

H.264/AVC의 화면 내 예측을 위한 새로운 고속 모드 결정 방법

김대연 임성창 이영렬

세종대학교 컴퓨터공학과 DMS 연구실

yllee@dms.sejong.ac.kr

A Novel Fast Mode Decision Method for H.264/AVC Intra Prediction

Kim, Dae-Yeon Lim, Sung-Chang Lee, Yung-Lyul

DMS Lab., Dept. Computer Engineering, Sejong University

요약

최근 표준이 완료된 H.264/AVC는 기존의 비디오 압축 표준과 비교하여 높은 압축 성능을 보이지만 부호기에서 사용되는 Rate-Distortion Optimization(RDO) 기술은 모든 매크로블록 모드에 대해 부호화 과정을 수행 후 최적의 매크로블록 모드를 결정하기 때문에 부호기의 복잡도를 상당히 증가시킨다. 본 논문에서는 부호화할 블록 내의 가로와 세로 방향의 화소 유사성 정보를 이용하는 H.264/AVC의 화면 내(Intra) 예측을 위한 새로운 고속 모드 결정 방법을 제안한다. RDO를 통해 최적의 모드로 결정된 화면 내 예측 모드의 블록 내 가로와 세로 방향의 화소 유사성을 분석해 본 결과, 예측 모드에 따라서 그 유사성이 뚜렷한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 따라서 제안하는 방법은 화소 유사성 정보를 이용하여 후보 블록 모드의 수를 줄임으로써 PSNR(peak signal-to-noise ratio)의 감소가 거의 없이 화면 내 부호화 시간을 평균 약 70% 가까이 줄일 수 있었다.

1. 서론

최근 표준이 완료된 H.264/AVC^{[1]-[3]}는 기존의 압축 표준과 비교하여 MPEG-2의 약 2배, MPEG-4 ASP(Advanced Simple Profile)의 약 1.5배의 압축 성능의 향상을 보인다. 이러한 압축 성능의 향상은 가변 블록 크기의 움직임 예측 및 보상, 정수 변환 및 양자화, 1/4 화소 단위의 화면 간 예측, 다중 참조 프레임 기반의 움직임 예측 및 보상, 방향성을 띤 화면 내 예측 부호화, 향상된 디블로킹 필터, 향상된 엔트로피 부호화 등의 다양한 신기술로 인한 것이다.

H.264/AVC는 최대의 압축 성능을 위해 Non-Normative Tool로 Lagrangian Cost Function을 이용한 RDO 기법을 이용하여 부호기의 압축 성능을 최대화 하였다. RDO 기법은 화면 내 프레임(Intra Frame)에서 하나의 매크로블록(Macroblock)에 대해서 휘도 성분(Luminance Component)을 위한 Intra 4x4 모드일 경우, 9가지의 화면 내 예측 모드와 Intra 16x16 모드일 경우, 4가지의 화면 내 예측 모드를 사용하며 색차 성분(Chrominance Component)을 위한 Intra 8x8 모드일 경우, 4가지의 화면 내 예측 모드를 후보로 사용하여 각 예측 모드에 대해서 부호화 과정을 수행 후 율(Rate)과 왜곡(Distortion)을 구하여 율-왜곡 값이 가장 작은 예측 모드를 실제 부호화에 이용할 예측 모드로 결정한다^[4]. 또한 화면 간 프레임(Inter Frame)에서는 하나의 매크로블록에 대해서 총 592 가지 경우의 수에 대해서 율-왜곡 값을 구하여 가장 작은 값을 갖는 매크로블록 모드를 부호화에 이용한다. 이러한 RDO 기법으로 인하여 H.264/AVC 부호기의 성능은 굉장히 향상되지만, 그로 인해 복잡도가 상당히 증가하게 된다.

따라서 H.264/AVC 부호기의 복잡도를 줄이기 위하여 고속 화면 내 예측 모드 결정 방법, 고속 화면 간 예측 모드 결정 방법, 고속 움직임 예측 및 보상 방법 등에 대한 연구가 활발히 진행 되고 있다^{[5],[6]}. F. Pan 등은 Sobel 마스크와 에지 히스토그램을 이용하여 블록 내의 방향성을 검출하는 방법을 사용한 고속 모드 결정 방법을 제안하였다^[7]. 그러나 F. Pan의 방법은 방향성 검출을 위해 필터를 사용하기 때문에 복잡도가 높으며 높은 비트율로 갈수록 속도 향상이 작아지는 결과를 보이는 단점이 있다. 본 논문에서는 블록 내의 가로, 세로 방향의 화소 유사성으로부터 유도되어 분석된 값(Ratio of Variances in Two Directions ; RVTD)에 대하여 임계값을 정하고 임계값 범위에 따라 사용되는 후보 블록 모드의 수를 줄였다. 따라서 실제 부호화시에는 부호화 할 블록 내의 RVTD를 구하여 해당되는 임계값 범위에 정의된

후보 모드들만을 RDO 기법에서 고려하여 화면 내 예측 모드의 부호화 시간을 단축시키는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 PSNR 감소 및 비트량의 증가가 거의 없이 전체 부호화 시간이 평균 약 70% 가까이 감소하였다.

