

H.264/AVC 부호화기에서 정수 연산을 사용한 왜곡치 예측 방식

정회원 문정미*, 김재호*

A Distortion Estimation Method Using Integer Operations in H.264/AVC Encoder

Jeong-mee Moon*, Jae-ho Kim* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 H.264 부호화기의 윌-왜곡 최적화를 위한 저 복잡도의 왜곡치 예측 방식을 제안한다. H.264에서 사용하는 복원 왜곡치를 계산하기 위해서는 DCT, 양자화, 역 양자화, IDCT, 그리고 복원 과정을 거쳐야 한다. 제안 방식은 양자화에서 계산되는 정수 계수들을 사용하여 정수 연산만으로 왜곡치를 예측한다. 따라서 제안 방식을 사용함으로써 왜곡치 계산에 사용되었던 역 양자화, IDCT, 그리고 복원 과정이 생략된다. 실험 결과는 QP 24~36에서 윌-왜곡 최적화된 모드 결정 시간의 감소량이 평균 29 %와 최대 약 42 % 이고, 윌-왜곡 성능 저하는 무시할 수 있을 정도로 작음을 보여준다.

Key Words : H.264, Distortion, (I)Q, (I)DCT, Integer operation, RDO mode decision

ABSTRACT

In this paper, a new low-complexity distortion estimation method for H.264 rate-distortion optimized mode decision is proposed. The coding processes, such as DCT, quantization, inverse quantization, inverse DCT, and reconstruction are needed to compute the distortion in an H.264 encoder. To reduce these processes, we estimate distortion using integer operations with coefficients obtained in the quantization process. Inverse quantization, inverse DCT, and reconstruction processes are not needed by the proposed method. For quantization parameters 24 to 36, experimental results show that the time saving of rate-distortion optimized mode decision is on average 29 % and as high as 42 % with negligible degradation in coding performance.

I. 서 론

H.264/AVC는 가장 최근의 동영상 압축 표준으로서 MPEG-4에 비해서 약 50%의 비트-율을 감소시킨다^{1,2)}. H.264의 압축률을 높이기 위해서 다양한 부호화 방식들이 개발되었는데 그 중 하나로 윌-왜곡 최적화된 모드 결정 방식 (RDO_MD)을 들 수

있다^{3,4)}. H.264에서 매크로 블록은 16x16에서 4x4까지 다양한 크기의 블록을 가지는 여러 모드들 중에서 RDO_MD를 사용하여 비트-율과 복원 왜곡치가 최소가 되는 모드로 결정된다. 윌-왜곡 최적화 기법을 사용하여 모드를 결정할 경우 윌-왜곡 최적화를 하지 않았을 경우에 비해서 약 7%의 비트-율 감소를 가져온다^{2,5)}. 그러나 비트-율을 계산하기 위해

* 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신 연구소(Research Institute of Computer Information and Communication) (moonjmee@pusan.ac.kr), (jhkim@pusan.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-08-361, 접수일자 : 2008년 8월 19일, 최종논문접수일자 : 2008년 12월 1일

서 엔트로피 부호화를 수행하여야 하고 복원 왜곡치를 계산하기 위해서 DCT, 양자화, 역 양자화, 역 DCT, 그리고 복원화 과정이 필요하다. RDO_MD의 계산량은 고속 움직임 예측 방식^[3]을 사용하였을 경우, 전체 부호화 계산량의 약 30%를 차지한다^[2,5]. 이러한 많은 유효-왜곡 계산량은 RDO_MD의 많은 실시간 응용들을 어렵게 한다.

비트-율 예측과 왜곡치 예측은 고속 RDO_MD를 위한 주요 사항들이다. Chen^[6]과 Tu^[8]는 엔트로피 부호화 과정 없이 양자화된 DCT 계수들로부터 비트-율을 효과적으로 예측하는 방식을 제안하였다. 왜곡치를 구하는데 필요한 계산량을 감소시키기 위해서 DCT 영역에서 왜곡치를 예측하는 몇 가지 방법들이 제안되었다^[7-9]. 이 방식들은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫째는 양자화와 역 양자화를 수행하지 않고 통계적으로 양자화 후의 왜곡치를 추정하는 방법이다^[7]. Moon^[7]은 통계적으로 왜곡치를 추정하고 양자화, 역 양자화, 역 DCT, 그리고 복원화 과정을 생략시켰다. 이 방식은 계산량이 적은 반면 두 번째 방식들에 비해서 왜곡치 예측의 정확도가 낮다. 두 번째 방식들에서 왜곡치는 양자화와 역 양자화를 수행한 후 얻어진 계수들로부터 계산되었다^[8,9]. Tu^[8]는 양자화와 역 양자화 후에 왜곡치를 예측 하였고 Po^[9]는 반복적인 테이블 룩업 방식을 이용하여 양자화와 역 양자화한 후 왜곡치를 예측하였다. 기존의 왜곡치 예측 방식들^[7-9]에서는 왜곡치를 예측하는데 있어서 모두 실수 곱셈 연산이 요구된다.

본 논문에서는 두 번째 접근 방식에 대해서 저 복잡도의 왜곡치 예측 방식을 제안한다. 양자화 과정에서 얻을 수 있는 계수들을 이용하여 왜곡치를 예측하기 때문에 복원 왜곡치 계산에 사용되었던 역 양자화, 역 DCT, 그리고 복원화 과정이 생략된다. 제안 방식은 기존의 왜곡치 예측 방식들에서 요구되었던 실수 연산을 사용하지 않고 정수 단위로 효과적으로 왜곡치를 예측하기 때문에 하드웨어 구현에도 적합하다.

II. 기존의 왜곡치 예측 방식

H.264에서는 부호화 시에 다양한 블록 크기를 가진 모드들에 대해서 원 영상과 예측 영상의 차인 잔여 정보가 작아지도록 모드를 결정할 수 있다.

