

비율 제어 최적화를 이용한 JPEG2000 알고리즘 리뷰

정현진[†] · 김영섭^{*}

[†]단국대학교 전기 전자공학부, ^{*}단국대학교 전자공학과

The Review of JPEG2000 Algorithm using Optimal Rate Control

Hyunjin Chong[†] and Youngseop Kim^{*}

[†]Department of Electronics & Electrical Engineering Dankook University

^{*}Department of Electronics Engineering, Dankook University

ABSTRACT

Abstract JPEG2000 achieve quality scalability through the rate control method used in the encoding process, which embeds quality layers to the code-stream. This architecture might raise two drawbacks. First, when the coding process finishes, the number and bit-rates of quality layers are fixed, causing a lack of quality scalability to code-stream encoded with a single or few quality layers. Second, in Post compression rate distortion (PCRD) the bit streams after the truncation points discarded. Therefore, computational power for the discarded bit streams is wasted. For solving of problem, through bit rate control, there are many researches. Each proposed algorithms have specially target feature that is improved performance like reducing computational power. Research results have strength and weakness. For the mean time, research contents are reviewed and compared, so we proposed research direction in the future.

Key Words : JPEG2000, Rate Control, PCRD

1. 서 론

JPEG2000은 확장성(scalability), ROI 등의 특징을 가지며 좋은 코딩 성능을 가지고 있다. 특히, 확장성에 강력한 기능을 가지고 있다[1]. JPEG2000은 JPEG에 비해 모든 비트율에서 성능이 좋다.

Fig. 1은 JPEG2000의 블록도를 나타내고 있다. JPEG2000의 변환 알고리즘은 이진 웨이블릿(Discrete Wavelet Transform)변환이다. 이진 웨이블릿 변환 후에, 단일 스칼라 양자화(Uniform scalar Quantization)를 이용하여 변환 계수를 만든다. 그후의 알고리즘은 JPEG2000의 엔트로피 코딩인데 여기선EBCOT(Embedded block coding with optimized truncation)이다. EBCOT은 2개의 타이어(tier) 알고리즘으로 구성된다. 그 중 하나인Tier-1은 CF(Context Formation)과 AE(Arithmetic Encoder)를 실행하는 Embedded block coding(EBC)이다. CF는

AE가 임베디드 비트스트림을 만들 수 있도록 컨텍스트 결정 쌍(Context-Decision Pair)을 생성한다. AE는 컨텍스트 확률로 이진 결정(Binary decision)을 부호화한다. 나머지 하나인EBCOT Tier-2는 PCRDO(Post compression Rate-Distortion Optimization)인데, 최적의 영상 품질을 제공할 수 있는 비트율에서 임베디드 비트스트림을 절단하는 작업을 수행한다. EBCOT은 JPEG2000에서 총 계산량의 50%이상을 차지할 만큼 가장 복잡한 부분이다. EBCOT의 계산 시간을 감소하는 것이 곧 JPEG2000 인코더의 총 런타임을 감소시키는 것이다[2].

JPEG을 비롯한 대부분의 손실 정지 영상 코딩 표준에서는 비율 제어를 양자화에 사용한다. 하지만 이 방법은 영상 품질에 최적화에는 적합하지 않아서 JPEG2000에서는 참조 소프트웨어에서 사용된 PCRDO과정이 비율제어를 하는 방법을 사용한다. 이 방법은 영상 품질을 최대화 하는 동안 정확하게 비율을 제어하는 라그랑지 (Lagrangze) 최적화를 사용한다.

