

H.264/AVC를 위한 영상 내용 기반 인트라 예측 부호화

정희원 신 세 일*, 중신회원 김 진 태**, 오 정 수***

Image Contents Based Intra predictive Coding for H.264/AVC

Se-ill Sin* *Regular Member*, Jin-tea Kim**, Jeong-su Oh*** *Lifelong Members*

요 약

H.264/AVC에서 P-프레임 부호화에 추가된 인트라 예측은 화질과 비트율 모두를 다소 개선시키고 있으나, 계산량을 크게 증가시키고 있다. 계산량의 증가를 줄이기 위해 본 논문은 최적 인트라 블록 모드가 매크로 블록의 영상 내용에 의존하는 특성을 이용한 영상 내용 기반 인트라 예측 부호화를 제안한다. 제안된 알고리즘은 영상 복잡도와 최적 인터 블록 모드로 매크로블록의 영상 내용을 평가하고, 영상 내용을 근거로 인트라 블록 모드를 선택하거나 배제한다. 모의실험 결과는 기존 알고리즘과 비교하여 제안된 알고리즘이 화질에서 평균 0.01dB가 감소하고, 비트율에서 평균 0.38%가 증가하나, 부호화 계산 시간에서 평균 37.02%의 큰 감소를 보여주고 있다.

Key Words : Intra Prediction, Image Content, Image Complexity, Block Mode, H.264/AVC

ABSTRACT

In H.264/AVC, an intra prediction added to the P-frame coding slightly improves both of image quality and bit rate, but greatly increases an amount of computation. In order to reduce the increase in computation, this paper proposes an image contents based intra prediction coding using characteristics that the best intra block mode depends on the image content of a macro block. The proposed algorithm estimates the image content with image complexity and the best inter block mode, and then selects or excludes a intra block mode on the basis of it. The simulation results show that the proposed algorithm reduces average 0.01dB in image quality, and increases average 0.38% in the bit rate, but reduces average 37.02% in computation time compared with the conventional algorithm.

I. 서 론

ISO/IEC과 ITU-T가 함께 구성한 JVT(joint video team)에 의해 새로운 동영상 압축 표준인 H.264/AVC가 발표되었다. 다양한 새로운 기술들이 도입된 H.264/AVC는 기존 표준안들 보다 압축 효율이 압도적으로 우수하다^{[1]-[3]}. 그래서 최근 새로 개발되는 영상관련 미디어들에 채택되고 있거나 채택될 예정이어서 관심의 대상이 되고 있다. 그러나 새로운 기술들은 H.264/AVC 부호기의 복잡도를 크게

증가시켜 실시간 구현을 어렵게 하고 있다. 그래서 H.264/AVC 발표 이후에 부호기의 복잡도를 줄이기 위한 많은 고속 알고리즘들이 연구되고 있다^{[4]-[6]}.

H.264/AVC는 P-프레임(predictive coded frame) 부호화에 인트라(intra) 예측을 추가하여 다양한 가변 블록 모드(block mode, BM)에 대해 인터(inter) 예측 부호화를 수행하여 최적 블록 모드를 선택하고, 이를 다시 인트라 예측 부호화의 수많은 블록 모드들과 비교하여 매크로 블록의 최적 블록 모드를 결정하여 부호화를 수행한다. 이때 인트라 예측

* 아이콘(주) ** 한서대학교 컴퓨터정보학과

*** 부경대학교 이미지시스템공학과 디지털영상처리 연구실 (ojs@pknu.ac.kr)

논문번호 : KICS2009-03-096, 접수일자 : 2009년 3월 7일, 최종논문접수일자 : 2009년 7월 14일

부호화는 양자화 변수인 QP(quantization parameter) 특성에 따른 화질 개선은 물론 비트율 개선을 보여 주고 있어 유용하다. 그러나 실제로 매크로 블록에 인트라 블록 모드가 채택되는 수는 아주 적으나 모든 매크로 블록에 적용하므로 H.264/ AVC에 큰 계산량을 가중시키고 있다.

