

JPEG2000을 위한 개선된 비율-왜곡 최적화 알고리즘 및 하드웨어 구조에 관한 연구

문형진, 박성모

전남대학교 컴퓨터정보통신공학과

e-mail : hjmoon@ciscom.chonnam.ac.kr, smpark@chonnam.ac.kr

A Study on Algorithm and Hardware Structure of the Improved Rate-Distortion Optimization for JPEG2000

Hyoungh-Jin Moon, Sung-Mo Park
Department of Computer Engineering
Chonnam National University

Abstract

This paper describes an improved Rate-Distortion Optimization Algorithm for JPEG2000. We proposed a new optimal constant setting method and rate allocation method to reduce execution time of the rate control. And we proposed hardware structure of the improved R-D opti. algorithm. Consequently, improved Rate-Distortion Optimization algorithm is faster than conventional rate control scheme in JPEG2000 standard and have nearly same performance.

I. 서론

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 JPEG(Joint Photographics Expert Groups)에 의해서 제안된 ISO/ ITU-T의 정지영상 표

준이다[1-2]. JPEG2000은 웨이블릿을 기반으로 임베디드 블록 부호화(EBCOT: Embedded Block Coding with Optimized Truncation)를 통해 부호화가 이루어진다. EBCOT는 컨텍스트 기반의 산술부호화 과정을 담당하는 Tier-1(T1)과 비율 제어와 코드 스트림 구성을 담당하는 Tier-2(T2)로 구성되어 있으며, JPEG2000의 인코딩 과정은 기존의 JPEG보다 복잡하여, 상대적으로 큰 계산량을 요구한다[3].

따라서 JPEG2000 부호화 시스템을 하드웨어로 구현하기 위해서 본 논문에서는 일반적으로 사용되는 T2 부호화기의 비율 제어 알고리즘인 후 압축 비율-왜곡 최적화(PCRD : Post Compression Rate-Distortion Optimization) 알고리즘을 개선하여 T2의 비율 제어 수행시간을 향상시킬 수 있는 방법을 제안하고 하드웨어 구조를 제안한다.

II. JPEG2000의 PCRD 알고리즘

T2는 비율-왜곡 최적화 알고리즘을 통해 목표 비트율을 만족시키면서 이미지의 왜곡이 최소가 되는 코딩 패스지점을 찾아 최종 코드 스트림을 생성한다. 비율 제어과정에서 중요한 문제는 현재의 코딩 패스가 최종 코드 스트림에 포함되는지를 판단하는 문제이며, 이것은 generalized Lagrange multiplier method를 이용한 식(1)를 통해 해결할 수 있다[4].

$$L = R + \lambda D = \sum_i (R_i^{n_i} + \lambda D_i^{n_i}) \quad (1)$$

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) 값¹⁾으로 나타낸 왜곡이다.

비율 제어상수(λ)를 찾는 문제는 각 코딩 패스들의 비율-왜곡 기울기를 이용하여 구할 수 있으며, 기울기를 구하는 방법은 식(2)과 같다.

$$S_i^{n_i} = \frac{\Delta D_i^{n_i}}{\Delta R_i^{n_i}} = \frac{D_i^{n_i-1} - D_i^{n_i}}{R_i^{n_i} - R_i^{n_i-1}} \quad (2)$$

코드 블록내의 모든 코딩 패스에 대한 비율-왜곡 기울기는 상위 비트-평면에서 하위 비트-평면의 코딩 패스로 갈수록 감소되어야 하며 예외의 경우는 절단점이 될 수 없다.

비율 제어는 식(1)를 통해 얻어진 최적의 비율 제한상수(λ_{opt}^{-1}) 이상의 비율-왜곡 기울기를 갖는 모든 코딩 패스를 최종 코드 스트림에 포함시킨다. 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.