전형적으로, 코드스트림 구성은 각 절단점의 왜곡을

[†]E-mail : sia1219@naver.com

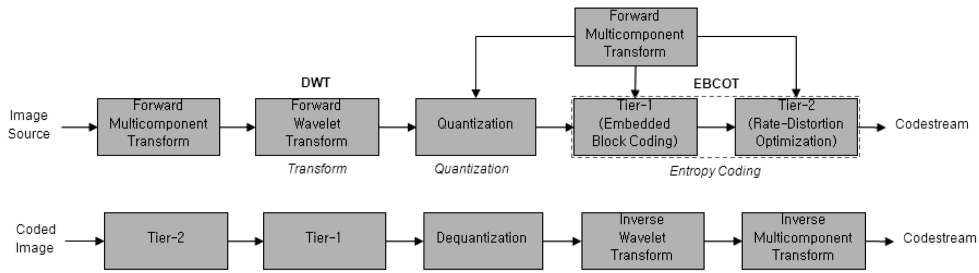


Fig. 1. JPEG2000의 구조: 부호화와 복호화 과정

식별하기 위해서 원래 영상을 기반으로 왜곡을 측정하는 방법을 사용하는 부호화 절차의 비율 제어 방법으로 제어되었다. 이 방법은 마지막 코스트림에 일부 패스만을 포함하고 있다 하더라도 전체 이미지를 억지로 부호화해야 하는 단점이 있다. Tier-1 절차가 부호화 절차의 60%를 차지하고 있는데도 다시 고려를 해야 한다는 것이다. 이로써 새로운 비율 제어를 통하여 Tier-1의 절차를 최적화 시키면 전체 복잡도가 낮아질 것이다.

2004년부터 JPEG2000 Part1이 연구되고 개선되기 시작하였다. JPEG2000의 연구는 표준 특징을 개선하는데 목적을 두고 있었다. 이 연구 중 하나는 특별 요구 사항을 달성할 수 있는 비율 제어 방법의 개선이다. 2005년부터 JPEG2000에서 비율제어의 연구는 더 깊어지고 있다[3].

II장에서는 JPEG2000의 코딩 계층의 구성 내용을 알아보고 III장에서는 비율 제어의 기본 사항을 살펴본 후 IV장에서 JPEG2000의 기본 비율 제어 방법인 Post Compress Rate Distortion (PCRD)을 살펴보겠다. 마지막으로 V장에서 다른 알고리즘들과의 비교사항을 살펴보고 차후에 연구방향을 생각해 보도록 한다.

2. JPEG2000

2.1. JPEG2000 코딩 계층

여기에 JPEG 2000은 코딩 레벨에 따라 분리된다.

맨 처음으로 영상은 독립적인 부호 파일로 분리되고, 각 파일은 DWT과정을 거쳐서 레벨에 따른 서브밴드로 분리된다. DWT레벨의 수는 해상도 레벨(resolution level) L을 참조하는데 LL 서브밴드는 2번 분리된 것이다. 예를 들어서 서브밴드가 7개가 발생하였다면 2-레벨로 분리된 것이다. 각 서브밴드는 코드 블록으로 분리되고, 각 코드 블록은 EBC과정으로 독립적으로 부호화된다[2]. 코드 블록에서 DWT 계수는 부호 등급이 표시되고 최상위 비트(Most Significant Bit)비트면에서 최하위비트(Least significant bit) 비트면이 부호화 된다. 각 비트면은 3가지 패스를 거쳐 부호화 된다.

3가지 패스는 significant propagation pass(Pass1), magnitude refinement pass(Pass2), cleanup pass(Pass3)이다. 3가지 패스는 임베디드 비트스트림을 발생시킨다. 각 코딩 패스는 절단점(Truncation point)의 후보가 된다. 절단점의 순서는 코드블록의 비트스트림은 의 순서로 구성된다. 여기서 M은 코드 블록이 0이 아닌 중요 비트면의 수이다. 코딩 패스 과정이 끝나면 각각의 영상 샘플을 가진 비트스트림이 생성된다. 샘플 데이터 코딩은 독립적으로 각각의 코드 블록에서 다른 지점에서 절단될 수 있는데 이는 임베디드 코스트림을 생성한다. 절단점 이후의 코드블록의 임베디드 비트스트림은 마지막 비트스트림의 형태로 사라지게 된다.