본 논문은 다음과 같은 순서로 구성된다. 2장에서는 H.264/AVC의 화면 내 예측 방법과 그에 대한 RDO 기법을 설명한다. 3장에서는 제안하는 고속 인트라 예측 모드 결정 방법에 대해 설명한다. 4장에서는 제안한 방법과 H.264/AVC와의 압축 성능 비교 및 부호화 시간을 비교하며 5장에서 결론을 맺는다.

2. H.264/AVC의 화면 내 예측 모드

가. H.264/AVC의 화면 내 예측 방법

H.264/AVC의 화면 내 예측 방법은 휘도 성분을 위해서는 16x16, 4x4 블록 단위, 색차 성분을 위해서는 8x8 블록 단위로 여러 개의 방향성을 갖는 예측 방법을 사용하여 잔여 신호를 최대한 줄이는 것에 목적을 두고 있다. Intra 4x4 모드의 화면 내 예측 방법의 경우, 복호화된 주변 블록 화소 중 현재 부호화 할 블록과 가장 인접한 화소 값들을 예측 값으로 이용하여 그림 1과 같이 2번 DC 모드를 제외한 8개의 방향에 따라 예측을 수행한다. 2번 DC 모드는 이용 가능한 주변 화소들의 평균값을 예측 값으로 이용한다. 예측된 값들은 예측 블록을 형성하며, 현재 부호화 할 블록과 예측 블록의 차분을 통하여 잔여 화소 블록을 생성한다. 그리고 Intra 16x16 모드를 위한 화면 내 예측은 4가지 예측 모드(Vertical, Horizontal, DC, Plane)를 사용하여 잔여 화소 블록을 생성한다.

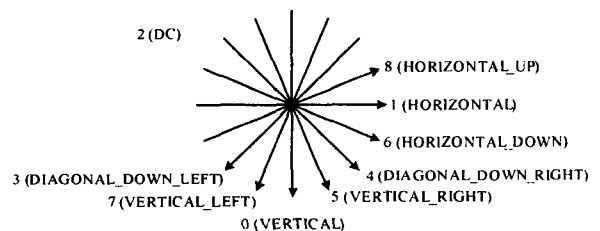


그림 1. Intra 4x4 모드(휘도)가 사용하는 9가지의 예측 모드

색차 성분의 경우는 휘도 성분과는 다르게 오직 8x8 블록 크기의 예측을 하며 DC, Vertical, Horizontal, Plane 예측 모드를 사용하여 잔여 화소 블록을 생성한다.

나. 화면 내 예측 모드 결정을 위한 RDO 기법

H.264/AVC에서는 Inter 16x16 모드, Inter 4x4 모드의 다양한 크기의 블록 모드들에 대해 $RDCost$ 를 계산하여 최소의 $RDCost$ 를 제공하는 매크로블록 모드를 실제 부호화 모드로 결정한다. $RDCost$ 는 Lagrangian Cost Function을 이용하여 식 (1)과 같이 계산되어진다.

$$RDCost = Distortion + \lambda_{mode} \times Rates \quad (1)$$

$$Distortion = \sum_{y=0}^{N-1} \sum_{x=0}^{N-1} \{I_{x,y} - I'_{x,y}\}^2 \quad (2)$$

