 제안하였다. 본 논문에서 다중 레벨의 이산 웨이블릿 변환 과정에서 발생하는 임시적인 저주파 웨이블릿 계수들을 저장하는 임시 메모리의 대역폭과 크기를 효율적으로 줄일 수 있는 새로운 EC 알고리즘을 제안한다. 기존의 논문 [1,8]에서 사용했던 매우 단순한 무손실의 FLC 알고리즘의 압축 성능을 개선하기 위해 하다마드 변환 기반의 알고리즘을 사용한다.

2. 제안한 EC 알고리즘의 이론적 배경

본 논문은 JPEG2000 표준안에서 9/7 Daubechies 필터의 이차원 이산 웨이블릿 변환을 사용한다. 2차원 이산 웨이블릿 변환은 일반적으로 1차원 이산 웨이블릿 변환들로 분리 가능한(separable) 접근을 사용하여 계산된다. 즉, 각 행에 대하여 행방향으로의 1차원 웨이블릿 변환을 수행하고, 행방향의 변환된 결과들을 가지고서 열방향으로의 1차원 웨이블릿 변환을 수행함으로써 계산된다. 첫 번째 분해 레벨에서 입력 영상은 행방향으로의 필터링에 의해 2개의 부밴드 H(고주파), L(저주파)로 분할되며, 이 2개의 부밴드들은 다시 열방향으로의 필터링에 의해 4개의 부밴드 HH(대각선 주파수 성분), HL(수평 주파수 성분), LH(수직 주파수 성분), LL(저주파 성분)로 분할된다. K 레벨의 이산 웨이블릿 변환은 각 레벨에서 발생한 LL 서브 밴드들을 반복적으로 다음 단계에 입력하여 총 K 번의 웨이블릿 변환을 수행한다. k 번째 웨이블릿 변환 단계에 입력은 LL_{k-1} 로 나타내어지고, 이 단계에서 만들어진 서브밴드들은 LL_k, LH_k, HL_k, HH_k 로 표현된다. $k = 1, 2, 3, \dots, K$ 일 때, 마지막 LL_k 를 제외한 모든 LL_k 는 임시적인(Intermediate) 서브밴드이며, 영상에서 시각적으로 중요한 정보는 LL 서브밴드에 집중된다[1,9]. JPEG2000 표준안에 따라 이산 웨이블릿 변환에서 생성된 웨이블릿 계수는 양자화 과정을 거친다. 본 논문에서는 단일 스칼라 데드 존 양자화기(Uniform Scalar Dead Zone Quantizer)를 사용하여 웨이블릿 계수의 양자화 한다.

위에서 설명한 LL 서브밴드의 에너지의 집중 현상으로 인해, LL_k 의 다이내믹 레인지(dynamic range)는 이전 레벨에 비해 약 2 배씩 증가하게 된다. 또한 같은 이유로 LH_k, HL_k, HH_k 의 다이내믹 레인지도 증가하게 된다. 여기에 양자화 과정을 거치게 되면, 마지막 레벨로 갈수록 더 작은 양자화 스텝 크기를 사용하기 때문에 상대적으로 값이 크게 되는 경향이 뚜렷하게 나타난다[1]. 따라서 [1]에서 제안했던 부호화 알고리즘은 레벨별로 다른 고정 압축률을 사용하는 멀티-모드 CR 방식을 이용하였다.

본 논문에서 사용하는 블록 기반의 DWT와 비트-평면 부호화기 간의 데이터 전송 구조는 그림 1과 같다. JPEG2000 VLSI 구현에서는 논문 [1]에서와 같이 세 개의 비트-평면 부호화기와 하나의 DWT