인트라 예측은 주변 블록의 경계 화소를 이용해 매크로 블록의 화소값들을 예측하는 방식이므로 매크로 블록 내에 밝기 변화가 많고 움직임 있는 영상보다는 단조롭고 움직임이 없는 배경 같은 단순한 영상에서 더 효율적인 예측이 가능할 것이다. 즉 최적 인트라 블록 모드는 영상 내용에 의존적이다. 본 논문은 영상 복잡도, 인트라 블록 모드, 주변 블록의 예측 움직임 벡터를 이용해 매크로 블록의 영상 내용을 분석하여 인트라 블록 모드를 선택하거나 배제하는 영상 내용에 기반한 고속 인트라 예측 부호화를 제안한다. 제안된 알고리즘은 인트라 블록 모드를 사용한 알고리즘과 비교하여 영상과 QP에 따라 화질과 비트율은 대등하거나 미세하게 열화되거나 부호화 계산 시간은 크게 개선 시켜주고 있다.

II. P-프레임에서 인트라 예측 부호화

본 장에서는 부호화 효율을 개선하기 위해 H.264/ AVC의 P-프레임에서 사용된 인트라 예측 부호화 기술하고 그 성능을 분석한다.

1. P-프레임에서 인트라 예측 부호화

인트라 예측 부호화는 참조 프레임 없이 해당 프레임의 이미 생성된 화소들을 참조하여 매크로 블록의 화소들을 예측하는 부호화 방법이다. 인트라 예측 부호화는 I-프레임(Intra coded frame)을 예측할 때 주로 사용했지만 H.264/AVC에서는 P-프레임에서도 사용하고 있다. 그래서 P-프레임에서 매크로 블록의 부호화는 매크로 블록의 인트라 예측 모드들, 인트라 예측 모드들, skip 모드에 대해 윌콕 최적화(Rate-distortion optimization)를 수행하여 최적의 블록 모드를 선택함으로써 수행된다^{[1],[3]}. 여기서 인트라 예측 모드는 예측 방법에 따라 휘도 성분에서 16×16 크기의 4 가지 블록 모드 (IM_L_16_1:4), 4×4 크기의 9 가지 블록 모드(IM_L_4_1:9), 색차 성분에서 8×8 크기의 4 가지 블록 모드(IM_C_8_1:4)가 정의되어 있고, 인트라 예측 부호화는 그림 1과 같이 휘도 성분 13 모드와 색차 성분 4 모드로 구성되는 모드 조합에 대해 인트라 예측을 포함한 윌

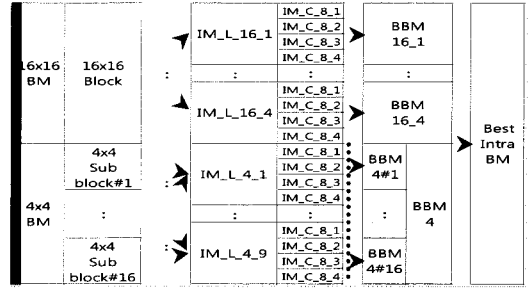


그림 1. P 프레임에서 인트라 예측 부호화

콕 최적화를 수행하여 최적 블록 모드를 결정하는 것이다. 그림에서 $BBM16_x$ 는 각 16×16 블록 모드에서 색차 성분의 블록 모드와 조합에서 선택된 최적의 블록 모드이고, $BBM4#x$ 는 각 4×4 블록에서 4×4 블록 모드와 색차 성분의 블록 모드의 조합(점선 표기)에서 선택된 최적의 블록 모드이고, $BBM4$ 는 16 개의 최적 4×4 블록들로 구성된 매크로 블록이다. 각 단계에서 최적 블록 모드는 복호화된 영상의 화질과 비트량이 고려된 식 (1)와 같이 표현되는 비용함수로 결정된다.

$$RD_cost = SSD + \lambda_{Mode} [R(Header) + R(Residual)] \quad (1)$$

여기서 SSD(sum of square difference)는 현 블록과 복원된 블록의 밝기 차이들의 제곱의 합을 의미하고, $R(Header)$ 에는 매크로 블록의 최적 모드와 움직임 벡터 등을 위한 비트량이고, $R(Residual)$ 는 직교변환과 양자화 처리 후의 변환계수를 위한 비트량이다. λ_{Mode} 는 Lagrangian 승수로써 모두 QP의 함수이다.

