

논문 2006-43CI-3-6

JPEG2000 영상 압축을 위한 효율적인 비율-왜곡 최적화 알고리즘 구현

(Implementation of an Efficient Rate-Distortion Optimization Algorithm
for JPEG2000)

문형진*, 정갑천**, 박성모*

(Hyoung Jin Moon, Gab Cheon Jung, and Seong Mo Park)

요약

본 논문은 JPEG2000의 비율 제어과정의 성능을 향상시키기 위해 효율적인 비율-왜곡 최적화 알고리즘 구현에 대해 기술한다. 기존의 비율-왜곡 최적화 알고리즘에서는 전체 코드 블록들의 최대 비율-왜곡 기울기와 최소 비율-왜곡 기울기를 참조하여 그 평균을 비율 제한상수로 설정하는 반면 제안된 알고리즘 구현에서는 절단점 인접의 비율-왜곡 기울기를 참조하여 비율 제한상수를 설정하고, 이전의 비율 할당과정에서 배제된 코딩 패스에 대해서만 비율 할당과정을 수행함으로써 비율-왜곡 최적화를 위한 연산수를 감소하도록 하였다. 비율-왜곡 최적화 알고리즘은 C 언어를 통해 구현되었으며, Altera Excalibur(EPXA4) 개발 보드를 통해 실험되었다.

Abstract

This paper describes the implementation of an efficient Rate-Distortion Optimization algorithm to speed up rate control in JPEG2000. While the conventional algorithm determines the rate constant by averaging maximum R-D slope and minimum R-D slope for entire image, the proposed algorithm determines it by using R-D slopes of coding passes located near truncation point. Moreover, the rate allocation in proposed algorithm is conducted about only coding passes excluded from the previous rate allocation. As a result, it can reduce the number of operations required for rate-distortion optimization. The proposed algorithm was implemented in C programming language and was executed on the Altera Excalibur(EPXA4) development board.

Keywords : JPEG2000, Rate Control, Rate Allocation

I. 서론

네트워크 기술의 발달과 더불어 멀티미디어의 폭넓은 사용으로 채널 대역폭의 효과적인 사용은 이미지/비

디오 데이터 전송에서 큰 쟁점이 되고 있다. 특히 비율 제어과정은 채널 대역폭 뿐 아니라 신호 지연과 한정된 메모리 자원 사용등과 맞물려 이미지/비디오 코딩 과정에서 중요한 역할을 담당한다. 비율 제어는 단순히 영상의 크기를 줄이는 문제를 넘어서 낮은 비트율에서도 최상의 영상 화질을 보장할 수 있는 방법을 제시한다. 따라서 동영상에서 뿐 아니라 정지 영상에서도 그 중요성이 점차 대두되고 있다.

JPEG2000은 기존 JPEG(Joint Photographic Expert Groups)의 단점을 극복하며, 새로운 기능을 위해 제안된 ISO/ITU-T의 정지영상 표준으로 웨이블릿 변환을 기반으로 영상 부호화를 수행한다^[1,2]. JPEG2000의 부호

* 학생회원, 전남대학교 컴퓨터공학과
(Department of Computer Engineering, Chonnam National University)

** 정회원, 전남대학교 전자공학과
(Department of Electronics Engineering, Chonnam National University)

※ 본 논문은 산업자원부 지방기술혁신사업(RTI04-03-03) 지원으로 수행되었음
접수일자: 2005년10월31일, 수정완료일: 2006년5월9일

화 과정은 그림1과 같으며, 입력 영상의 색상정보를 RGB 성분에서 YCbCr 성분으로 변환시키는 색상 변환 과정, 영상 정보를 서로 다른 해상도 레벨로 분리시키는 이산 웨이블릿 변환 과정(DWT: Discrete Wavelet Transform), 양자화 과정, 그리고 양자화된 계수값들에 대해 코드 블록 단위로 컨텍스트 기반의 산술 부호화(T1: Tier-1) 와 지정된 비율에 따라 비율 제어를 수행한 후 패킷타이징을 통해 최종 코드 스트림 생성하는(T2: Tier-2) 임베디드 블록 부호화 과정(EBCOT : Embedded Block Coding with Optimized Truncation) 으로 구성된다^[2].

JPEG2000의 부호화 과정은 필터뱅크로 구현되는 DWT 및 비트-평면 별로 부호화하는 EBCOT 연산으로 인해 기존의 JPEG보다 복잡하며, 상대적으로 큰 계산량을 요구한다^[2]. 컬러(RGB) 영상에 대한 손실 압축 부호화 과정별 연산량을 살펴보면 DWT 과정이 전체 수행시간의 약 24%(리프팅 DWT 사용), EBCOT연산의 T1 부호화 과정은 약 44%, T2 부호화 과정은 약 13%을 차지한다^[3].

이처럼 EBCOT는 전체 부호화 과정 중 가장 많은 연산량을 가진다. 따라서 EBCOT의 수행 속도를 향상시키기 위한 몇 가지 비율 제어 알고리즘들이 제안되었다^[4,5,6,7]. [4,5]는 비율-왜곡 기율기를 T1 부호화 과정에서 미리 예측하여 비율 제어과정과 T1 부호화 과정을 병렬로 수행한다. 이것은 최종 코드 스트림에서 제외될 데이터들에 대한 부호화를 수행하지 않아, EBCOT 과정에서 사용되는 메모리를 감소시키고, 수행속도를 향상시킨다. [6,7]은 T1 부호화 후 비율 제어과정을 수행하며, 비율 제어에서 사용되는 비율-왜곡 기율기의 크기를 줄여서 메모리 사용을 줄이는 방법을 제안한다.