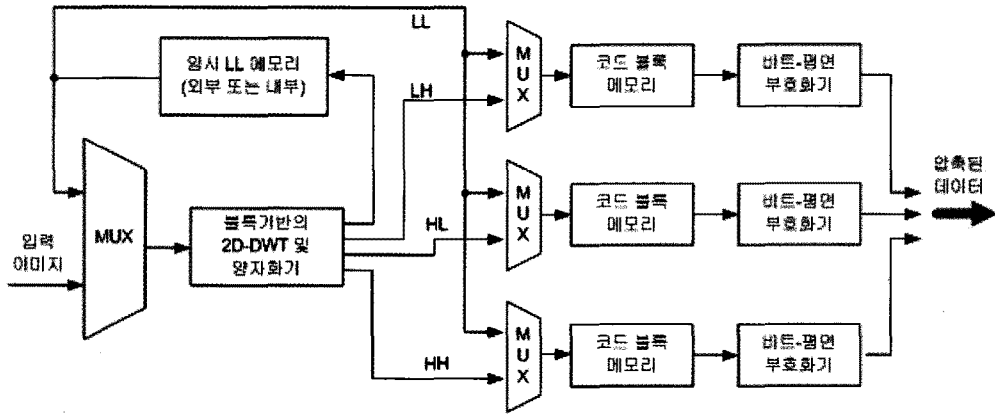


그림 1. 블록 기반의 DWT와 비트-평면 부호화기와의 데이터 전송 및 메모리 구조

모듈 쌍을 사용하는 것이 효율적이다. 세 개의 비트-평면 부호화 모듈은 DWT로부터 LH, HL 그리고 HH 서브밴드들을 코드블록에 저장한 후 코딩을 수행한다. LL 서브밴드는 다음 레벨의 DWT 분해를 위해 임시적인 LL 메모리에 저장되고 읽혀지며, 마지막 레벨의 LL 서브밴드의 경우에는 비트-평면 부호화기에 보내져 코딩된다.

[8]에 따르면, 양자화 과정을 거친 웨이블릿 계수들을 EC를 통해 압축함으로써 양자화된 웨이블릿 계수들을 저장하는 코드블록 메모리의 크기와 대역폭을 효율적으로 줄일 수 있다. [8]을 통해, 비 LL 서브밴드들의 경우에는 웨이블릿 계수가 라플라시안 분포 특성을 보이며 LL 서브밴드의 웨이블릿 계수는 다른 서브밴드에 비해 훨씬 평탄한 분포를 보이는 것을 알 수 있다. 이러한 관찰을 통해 본 논문은 각 레벨에서 발생한 LL 서브밴드들을 하나의 그룹으로 정하고, LH, HL, HH 서브밴드를 또 다른 그룹으로 간주하여 각각 다른 부호화 방식을 사용하여 압축하였다. 본 논문에서는 LL 그룹에 하다마드 변환 기반의 고정길이 부호화를 사용하여 50%의 고정 압축률로 압축하였다. 라플라시안 분포 특성을 갖는 비 LL 서브밴드의 웨이블릿 계수 값들은 LL 서브밴드보다 높은 압축률을 기대할 수 있기 때문에, [1]에서 제안한 여러 종류의 압축률을 갖는 멀티-모드 손실 부호화기를 사용하였다.

3. 제안한 EC 알고리즘

우리는 [1]에서 웨이블릿 변환 시 메모리 대역폭

및 크기 감소를 위해 비 LL 밴드들에는 멀티 모드 손실 압축 EC를 사용하고, LL 밴드들의 계수들은 무손실의 EC를 적용하였다. 그러나 무손실 압축 방식의 하드웨어 구조는 단순하지만, DWT 레벨이 증가할수록 압축률은 떨어지며 동시에 2 배 이하의 낮은 압축률을 보였다. 따라서 본 논문에서는 LL 밴드용 EC 압축률 성능 개선을 위해 기존 논문 [1,8]에서 사용한 무손실 압축 방식 대신에, 거의 무손실에 가까운 손실 압축 방식을 사용한다. 이에 따라 메모리의 크기 및 대역폭을 2 배로 줄일 수 있는 하다마드 변환 기반의 새로운 임베디드 압축 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 복원 시 화질의 열화가 심하지 않고 하드웨어 구현의 비용이 크지 않도록 하는 것을 목표로 한다.