결과적으로 한 매크로 블록에 P-프레임의 인트라 예측을 위해 $\{[휘도16 \times 16]4회 + ([휘도4 \times 4]9회 \times 16)\} \times [색차8 \times 8]4회$ 라는 계산에 의해 무려 592회의 윌콕 최적화가 이루어지게 된다^[5]. 이는 H.264/AVC의 계산량을 가중시키는 중요한 요인이다.

2. P-프레임에서 인트라 예측 부호화의 성능

H.264/AVC의 P-프레임에서 영상 내용에 따라 인트라 예측 부호화보다 인트라 예측 부호화가 더욱 효율적이다. 표 1은 인트라 예측 부호화를 적용시의 성능을 보여주고 있다. $\Delta Time$, $\Delta PSNR$, $\Delta bitrate$ 는 각각 다음 식에 의해 계산된다.

$$\Delta Time = \left(\frac{Time_{ON} - Time_{OFF}}{Time_{OFF}} \right) \times 100 \quad (2)$$

$$\Delta PSNR = PSNR_{ON} - PSNR_{OFF} \quad (3)$$

$$\Delta \text{bitrate} = \left(\frac{\Delta \text{bitrate}_{ON} - \Delta \text{bitrate}_{OFF}}{\Delta \text{bitrate}_{OFF}} \right) \times 100 \quad (4)$$

여기서 Time, PSNR, bitrate은 각각 주어진 100 프레임의 영상 압축에 소요된 시간, 복원된 영상의 화질, 소요된 비트율이고, ON과 OFF는 각각 인트라 블록 모드를 적용한 경우와 그렇지 않은 경우를 의미하고 실험 환경은 추후 모의실험에서 기술한다.

모든 영상과 모든 QP에서 최대 0.16[dB], 평균 0.06[dB] 화질 향상을 보여주고 있고, 또한 최소 0.33[%]에서 최대 4.20[%], 평균 1.74[%]의 비트율을 감소시켜주고 있다. 하지만 인트라 예측 부호화는 최소 57.36[%]에서 최대 78.70[%], 평균 67.18[%]의 계산량을 증가시키고 있다. 표 2는 주어진 영상 각각에 대해 100 프레임에서 QP별로 P-프레임에서 인트라 블록 모드가 선택되어지는 비율을 보여주고 있다. 최소 1.19[%]에서 최대 6.98[%]로 평균 약 3[%]에 불과하다.

표 1. P-프레임에서 인트라 예측 부호화의 성능

sequence	QP	Intra BM : ON		
		Δ Time [sec]	Δ PSNR [dB]	Δ bitrate [kbits/s]
container	28	76.49%	0.03	-0.94%
	32	69.46%	0.06	-4.20%
	36	63.88%	0.07	-0.33%
	40	59.85%	0.15	-0.39%
news	28	78.70%	0.03	-1.41%
	32	72.18%	0.02	-2.54%
	36	65.43%	0.10	-3.20%
	40	62.26%	0.05	-3.17%
foreman	28	73.79%	0.05	-1.48%
	32	66.67%	0.05	-1.75%
	36	61.19%	0.08	-1.58%
	40	57.36%	0.16	-1.65%

표 2. P-프레임에서 인트라 예측 모드의 수(점유율%)

sequence	QP			
	25	30	35	40
container	166(1.69)	167(1.70)	157(1.60)	117(1.19)
news	124(1.27)	151(1.54)	177(1.81)	193(1.97)
foreman	664(6.77)	658(6.71)	684(6.98)	586(5.98)
silent	395(4.03)	409(4.17)	444(4.53)	512(5.22)

표 1과 2에서 인트라 예측 모드가 채택된 매크로 블록은 아주 적은 수이지만 모든 영상에서 QP에 따른 화질 개선을 보여주고 있다. 그러나 약 3[%]의 매크로 블록을 위해 모든 매크로 블록에 인트라 블록 모드를 적용하므로 부가되는 계산량이 방대하여 인코더의 복잡도를 증가시키는 큰 요인이 되고 있다. 따라서 인트라 블록 모드가 채택될 가능성이 큰 매크로 블록을 사전에 예측할 수 있다면 인트라 예측 부호화는 보다 더 유용할 것이다.