그러나 부호화 성능을 향상 시키기 위해서 잔여 블록에 대한 비트-율과 왜곡치가 모드 결정에 고려될 수 있다. 이것을 유효-왜곡 최적화된 모드 결정 방식

(RDO_MD)라고 한다. 이 경우 비트-율은 매크로 블록에 대한 헤더 정보들과 잔여 블록의 양자화된 계수들을 엔트로피 부호화하여 얻어지고 왜곡치는 원 영상과 복원된 영상의 차이의 제곱의 합(SSD)으로 계산된다. 원 블록과 복원 블록의 x, y 위치의 화소 값들을 $S(x, y)$ 와 $\hat{S}(x, y)$ 라고 할 때, H.264에서 4×4 블록에 대한 복원 왜곡치 (D_{Rec})는 다음과 같이 정의된다^[3,4].

$$D_{Rec} = \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 \{S(x, y) - \hat{S}(x, y)\}^2 \quad (1)$$

그림 1은 원 영상과 예측된 영상에 대한 4×4 블록을 각각 \mathbf{S}, \mathbf{P} 라고 할 때 4×4 블록에 대한 복원 왜곡치의 계산 과정을 나타낸다. 그림 1에서 보는 것과 같이 복원 왜곡치를 계산하기 위해서는 잔여 블록 \mathbf{U} 에 대해서 DCT, Q, IQ, IDCT, 그리고 복원 과정이 요구된다. 이 과정을 간소화 하기 위해서 Tu^[8]와 Po^[9]는 DCT 영역에서 왜곡치를 계산하는 방식을 제안하였다.

2.1 Tu의 방식

Tu^[8]는 그림 1에서 \mathbf{Z} 와 $\hat{\mathbf{Z}}$ s 을 이용하여 왜곡치를 예측하였다. 먼저 다음과 같이 $\hat{Z}(k, l)$ 을 정의하였다.

$$\hat{Z}(k, l) = \hat{Z}_s(k, l) \cdot M(k, l) \cdot \frac{1}{64}, \quad M(k, l) = \begin{cases} 16, & \text{for } (k, l) \in G_0, \\ 25, & \text{for } (k, l) \in G_1, \\ 20, & \text{for } (k, l) \in G_2, \end{cases} \quad (2)$$

여기서 G_0, G_1 , 그리고 G_2 는 4×4 블록 내에서 $(k, l) \in \{(0,0), (0,2)(2,0)(2,2)\}$, $(k, l) \in \{(1,1), (1,3)(3,1)(3,3)\}$, 그리고 나머지 위치들에 대한 그룹을 나타낸다. 4×4 블록에 대한 DCT 영역의 왜곡치는 다음과 같이 계산되었다.

$$D_{Tw} = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 \{Z(k, l) - \hat{Z}(k, l)\}^2 \cdot E_j(k, l)^2, \quad E_j(k, l) = \begin{cases} a^2, & \text{for } (k, l) \in G_0, \\ b^2/4, & \text{for } (k, l) \in G_1, \\ ab/2, & \text{for } (k, l) \in G_2, \end{cases} \quad (3)$$

여기서 후크기 변환 계수 $E_j(k, l)$ 의 각 요소 a 와 b 는 각각 $1/2$ 과 $\sqrt{2/5}$ 를 나타낸다^[5].

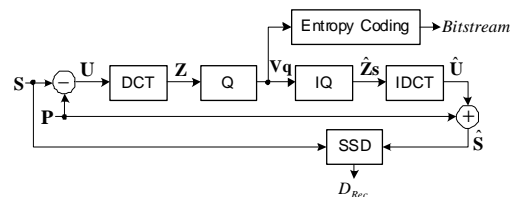


그림 1. 복원 왜곡치의 계산 과정

2.2 Po의 방식

Po^[9]는 양자화와 역 양자화 과정의 곱셈 연산량을 줄이기 위해서 그림 2에서 나타낸 반복적인 테이블 룩업 방식을 제안하였다. 그림 2에서 f_{po} 는 오프셋을 나타내고, Po의 양자화 간격 크기 $\Delta_{po}(QP, k, l)$ 는 다음과 같이 정의되었다.

$$\Delta_{po}(QP, k, l) = \Delta(QP) / E_f(k, l) \quad (4)$$

여기서 $\Delta(QP)$ 는 H.264의 양자화 간격 크기를 나타낸다. Po의 왜곡치는 다음의 식으로 계산된다.

$$D_{po} = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 \{Z(k, l) - \hat{Z}_{po}(k, l)\}^2 \cdot E_f(k, l)^2. \quad (5)$$

III. 주파수 영역에서의 정수 왜곡치 예측

이번 장에서는 H.264에서의 양자화에 대해 간단하게 언급한 후, 저 복잡도의 정수 왜곡치 계산을 위한 방식을 제안한다.

3.1 H.264의 양자화

$Z(k, l) \cdot E_f(k, l)$ 로 계산되는 DCT 계수 $V(k, l)$ 는 양자화 간격 크기 $\Delta(QP)$ 에 의해 양자화 된다. H.264에서 $\Delta(QP)$ 는 52개의 양자화 파라미터 (QP)에 대해서 일반적으로 다음과 같이 정의된다^[5].

$$\Delta(QP) = \delta(r) \cdot 2^q, \quad \delta(i) \in \left\{ \frac{10}{16}, \frac{11}{16}, \frac{13}{16}, \frac{14}{16}, \frac{16}{16}, \frac{18}{16} \right\}, \text{for } 0 \leq i < 6, \quad (6)$$

여기서 r 과 q 는 QP를 6으로 나눈 나머지와 몫을 나타낸다.