3.1 제안한 알고리즘의 개요

본 논문에서 새롭게 제안한 LL 서브밴드 EC 알고리즘은 양자화 된 LL 웨이블릿 계수들의 1x8 배열에 수행된다. 구현의 단순함을 위해 [10]에서 분석된 바와 같이, DWT 과정에서 모든 서브밴드 계수들을 충분히 표현하기 위해 16-비트를 사용하였다. 제안한 부호화 과정이 끝나면, 16 바이트의 계수들은 50%의 CR인 8 바이트(64-비트 세그먼트)로 줄어든다. 그림 2는 LL 서브밴드 계수들에 적용하기 위한 제안한 EC 알고리즘의 흐름도이며, 1x8의 LL 밴드의 계수를 압축하는 과정을 나타내고 있다. LL 밴드의 웨이블릿 계수로 이루어진 1x8의 배열은 1차원 하다마드 변환을 통해 DC와 AC의 주파수 성분으로 분리된다. 계수들의 상관성을 줄이기 위해, 하드웨어 구조

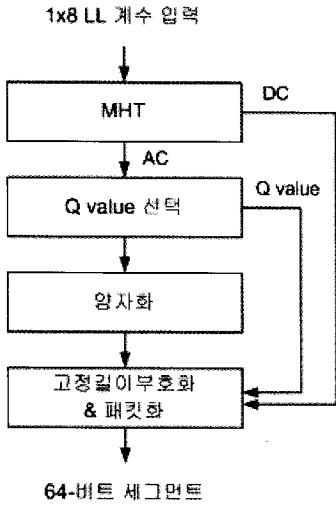


그림 2. 제안한 EC 알고리즘의 전체 흐름도

Q_value (3 bits)	DC (12 bits)	h1 (7 bits)	h2 (7 bits)	h3 (7 bits)	h4 (7 bits)	h5 (7 bits)	h6 (7 bits)	h7 (7 bits)
---------------------	-----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------	----------------

그림 3. 압축된 세그먼트의 형식

가 단순하면서 빠른 성능을 갖는 Modified Hadamard Transform(MHT)를 사용하였다. 첫 번째 주파수 성분인 DC는 가장 중요한 성분이기 때문에 양자화 과정을 거치지 않는다. 나머지 7 개의 AC 성분들은 할당된 비트 내의 값을 넘지 않도록 양자화 되어야 한다. 8 종류의 양자화 값인 Q value를 통해 AC 성분들을 병렬적으로 양자화 한다. 양자화 된

AC 성분들은 고정 비트수에 의해 고정길이 부호화로 코딩된다. Q value는 DC 및 압축된 AC 성분들과 함께 64-비트의 압축된 세그먼트로 패킷화 된다. 최종적으로 압축된 세그먼트는 그림 3과 같은 형식으로 표현된다. DC는 소수점을 버리고 정수부 12-비트만 사용하고 AC 계수들은 고주파 성분들은 7-비트를 할당한다.

3.2 MHT

LL 밴드의 웨이블릿 계수간의 상관성을 줄이기 위한 방법으로, 본 논문에서는 [4,5]에서 프레임 매모리를 압축하기 위해 사용한 MHT를 적용하였다. 그림 4는 8-포인트 하다마드 변환의 변형된 형태로써 덧셈과 shift 연산만으로 이루어져 있어, DCT에 비해 하드웨어 구현이 용이하다. 그림의 dashed line은 부호 반전(sign inverting)을 나타내고 SR은 1-비트 오른쪽 shift 연산을 나타낸다.

3.3 양자화와 Q_value 선택

MHT 결과로 나온 AC 계수를 효과적으로 양자화 하기 위해서는 계수들의 특성을 파악하여 최적의 양자화를 구현해야 한다. MHT를 거친 8 개의 계수 중 원 데이터의 가장 중요한 정보가 들어 있는 DC는 양자화를 거치지 않고 가장 많은 비트수 12 비트를 할당 받는다. 양자화 과정은 DC를 제외한 나머지 7