III. 제안된 인트라 예측 부호화

본 장에서는 영상 내용과 인트라 블록 모드의 관계를 분석하여 영상 내용에 따라 인트라 블록 모드를 선택하거나 배제하는 영상 내용에 기반한 인트라 예측 부호화를 제안한다.

1. 영상 내용과 인트라 블록 모드

인트라 예측은 주변 블록의 경계 화소를 이용해 매크로 블록의 화소값들을 예측하는 방식이므로 매크로 블록 내에 밝기 변화가 많고 움직임 있는 복잡한 영상보다는 단조롭고 움직임이 없는 배경 같은 단순한 영상에서 더 효율적인 예측이 가능할 것이고, 표 3에서 확인할 수 있다. 이들은 H.261에서 정의된 180×144의 QCIF(quarter common intermediate format) 영상 100 프레임, QP 32에서 최적 블록 모드를 인트라 블록 모드와 인트라 블록 모드로 구분하여 계산된 매크로 블록의 평균 영상 복잡도이다. 영상 복잡도(IC)는 N×N 크기 매크로 블록 내의 모든 화소에서 x, y 방향의 그레디언트(gradient)들의 합으로 다음 식으로 계산된다^{[6],[8]}.

$$IC = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} (|f(x,y) - f(x+1,y)| + |f(x,y) - f(x,y+1)|) \quad (5)$$

여기서 f(x,y)는 좌표 (x,y)에서 화소 값이다.

H.264/AVC의 부호화에서 다양한 크기의 매크로 블록 모드를 가지는 것은 블록 영상의 내용에 따라 적응적으로 대처하기 위함이다. 그 결과 인터는 물론 인트라 예측 부호화에서 영상이 복잡할수록 작은 블록 모드들이 선택되는 경향이 있다. 그리고 P-

표 3. 최적 모드의 종류에 따른 매크로 블록의 영상 복잡도

sequence	carphone		mobile	
	inter BM	intra BM	inter BM	intra BM
avg. IC	4127.2	2436.31	9665.61	337.5

프레임 부호화에서 인트라 예측을 수행하기 전에 최적 인트라 블록 모드는 이미 결정되어 있다. 최적 인트라 블록 모드가 큰 블록인 경우 해당 매크로 블록은 단순한 영상이라 할 수 있고, 최적 인트라 블록 모드가 작은 블록인 경우는 복잡한 영상이라고 할 수 있다[8]. 따라서 최적 인트라 블록 모드의 블록 크기는 영상 내용을 나타낼 수 있다.

2. 영상 내용에 기반한 인트라 예측 부호화

최적 인트라 블록 모드는 영상 내용에 의존하여 선택되어지고 있다. 그래서 본 논문은 식 (5)에 정의된 영상 복잡도와 최적 인트라 블록 모드를 이용하여 영상 내용을 평가하여 단계적으로 블록 모드를 선택하거나 배제하는 인트라 예측 부호화 알고리즘을 제안하고 있다. 그림 2는 제안된 알고리즘의 블록 모드의 선택과 배제를 위한 블록도를 보여주고 있고 크게 3 단계로 구분되고 있다.

첫 번째 단계 (step 1)는 영상 복잡도를 이용해 아주 단순한 영상을 갖는 매크로 블록에 대해서만 인트라 블록 모드를 적용한다. 즉 매크로 블록의 영상 복잡도 (ICMB)가 이전 프레임에서 계산된 임계값보다 크면 복잡한 영상으로 판단하여 인트라 블록 모드를 생략한다. 임계값 ICTH는 다음 식으로 계산된다.

$$ICTH = avgIC_{MB,t-1}(1+w) \tag{6}$$

여기서 $avgIC_{MB,t-1}$ 는 이전 프레임에서 매크로 블록들의 평균 영상 복잡도이고 w 는 QP 특성을 고려한 가중치로 다음과 같이 계산된다.

$$w = \frac{2^{(QP-32)/6} - 1}{2} \tag{7}$$

임계값 계산을 고려해 제안된 알고리즘은 두 번째 P-프레임부터 적용된다.