III. 제안된 비율-왜곡 최적화 알고리즘

본 논문에서는 기존의 비율-왜곡 최적화 알고리즘의 각 과정별로 개선점을 제안하고, 개선된 비율-왜곡 최적화 알고리즘의 하드웨어 구조를 제안한다. T2에서 수행되는 비율-최적화 알고리즘은 크게 3가지 과정으로 나누어 볼 수 있다. 첫 번째는 전처리 과정으로 코드 블록의 각 코딩 패스가 절단 가능 지점인지 판단하는 과정이다. 두 번째는 비율 제한상수(λ^{-1})를 설정하는 과정이다. 세 번째는 비율 할당과정으로 설정된 비율 제한상수를 기준으로 각 코드 블록의 절단점을 설정하는 과정이다.

3.1 개선된 비율-왜곡 최적화 알고리즘

1) $D_i^{n_i} = \omega^{2n_i} \sum_{k \in B_i} (S_i^{n_i}[\vec{k}] - S[\vec{k}])^2$

3.1.1 전처리 과정

감소 특성에 반하는 코딩 패스 뿐 아니라 T1의 결과 생성되는 3가지 코딩 패스[1]들의 특성을 고려하여 P2를 절단점 후보에서 배제시킨다. 이것은 P1은 샘플의 중요도에 관한 정보를 포함하고 있고, P3는 상위 비트-평면에서 코드 스트림의 길이가 상대적으로 길어서 이것들이 이미지 왜곡에 미치는 영향이 크다. 반면 P2는 샘플에 대한 정밀도 정보이며, 실제로 significant bit이 발생되기 전까지는 코딩되지 않고, 상대적으로 상위 비트-평면에서 코드 스트림이 짧게 나타나며, 이미지 왜곡에 강한 특성을 보이기 때문이다.

3.1.2 비율 제한상수 설정과정

이 과정은 임의의 제한상수에서 최적의 제한상수를 도출하는 과정으로 비율 할당과정과 밀접하게 연결되는 부분이다. 특히 초기의 제한상수가 최적의 제한상수에 근접할수록 비율제어 전체 수행시간은 단축된다.

새로운 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 변동사항이 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.

그림1은 비율 제한상수 설정과 비율 할당과정을 도식화하여 나타낸다. 가)는 초기 제한상수 설정 시 참조되는 코딩 패스들을 나타내며, 나)는 제한 상수 갱신을 위해 참조되는 코딩 패스들을 나타낸다. (A)의 굵은 선은 비율 제한상수에 의해 결정된 임의의 절단점 위치를 나타낸다.

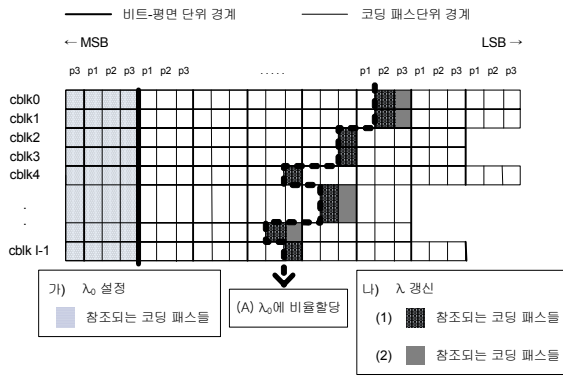


그림 1. 비율 제한상수 설정 및 비율 할당과정

3.1.3 비율 할당과정

비율 할당과정에 있어서 비율 제어상수가 변할 때마다 모든 코딩 패스에 대해서 비교 과정을 수행할 필요는 없다. 이는 전처리 과정을 통해 모든 코딩 패스들은 코드 블록별로 감소특성을 만족하기 때문이다. 따라서 이전의 비율 제어상수에 의해 비율 할당을 수행하지 않은 코딩 패스에 대해서만 비율 할당과정을 수행한다. 따라서 비율 제한상수가 변동됨에 따라 비율 할당과정에서 사용되는 비교 연산의 횟수는 감소된다.