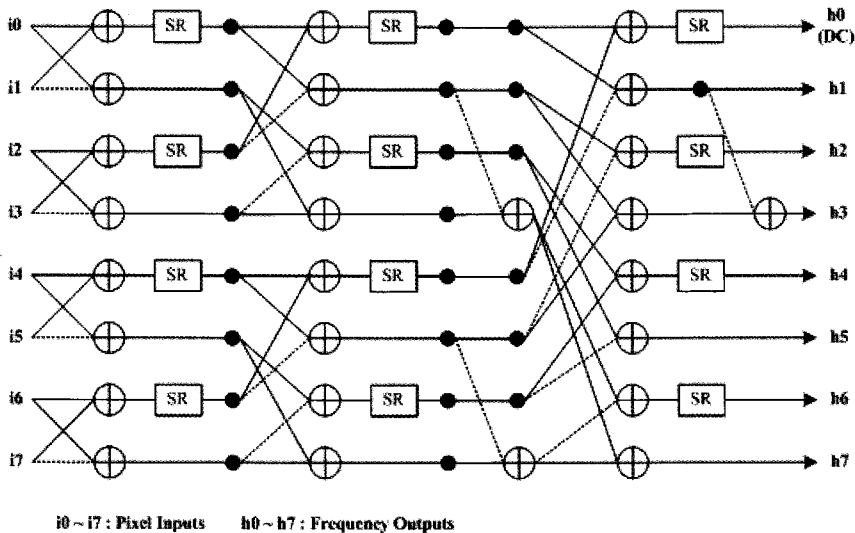


그림 4. 변형된 하다마드 변환

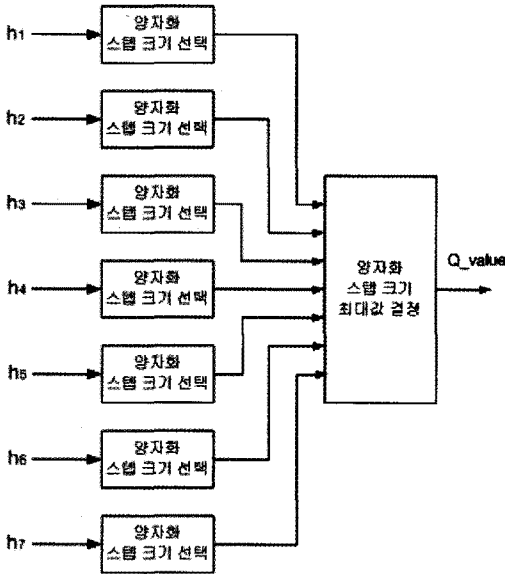


그림 5. Q_value 선택에 대한 블록도

개의 계수에 대해서 계수가 양수이면 양자화 스텝 사이즈인 Q_value 만큼 쉬프트 라이트(Shift Right) 한다. 만약, 계수가 음수이면 부호를 양수로 처리하여 쉬프트 라이트하고, 다시 부호를 원래 상태로 되돌린다. Q_value를 결정하기 위해서는 그림 5와 같이 7 개의 AC 계수들은 할당된 비트 수를 초과 하지 않도록 각 계수별로 양자화 스텝 사이즈를 병렬적으로 계산한다. 7 개의 계수에서 나온 양자화 스텝 사이즈 후보들 중 가장 큰 값을 최종적인 Q_value로 선택한다.

3.4 고정길이 부호화와 패킷화

양자화 과정을 거친 AC 성분들은 고정길이 부호화로 코딩된다. 기존의 프레임 압축에 대한 논문 [4, 5,11]에서는 엔트로피 부호화를 위해 GR 코딩을 사용하였다. 상대적으로 빠른 처리 속도를 갖는 GR 코딩은 하드웨어 복잡도가 낮으면서 허프만 코딩에 가

까운 코딩 효율을 갖지만 가변 길이의 코드들을 생성하기 때문에 패킷화 과정이 복잡하다. 또한 영상의 에지부분과 같이 값이 큰 경우에는 매우 긴 코드길이를 갖게 된다. 이는 정해진 비트 수로 압축하는 과정에서 매우 크게 양자화 되기 때문에 화질 열화가 심하게 발생한다. 우리는 [1]에서 웨이블릿의 고주파 계수를 압축할 경우에는 손실을 갖는 FLC가 GR 방식에 비해 구조가 단순하면서 오히려 화질의 왜곡이 덜하다는 것을 실험을 통해 보였다. 압축된 계수를 패킷화 하는 과정은 7개의 계수들이 동일한 고정된 비트로 할당되었기 때문에 쉽게 concatenate된 형태로 이루어진다. 3-비트 Q value와 DC를 앞에 붙여 하나의 압축된 64-비트의 세그먼트를 완성한다. 본 논문에서 제안하는 방식은 양자화 된 값에 가변길이 부호화를 쓰지 않기 때문에 매우 간단한 하드웨어 로직으로 구현될 수 있다.