구현된 JPEG2000 부호화 시스템들을 살펴보면 일반적으로 연산량이 많은 DWT나 EBCOT의 T1 부호화는 하드웨어로 구현되며, 상대적으로 연산량이 적은 T2 부

호화는 소프트웨어로 구현된다^[8,9]. 이런 구조의 시스템에서는 T1 부호화가 완료된 후 비율 제어과정을 수행하며, 위에서 설명한 방법들은 기존의 비율 제한상수 설정 방법과 비율 할당방법을 사용한다. 이 경우 비율 제어 과정의 수행시간은 하드웨어로 구현된 T1 부호화 과정의 수행시간에 비해 상대적으로 길어져 전체 시스템의 성능을 저하시키는 원인이 된다.

따라서 본 논문에서는 T1의 부호화가 완료된 후 수행되는 T2의 비율 제어 과정의 수행속도를 효과적으로 향상시킬 수 있는 새로운 비율 제한상수 설정방법과 비율 할당방법을 제안하였다. II장에서는 JPEG2000에 대한 개요와 기존의 비율-왜곡 최적화 알고리즘에 대하여 기술하고, III장에서는 수행 속도를 향상시키기 위한 효율적인 비율-왜곡 최적화 알고리즘을 제안하였다. 그리고 IV장에서는 제안된 알고리즘의 구현 결과 및 기존의 알고리즘과의 성능 비교를 기술하며, V장에서 결론을 맺었다.

II. JPEG2000의 개요

JPEG2000은 웨이블릿 기반의 정지영상 표준으로, 인코딩 과정은 크게 이산 웨이블릿 변환, 스칼라 양자화, 엔트로피 코딩, 비율 제어과정과 패킷타이징 과정으로 나누어진다. JPEG2000은 타일 단위로 분리된 영상을 입력으로 받아 이산 웨이블릿 변환을 수행한 후 서브밴드로 분할된다. 각각의 서브 밴드는 부호화 과정을 위해 최소 8×8, 최대 64×64의 정사각형으로 분리되는데, 우리는 이를 코드 블록이라고 한다. 각 코드 블록내의 양자화된 계수값들은 비트 평면으로 분리되어 엔트로피 부호화를 수행하며, 그 결과 생성된 각 코드 블록들의 비트 스트림은 비율 제어과정을 통해 목표 비트율에 적합하도록 절단된다. 절단 과정을 거친 각 코드 블록들의 비트 스트림은 패킷타이징 과정을 통해 JPEG2000의 패킷 구조에 적합하도록 최종 코드 스트림을 생성한다.

1. 스칼라 양자화

웨이블릿 변환 후 생성되는 모든 계수값들은 각 서브밴드별로 양자화 단계를 거친다. 양자화 계수는 정밀도를 감소시키는 작업이므로 이 과정에서 이미지의 왜곡이 발생한다. 이 이미지 왜곡량은 같이 후에 수행될 비율 제어과정에 영향을 미치게 된다. 서브밴드내의 각 픽셀들은 식(1)을 통해 양자화 된다^[2].

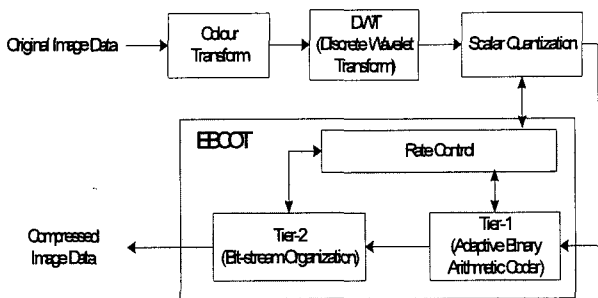


그림 1. JPEG2000의 부호화 과정
Fig. 1. Encoding procedure of JPEG2000.

$$q_b(u,v) = \text{sign}(a_b(u,v)) \left\lfloor \frac{|a_b(u,v)|}{\Delta b} \right\rfloor$$

$$\Delta b = 2^{R_b - \epsilon_b} \left(1 + \frac{\mu_b}{2^{11}} \right) \quad (1)$$

여기에서 b 는 서브밴드의 정보를 의미하며, a_b 는 서브밴드 b 에 속하는 픽셀로 u, v 는 이 픽셀의 2차원 위치 정보를 의미하고, $q_b(u, v)$ 는 픽셀 $a_b(u, v)$ 의 양자화 변화 계수를 의미한다. Δb 는 스칼라 양자화의 스텝사이즈로 부동소수점으로 표현되며, 지수(ϵ_b) 5bit과 가수(μ_b) 11bit으로 표현된다. R_b 는 영상의 색상정보를 표현하기 위해 사용된 비트수와 웨이블릿 변환에 따라 결정된다. 모든 양자화된 계수값들은 부호(signed)값이며, 부호화 전에 부호 절대값(sign-magnitude)으로 표현된다.