3.2 하드웨어 구조 제안

코딩 패스들의 비율-왜곡 기울기는 단순히 비교 연산을 위해서 사용되므로, 정밀도는 그리 중요한 문제가 아니다. 따라서 본 논문에서는 식(3)과 같은 비율-왜곡 기울기의 근사값을 이용한다. 근사값을 이용하면 하드웨어 설계 시 비율-왜곡 기울기 계산을 나눗셈기 대신 배럴 쉬프터를 이용하여 수행할 수 있다.

$$\widetilde{S}_i^{n_i} = \frac{AD_i^{n_i}}{\lfloor \log_2(AR_i^{n_i}) \rfloor} \quad (3)$$

전처리 과정은 연속한 두 개의 코딩 패스들의 비율-왜곡 기울기를 비교하는 과정과 현 코딩 패스의 종류가 P2인지 확인하는 과정으로 구성된다. 그림2는 전처리 과정의 블록도를 나타낸다.

비율 제어상수는 참조되는 코딩 패스들의 비율-왜곡 기울기의 평균값으로 각 코드 블록별 참조되는 코딩 패스의 수와 전체 코드 블록의 수, 그리고 해당 비율-왜곡 기울기의 누적값을 통해 결정된다. 여기서, 참조되는 코딩 패스의 수는 비율 제한상수 설정 조건에 따

라 고정되어 있으며, 전체 코드 블록의 수 또한 타일의 크기와 코드 블록의 크기 및 웨이블릿 변환 레벨 수준에 의해 고정된다. 따라서 비율 제어상수 연산기는 가산기와 쉬프터를 이용하여 간단히 설계된다.

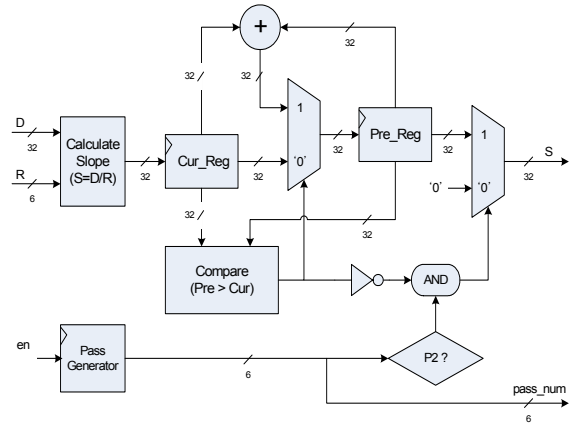


그림 2. 전처리 과정의 블록도

비율 할당기는 3개의 비교기를 사용하여 각 코드 블록내의 코딩 패스들이 최종 코드 스트림에 포함될지 여부를 판단한다. 3개의 비교기는 해당 코딩 패스의 비율-왜곡 기울기와 비율 제한상수 비교기, 결과 비트율과 목표 비트율 비교기, 코드 블록내의 모든 코딩 패스들에 대해 비율 할당과정이 수행되었는지 판단하는 비교기이다. 그림3은 비율 할당기의 블록도를 나타내며, 동기 신호(en_CutPass)는 현재 출력되는 절단점 정보(CutPass)가 유효한지에 대한 선택 신호이며, 인터럽트(irq_end)는 비율 할당이 완료되었음을 제어기에 알리는 신호이다.

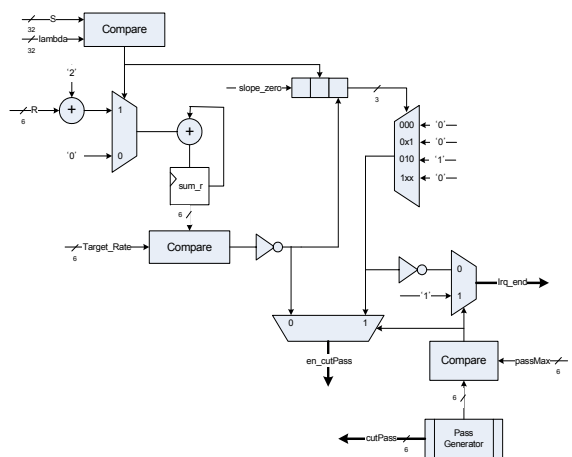


그림 3. 비율 할당과정의 블록도

IV. 구현 및 성능 분석

제안된 비율-왜곡 최적화 알고리즘의 하드웨어 구조는 VHDL을 사용하여 모델링 되었다. 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=3 이다.