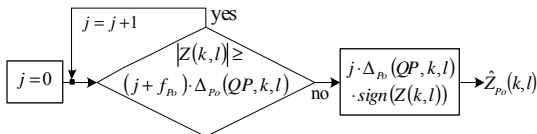


그림 2. Po의 반복적인 테이블 룩업 방식을 이용한 양자화와 역 양자화

나누기 연산을 없애기 위해서 $E_f(k, l) / \Delta(QP)$ 는 $MF(r, k, l)$ 의 곱셈으로써 구현된다^[5,10,11].

$$MF(r, k, l) \approx \frac{E_f(k, l)}{\Delta(QP)} \cdot 2^{q+15}. \quad (7)$$

IDCT를 위한 전-크기 변환 계수 $E_i(k, l)$ 는 곱하기 연산을 줄이기 위해 다음과 같이 $RF(r, k, l)$ 에 포함된다.

$$RF(r, k, l) \approx \Delta(QP) \cdot \frac{1}{2^q} \cdot E_i(k, l) \cdot 2^6, \quad E_i(k, l) = \begin{cases} a^2, & \text{for } (k, l) \in G0, \\ b^2, & \text{for } (k, l) \in G1, \\ ab, & \text{for } (k, l) \in G2. \end{cases} \quad (8)$$

그리고 식 (7)과 식 (8)의 $MF(r, k, l)$ 와 $RF(r, k, l)$ 는 다음 관계를 만족하도록 조정되었다.

$$M(k, k) \cdot MF(r, k, l) \cdot RF(r, k, l) \cdot M(l, l) = 2^{21}. \quad (9)$$

따라서 H.264에서의 양자화는 앞에서 언급한 $MF(r, k, l)$ 의 곱셈과 자리 옮김 연산으로 다음과 같이 구현된다^[11].

$$Vq(k, l) = \{ \{ Z(k, l) \cdot MF(r, k, l) + f \} \gg (q+15) \} \cdot \text{sign}(Z(k, l)) = \{ \{ Zq(k, l) + f \} \gg (q+15) \} \cdot \text{sign}(Z(k, l)) \quad (10)$$

여기서 f 와 \gg 는 오프셋과 오른쪽 자리 옮김 연산을 나타낸다. H.264의 역 양자화는 다음과 같이 정의된다^[11,10,11].

$$\hat{Z}_s(k, l) = \{ Vq(k, l) \cdot RF(r, k, l) \} \ll q \quad (11)$$

여기서 \ll 는 왼쪽 자리 옮김 연산자이다.

3.2 정수 왜곡치 예측 방식

일반적으로 공간 영역에서 계산되는 왜곡치는 잔여 정보의 양자화에 의해 발생한다. 주파수 영역에서 4x4 블록에 대한 왜곡치는 다음과 같이 계산된다.

$$D_{TD} = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 \{ V(k, l) - \hat{V}(k, l) \}^2. \quad (12)$$

여기서 역 양자화된 DCT 계수 $\hat{V}(k, l)$ 는 H.264에서의 IQ를 사용하지 않고 $Vq(k, l) \cdot \Delta(QP)$ 로 계산될 수 있다. 왜곡치 계산에 대해 언급하기 전에, 식 (7)의 우변을 $mf(r, k, l)$ 라 하고, 표 1에 $MF(r, k, l)$ 와 $mf(r, k, l)$ 의 값을 비교하였다. 표 1로부터 $MF(r, k, l)$ 와 $mf(r, k, l)$ 의 값이 $(k, l) \in G1$ 과 $(k, l) \in G2$ 일 경우 다

르다는 것을 알 수 있다. 이것은 $\Delta(QP)$ 로 H.264의 역 양자화를 대신하기 위해서는 먼저 표 1의 차이들을 보상하기 위해 $\Delta(QP)$ 의 보정이 필요하다는 것을 의미한다. 따라서 제안 방식에서는 식 (7)과 식 (8)을 다음과 같이 다시 정리한다.

$$MF(r,k,l) = \frac{E_f(k,l)}{\Delta(QP)} \cdot 2^{q+15} \cdot \alpha(k,l) = \frac{E_f(k,l)}{\Delta(QP)/\alpha(k,l)} \cdot 2^{q+15}, \quad (13)$$

$$RF(r,k,l) = \Delta(QP) \cdot \frac{1}{2^q} \cdot E_i(k,l) \cdot 2^6 \cdot \beta(k,l) \\ = (\Delta(QP)/\alpha(k,l)) \cdot \frac{1}{2^q} \cdot E_i(k,l) \cdot 2^6 \quad (14)$$

여기서 $\beta(k,l)$ 는 $1/\alpha(k,l)$ 이다. 식 (13)과 식 (14)로부터 새로운 양자화 간격 크기 $\Delta_{PM}(QP,k,l)$ 를 다음과 같이 제안한다.

$$\Delta_{PM}(QP,k,l) = \frac{\Delta(QP)}{\alpha(k,l)} = \frac{\delta(r)}{\alpha(k,l)} \cdot 2^q = \delta_{PM}(r,k,l) \cdot 2^q. \quad (15)$$

여기서 기본 간격 크기 $\delta_{PM}(r,k,l)$ 는 식 (13)을 이용하여 다음 식으로 계산한다.

$$\delta_{PM}(r,k,l) = \frac{E_f(k,l) \cdot 2^{15}}{MF(r,k,l)} = \begin{cases} \frac{a^2 \cdot 2^{15}}{MF(r,k,l)}, & \text{for } (k,l) \in G0, \\ \frac{(b^2/4) \cdot 2^{15}}{MF(r,k,l)}, & \text{for } (k,l) \in G1, \\ \frac{(ab/2) \cdot 2^{15}}{MF(r,k,l)}, & \text{for } (k,l) \in G2. \end{cases} \quad (16)$$

표 1. MF(r,k,l)와 mf(r,k,l) : (a) MF(r,k,l), (b) mf(r,k,l)

r \ (k,l)	(k,l) ∈ G0	(k,l) ∈ G1	(k,l) ∈ G2
0	13107	5243	8066
1	11916	4660	7490
2	10082	4194	6554
3	9362	3647	5825
4	8192	3355	5243
5	7282	2893	4559

(a)

r \ (k,l)	(k,l) ∈ G0	(k,l) ∈ G1	(k,l) ∈ G2
0	13107.2	5242.88	8289.72
1	11915.64	4766.25	7536.11
2	10082.46	4032.99	6376.71
3	9362.29	3744.91	5921.23
4	8192	3276.8	5181.08
5	7281.79	2912.71	4605.4

(b)