2. 엔트로피 코딩(T1 부호화)

양자화된 계수값들은 EBCOT의 T1 부호화기를 통해 코드 블록 단위로 비트-평면 부호화를 수행한다. 그림2는 코드 블록내의 비트-평면과 코딩 패스의 구성을 나타낸다.

T1의 부호화 과정은 코드 블록내의 모든 샘플들에 대해 최상위 비트-평면에서 최하위 비트-평면순으로 적응형 산술 부호화 코더(MQ-coder)를 통해 엔트로피 부호화를 수행한다. 부호화된 결과는 샘플의 중요도 상태와 인접 샘플들과의 관계를 고려하여 P1(Significance Propagation Pass), P2(Magnitude Refinement Pass), P3(Clean-Up Pass)의 3가지 코딩 패스로 구분되며, 모든 샘플들은 3가지 중 반드시 하나에 포함된다. 그림 2와 같이 최상위 비트-평면의 경우에는 P3만을 포함하며, 나머지 비트-평면은 3개의 코딩 패스를 모두 포함한다.

3. 일반적인 비율-왜곡 최적화 알고리즘

JPEG2000에서의 비율 제어는 양자화 단계와 T2 부호화기를 통해 수행된다. 위에서 언급한 바와 같이 양자화 단계에서는 서브 밴드별로 스텝사이즈를 정의하여 스칼라 양자화를 수행하기 때문에 비율 제어 결과 생성된 결과 비트율이 주어진 목표 비트율에 대해 크게 벗어나게 된다. 따라서 JPEG2000에서는 보다 정밀한 비율 제어를 위해 후 압축 비율-왜곡 최적화(PCRD: Post Compression Rate-Distortion Optimization) 알고리즘을

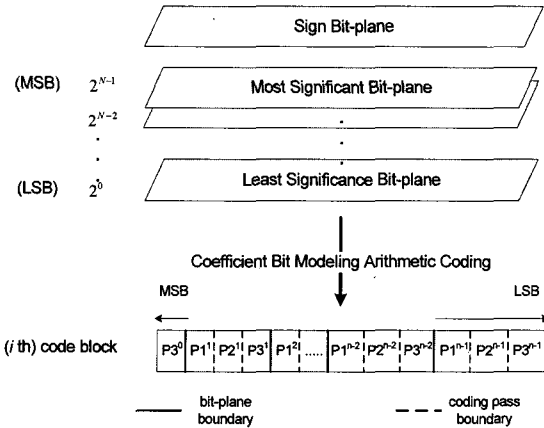


그림 2. 코드 블록내의 코딩 패스
Fig. 2. Coding passes in code blocks.

통한 비율 제어를 지원한다^[10]. T2 부호화기는 T1 부호화기를 통해 생성된 각 코드 블록의 코딩 패스들을 기준으로 PCRD를 수행하여 목표 비트율을 만족하면서 이미지의 왜곡이 최소가 되는 코딩 패스지점을 찾아내고, 그 절단점을 기준으로 최종 코드 스트림을 생성한다.

비율 제어 과정에서 가장 중요한 문제는 현재의 코딩 패스가 최종 코드 스트림에 포함되는지를 판단하는 문제이며, 이것은 generalized Lagrange multiplier method를 이용한 식(2)를 통해 해결할 수 있다. 식(2)를 최소화 시키는 최적의 비율 제한상수(λ)를 통해 $D(\lambda)$ 의 최소값을 구할 수 있다는 것은 Shoham, Gersho 등에 의해서 증명되었다^[11].

$$L = R + \lambda D = \sum_i (R_i^{n_i} + \lambda D_i^{n_i}) \quad (2)$$

여기서 $R_i^{n_i}$ 는 i 번째 코드 블록의 절단점이 n_i 인 경우 생성된 최종 코드 스트림의 길이이며, $D_i^{n_i}$ 는 최종 코드 스트림을 통해 복원된 이미지와 원본 이미지와의 차이를 가중치 평균제곱오차(WMSE: Weight Mean Squared Error) 값으로 나타낸 왜곡이다. 각 코드 블록내의 코딩 패스들의 길이(R)과 왜곡(D)는 T1 부호화 과정을 통해 계산되어진다.

PCRD 알고리즘은 각 코드 블록 단위로 독립적으로 수행되며, 크게 전처리 과정, 비율 제한상수 설정과정, 비율 할당과정으로 나누어 볼 수 있다. 첫째, 전처리 과정은 코드 블록내의 모든 코딩 패스에 대한 비율-왜곡 기울기가 상위 비트-평면에서 하위 비트-평면의 코딩 패스로 갈수록 감소되는 코딩 패스를 절단 후보점으로 설정한다. 이것은 $S_i^{n_i+1} \leq S_i^{n_i}$ 조건을 만족하는 n_i 만

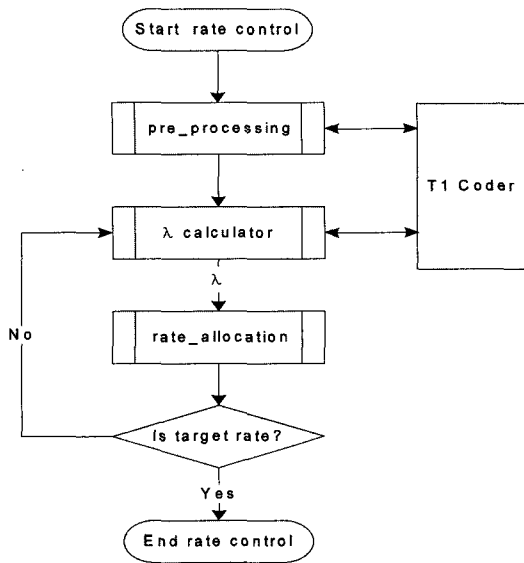


그림 3. 비율 제어과정의 순서도
Fig. 3. Flow chart of the rate control.