3.5 디코딩(Decoding) 과정

압축된 스트림을 디코딩하기 위한 과정은 그림 6과 같다. 64-비트 스트림으로부터 Q value 및 DC, 7개의 AC 계수들의 압축된 비트가 역패킷화 된다. 추출된 7개의 AC 계수 비트는 Q value를 이용하여 역양자화 된다. 본 논문은 양자화 오차로 발생하는 정보 손실을 보상하기 위해서 센터로이드(Centeroid) 방법을 이용한다. 이는 계수가 음수이면 양자화 스텝 사이즈의 절반만큼 빼고 양수이면 더하는 과정으로 구현된다. 이러한 과정을 거치면 어느 정도 오차에 대한 보상이 이루어질 수 있다. 역양자화 된 AC 성분들과 DC 성분은 역 MHT에 의해 역변환되어 웨이블릿 계수로 복원되는 과정을 거친다.

4. 제안한 EC 알고리즘과 JPEG2000 시스템의 통합

본 논문에서 제안한 새로운 EC 알고리즘은 JPEG2000

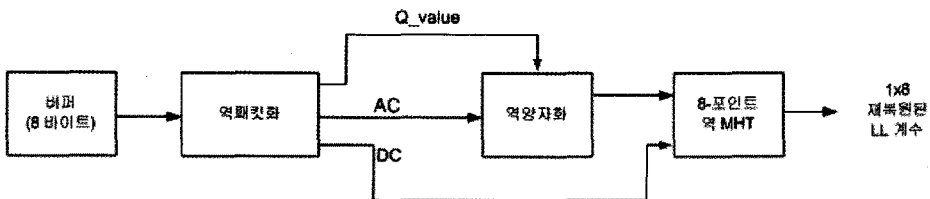


그림 6. 압축된 스트림을 디코딩 하는 블록도

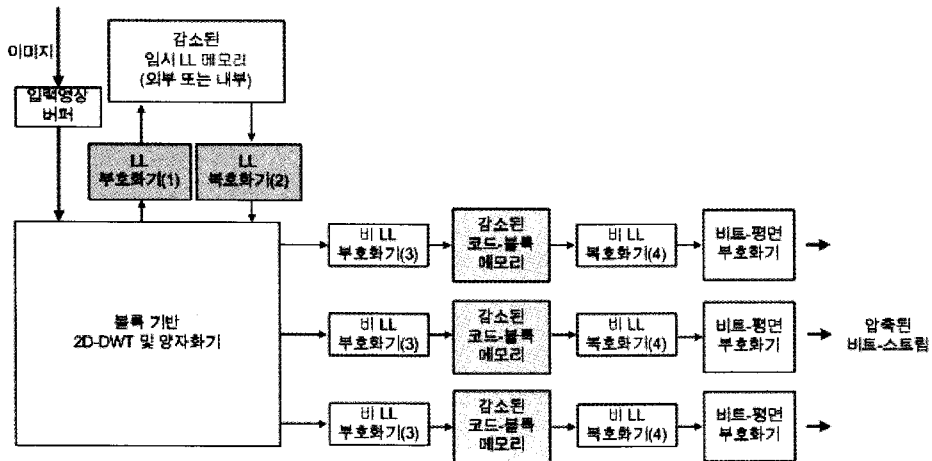


그림 7. 제안한 EC 알고리즘이 통합된 JPEG2000 시스템

의 버스 인터페이스의 수정 없이 시스템에 쉽게 통합될 수 있다. 이는 EC 알고리즘이 메모리 접근에만 관련되는 작업이기 때문이며, 압축 지연 시간과 하드웨어 복잡도가 낮은 구조이기 때문이다. 그림 7은 본 논문의 EC 알고리즘이 일반적인 JPEG2000 부호화 시스템에 통합된 블록 다이어그램을 나타낸다. 그림 7에서 (1)과 (2)에 해당하는 한 쌍의 부호화기와 복호화기는 본 논문에서 제안한 새로운 LL 서브밴드용 EC 알고리즘을 수행한다. 복호화 과정을 통해서, 압축된 LL 웨이블릿 계수를 복원하여 다음 레벨의 DWT를 위한 입력을 만들어 낸다. 그림 7에서 (3)과 (4)는 [1]에서 제안했던 부호화기와 복호화기에 해당한다. 이들은 비트-평면 부호화를 수행하기 위한 입력을 만들어 내기 위해, 비 LL 서브밴드의 웨이블릿 계수들을 압축하고 압축된 데이터를 다시 복호화 하는 과정을 수행한다.

5. 실험 결과

본 논문에서는 JPEG2000 시스템에 적용 가능한 새로운 EC 알고리즘을 매텔랩으로 구현하여 실험하였다. 제안한 LL 밴드용 알고리즘의 성능 평가를 위해 정지 영상 압축에서 널리 사용되는 512 × 512 화소 크기의 Lena, Tiffany, Peppers, Goldhill 그리고 Airplane의 흑백 영상들을 이용하였다. LL 서브밴드들에는 하다마드 변환과 고정 길이 부호화 기반의 본 논문에서 제안한 새로운 알고리즘을 적용하였으며, 비 LL 서브밴드들에는 [1]의 손실 고정길이 부호