식 (12)의 왜곡치는 제안 방식으로 보정한 양자화 간격 크기 $\Delta_{PM}(QP,k,l)$ 를 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$D_{TD} = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 \{Z(k,l) \cdot E_f(k,l) - Vq(k,l) \cdot \Delta_{PM}(QP,k,l)\}^2. \quad (17)$$

이 식을 계산하기 위해서는 각 계수 위치에 대해서 2번의 곱셈 연산이 필요하다. 제안 방식에서는 이러한 곱셈 연산을 줄이기 위해서 식 (13)과 (15)를 이용하여 다음의 전개를 시도한다.

$$D_{TD} = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 \left\{ \left(Z(k,l) \cdot MF(r,k,l) \cdot \frac{1}{2^{q+15}} - Vq(k,l) \right) \cdot \Delta_{PM}(QP,k,l) \right\}^2 \quad (18)$$

그리고 식 (10)을 이용하여 다음 식으로 정리한다.

$$D_{TD} = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 \left(Zq(k,l) \cdot \frac{1}{2^{q+15}} - Vq(k,l) \right)^2 \cdot \Delta_{PM}(QP,k,l)^2 \\ = \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 W(k,l)^2 \cdot \delta_{PM}(r,k,l)^2, \\ \text{where } W(k,l) = Zq(k,l) \cdot \frac{1}{2^{15}} - Vq(k,l) \cdot 2^q. \quad (19)$$

이 식에서 $W(k,l)$ 는 식 (10)의 양자화에서 q 의 오른쪽 자리 유효성에 의해 발생하는 왜곡치를 표현한다. 그리고 $r=0, \dots, 5$ 에 대한 양자화 간격 크기인 $\delta_{PM}(r,k,l)$ 와 곱해짐으로써 식 (19)는 모든 QP에 대해서 양자화에 의한 왜곡치를 표현한다. 이 식은 두 가지의 장점을 가지고 있다. 첫째, $\delta_{PM}(r,k,l)$ 는 각 위치에 대한 $W(k,l)^2$ 를 $G0, G1$, 그리고 $G2$ 에 대해서 합한 다음 곱할 수 있으므로, 각 계수에 대한 곱셈 연산이 줄어든다.

표 2. 정수 기본 양자화 간격 크기 Qs(r,k,l)

r \ (k,l)	(k,l) ∈ G0	(k,l) ∈ G1	(k,l) ∈ G2
0	100	100	106
1	121	127	122
2	169	156	160
3	196	207	203
4	256	244	250
5	324	329	331

둘째, $W(k,l)$ 는 양자화 과정에서 계산되는 $Zq(k,l)$ 와 $Vq(k,l)$ 을 이용하여 자리 유효 연산만으로 쉽게 구현될 수 있다. 제안하는 정수 왜곡치는 다음의 정수 근사화를 통해 얻을 수 있다.

$$D_{PM} = \left\{ \sum_{k=0}^3 \sum_{l=0}^3 |W_i(k,l)|^2 \cdot Qs(r,k,l) \right\} \gg 8, \\ |W_i(k,l)| = \left\{ \left(|Zq(k,l) + 16384| \gg 15 \right) - \left(|Vq(k,l)| \ll q \right), \right. \\ \left. Qs(r,k,l) = \text{round} \left(\delta_{PM}(r,k,l) \cdot 16^2 \right) \right\} \quad (20)$$

여기서 $\text{round}(\cdot)$ 는 반올림 연산을 나타낸다. 최대 9 비트를 가지는 $Qs(r,k,l)$ 는 표 2에 나타낸다. q 는 최대 8 비트를 가지므로 $|W_i(k,l)|$ 역시 최대 8 비트를 가진다. 따라서 제안하는 D_{PM} 는 16 비트 정수 연산으로 계산될 수 있다. 그림 3은 기존의 왜곡치 예측 방식들과 제안하는 방식에 대한 비교를 보여준다. 그림 3으로부터 제안 방식에서는 양자화 과정에서 계산되는 계수들을 이용하여 정수 연산으로 왜곡치를 예측함으로써 H.264의 역 양자화 과정이 생략됨을 알 수 있다.

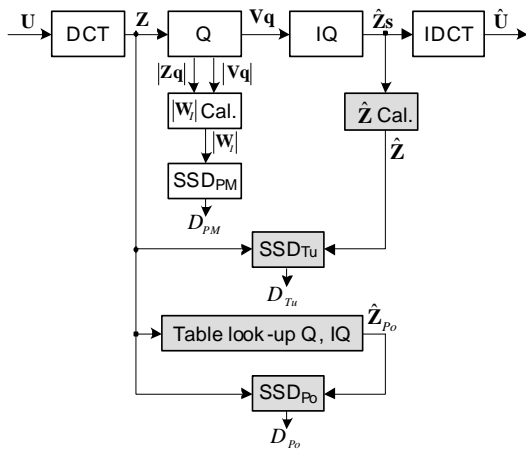


그림 3. 기존 방식과 제안하는 저 복잡도 정수 왜곡치 예측 방식의 비교 ; 회색 영역과 흰색 영역은 각각 실수 연산과 정수 연산으로 구현되는 영역을 의미한다

IV. 실험 결과

제안 방식의 성능을 알아보기 위하여 H.264의 참조 프로그램^[11]에서 모의실험 하였다. 실험 환경은 표 3에 나타내었다. P 프레임에서는 인터 예측만 사용하였고 왜곡치 예측 방식은 휘도 블록에만 적용하였다. 먼저 H.264의 복원 왜곡치와 기존 방식들과 제안된 방식으로 예측된 왜곡치들의 평균 절대 차이 (MAD)를 그림 4에 나타내었다. 제안 방식의 MAD는 정수 연산으로의 근사화에 의해서 Tu의 왜곡치의 MAD보다는 큰 값을 보인다. 그러나 제안

표 3. 실험 환경

Test software	JM9.6
Size	QCIF, CIF
Profile	Baseline profile
Hz	10, 15, 30
Num. of frames	100
GOP type	IPPP...
Num. of reference frames	1
Entropy coding method	CAVLC
Search range	16
Motion estimation method	Fast ME
Hadamard transform	Used
RDO mode decision	Used