이 실제로 절단점이 될 수 있다는 의미이다. 여기서 n_i 는 i 번째 코드 블록의 n 번째 코딩 패스, $S_i^{n_i}$ 는 비율-왜곡 기울기를 나타낸다. 비율-왜곡 기울기를 구하는 방법은 식(3)과 같다.

$$S_i^{n_i} = \frac{\Delta D_i^{n_i}}{\Delta R_i^{n_i}} = \frac{D^{n_i-1} - D^{n_i}}{R^{n_i} - R^{n_i-1}} \quad (3)$$

둘째, 비율 제한상수(λ^{-1}) 설정과정은 각 코딩 패스들이 최종 코드 스트림에 포함될지 여부를 판단하기 위한 비율 제한상수를 설정하는 과정이다. 비율 제한상수의 초기값은 전체 코딩 패스들의 비율-왜곡 기울기 중 최대값과 최소값의 중간값으로 결정된다. 갱신값은 현재까지 결정된 최종 코드 스트림의 길이가 목표 비트율 이하이면 현 제한상수를 최대값으로 대치하고, 미만이면 최소값으로 대치하여 결정된다.

셋째, 비율 할당과정은 설정된 비율 제한상수를 기준으로 실제 각 코드 블록의 절단점을 설정하는 과정이다. 이것은 주어진 비율 제한상수 이상의 비율-왜곡 기울기를 갖는 모든 코딩 패스들을 최종 코드 스트림에 포함시키는 과정이다. 결과적으로 각 코드 블록의 절단점 위치는 비율-왜곡 기울기가 감소 특성을 만족하기 때문에 $S_i^{n_i} \geq \lambda_{opt}^{-1}$ 을 만족하는 최초의 n_i 지점이 된다.

비율 제어과정은 최종 코드 스트림의 길이가 목표 비트율에 근사될 때까지 그림 3과 같은 일련의 과정들을 반복한다.

III. 제안된 비율-왜곡 최적화 알고리즘

본 논문에서는 기존의 비율-왜곡 최적화 알고리즘의 각 과정별 문제점을 분석하고 개선 방안을 제안하여 비율 제어과정의 성능을 향상시킨다.

1. 전처리 과정

이론적으로 해당 비트-평면의 정보가 많을수록 값의 정밀도는 높아지므로 왜곡은 상대적으로 감소한다. 따라서 하위 비트-평면의 코딩 패스일수록 반드시 상위 비트-평면의 코딩 패스보다 비율-왜곡 기울기는 감소되어한다. 그러나 실제 영상의 비트-평면 코딩에서는 예외 상황이 발생하고, 이런 예외의 코딩 패스들은 절단점이 될 수 없다. 따라서 전처리 과정을 통해 절단이 가능한 코딩 패스들의 집합 $N_i = \{n\}$ 을 설정하고 배제된 코딩 패스들의 왜곡보상 과정을 수행해야한다.

본 논문에서는 감소 특성에 반하는 코딩 패스 뿐 아니라 3가지 코딩 패스들의 특성을 고려하여 P2를 절단점 후보에서 배제시킨다. P1은 샘플의 중요도에 관한 정보를 포함하고 있고, P3는 상위 비트-평면에서 코드 스트림의 길이가 P1, P3에 비해 상대적으로 길어서 이것들이 이미지 왜곡에 미치는 영향은 크다. 반면 P2는 샘플에 대한 정밀도 정보이며, 실제로 significance state가 발생되기 전까지는 코딩되지 않는다. 또한 P2는 상대적으로 상위 비트-평면에서 코드 스트림이 짧게 나타나 이미지 왜곡에 강한 특성을 보인다. 다음은 전처리 과정에 대한 설명이다.

알고리즘 : $N_i = \{k\}$ 설정과 보상과정

가) 코드 블록별(i) 코딩 패스의 개수(k_i^{max}) 구하기

$$k_i^{max} = 3m + 2$$

(단, m 은 각 코드 블록의 비트-평면의 개수)

나) 인수 구하기

$$(1) k = 0 \quad \Delta R_i^0 = R_i^0, \Delta D_i^0 = D^0$$

$$(2) k \neq 0, k \in K$$

$$\Delta R_i^k = R_i^k - R_i^{k-1} \text{ and } \Delta D_i^k = D_i^{k-1} - D_i^k$$

$$(3) S_i^k = \frac{\Delta D_i^k}{\Delta R_i^k}$$

다) P2를 제외한 코딩 패스들에 대한 전처리 수행 과정과 배제된 코딩 패스들에 대한 왜곡보상과정

if $S_i^{k+1} \leq S_i^k$ then

insert k to N_i .