절단점을 계산하기 위하여, EBC의 과정을 거치는 동안 각 코딩 패스의 비율-왜곡(Rate-Distortion)이 계

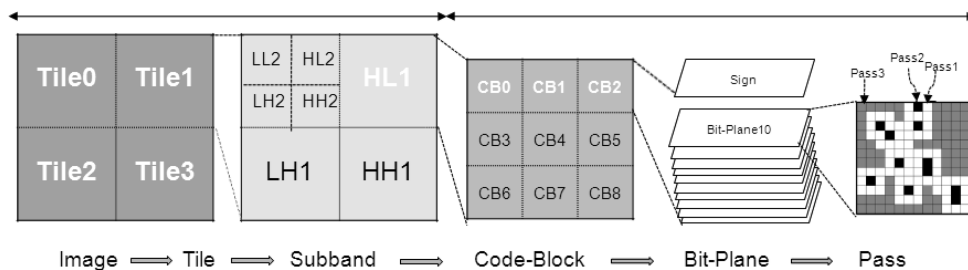


Fig. 2. JPEG2000의 코딩계층

산된다. 그리고 나서 비율-왜곡 정보에 따라 목표 비트율에서 영상 품질을 최대화 시키는 모든 코드 블록에서 PCRD를 계산한다.

Fig. 2[2]에서는 이러한 JPEG2000의 코딩계층의 모습을 나타내고 있다.

2.1. JPEG2000 비율 제어

비율 제어는 부분적인 원하는 비트율이나 전송시간을 교차시키는데 유용하고 가장 높은 영상 품질을 확인하는 코드스트림이 사용하길 원하는 바이트의 수를 확인한다[4].

전체 영상이 압축된 즉시 후처리 연산자 패스는 코드블록으로 압축되고 부분적인 원하는 비트율, 왜곡, 품질 측정에 도달하기 위하여 절단된 각 코드블록의 임베디드 비트스트림의 범위를 확장한다. 더 일반적으로 말하면 마지막 비트스트림은 “계층(layers)”이라 불리는 집합으로부터 구성된다. 맨 처음 가장 낮은 품질 계층은 원하는 방법으로 최적화된 절단 코드블록 비트스트림으로 형태로 된다. 각 서브-시퀀스(subsequent) 계층은 새로운 절단점으로 이전 계층의 독립 변수가 요청된 추가적인 코드워드를 포함하기에 적합한 비트율, 왜곡, 품질 측정을 할 수 있도록 절단한 코드블록 비트스트림의 형태가 된다[4].

인코더에서는 비율 제어는 두 가지 방법이 있다[1]. 첫 번째는 양자화기 스텝 크기의 선택이고 두 번째는 코드스트림을 포함한 코드스트림의 부분집합의 선택으로 이루어진다. integer coding 모드일 때는 양자화 크기가 고정 되어 있기 때문에 첫 번째 방법을 사용하고, real coding 모드일 때는 위에 방법 중 한가지나 둘 다 사용한다.

첫 번째 방법이 사용 될 때에는 양자화기 스텝 크기가 비율을 제어하기 위해 조절된다. 스텝 크기가 증가함에 따라, 비율은 감소하고, 왜곡은 증가한다. 이 비율 제어 방법이 간단하지만 단점이 있다. 매 시간마다 양자화기 스텝 크기, 즉 양자화기 인덱스 값이 변하고 tier-1 부호화가 다시 수행 되어야 한다. tier-1 코딩이 상당한 계산량을 요구하기 때문에, 이 비율 제어 방법은 매우 많은 계산량을 요구한다.

두 번째 방법을 사용하면 인코더는 비율을 제어하기 위해 코딩패스를 버리는 것을 선택할 수 있다. 인코더는 각 코딩패스로 비율을 만들고 각 코딩 패스와 관련해서 왜곡 감소를 계산할 수 있다. 이 정보를 이용하여, 인코더는 비트 공급이 소멸 될 때까지 코딩패스로 왜곡을 감소시킬 수 있다. 이런 방법은 다른 왜곡 측정을 수용하기 쉽기 때문에 매우 유용적이다.

3. 최적화 알고리즘

3.1. PCRD을 이용한 비율제어 최적화

JPEG2000은 기본적으로 Post Compression Rate Distortion(PCRD)를 통하여 비율 제어 최적화를 시킨다.