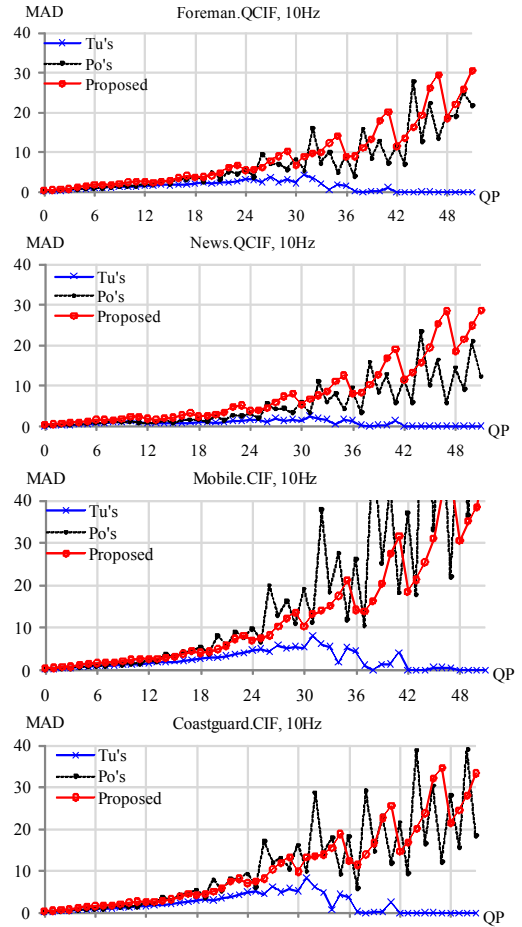


그림 4. 모든 QP값(0~51)에 대한 복원 왜곡치와 예측된 왜곡치의 MAD그래프

방식에서 양자화 간격 크기에 대한 보정으로 인해 $r=0, \dots, 5$ 사이에서 MAD가 고르게 증가하는 것을 볼 수 있다. Po의 방식에서는 $\Delta(QP)$ 를 양자화와 역 양자화에 이용하였기 때문에 $r=0, \dots, 5$ 사이에서 MAD가 고르지 못한 것을 알 수 있다. $r=2$ 인 경우

(QP=...32, 38, 44, 50), 표 1에서 보는 것과 같이 $MF(r,k,l)$ 와 $mf(r,k,l)$ 의 차이가 크기 때문에 P_o 의 왜곡치에 대한 MAD가 크게 나타난다. 그림 4에 나타난 모든 MAD는 PSNR과 비트-율 관점에서 무시할 수 있을 만큼 작은 값이다. 따라서 제안 방식이 정수 연산만으로 계산되었지만, 모든 QP 구간에 대해서 왜곡치를 잘 예측하는 것을 알 수 있다.

제안하는 왜곡치 예측 방식을 H.264 부호화기의 RDO_MD에 적용하여 울-왜곡 성능과 계산 시간 감소량을 측정하였다. 먼저 RDO_MD 과정에서 H.264의 복원 왜곡치 대신 제안 방식에서의 왜곡치를 사용하여 울-왜곡 성능을 실험하였다. 그림 5는 H.264의 RDO_MD를 사용하여 부호화 한 경우와 RDO_MD에서 D_{PM} 를 왜곡치로 사용하여 부호화 한 경우의 PSNR과 비트-율의 곡선 그래프를 나타낸다. 그림 5에서 제안하는 왜곡치를 사용하여 울-왜곡 최적화된 모드를 결정하고 부호화 하였을 때 H.264의 복원 왜곡치를 사용하였을 경우와 PSNR과 비트-율의 곡선 관점에서 성능의 저하가 거의 없음을 알 수 있다.

표 4. Tu, Po, 그리고 제안 방식을 RDO_MD에 적용하였을 때 RDO_MD를 사용하는 참조 소프트웨어와의 평균 PSNR 차이 (QP 24, 28, 32, 36) ; (a) QCIF 영상, (b) CIF 영상

QCIF Sequences	Hz	Diff_PSNR (dB)		
		Tu	Po	Proposed
Foreman	10hz	-0.023	-0.022	-0.077
	30hz	0.007	0.009	0.003
News	10hz	-0.018	-0.018	-0.009
	30hz	-0.011	0.006	-0.012
Container	10hz	0.015	0.022	0.001
	30hz	-0.024	0.016	-0.023
Silent	15hz	0.005	0.004	-0.02
	30hz	0.018	0.042	0.012
Average		-0.004	0.007	-0.016

(a) QCIF 영상

CIF Sequences	Hz	Diff_PSNR (dB)		
		Tu	Po	Proposed
Mobile	10hz	-0.027	0.013	-0.026
	30hz	-0.034	0.016	-0.028
Akiyo	10hz	0.004	0.017	0.006
	30hz	0.007	0.006	0.004
Coastguard	10hz	-0.013	0.005	-0.017
	30hz	-0.004	-0.003	-0.011
Tempete	10hz	-0.015	0.02	-0.013
	30hz	-0.014	0.023	-0.016
Average		-0.012	0.012	-0.013