$$\text{else } S_i^k = 0, S_i^{k+1} = \frac{S_i^{k+1} + S_i^k}{2}$$

2. 비율 제한상수 설정과정

비율 제한상수 설정과정은 임의의 제한상수에서 최적의 제한상수를 도출하는 과정으로 비율 할당과정과 밀접하게 연결되는 부분이다. 특히 초기의 제한상수가 최적의 제한상수에 근접할수록 비율제어 전체 수행시간은 단축된다. 이것은 비율 제한상수 갱신과 비율 할당 과정이 비례하여 수행되기 때문이다. 따라서 제한상수 갱신이 줄어들면, 이에 따른 비율 할당과정이 감소되어 전체 수행시간은 단축된다. 기존의 비율-할당 알고리즘에서는 비율 제한상수를 전체 코딩 패스들의 최대 비율-왜곡 기울기와 최소 비율-왜곡 기울기를 참조하여 그 중간값으로 설정한다. 이는 제한상수의 갱신을 빈번히 발생시킨다. 따라서 본 논문에서는 갱신을 최소화 시킬 수 있는 새로운 제한상수 설정방법을 제안한다.

제안된 초기 제한상수 설정방법은 각 코드 블록들의 상위 비트-평면에 위치한 비율-왜곡 기울기들을 참조하여 설정한다. 이것은 상위 비트-평면이 하위 비트보다 더 많은 영상 정보를 가지고 있어, 누락 시 왜곡이 상대적으로 크게 나타나는 점과 각 코드 블록의 코딩 패스들이 전처리 과정을 통해 감소특성을 만족하고 있는 점을 고려한 것이다.

비율 제한상수 갱신과정은 조건에 따라 일반적인 경우와 특수한 경우로 나뉘게 되며, 각각 다른 방법으로 값을 설정한다. 일반적인 갱신 과정은 현재 설정된 절단점 다음 위치의 코딩 패스들의 비율-왜곡 기울기를 참조하여 값을 갱신하는 방법이다. 특수한 경우는 일반적인 갱신 후 수행한 비율 할당과정에서 절단점에 대한 변동이 발생되지 않는 경우를 의미하며, 낮은 비트율일수록 발생 빈도가 높다. 이 경우에는 현 절단점이 속하는 비트-평면의 모든 코딩 패스들의 비율-왜곡 기울기를 참조하여 값을 갱신한다.

다음은 구체적인 초기 비율 제한상수 설정과정과 비율 제한상수 갱신과정에 대한 설명이다.

알고리즘 : 비율 제한상수 설정과정

가) 초기 비율 제한상수(λ_0^{-1}) 설정

$$\lambda_0^{-1} = \text{avg} \left(\sum_{i=0}^{I-1} \sum_{k=0}^{\alpha-1} S_i^k \right)$$

cf) S : 비율-왜곡 기울기

α : 한 코드 블록 내에서 참조된 코딩 패스의 개수
 I : 전체 코드 블록의 개수

나) 비율 제한상수(λ_l^{-1}) 갱신

(1) 일반적인 경우
 : 현재 설정된 절단점 다음의 코딩 패스들 참조

$$\lambda_l^{-1} = \text{avg} \left(\sum_{i=0}^{I-1} S_i^{n_i} \right)$$

(2) 특수한 경우
 : 현 절단점이 속하는 비트-평면의 모든 코딩 패스들을 참조

$$\lambda_0^{-1} = \text{avg} \left(\sum_{i=0}^{I-1} \sum_{k=n_i}^{bp} S_i^k \right) \quad \text{단, } bp = 3 \left\lceil \frac{n_i}{3} \right\rceil$$

3. 비율 할당과정

기존의 비율 할당과정은 비율 제한상수의 변동 횟수에 비례하여 수행된다. 하지만 새로운 제한상수 설정방법을 통해 설정된 제한상수는 갱신될 때마다 그 크기가 감소된다. 따라서 비율 할당과정에 있어서 비율 제어상수가 변할 때 마다 모든 코딩 패스에 대해서 비교 과정을 수행할 필요는 없다. 왜냐하면 전처리 과정을 통해 모든 코딩 패스들은 코드 블록별로 감소특성을 만족하기 때문이다.

본 논문에서는 이전의 비율 제어상수에 의해 최종 코드 스트림에서 배제된 코딩 패스에 대해서만 비율 할당 과정을 수행한다. 결과적으로 비율 제한상수가 변동됨에 따라 비율 할당과정에서 사용되는 비교 연산의 횟수는 점차 감소하게 된다. 코드 블록의 비율 할당 시작 지점은 현 절단점의 정보를 통해 얻을 수 있으며, 구체적인 비율 할당과정은 다음과 같다.