화기를 사용하였다. 9/7 이산 웨이블릿 변환을 수행하여 입력 영상을 3 단계로 분해하는 것을 실험조건으로 하였으며, 웨이블릿 필터 계수 값으로 $\alpha = -1.586134342$, $\beta = -0.05298011854$, $\gamma = 0.8829110762$, $\delta = 0.4435068522$, $K(\text{scaling factor}) = 1.149604398$ 을 사용하였다. Tier-1 과정에서 사용하는 코드블록의 크기는 32 × 32로 가정하였으며 단일 스칼라 데드 존 양자화기의 실험 조건으로 2 크기의 데드 존(dead zone)을 사용하였다. LL 서브밴드의 웨이블릿 계수는 영상의 질을 결정하는 매우 중요한 성분이기 때문에, 본 논문의 실험에서는 양자화 스텝사이즈를 1로 설정하였다. [1,8]에서와 같이 구현의 단순함을 위해, 본 논문은 웨이블릿 계수들을 16 비트로 표현하는 것이 충분하다고 가정하였다[10].

본 논문에서 수행한 실험은 크게 두 가지이다. 실험 1은 본 논문에서 새롭게 제안한 LL 밴드용 알고리즘의 성능 평가를 위해 EC 알고리즘을 각 레벨에서 발생한 LL 밴드들에 적용하여 복원한 후, 복원 영상의 화질을 평가하는 실험이다. 실험 2에서는 새롭게 제안한 LL 알고리즘 뿐 아니라, 논문 [1]에서 제안한 비 LL 밴드용 알고리즘까지 적용하여 성능을 평가하였다. 표 1은 LL 서브밴드의 임시 메모리 크기 및 대역폭을 2배로 줄이기 위해 제안한 새로운 알고리즘에 대한 실험 1의 결과이다. [4,5]에서 사용했던 GR 방식의 알고리즘과 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 50 %의 고정 압축률에서 화질을 비교하였다. 여기에 EC를 사용하지 않은 original JPEG2000 알고리즘을 통해 재복원한 영상

표 1. 제안한 LL 밴드용 알고리즘과 GR (4,5) 방식의 성능 비교 (CR=2)

Image	Non EC	PSNR/Quality Drop	
		GR-based EC [4,5]	proposed EC
Lena	38.59	35.18/3.41	37.96/0.63
Tiffany	39.44	37.85/1.59	38.95/0.49
Peppers	37.03	34.35/2.68	36.54/0.49
Goldhill	37.21	35.38/1.83	36.86/0.35
Airplane	38.46	35.20/3.36	37.74/0.72
Average PSNR/Quality Drop	38.15	35.59/2.56	37.61/0.54