코딩 패스는 코드 블록의 절단점의 후보가 된다. 후보는 i 번째 코드블록 에서 k 번째 비트면의 m 번째 패스는 다음과 같다[2].

$$n_i(k, m) = 3k - m + 3$$

에서 절단된 비율과 왜곡에서 나온 결과이다. 영상에서 비트율의 총 합 R 과 왜곡의 총합은 다음과 같다.

$$R = \sum_i R_i^{n_i}, \quad (D = \sum_i D_i^{n_i})$$

목표 비율에서 왜곡을 최소화 하는 절단점을 찾는다. 비율 제어의 목표는 원하는 비율보다 작은 비율을 유지하면서 왜곡을 최소화 하는 것이다. 이 문제는 다음 식에 따라 라그랑지 최적화 문제와 연관 된다.

$$\min(D + \lambda R) = \min\left(\sum_i D_i^{n_i} + \lambda R_i^{n_i}\right)$$

λ 는 라그랑지 승수이다. λ 를 최소화하기 위하여 도함수를 취하면

$$\delta J = \delta D + \lambda \delta R = 0$$

즉, 최적인 λ , λ^* 는 $\lambda^* = -\frac{\delta D}{\delta R}$ 가 된다.

$\delta D/\delta R$ 는 $R - D$ 곡선의 기울기이다. 곡선은 구분적 선형(piece-wise linear) 이고 기울기는 다음과 같다.

$$S_i^{n_i} = \Delta D_i^{n_i} / \Delta R_i^{n_i} = (D_i^{n_i} - D_i^{n_i+1}) / (R_i^{n_i} - R_i^{n_i+1})$$

코드블록 B_i 의 n_i 로부터, 라그랑지 승수 λ 를 만족하는 절단점 $Z_i(\lambda)$ 는 다음에 기초한다.

$$Z_i(\lambda) = \max_j n_j \mid S_j^{n_j} \geq \lambda$$

$S_i^{n_i+1} < S_i^{n_i}$ 를 만족하는 조건에서 절단점이 결정되고 가정하면, λ 에서 절단점은 위에 수식을 만족하는 j 의 최대값과 같다.

다시 말하면, PCRD 방법은 두 가지 단계로 진행된다. 첫 번째, 코드 블록의 절단점을 설정하기 위하여 계산한 각 코딩 패스의 비트율과 왜곡율을 사용한다. 두 번째 단계로 라그랑지 상수를 이용하여 목표로 하는 비트율에서 최적의 절단점을 선정한다. 이 절차로

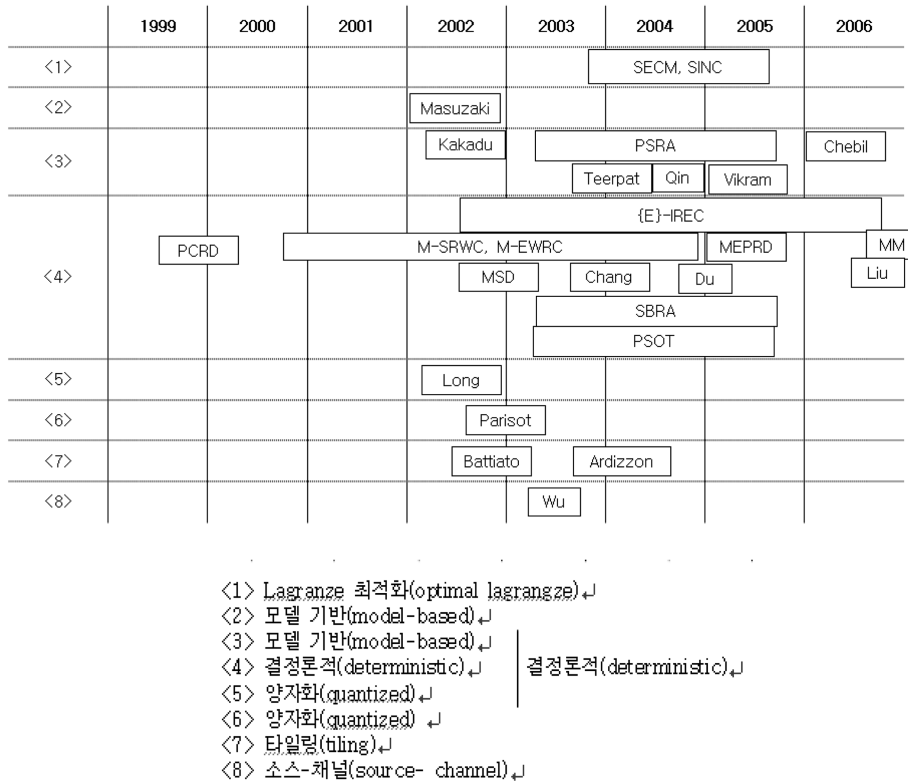


Fig. 3. 검토된 JPEG2000 비율-제어 알고리즘들

낮은 계산 복잡도를 가진 최적화 시킨다.