$$\lambda_{mode} = 0.85 \times 2^{\frac{QP-12}{3}} \quad (3)$$

$Distortion$ 은 SSD(Sum of Squared Difference)를 이용하여, 원본 매크로블록과 비교하여 복원된 매크로블록의 왜곡정도를 나타내고, 식 (2)와 같이 계산되어진다. $I_{x,y}$ 는 원본 매크로블록의 x, y 번째 픽셀 값을 나타내고 $I'_{x,y}$ 는 복원된 매크로블록의 x, y 번째 픽셀 값을 나타낸다. λ 는 QP(Quantization Parameter)에 의해 결정되는 상수이고, 식 (3)과 같이 계산된다. $Rates$ 는 매크로블록을 표현하는데 필요한 비트 수를 나타내며 움직임 벡터, 코딩된 블록 패턴(Coded Block Pattern), 매크로블록 모드, 잔여 신호 등의 매크로블록의 모든 정보를 엔트로피 부호화 과정을 거친 후 나온 총 비트 수이다. 위에서 언급된 바와 같이 $RDCost$ 는 원본 매크로블록과 복원된 매크로블록간의 왜곡정도와 부호화 된 매크로블록을 표현하는데 필요한 비트수에 의해서 결정되는 것이다. 이렇게 $RDCost$ 를 구하는 과정은 Intra 16x16과 Intra 4x4 중 가장 효율적인 모드를 결정할 때와 Intra 4x4의 9가지 예측 모드 중 가장 효율적인 예측 모드를 결정할 때, 그리고 색차 신호를 위한 Intra 8x8의 4가지 예측 모드 중 가장 효율적인 예측 모드를 결정할 때 수행된다. 따라서 화면 내 예측 부호화를 위해 하나의 매크로블록을 부호화 하기 위해서는 총 592번의 $RDCost$ 를 구하는 과정이 수행되어 압축 효율을 매우 높일 수 있으나 부호화 시간이 매우 증가하는 단점이 있다.

3. 제안하는 고속 화면 내 예측 모드 결정 방법

가. RVTD와 최적 모드와의 관계

본 장에서는 앞서 기술한 RDO에 대한 높은 부호화 시간에 대한 문제점을 없애면서 압축 효율은 유지할 수 있는 새로운 고속 화면 내 예측 모드 결정 방법을 설명한다. 기존의 고속 화면 내 예측 모드 결정 방법은 에지 맵이나 필터 등을 사용하여 복잡도가 높으며 높은 비트율에서 부호화 속도가 떨어지는 단점들이 있었다. 하지만 제안하는 방법은 저복잡도의 알고리즘을 사용하고 높은 비트율에서도 부호화 속도가 높으며 압축 효율이 유지될 수 있는 장점을 가지고 있다.

H.264/AVC에서 사용하는 화면 내 예측 방법은 본질적으로 블록 내 텍스처의 방향성을 9가지 방법으로 예측함으로써 부호화 효율을 높인다. 따라서 만약 블록 내 텍스처의 방향성을 미리 검출하여 예측 모

$$S_HOR = \frac{\sum_{y=0}^{N-1} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \{I_{x,y} - Mean_y\}^2 \right\}}{N} \quad \text{where } Mean_y = \frac{1}{N} \sum_{x=0}^{N-1} I_{x,y} \quad (4)$$

$$S_VER = \frac{\sum_{x=0}^{N-1} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{y=0}^{N-1} \{I_{x,y} - Mean_x\}^2 \right\}}{N} \quad \text{where } Mean_x = \frac{1}{N} \sum_{y=0}^{N-1} I_{x,y} \quad (5)$$

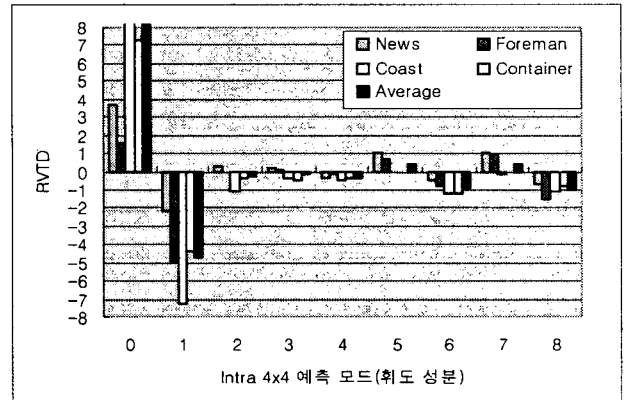
if($S_VER \geq S_HOR$)