(b) CIF 영상

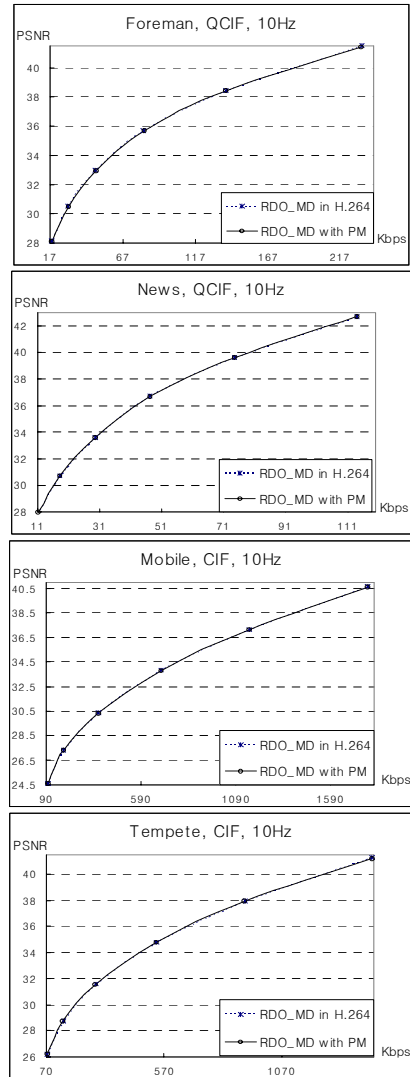


그림 5. H.264의 울-왜곡 최적화된 모드 결정 방식에 제안 방식을 적용하여 부호화 한 PSNR과 비트-율 그래프 ; "RDO_MD in H.264"는 H.264의 RDO_MD 방식으로 부호화 한 경우를 나타내고 "RDO_MD with PM"은 제안하는 왜곡치 D_{PM} 를 RDO_MD의 왜곡치로 사용하여 부호화 한 경우를 나타낸다 (10Hz, 100 frame, QP 20, 24, 28, 32, 36, 40)

표 4는 H.264의 RDO_MD에서 Tu와 Po의 왜곡치를 사용한 경우와 제안하는 왜곡치를 사용한 경우에 대해서 참조 프로그램^[11]과의 평균 PSNR 차이를 Bjontegaard^[12]의 방법을 이용하여 계산한 것이다. 이 표에서 양의 값은 H.264에 비해서 PSNR의 향상을 의미하고, 음의 값은 PSNR의 감소를 의미한다. 표 3의 결과로부터 제안 방식으로 인한 평균 PSNR의 감소가 무시할 수 있을 만큼 작은 것을 알 수 있다. 다음으로 기존 방식들과 제안 방식을

H.264의 RDO MD에 적용했을 경우의 부호화 시간 감소량에 대해서 비교하였다. 부호화 시간의 감소량을 알아보기 위해서 Intel Pentium 4 CPU, 3.6GHz, 그리고 1 GB RAM인 환경에서 참조 소프트웨어^[11]를 부호화 하였다. RDO_MD에 대한 시간 감소량 (%)은 다음과 같이 정의된다.

$$ST_{RDO_MD} (\%) = \frac{T_{RDO_MD} - T_{RDO_MD \text{ with Estimated Distortion}}}{T_{RDO_MD} - T_{\text{without RDO_MD}}} \times 100. \quad (21)$$

여기서 T_{RDO_MD} 와 $T_{\text{without RDO_MD}}$ 는 참조 프로그램에서 RDO_MD를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 전체 부호화 시간을 나타낸다. 식 (21)의 $T_{RDO_MD \text{ with Estimated Distortion}}$ 은 Tu, Po, 그리고 제안 방식으로 예측한 왜곡치를 RDO_MD에 적용한 경우의 전체 부호화 시간을 나타낸다. 표 5는 H.264의 RDO_MD에 대한 Tu, Po, 제안 방식의 시간 감소량을 나타낸다. 표 5에서 Tu, Po, 제안 방식의 RDO_MD 시간 감소량은 QCIF 영상일 때 각각 평균 18, 25, 31%이고 CIF 영상일 때 평균 14, 19, 27%가 감소됨을 보여준다. 제안 방식이 Tu의 방식보다 약 13%와 Po의 방식보다 약 7% 더 RDO_MD 시간을 감소시켰다. 다음으로 기존 방식들과 제안 방식을 H.264의 RDO MD에 적용했을 경우의 전체 부호화 시간 감소량에 대해서 비교하였다. 전체 부호화 시간 감소량은 다음 식과 같이 계산하였다.

$$ST_{\text{Encoding}} (\%) = \frac{T_{RDO_MD} - T_{RDO_MD \text{ with Estimated Distortion}}}{T_{RDO_MD}} \times 100. \quad (22)$$

위의 식으로부터 얻은 H.264의 전체 부호화 시간에 대한 기존 방식들과 제안 방식을 사용한 경우의 부호화 시간의 감소량은 표 6에 나타내었다. 표 6은 Tu, Po, 제안 방식의 전체 부호화 시간 감소량은 QCIF 영상일 때 각각 평균 6, 9, 11%이고 CIF 영상일 때 평균 5, 7, 9%가 감소됨을 보여준다.

제안 방식이 Tu의 방식보다 약 4.5%와 Po의 방식보다 약 2.5% 더 전체 부호화 시간을 감소시켰다.

Tu^[8]는 DCT, 양자화, 역 양자화를 수행한 후에 역 양자화된 계수값을 이용하여 실수 연산으로 왜곡치를 계산하였다. Po^[9]는 양자화와 역 양자화에

표 5. Tu, Po, 그리고 제안하는 왜곡치를 RDO_MD에 적용하였을 경우, H.264의 RDO_MD에 대한 시간 감소량 (%) ; (a) QCIF 영상, (b) CIF 영상

QCIF	Hz	Method	ST _{RDO MD} (%)			
			QP 24	QP 28	QP 32	QP 36
Foreman	10	Tu's	9.94	10.67	17.74	16.57
		Po's	14.95	15.00	24.59	26.90
		Proposed	22.79	25.67	32.03	32.30
	30	Tu's	14.55	11.79	19.24	11.77
		Po's	17.04	22.76	25.09	22.45
		Proposed	25.05	26.13	34.84	31.96
News	10	Tu's	21.80	21.82	21.71	24.79
		Po's	25.16	23.68	25.39	28.36
		Proposed	35.55	32.93	31.19	38.14
	30	Tu's	18.59	29.40	11.59	23.13
		Po's	22.25	28.85	23.22	28.37
		Proposed	31.28	39.44	25.08	37.45
Container	10	Tu's	17.07	15.73	14.54	28.53
		Po's	23.63	22.19	27.20	30.88
		Proposed	21.62	34.73	23.93	41.99
	30	Tu's	17.79	17.27	21.50	24.52
		Po's	31.22	20.79	31.68	29.55
		Proposed	34.92	32.94	36.90	31.03
Silent	15	Tu's	21.72	14.87	14.88	12.43
		Po's	22.76	21.75	25.06	24.08
		Proposed	30.46	33.49	27.33	27.91
	30	Tu's	11.07	14.29	22.42	19.70
		Po's	23.16	26.14	29.63	25.86
		Proposed	31.85	35.04	27.03	30.79
Average	Tu's	16.57	16.98	17.95	20.18	
	Po's	22.52	22.65	26.48	27.06	
	Proposed	29.19	32.55	29.79	33.95	