3.2. 다른 비율 제어 알고리즘

그 동안 비율 제어와 관련한 여러 방법들이 제시되었다. 각각의 알고리즘들은 서로 다른 부분의 최적화 문제를 다루고, 실험결과에도 각기 다른 영상을 사용하고, 다른 JPEG2000참조 소프트웨어를 사용하여 구분하기에는 어려움이 따른다. 그러나 최첨단 기술을 식별하고 비교 해야 하는 확실한 필요성이 있기 때문에 여러 가지 비율 제어 알고리즘을 6개의 기준을 삼아 비교 사항[3]을 살펴보고자 한다.

4. 최적화 알고리즘 분류법

4.1. 분류 기준

알고리즘들을 다음 기준[3]과 같이 분류하였다.

- (1) 결정론적: 원래 영상을 기반으로 측정된 방법. 코드 블록의 각 코딩 패스의 비율-왜곡 접근을 PCRD와 유사하게 측정된 방법이다.
- (2) 모델 기반: 절단점의 비율-왜곡 기여 사항을 특징

화하여 이론적 모델을 기반으로 한 방법. 샘플 데이터가 마지막 코드스트림에서 포함된 것처럼 코딩 패스의 제한적인 코딩 단계를 변경한 방법이다.

- (3) 양자화: 원하는 비트율을 달성하기 위하여 각 서브밴드에서 알맞은 스텝 크기 계산을 기반으로 한 방법이다.
- (4) 타일링: 타일을 이용하여 비트율 최적화를 찾는 방법.
- (5) 소스-채널: 소스 채널 인코딩과 비율 제어를 중심으로 한 방법
- (6) 라그랑지 최적화: 발생된 라그랑지 승수를 다른 접근으로 최적화된 절단점의 집합을 찾는 것을 중점으로 한 방법.

4.2. 성능 평가 기준

알고리즘들의 성능을 판별하기 위해서는 다음과 같은 기준[3]을 적용한다.

- (1) 계층 기여 (Layer Contribution)
 - yes: 절대적으로 품질 계층의 구성이 들어간 방법.
 - no: 비율-제어 방법이 품질 계층 구성이 들어가지 않거나, 다른 방법으로 구성한 방법

Table 1. 검토된 JPEG2000 비율-제어 알고리즘의 특징

방법	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
PCRD[2][3]	yes	yes	no	Yes	no	Both	no
Chang[2]	no	no	no	Yes	no	Bit	No
CPI/ROC/CoRD[3]	yes	no	yes	No	yes	qual	yes
Vikram[5]	yes	no	no	Yes	no	Both	yes
MSD[6]	yes	yes	no	Yes	no	Both	yes
Du[7]	no	yes	no	Yes	no	Both	no
{E}-IREC[8]							
MEPRD[10]	yes	yes	yes	Yes	no	Both	yes
Parisot[11]	yes	yes	no	yes	no	both	yes
Battiato[12]	no	no	yes	yes	no	both	yes
Teerapat[13]	no	no	yes	yes	no	qual	no
Chebil[14]	no	no	no	no	no	qual	yes
SBRA[15]	yes	no	no	yes	no	both	yes
PSRA[16]	yes	no	yes	yes	no	qual	yes
PSOT[17]	yes	yes	yes	yes	no	qual	yes
SECM[18],SINC[19]	yes	no	no	yes	no	both	yes

(1) 계층 기여 (Layer Contribution)
(2) 왜곡 측정 (Distortion Measure)
(3) 증분 부호화 (Incremental Encoding)
(4) 원래 영상 기반 왜곡 측정 (Distortion Measure Based on Original Image)
(5) 복호화기 사용 (Use in Decoder)
(6) 품질/비율-제어 최적화 (Quality/Bit-Rate Optimization)
(7) 계산 복잡도 감소 (Computational Complexity Reduction)

(2) 왜곡 측정 (Distortion Measure)

- yes: 왜곡을 최적화 한 방법
- no: 그 외.