그림4는 첫 번째 타일의 62번째 코드 블록의 전처리 결과이다. 전·후 비율-왜곡 기울기를 비교한 결과는 cpr신호를 통해 확인할 수 있으며, cpr=0일 때 출력값이 '0'이 되는 것은 해당 코딩 패스가 절단점 후보에서 배제됨을 의미한다. 그림5는 비율 할당과정의 시뮬레이션 결과이다.

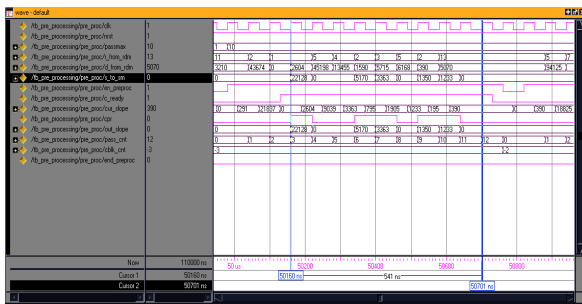


그림 4. 전처리 과정의 시뮬레이션 결과

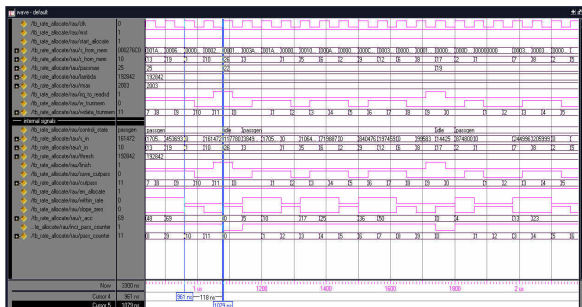


그림 5. 비율 할당과정의 시뮬레이션 결과

개선된 비율-왜곡 최적화 알고리즘을 통한 영상압축과 기존의 비율-왜곡 최적화 알고리즘을 통한 영상압축의 PSNR 결과는 표1을 통해 확인할 수 있다. 기존의 비율-왜곡 최적화 알고리즘은 JPEG2000의 공개 소프트웨어인 Jasper1.7이 이용되었다[5-6]. PSNR결과 통해 개선된 비율-왜곡 최적화 알고리즘과 기존의 비율-왜곡 최적화 알고리즘의 PSNR 오차는 1~2[dB] 수준

임을 확인할 수 있다.

표 1. 제안된 방법과 기존 방법의 PSNR 비교

bit rate (bpp)	Lenna		Barbara		Goldenhill	
	conventional	proposed	conventional	proposed	conventional	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

V. 결론

본 논문에서는 JPEG2000의 비율-왜곡 최적화 알고리즘을 통한 비율 제어과정의 성능을 향상시키기 위한 개선된 비율-왜곡 최적화 알고리즘과 하드웨어 구조를 제안하였다. 제안된 알고리즘은 개선된 전처리 과정과 비율 할당과정을 통해 불필요한 연산을 줄이고, 새로운 비율 제한상수 설정 방법을 제시한다. 이는 기존의 비율-왜곡 최적화 알고리즘을 통한 영상 압축 결과와 거의 같은 화질을 보장하면서 전체 비율 제어과정의 성능은 향상 시켰다. 제안된 알고리즘은 JPEG2000 시스템 구현뿐 아니라 Motion-JPEG2000 시스템 구현에도 적합하다.

참고문헌

- [1] ISO/IEC, ISO/IEC 15444-1:2000:Information technology - JPEG2000 Image Coding System - Part 1 final draft international standard, 2000.
- [2] C. Christopoulos, JPEG2000 Verification Model 8.5, ISO/IEC/JTC1/SC29/WG1/N1878, September. 13, 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] D. S. Taubman, "High Performance Scalable Image Compression with EBCOT", IEEE Trans. Image Processing, Vol. 9, No. 7, pp.1158-1170, July 2000.
- [5] 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.
- [6] Jasper1.7 Software. Available : <http://www.ece.uvic.ca/~mdadams>