(a) QCIF 영상

CIF	Hz	Method	ST _{RDO MD} (%)			
			QP 24	QP 28	QP 32	QP 36
Mobile	10	Tu's	5.78	9.94	11.05	13.19
		Po's	7.89	13.88	16.81	18.72
		Proposed	18.17	20.14	24.70	26.57
	30	Tu's	6.80	12.70	11.59	18.64
		Po's	9.56	18.45	19.28	20.93
		Proposed	19.38	25.56	27.31	25.37
Akiyo	10	Tu's	30.16	22.56	19.10	21.16
		Po's	34.47	27.39	23.06	24.30
		Proposed	42.40	37.78	33.46	34.23
	30	Tu's	26.87	21.37	19.92	19.96
		Po's	30.50	25.08	26.04	23.52
		Proposed	41.82	34.37	32.56	33.80
Coastguard	10	Tu's	7.68	7.64	11.65	13.75
		Po's	10.18	14.04	19.14	21.30
		Proposed	19.58	23.69	27.47	29.26
	30	Tu's	8.16	11.10	12.38	14.61
		Po's	11.07	18.30	19.31	20.70
		Proposed	20.78	24.34	25.67	28.95
Tempete	10	Tu's	10.15	8.57	11.38	15.32
		Po's	15.01	15.54	19.78	22.78
		Proposed	19.73	21.15	24.49	28.72
	30	Tu's	8.40	11.87	12.99	16.69
		Po's	12.48	17.68	22.58	23.67
		Proposed	19.84	23.05	25.77	30.07
Average	Tu's	13.00	13.22	13.76	16.67	
	Po's	16.39	18.80	20.75	21.99	
	Proposed	25.21	26.26	27.68	29.62	

(b) CIF 영상

요구되는 곱셈 연산을 없애기 위해서 반복적인

테이블 룩업 방식으로 양자화와 역 양자화를 수행한 후에 실수 연산을 통해 왜곡치를 계산하였다. 그러나 Po의 방식은 반복적인 테이블 룩업 방식을 수행하기 위해서 각 k,l 계수 위치에 따라 다른 크기의 양자화 간격 크기 정보를 저장해야 한다. 즉, G0, G1, G2 그룹 각각에 대해서 양자화를 위한 간격 크기 정보와 역 양자화를 위한 간격 크기 정보를 저장해야 한다. H.264에서 정수 DCT 계수의 최대 양의 값은 G0, G1, G2 각각에 대해서 12, 14, 13 비트의 값을 가지고 Po가 제안한 간격 크기의 최소 값은 G0, G1, G2 각각에 대해서 2.5, 6.25, 3.95 이다. 따라서 최대 $(2^{12}/2.5) \times 2 \approx 1639 \times 2$, $(2^{14}/6.25) \times 2 \approx 2622 \times 2$, 그리고 $(2^{13}/3.95) \times 2 \approx 2074 \times 2$ 개의 정보가 양자화와 역 양자화 각각에 대해서 테이블에 저장되어야 한다. 제안 방식에서 왜곡치는 H.264의 DCT와 양자화에서 계산되는 정수 계수들을 이용하여 16 비트 정수 연산으로 예측된다. 제안 방식에서는 정수 연산을 위해서 최대 9 비트를 가지고 총 18개의 테이블로 구성되는 정수 양자화 간격 크기를 정의하였다. 이 정수 양자화 간격 크기를 각 G0, G1, G2에 대해서 왜곡치를 계산한 후에 한번씩만 곱해줌으로써 H.264의 역 양자화 과정을 생략시켰다.

V. 결 론

본 논문에서는 저 복잡도의 정수 연산의 왜곡치 예측 방식을 제안하였다. H.264에서 복원 왜곡치는 오차 블록의 DCT, 양자화, 역 양자화, 역DCT, 그리고 복원화 과정 후에 계산되어진다. 제안 방식은 H.264의 DCT와 양자화에서 계산되는 정수 계수들을 사용하여 간단한 16 비트 정수 연산만으로 왜곡치를 예측한다. 따라서 제안 방식에서는 역 양자화, 역 DCT, 그리고 복원 과정이 생략된다. 실험 결과는 복원 왜곡치와 제안하는 왜곡치와의 예측 오차가 모든 QP 영역에 대해서 무시할 수 있을 정도로 작음을 보여주었다. 또한 제안하는 왜곡치를 윌-왜곡 최적화된 모드 결정 방식에 적용한 실험 결과에서 PSNR과 비트-율 그래프는 복원 왜곡치를 사용한 H.264의 그래프와 거의 동일함을 알 수 있었다.

QP 24~36 일 때 QCIF와 CIF 영상에서 윌-왜곡 최적화된 모드 결정 방식에 대한 평균 계산 시간 감소량은 약 29 %이고 최대 약 42%까지 감소되었다.