(3) 증분 부호화(Incremental Encoding)

- yes: 각각의 코드 블록이 전체 영상이 한번에 수행되지 않고 MQ-coder와 관련된 정보, 메모리에 필요한 정보만 수행 시.
- no: 그 외.

(4) 원래 영상 기반 왜곡 측정**(Distortion Measure Based on Original Image)**

- yes: 원래 영상 기반으로 왜곡을 측정하는 방법.
- no: 그 외.

(5) 복호화기 사용 (Use in Decoder)

- yes: 코드스트림이 복호화기 없이 이미 부호화가 돼서 비율-왜곡을 제어하기 위해 사용하는 방법.
- no: 그 외.

(6) 품질/비율-제어 최적화**(Quality/Bit-Rate Optimization)**

- qual: 목표 비트율의 품질을 최적화 한것.
- bit: 목표 품질을 위해 비트율을 최적화 한 것.
- both: 품질과 비율 모두 최적화

(7) 계산 복잡도 감소**(Computational Complexity Reduction)**

- yes: 모든 코드 블록의 모든 코드 패스의 부호화를 강요하지 않는 방법.
- no: 그 외.

4.3. 비교 결과

유사성을 강조하여 비교해 보면 Chang[2]과 Vikram[5]은 비율-제어를 설계하기 위하여 각각의 비트면에서 중요(significant) 비트와 정제(refinement)비트의 개수를 세었다. MSD[6]와 Du[7]는 부호화가 끝나면 비율-왜곡 기울기를 측정하는 방법을 사용하는 유사성을 보이면서 E-IREC[8], PSOT[9], MEPRD[10] 방법을 사용하는 유사성을 보였다.

Fig. 3[3]은 이번 장의 1에서 제시한 분류 기준에 따

라 검토한 알고리즘을 분류한 그림이다. Fig. 3의 알고리즘들은 6개의 분류기준에 따라 연구 별로 표시되어 있는 그림이다.

Table 1[3]는 검토한 비율-제어 방법을 이번 장에 2에서 제시한 특징에 따라 정리한 내용이다. 절대적으로 품질 계층 구성이 들어가 있지만 일부 그렇지 않은 방법도 있었다. Parisot[11]은 양자와 스텝 크기를 통해 비율-제어를 실험하였는데, 품질 계층을 할당하기에는 좋은 비트율은 아니었다. Battiato[12], Teerapat[13], Chebil[14]은 계산 복잡도와 부호화 질차를 감소시켰지만 여전히, 품질 계층을 구성하는데 라그랑지 승수가 필요하다. 증분 부호화의 특징을 사용한 방법은 일부에 지나지 않으나 속도를 향상시키는데 사용한다. 하지만 메모리 요구량이 증가하는 단점이 있었다. 7가지의 제시한 특징에 따라 각 알고리즘의 유사성과 차이점이 이 표를 통하여 살펴 볼 수 있다.

4. 결 론

이상 JPEG2000에서 비율 제어의 관련된 연구들의 성과를 기준을 잡고 비교 사항을 검토해 보았다. 각 알고리즘들은 EBCOT의 비율 제어를 통해 계산량 감소나 왜곡 사항을 개선하기 위한 연구들이 진행되었다. 각 알고리즘은 개선된 특징을 가지고 있기는 하지만 미해결되거나 특징으로 인해 새로운 문제점들을 안고 있다.

위에 비교 사항에서도 알 수 있듯이 현재 JPEG2000의 가장 큰 문제점은 복잡한 계산과 그로 인해 크게 요구되는 계산 량과 메모리 량이 핵심 문제이다.

비율 제어 방법을 통해서 위의 문제가 해결 될 수 있다는 가능성을 살펴 볼 수 있었다.

이를 통해 앞으로 더욱 개선된 JPEG2000의 성능을 가진 비율 제어 알고리즘을 연구할 계획에 있다.