들의 PSNR을 비교의 기준으로 삼았다. GR 기반의 알고리즘은 k 파라미터와 양자화 방식을 [4, 5]와 같이 구현하여 16-비트의 웨이블릿 계수에 적용하였다. 표 1의 결과에 따르면, 양자화 된 웨이블릿 계수를 압축할 경우 본 논문에서 제안한 방식이 GR 방식의 알고리즘보다 화질 열화가 적은 것을 확인할 수 있다. LL 서브밴드들의 계수에 EC를 적용하지 않은 경우와 비교할 때, 제안한 알고리즘의 평균적인 PSNR 감소는 GR 알고리즘이 2.56 dB인 것에 비해 단지 0.54 dB이다. 따라서 표 1의 결과는 새로운 알고리즘을 LL 밴드에 적용하여 거의 무손실에 가깝게 LL 서브밴드들의 임시 메모리 크기 및 대역폭을 2 배로 줄일 수 있음을 보여준다.

표 2는 [1]에서 제안했던 멀티 모드의 비 LL 밴드용 EC 알고리즘과 본 논문에서 새롭게 제안한 LL 밴드용 알고리즘을 함께 적용하여 CR 모드에 따른 성능을 분석한 실험 2의 결과이다. 표 3은 실험 2에서, CR 모드별로 웨이블릿 변환 시 요구되는 메모리

대역폭의 감소량을 나타낸다. 표 3의 (A)는 웨이블릿 변환 시 EC를 적용하지 않은 경우, 각 레벨의 모든 서브밴드들(LL_k, LH_k, HL_k과 HH_k)에서 발생하는 압축되지 않은 웨이블릿 계수들의 총합계를 바이트 단위로 나타낸다. 표 3의 (B)는 전체 서브 밴드에 EC를 적용하여 압축되어진 웨이블릿 계수들의 총합계를 나타낸다. 표 2와 표 3의 결과를 통해, 가장 낮은 압축률을 갖는 CR mode 1에서는 화질의 큰 열화 없이 약 53 %의 메모리 대역폭이 감소하였다. 이 모드에서 평균적인 영상의 화질 저하는 약 0.99 dB이다. 약 65 %와 69 %의 메모리 접근 빈도가 CR mode 2와 3에서 감소하였다. 또한 CR mode 4에서는 평균적으로 약 73 %의 메모리 대역폭을 절약할 수 있었다. 그러나 CR mode 4에서는 다른 모드에 비해 화질 저하가 뚜렷하게 보이므로, 적당한 화질의 손실이 허용되는 low-bit rate 응용에 적합하다. 결과적으로 LL 밴드들에 무손실 압축 기법을 사용한 기존 논문 [1, 8]과 달리, 본 논문에서 제안한 하다마드 변환 기반의

표 2. 제안한 LL 밴드용 새로운 알고리즘과 (1)의 방식을 함께 적용한 실험 결과

PSNR/Quality Drop					
Images	Non EC	Proposed LL band EC + Non-LL band EC[1]			
		CR mode 1 (lev1, lev2, lev3 = 2.1, 2.1, 2.1)	CR mode 2 (lev1, lev2, lev3 = 4.3, 2.1, 2.1)	CR mode 3 (lev1, lev2, lev3 = 4.3, 4.3, 2.1)	CR mode 4 (lev1, lev2, lev3 = 6.4, 4.3, 2.1)
Lena	38.59	37.27/1.32	37.25/1.34	36.51/2.08	36.11/2.48
Tiffany	39.44	38.80/0.64	38.44/1	37.96/1.48	36.41/3.03
Peppers	37.03	36.21/0.82	36.13/0.9	35.79/1.24	35.16/1.87
Goldhill	37.21	36.54/0.67	36.46/0.75	35.64/1.57	34.99/2.22
Airplane	38.46	36.96/1.5	36.66/1.8	35.53/2.93	34.40/4.16
Average PSNR/ Quality Drop	38.15	37.16/0.99	36.99/1.16	36.29/1.86	35.41/2.74