두 번째 단계(step 2)는 첫 번째 단계에서 인트라 블록 모드가 적용되는 매크로 블록들에 대해 인트라 예측 부호화에서 이미 결정된 최적 인트라 블록 모드 (inter BM)를 이용해 특정 블록 모드를 배제한다. 즉 최적 인트라 블록 모드가 skip, 16x16, 16x8, 8x16 모드일 경우 단순한 영상으로 판단하여 4x4 크기를 생략하고 16x16 크기의 인트라 예측 부호화만 적용하고, 최적 인트라 블록 모드가 8x8, 8x4, 4x8, 4x4 모드인 경우 복잡한 영상으로 판단하여 16x16 크기를 생략하고 4x4 크기의 인트라 예측 부호화만을 적용한다.

세 번째 단계(step 3)는 정보량에 의해 인트라 블록 모드가 최적의 블록 모드로 선택될 가능성이 적은 매크로 블록에 대해 인트라 예측 부호화를 생략하는 것이다. 주변 블록의 예측 움직임 벡터(PMV)가 모두 (0, 0)인 경우 예측 움직임 벡터와 움직임 벡터가 일치할 가능성이 클 것이고 이때 인트라 블록 모드를 위한 정보량이 적어 인트라 블록 모드가 최적 블록 모드로 선택될 가능성이 크므로 인트라 블록 모드를 생략한다. 여기서 PMV는 인트라 예측 부호화에서 이미 계산된 값이다.

따라서 제안된 인트라 예측 부호화 알고리즘은 그림 1의 블록 모드들의 조합에서 그림 2에서 선택된 블록 모드가 포함된 조합에 대해서만 유효폭 최적화를 수행하여 계산량을 크게 줄여주고 있다.

IV. 모의실험 결과

본 장에서는 H.264/AVC의 성능 평가를 위해 제공하는 참조 소프트웨어인 JM9.5^[9]를 이용하여 제안된 알고리즘과 표준안의 모의 실험 결과를 비교하고 있다. 모의 실험은 H.264/AVC에서 권고하는 표 4의 공통 실험 조건을 표준으로 하여 QCIF 영상 'Container', 'New', 'Forman', 'Silent voice'의 영상들을 사용하여 수행되었다^[10].

표 5은 제안된 알고리즘의 실험 결과를 인트라 블록 모드를 적용한 표준안과 비교하고 있다. 표의 ΔTime, ΔPSNR, Δbitrate는 각각 다음 식에 의해 계산된다.

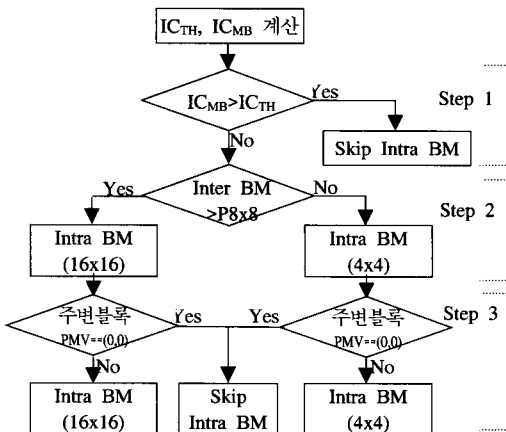


그림 2. 제안된 인트라 예측 부호화를 위한 블록 모드의 선택과 배제

표 4. 실험 환경

CPU	Intel Pentium 4 / 2.4 GHz
memory	256MB
encoder	JM 9.5
QP	28, 32, 36, 40
search range	±16 (QCIF) / ±32 (CIF)
etc	Baseline Profile, RDO on, IPPP, CAVLC, RS, FMO, ASO Disable