알고리즘 : 비율 할당과정

가) 절단점 초기화 $n_i = 0$

나) 절단점 설정

For $I = \{0, 1, \dots, \text{blk}_{num}\}, i \in I$
 $K = \{0, 1, \dots, 3m+1\}, k \in K$

1) $S_i^k = 0$
 continue;

2) $S_i^k \neq 0$
 if $S_i^k \geq \lambda$ then
 update $n_i = k + 1$

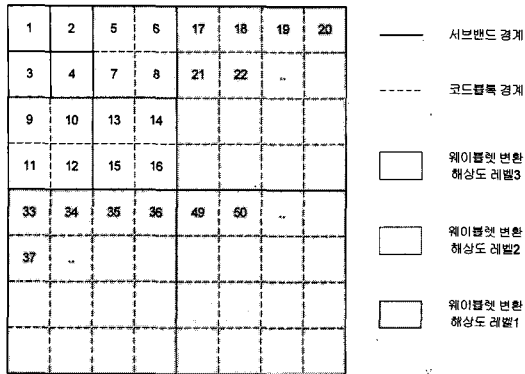


그림 4. 비율 제어과정의 수행순서
Fig. 4. Scan order of the rate control procedure.

4. 수행순서

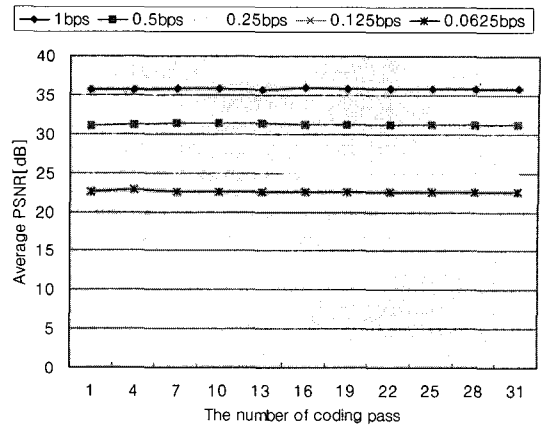
제안된 비율 제어과정은 코드 블록별로 독립적으로 수행되며, 웨이블릿 변환 결과 생성되는 부 밴드들에 의해서 수행순서가 정해진다. 그림 4는 웨이블릿 변환 결과 생성된 부 밴드별 코드 블록의 구성과 비율제어 수행순서를 나타낸다. 수행 순서는 해상도 레벨이 높은 부 밴드에서 낮은 부 밴드로, 같은 해상도 레벨에서는 저주파 성분을 많이 포함하는 부 밴드에서 적게 포함하는 부 밴드 순이다. 그리고 한 부 밴드 내에서는 좌측 상단에 위치한 코드 블록에서 우측 하단에 위치한 코드 블록 순으로 진행된다.

비율-왜곡 최적화 알고리즘은 T1 부호화기를 통해 생성된 각 코드 블록들의 코딩 패스 스트림을 입력받아 전처리 과정을 통해 감소 특성을 만족시킨다. 그 후 초기 비율 제한상수를 통한 비율 할당과정을 수행하여 생성된 결과 비트율이 목표 비트율을 만족시키지 않으면, 비율 제한상수를 갱신한 후 비율 할당과정을 반복한다.

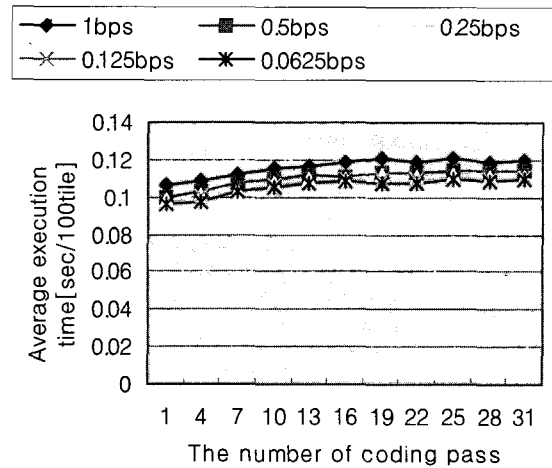
IV. 구현 및 성능 분석

제안된 비율-왜곡 최적화 알고리즘의 성능 분석은 C 모델링을 통해 이루어졌다. 실험 환경은 Altera Excalibure(EPXA4) 개발보드이며, 실험 영상은 그레이 영상으로 입·출력 데이터의 정밀도는 입력 8비트, 출력 16비트를 사용하였다. 필터 계수의 정밀도는 부호 비트를 포함하여 12비트를 사용하였다. 실험 조건은 타일 크기=128×128, 코드 블록 크기=32×32, 쌍직교 (biorthogonal 9/7)필터, DWT 레벨=3이다.

초기 비율 제한상수 설정을 위해 참조하는 각 코드 블록의 코딩 패스의 개수(α)는 실험 결과를 통해 결정



(a) PSNR 비교



(b) 수행 시간 비교

그림 5. a에 따른 실험 결과
Fig. 5. Experimental results according to a.

되었다. 그림 5는 참조되는 코딩 패스의 개수에 따른 영상의 PSNR과 비율 제어 수행시간에 대한 실험 결과를 나타낸다.

실험 결과 참조 코딩 패스의 변화에 따른 PSNR의 변동은 거의 발생되지 않으며, 수행시간은 참조 코딩 패스가 증가할수록 소폭 증가함을 알 수 있다. 이와 같이 본 논문에서는 초기 비율 제한상수 설정과정에서 참조되는 코딩 패스의 수를 4로 결정 하였으며, 이 값은 상위 2개의 비트-평면에 속하는 코딩 패스의 수 ($P_i3^0, P_i3^1, P_i2^1, P_i3^1$)를 나타낸다.