감사의 글

이 연구는 2008년도 단국대학교 교내 연구비로 연구되었음.

참고문헌

1. D. Taubman, "High performance scalable image compression with EBCOT", presented at the Proc. IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 3, pp. 344-348, 1999.
2. Yu-Wei Chang, Hung-chi Fang, Chih-chi Cheng, Chun-chia Chen, and Liang-Gee Cehn, "Precompression

- Quality-Control Algorithm for JPEG2000" IEEE Transactions on Image Processing, Vol 15. No 11, Nov.2006
3. F.A Llinas, J.S. Sagrista, "Moded-based JPEG2000 Rate Control Methods", pp 39-69, 2006.
4. ISO/IEC 15444-1: Information technology- JPEG2000 image coding system - Part 1 : Core coding system, 2000
5. Vikram, V. Vasudevan, and S. Srinivasan, "Rate-distortion estimation for fast JPEG 2000 Compression at low bit rates", IEEE Electronics Letters, Vol. 41, No. 1, pp. 16-18, 2005.
6. T.-H. Chang, L.-L. Chen, C.-J. Lian, H.-H. Chen, and L.-G. Chen, "Computation reduction technique for lossy JPEG2000 encoding through EBCOT tier-2 feedback processing", presented at the Proc. IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 3, pp. 85-88, 2002.
7. W. Du, J. Sun, and Q. Ni, "Fast and efficient rate control approach for JPEG2000", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 50, No. 4, pp. 1218-1221, 2004.
8. W. Yu, J. Fritts, and F. Sun, "An efficient packet algorithm for JPEG2000", presented at the Proc. IEEE internal Conference Image Processing, pp. 208-212, 2002.
9. Y. Yeung, O. C. Au, and A. Chang, "Successive bit-plane rate allocation technique for JPEG2000 image coding", presented at the Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 3, pp. 261-264, 2003.
10. T. Kim, H. M. Kim, P.-S. Tsai, and T. Acharya, "Memory efficient progressive rate-distortion algorithm for JPEG 2000", IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 15, No. 1, pp. 181-187, 2005.
11. C. Parisot, M. Antonini, and M. Barlaud, "Stripe-based MSE control in image coding", presented at the Proc. IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 2, pp. 649-652, 2002.
12. S. Battiato, A. Buemi, G. Impoco, and M. Mancuso, "JPEG2000 coded images optimization using a content-dependent approach", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 48, No. 3, pp. 400-408, 2002.
13. T. Sanguan kochankom and J. Fangtham, "A new approach to reduce encoding time in EBCOT algorithm for JPEG 2000" presented at the Proc. IEEE Conference on Convergent Technologies for Asia-Pacific Region, Vol. 4, pp. 1338-1342, 2003.
14. F. Chebil and R. Kurceren, "Pre-compression rate allocation for JPEG2000 encoders in power constrained devices", presented at the Proc. SPIE Interna-

- tional Conference on Image and Video Communications and Processing, 2006.
15. Y. Yeung, O. C. Au, and A. Chang, "Successive bit-plane rate allocation technique for JPEG2000 image coding", presented at the Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 3, pp. 261-264, 2003.
 16. NAME: Y. Yeung, O. C. Au, and A. Chang, "Efficient rate control technique for JPEG2000 Image coding using priority scanning", presented at the Proc. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Vol. 3, pp. 277-280, 2003.
 17. Y. Yeung, O. C. Au, and A. Chang, "An efficient optimal rate control scheme for JPEG2000 image coding", presented at the Proc. IEEE International Conference on Image Processing, Vol. 3, pp. 761-764, 2003.
 18. A. Aminlou and O. Fatemi, "Very fast bit allocation algorithm, based on simplified R-D curve modeling", presented at the Proc. IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, Vol. 1, Dec. pp. 14-17, 2003.
 19. A. Aminlou and O. Fatemi, "A novel efficient rate control algorithm for hardware implementation in JPEG2000", presented at the Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 5, pp. 21-24, 2005.
-
- 접수일: 2009년 2월 12일, 1차 심사일: 2009년 2월 25일
2차 심사일: 2009년 3월 6일, 게재확정일: 2009년 3월 13일