표 5. 제안된 알고리즘의 성능

sequence	QP	Proposed algorithm		
		ΔTime [sec]	ΔPSNR [dB]	Δbitrate [kbits/s]
container	28	-42.05%	0.00	0.32%
	32	-39.95%	-0.01	-1.12%
	36	-38.16%	0.00	-0.57%
	40	-36.30%	-0.06	0.13%
news	28	-41.26%	0.01	0.92%
	32	-39.55%	0.02	1.37%
	36	-38.00%	-0.02	1.38%
	40	-35.84%	0.01	1.09%
foreman	28	-36.38%	-0.02	0.75%
	32	-34.92%	-0.03	0.64%
	36	-33.55%	-0.04	0.62%
	40	-30.58%	-0.05	-0.38%
silent voice	28	-38.93%	0.00	0.33%
	32	-37.41%	-0.02	0.97%
	36	-35.78%	0.01	-0.10%
average		-37.02%	-0.01	0.38%

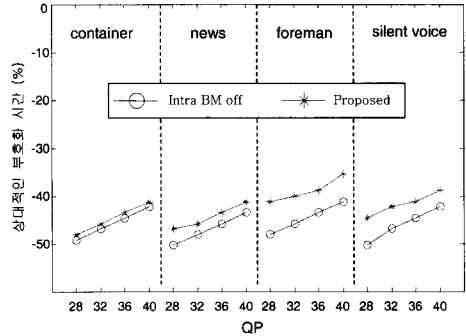
$$\Delta\text{Time} = \left(\frac{\text{Time}_x - \text{Time}_{\text{ON}}}{\text{Time}_{\text{ON}}} \right) \times 100[\%] \quad (8)$$

$$\Delta\text{PSNR} = \text{PSNR}_x - \text{PSNR}_{\text{ON}} \quad (9)$$

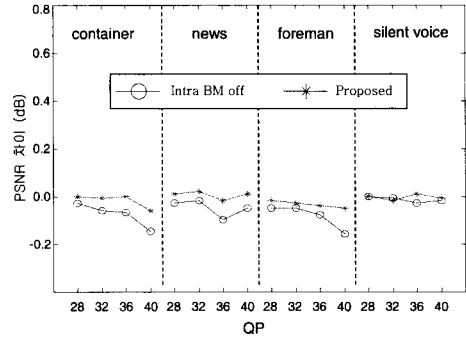
$$\Delta\text{bitrate} = \frac{\text{bitrate}_{\text{PRO}} - \text{bitrate}_{\text{ON}}}{\text{bitrate}_{\text{ON}}} \times 100 \quad (10)$$

여기서 ON은 인트라 블록 모드가 적용된 표준안이고, x는 제안된 알고리즘 혹은 인트라 블록 모드가 적용되지 않은 표준안이다. 화질은 최대 0.06dB, 평균 0.01dB가 감소하고, 비트율은 영상과 QP에 따라 다소 차이가 있으나 평균 0.38%가 증가하고 있다. 반면 부호화 계산 시간은 최소 30.58%에서 최대 42.05% 그리고 평균 37.02%의 큰 감소를 보여주고 있다.

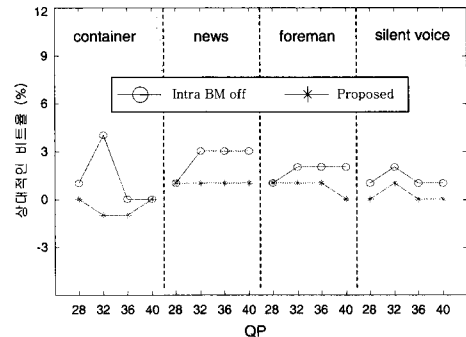
그림 3은 인트라 블록 모드가 적용되지 않은 표준안과 제안된 알고리즘의 부호화 결과를 부호화 시간, 화질, 비트율 측면에서 비교하고 있다. 이들은



(a) 부호화 시간



(b) 화질



(c) 비트율

그림 3. 제안된 알고리즘의 성능 비교

식 (8)~(10)에 의해 계산된 것이고, 인트라 블록 모드가 적용될 때 결과는 모두 0이다. 부호화 시간은 인트라 블록 모드를 적용하지 않은 알고리즘에 거의 접근하고 있고, 화질과 비트율은 인트라 블록 모드를 적용한 알고리즘에 접근하고 인트라 블록 모드를 적용하지 않은 알고리즘보다 모든 영상과 QP에서 성능이 우수한 것을 보여주고 있다.