그림 6은 제안된 비율-왜곡 최적화 알고리즘과 기존 비율-왜곡 최적화 알고리즘의 목표 비트율에 따른 평균 수행시간을 비교 실험한 결과이며, 이를 위해 JPEG2000의 공개 소프트웨어인 Jasper1.7이 이용되었다^[12,13].

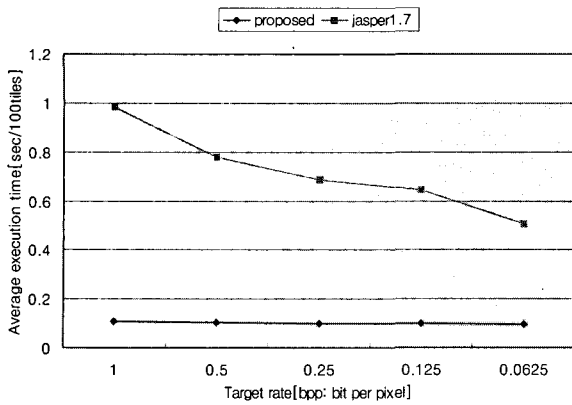


그림 6. 목표 비트율에 따른 평균 수행시간
Fig. 6. Average execution time according to target bit rates.

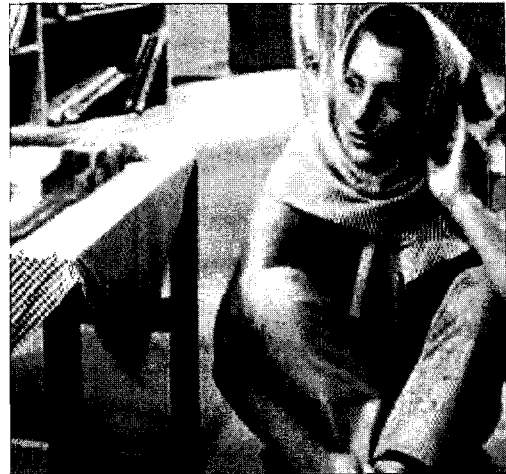
표 1. PSNR 성능 비교
Table 1. Comparison of PSNR performance.

bit rate (bpp)	Lenna		Barbara		Goldenhill	
	jasper1.7	proposed	jasper1.7	proposed	jasper1.7	proposed
1	36.3	35.3	34.4	32.4	34.0	33.4
0.5	31.7	30.8	30.0	29.5	30.5	29.8
0.25	28.0	27.5	26.9	26.3	27.7	27.1
0.125	25.0	24.4	23.9	23.6	25.5	25.1
0.0625	21.8	22.5	20.1	21.4	22.3	22.8

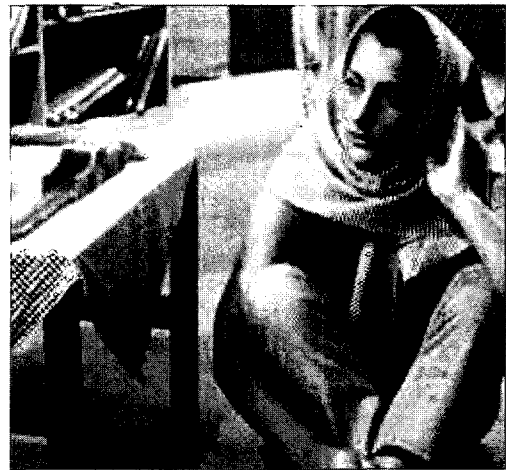
실험 결과 기존의 비율-왜곡 최적화 알고리즘의 평균 수행시간은 목표 비트율의 변화에 따라 0.9[sec/100tiles]에서 0.5[sec/100tiles]으로 나타난다. 그에 비해 제안된 비율-왜곡 최적화 알고리즘은 목표 비트율에 따라 거의 동일하게 0.1[sec/100tiles]의 수행 시간을 보인다. 이것은 제안된 비율 제어방법에서 양자화 스텝사이즈와 관련하여 비율 제한상수의 갱신횟수를 제한하기 때문이다. 그 결과로 비율 제한상수 설정과정에서 사용되는 루프수가 목표 비트율에 관계없이 일정하게 나타난다.

이 수행시간은 크기가 256×256인 컬러 영상의 경우에는 초당 80프레임(frame), 크기가 512×512의 컬러 영상의 경우에는 초당 20프레임을 처리할 수 있는 속도를 의미한다. 실험을 통해서 제안된 비율-왜곡 최적화 알고리즘은 목표 비트율의 변화에 따라 약 5~9배 정도 성능이 향상되었음을 확인할 수 있다.

제안된 알고리즘을 통해 압축된 영상의 화질은 표1를 통해 확인할 수 있다. 이를 통해 제안된 비율-왜곡 최적화 알고리즘은 기존의 비율-왜곡 최적화 알고리즘 대비 1~2[dB] 이하의 PSNR 오차를 보임을 확인할 수



(a) 기존의 알고리즘에 의한 1bpp 압축 영상
PSNR = 34.358



(b) 제안된 알고리즘에 의한 1bpp 압축 영상
PSNR = 32.399

그림 7. 영상(Barbara) 화질 비교
Fig. 7. Image(Barbara) quality comparison.

있다. 그림 7은 결과 중 약 2dB로 가장 큰 오차를 보이는 실험 영상(Barbara)의 1bpp 압축 영상이다.