표 6. 기존 방식들과 제안 방식을 H.264의 RDO_MD에 적용하였을 경우 Tu, Po, 제안 방식에 대한 H.264 부호화 시간 감소 퍼센트 (%) ; (a) QCIF 영상, (b) CIF 영상

QCIF	Hz	Method	ST _{Encoding} (%)			
			QP 24	QP 28	QP 32	QP 36
Foreman	10	Tu's	3.43	3.56	5.61	5.06
		Po's	5.16	5.00	7.78	8.21
		Proposed	7.86	8.55	10.13	9.86
	30	Tu's	5.34	4.00	6.34	3.91
		Po's	6.26	7.72	8.26	7.46
		Proposed	9.20	8.86	11.47	10.61
News	10	Tu's	8.57	7.93	7.49	8.86
		Po's	9.89	8.60	8.75	10.13
		Proposed	13.98	11.96	10.75	13.63
	30	Tu's	6.59	11.37	3.77	7.78
		Po's	7.89	11.16	7.56	9.55
		Proposed	11.09	15.26	8.17	12.60
Container	10	Tu's	6.10	5.47	4.91	9.92
		Po's	8.44	7.72	9.17	10.73
		Proposed	7.73	12.09	8.07	14.60
	30	Tu's	6.95	6.30	7.86	8.42
		Po's	12.19	7.58	11.59	10.15
		Proposed	13.64	12.02	13.50	10.66
Silent	15	Tu's	8.05	5.03	4.93	3.80
		Po's	8.43	7.36	8.30	7.36
		Proposed	11.29	11.33	9.06	8.53
	30	Tu's	3.82	5.22	7.22	6.31
		Po's	8.00	9.55	9.55	8.29
		Proposed	11.01	12.80	8.71	9.87
Average	Tu's	6.11	6.11	6.02	6.76	
	Po's	8.28	8.09	8.87	8.99	
	Proposed	10.72	11.61	9.98	11.29	

(a) QCIF 영상

CIF	Hz	Method	ST _{Encoding} (%)			
			QP 24	QP 28	QP 32	QP 36
Mobile	10	Tu's	2.22	3.61	3.64	4.06
		Po's	3.04	5.04	5.53	5.76
		Proposed	6.99	7.31	8.13	8.18
	30	Tu's	2.64	4.75	3.85	6.68
		Po's	3.71	6.89	6.41	7.50
		Proposed	7.53	9.55	9.07	9.09
Akiyo	10	Tu's	11.87	8.28	6.91	7.77
		Po's	13.57	10.05	8.34	8.93
		Proposed	16.69	13.86	12.11	12.57
	30	Tu's	8.04	7.69	7.20	7.29
		Po's	9.13	9.02	9.41	8.58
		Proposed	12.52	12.37	11.76	12.34
Coastguard	10	Tu's	2.62	2.46	3.48	3.98
		Po's	3.47	4.52	5.72	6.17
		Proposed	6.67	7.62	8.21	8.47
	30	Tu's	2.94	3.70	3.81	4.25
		Po's	3.99	6.10	5.95	6.02
		Proposed	7.49	8.12	7.91	8.42
Tempete	10	Tu's	3.79	2.88	3.60	4.52
		Po's	5.60	5.22	6.25	6.71
		Proposed	7.37	7.11	7.74	8.46
	30	Tu's	3.04	4.02	4.03	5.08
		Po's	4.51	5.98	7.01	7.20
		Proposed	7.18	7.80	8.00	9.15
Average	Tu's	4.65	4.67	4.56	5.45	
	Po's	5.88	6.60	6.83	7.11	
	Proposed	9.05	9.22	9.12	9.59	

(b) CIF 영상

참 고 문 헌

- [1] Joint Video Team of ITU-T and ISO/IEC JTC 1. "Draft ITU-T Recommendation and Final Draft International Standard of Joint Video Specification (ITU-T Rec. H.264 ISO/IEC 14496-10 AVC)", *Joint Video Team(JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG. doc. JVT-G050*. Mar. 2003.
- [2] J. Ostermann, J. Bormans, P. List, D. Marpe, M. Narroschke, F. Pereira, T. Stockhammer, and T. Wedi, "Video coding with H.264/AVC : Tools, Performance, and Complexity", *IEEE Curcuits and Systems Magazine*, First Quarter, pp.7-28, 2004.
- [3] "Text Description of Joint Model Reference Encoding Methods and Decoding Concealment Methods", *Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, Document JVT-K049*, Munich, Germany, Mar. 2004.
- [4] Wiegand, T.; Schwarz, H.; Joch, A.; Kossentini, F.; Sullivan, G.J.; , "Rate-constrained coder control and comparison of video coding standards", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol.13, No.7, July 2003 Page(s):688 - 703.
- [5] L.E.G. Richardson, "H.264 and MPEG-4 Video Compression", Wiley, 2003.
- [6] Q. Chen and Y. He, "A Fast Bits Estimation Method for Rate-Distortion Optimization in H.264/AVC", *Proceedings of PCS2004*, No.35, Dec. 2004.
- [7] J. M. Moon, Y. H. Moon, and J. H. Kim, "A Computation Reduction Method for RDO Mode Decision Based on an Approximation of the Distortion", *IEEE International Conference on Image Processing*, pp.2481-2484, Oct. 2006.
- [8] Y. K. Tu, J. F. Yang, and M. T. Sun, "Efficient Rate-Distortion Estimation for H.264/AVC Coders", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol.16, No.5, pp.600-611, May 2006.
- [9] L. M. Po and K Guo, "Transform-domain fast sum of the squared difference computation for H.264/AVC rate-distortion optimization", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol.17, No.6, pp.765-773, June 2007.
- [10] H. S. Malver, A. Hallapuro, M. Karczewicz, and L. Kerofsky, "Low-complexity transform and quantization in H.264/AVC", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol.13, pp.598-603, July 2003.
- [11] Joint Video Team (JVT) Reference Software [Online]. Available: <http://bs.hhi.de/~suehring/tml/download/>
- [12] G. Bjontegaard, "Calculation of average PSNR differences between RD curves," VCEG-M033, 13th VCEG meeting, Austin Texas, USA, Apr. 2001.

문 정 미 (Jeong-mee Moon)

정회원



2001년 2월 홍익대학교 전기 전자컴퓨터공학부 졸업
2008년 8월 부산대학교 전자공학과 박사
현재 부산대학교 컴퓨터 및 정보통신 연구소 전임 연구원
<관심분야> 영상처리, 영상압축,

VLSI, SOC 설계

김 재 호 (Jae-ho Kim)

정회원



1980년 2월 부산대학교 전기 기계공학과 졸업
1982년 2월 한국과학기술원 산업전자공학과 석사
1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
현재 부산대학교 전자공학과정 교수

<관심분야> 영상처리, 영상압축, VLSI, SOC 설계