표 3. 제안한 LL 밴드용 알고리즘과 (1)의 방식을 함께 적용한 CR 모드 별 메모리 대역폭 감소 결과

	Total byte of Original Coefficients(A)	Total byte of Compressed Coefficients(B)	Memory Bandwidth Reduction (%) (A-B)/A ×100
CR mode 1 (2.1, 2.1, 2.1)	688,128 = $(256 \times 256 + 128 \times 128 + 64 \times 64)$ $\times 4$ (4 band) $\times 2$ (2 byte per coefficient)	327,936	52.34
CR mode 2 (4.3, 2.1, 2.1)		235,776	65.74
CR mode 3 (4.3, 4.3, 2.1)		212,736	69.08
CR mode 4 (6.4, 4.3, 2.1)		182,016	73.55

새로운 EC 알고리즘은 모든 CR 모드에서 LL 임시 메모리의 크기를 절반으로 줄일 수 있었다. 또한 논문 [1]에서와 같이 코드블록 메모리의 크기는 약 절반 이상을 감소시킬 수 있었다.

6. 결 론

본 논문에서는 JPEG2000의 웨이블릿 변환에서 요구되는 LL 밴드용 임시 메모리의 크기 및 대역폭을 감소시키기 위해 새로운 EC 알고리즘을 제안하였다. 본 논문의 실험 결과는 제안한 알고리즘이 약간의 화질 열화를 감수하고 JPEG2000 구조에 쉽게 적용될 수 있음을 보여준다. 제안한 EC 알고리즘을 적용하여 얻어지는 평균적인 메모리 대역폭의 감소는 압축률 모드 설정에 따라 약 52~73 %이다. 또한 임시 LL 밴드들을 저장하기 위해 필요한 비교적 대용량의 메모리의 크기를 절반으로 줄일 수 있었으며, 코드블록 메모리 크기는 약 2 배 이상으로 감소하였다. 본 논문에서 제안한 EC 알고리즘은 매우 큰 메모리 대역폭을 요구하는 디지털 영화(Digital Cinema)와 UHD(Ultra High Definition) TV와 같은 영상 압축 분야들에 적용될 수 있다.

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. 8.

[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] A. Tinku, and Ping-Sing Tsai, *JPEG2000 Standard for Image Compression: Concepts, Algorithms and VLSI Architectures*, Wiley-Interscience, 2004.
- [10] D. S. Taubman and M. W. Marcellin, *JPEG 2000: Image Compression Fundamentals, Standards and Practice*, Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [11] T. L. B. Yng, B.G. Lee, and H. Yoo, "A low complexity and lossless frame memory compression for display devices," *IEEE Trans. Cons. Electr.*, Vol.54, No.3, pp. 1453-1458, 2008.



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



송 성 근

2000년 2월~2004년 2월 호남대학교 정보통신공학부 공학사
 2005년 3월~2006년 2월 호남대학교 정보통신공학과 공학석사

2007년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학과 박사과정
 관심분야 : VLSI 시스템 설계, 디지털 RF-IC 설계, 비동기 회로 설계 등



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



박 성 모

1977년 서울대학교 전자공학과 학사
 1979년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1997년 노스캐롤라이나 주립대학 전기 및 컴퓨터공학과 공학박사

1979년~1984년 한국전자기술연구소 설계개발부 선임연구원
 1988년~1992년 올드도미니언대학교 전기 및 컴퓨터공학과 조교수
 1992년~현재 전남대학교 컴퓨터공학과 교수
 관심분야 : 멀티미디어 프로세서 구조, VLSI 시스템 설계, 신호처리용 ASIC 설계, 영상압축, 임베디드 시스템 등



김 영 민

1976년 서울대학교 전자공학과 학사
 1978년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1986년 오하이오 주립대학교 전기공학과 박사

1978년~1979년 한국선박해양연구소 주임연구원
 1979년~1982년 국방과학연구소 연구원
 1988년~1991년 한국전자통신연구원 실장
 1991년~현재 전남대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 영상압축, VLSI 설계, RF 회로 설계, 신경회로망 등