V. 결론

본 논문에서는 JPEG2000의 T2 부호화기의 비율 제어 과정의 성능을 향상시키기 위한 비율-왜곡 최적화 알고리즘을 제안 및 구현하였다. 수행 속도 향상을 위해 전처리 과정에서는 T1 부호화 결과 생성되는 3개의 코딩 패스 중 상대적으로 상위 비트-평면에서 코드 스트림이 짧게 나타나고, 이미지 왜곡에 강한 특성을 보이는 P2(Magnitude Refinement Pass)를 절단점 후보에서 배제시키고, 비율 제한상수 설정과정에서는 비율 제

한상수를 각 코드 블록들의 상위 비트-평면에 위치한 코딩 패스들의 비율-왜곡 기울기를 참조하여 설정하도록 하였다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘과 비슷한 화질을 보장하면서도 5~9배의 향상된 수행 속도를 갖는다. 제안된 비율-왜곡 최적화 알고리즘은 JPEG2000 응용 시스템 뿐아니라 Motion-JPEG2000등의 시스템에서도 응용이 가능하다.

for an Arbitrary Set of Quantizers", *IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. 36, no. 9, September 1988.

- [12] M. D. Adams and F. Kossentini, "Jasper : a software-based JPEG2000 codec implementation", in *Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing*, vol. 2, pp. 53-56, October. 2000.
- [13] Jasper1.7 Software. Available : <http://www.ece.uvic.ca/~mdadams>

참 고 문 헌

- [1] ISO/IEC, ISO/IEC 15444-1:2000:Information technology - JPEG2000 Image Coding System - Part 1 final draft international standard, 2000.
- [2] C. Christopoulos, A. Skodras and T. Rbrahimi, "The JPEG2000 Still Image Coding System: An Overview", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol. 46, No. 4, pp. 1103-1127, November 2000.
- [3] K. F. Chen, C. J. Lian, H. H. Chen, and L. G. Chen, "Analysis and Architecture Design of EBCOT for JPEG2000", in *Proc. IEEE Int. Symp. Circuits and Systems*, pp. 765-768, May 2001.
- [4] Vikram, K.N., Vasudevan, V., Srinivasan, S., "Rate-distortion estimation for fast JPEG2000 compression at low bit-rates", *Electronics Letters*, Vol. 41, No. 1, pp. 16-18, 6 Jan. 2005.
- [5] Yeung, Y.M., Au, O.C., "Efficient rate control for JPEG2000 image coding", *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Trans.*, Vol. 15, No 3, pp. 335-344, Mar. 2005.
- [6] Weina Du, Jun Sun, Qiang Ni, "Fast and efficient rate control approach for JPEG2000", *Consumer Electronics, IEEE Trans.*, Vol. 50, No. 4, pp. 1218-1221, Nov. 2004.
- [7] Wu Zongze, Zheng Nanning, "Approximately optimal rate allocation with high speed and high accuracy", *Consumer Electronics, IEEE Trans.*, Vol. 51, No. 3, pp. 993-998, Aug. 2005.
- [8] K. Andra, C. Chakrabarti, T. Acharya, " A High-Performance JPEG2000 Architecture", *IEEE Trans. Circuits and System for Video Technology*, Vol. 13, No. 3, pp.209-218, March 2003.
- [9] Amphion Inc., CS6510 JPEG2000 Encoder. Available : <http://www.amphion.com>
- [10] D. S. Taubman, "High Performance Scalable Image Compression with EBCOT", *IEEE Trans. Image Processing*, Vol. 9, No. 7, pp.1158-1170, July 2000.
- [11] Y. Shoham, A. Gersho, "Efficient Bit Allocatics

저 자 소 개



문 형 진(학생회원)
 2001년 전남대학교
 컴퓨터공학과 학사.
 2006년 전남대학교
 컴퓨터공학과 석사.
 2006년~현재 LG이노텍(주)
 RF연구실 연구원.

<주관심분야: 영상처리, 영상압축, 임베디드 시스템, 시스템 SW 등>



정 갑 천(정회원)
 1996년 전남대학교
 컴퓨터공학과 학사.
 1998년 전남대학교
 전자공학과 석사.
 2005년 전남대학교
 전자공학과 박사.

1999년~2005년 전남대학교 고품질전기전자부품
 및 시스템연구센터 연구원.

2006년~현재 포스데이타(주) 제품개발실
 선임연구원.

<주관심분야: 영상압축, 영상통신용 ASIC 설계,
 DSP 설계, VLSI 설계 및 CAD 등>



박 성 모(정회원)
 1977년 서울대학교
 전자공학과 학사.
 1979년 한국과학기술원 전기 및
 전자공학과 석사.
 1988년 노스캐롤라이나 주립대학
 전기 및 컴퓨터공학과 공
 학박사.

1979년~1984년 한국전자기술연구소 설계개발부
 선임연구원.

1988년~1992년 올드도미니언 대학교 전기 및
 컴퓨터공학과 조교수.

1992년~현재 전남대학교 컴퓨터공학과 교수.
 <주관심분야 : 멀티미디어 프로세서 구조, VLSI
 시스템 설계, 신호처리용 ASIC 설계, 영상압축,
 임베디드 시스템 등>