V. 결론

본 논문은 H.264/AVC의 P-프레임에서 사용되고 있는 인트라 예측 부호화에 의해 검증되고 있는 계

산량을 줄이기 위한 고속 인트라 예측 부호화 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 P-프레임 부호화에서 매크로 블록의 영상 내용에 의존하여 인트라 블록 모드가 채택되는 특성을 근거로 영상 복잡도와 인트라 블록 모드를 이용해 영상 내용을 평가하여 인트라 블록 모드를 선택하거나 배제하여 계산량을 감소시키고 있다. 모의실험 결과는 제안된 알고리즘이 기존 인트라 예측 부호화 알고리즘과 비교하여 평균 0.01dB의 화질을 감소시키고 평균 0.38%의 비트율을 증가시키거나 부호화 계산 시간에서는 최소 30.58%에서 최대 42.05%, 평균 37.02%를 감소시키는 것을 보여주고 있다. 즉, 제안된 알고리즘은 인트라 예측 부호화가 적용되지 않을 때의 계산량으로 거의 인트라 예측 부호화가 적용될 때의 성능을 갖도록 하고 있다.

참 고 문 헌

[1] ITU-T Recommendation H.264, "Advanced video coding for generic audiovisual services," 2005.

[2] T. Wiegand, G. Sullivan, G. Bjontegaard, A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC video coding standard," *IEEE Transactions CSVT*, 13, pp.560-576, July, 2003.

[3] Lain E.G. Richardson, "H.264 and MPEG-4 video compression," Wiley, Inc., 2003.

[4] X. Li, E.Q. Li, Y-K. Chen, "Fast multi-frame motion estimation algorithm with adaptive search strategies in H.264", in *Proc. of the IEEE, ICASSP'04*, 3, pp.369-372, 2004.

[5] 이웅호, 이정호, 조익환, 정동석, "H.264의 고속 인트라 모드 결정을 위한 효과적인 인트라 모드," *한국통신학회논문지*, 30(12C), pp.1144-1152, Dec., 2005.

[6] 김성희, 오정수, "H.264/AVC에서 다중 참조 픽처를 이용한 고속 움직임 추정," *한국통신학회논문지*, 32(4C), pp.536-541, 2007.

[7] J. Kim, S. Byun, Y. Kim, and B. Ahn, "Fast full search motion estimation algorithm using early detection of impossible candidate vectors," *IEEE Trans. Signal Process.*, 50(9), pp.2355-2365, Sep., 2002.

[8] 김성희, 오정수, "H.264/AVC에서 영상 복잡도를 이용한 고속 인트라 블록 모드 결정," *한국통신*

학회논문지, 33(11), pp.925-931, 2008.

[9] H.264 reference software version JM 9.5, <http://iphome.hhi.de/sueh-ring/tml/download/>.

[10] G. Sullivan, G. Bjontegaard, "Recommended simulation common conditions for H.26L coding efficiency experiments on low-resolution Progressive-scan source material," ITU-T Q.6/16, Doc., #VCEG-N81, Sep., 2001.

신 세 일 (Se-ill Sin)

정회원



신호 처리

2005년 2월 부경대학교 화상정보공학부 졸업
 2007년 2월 부경대학교 이미지시스템공학과 석사
 현재 HFR DIGITAL LAB. 연구원
 <관심분야> 디지털 영상 처리,

김 진 태 (Jin-tea Kim)

종신회원



정보학과

<관심분야> 영상 처리, 얼굴 인식, 워터마킹

1987년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업
 1989년 2월 중앙대학교 대학원 자공학 석사
 1993년 8월 중앙대학교 공대학원 전자공학 박사
 1995년~현재 한서대학교 컴퓨터

오 정 수 (Jeong-su Oh)

종신회원



시스템공학과

<관심분야> 디지털 영상 처리, 적외선 신호처리

1990년 2월 중앙대학교 전자공학과 졸업
 1992년 8월 중앙대학교 전자공학 석사
 2001년 8월 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 박사
 2002년~현재 부경대학교 이미지