$$RVT D = \frac{S_VER}{S_HOR} - 1 \quad (6)$$

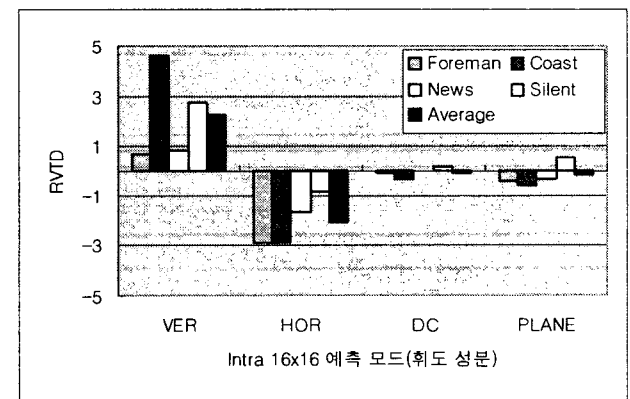
else

$$RVT D = -\frac{S_HOR}{S_VER} + 1 \quad (7)$$

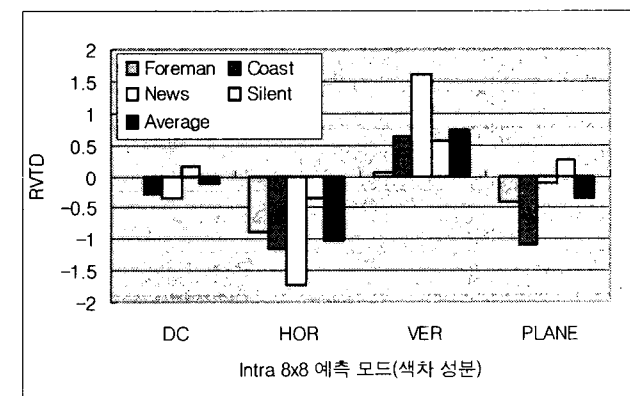
드의 수를 줄임으로서 부호화 속도의 향상을 가져올 수 있다. 본 논문에서는 기존의 방법과 다르게 블록 내의 가로, 세로 방향의 화소 유사성을 이용하여 방향성을 검출하였다. 블록 내의 가로와 세로 방향의 화소 유사성(S_HOR, S_VER)은 각각 식 (4)와 식 (5)와 같이 분산을 이용하였으며 이 값들은 식 (6)과 식 (7)에서 RVT D 값을 구하는데 이용된다. RVT D는 세로 방향에 대한 분산이 클 경우에는 세로 방향의 분산이 가로 방향의 분산과 비교하여 몇 배가 큰지를 나타내는 값이며, 그렇지 않을 경우에는 가로 방향의 분산이 세로 방향의 분산과 비교하여 몇 배가 큰지를 나타내는 값이다(이때는 음의 부호를 붙여 줌으로서 세로 방향의 분산이 클 경우와 구분을 하였다). 이 값들은 항상 1보다 큰 값을 갖기 때문에 식 (6)과 같이 양수일 경우에는 1을 빼주고 음수일 경우에는 식 (7)과 같이 1을 더해줌으로써 정규화 하였다. 이렇게 구한 RVT D 값은 H.264/AVC의 참조 소프트웨어인 JM(Joint Model) 8.6 버전^[8]을 이용하여 최적의 모드가 선택되었을 때의 각 모드에 대한 RVT D 값의 평균을 구하여 RVT D와 예측 모드에 대한 3개의 그래프(휘도 성분에 대한 Intra 4x4 예측 모드와 Intra 16x16 예측 모드, 색차 성분에 대한 Intra 8x8)를 그림 2와 같이 표현하였다.



(a) Intra 4x4 모드(휘도)의 9가지 모드에 대한 RVT D의 평균



(b) Intra 16x16 모드(휘도)의 4가지 모드에 대한 RVT D의 평균



(c) Intra 8x8 모드(색차)의 4가지 모드에 대한 RVT D의 평균
그림 2. RDO에 의해 결정된 예측 모드와 그 때의 RVT D의 평균

그림 2 (a)에서 알 수 있듯이 Intra 4x4 모드일 경우, Vertical 모드가 선택되었을 때는 RVTD 값이 상대적으로 높으며, Horizontal 모드가 선택되었을 때는 그 값이 상대적으로 작은 값을 갖는다. 또한 그림 1에서 Vertical 모드와 유사한 방향성을 갖는 Vertical Right 모드와 Vertical Left 모드의 경우도 1 근처의 값을 갖는 경향을 보이며, 반대로 Horizontal 모드와 유사한 방향성을 갖는 Horizontal Down 모드와 Horizontal Up 모드의 경우도 -1 근처의 값을 갖는 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 나머지 DC 모드와 Diagonal Down Left 모드와 Diagonal Down Right 모드의 경우는 0 근처의 값을 갖는 것을 알 수 있다. 또한 그림 2 (b),(c)에서 알 수 있듯이 Intra 16x16 모드와 색차 성분을 위한 Intra 8x8 모드의 경우에도 Intra 4x4 모드와 유사하게 Vertical 모드가 선택되었을 때의 RVTD 값이 상대적으로 높으며, Horizontal 모드가 선택되었을 때는 그 값이 상대적으로 작은 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 그리고 나머지 DC 모드와 Plane 모드의 경우 0 근처의 값을 갖는 것을 알 수 있다.

표 1. 각 예측 모드에 대한 제안하는 임계값과 후보 예측 모드
(a) Intra 4x4 모드(회도)를 위한 임계값과 후보 예측 모드

| 현재 블록의 RVTD 값 | 후보 예측 모드 |
|----------------------|--------------------------|
| $RVTD > 10$ | 0. MPM |
| $1 < RVTD \leq 10$ | 0, 5, 7, MPM |
| $-1 \leq RVTD < 1$ | 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, MPM |
| $-1 > RVTD \geq -10$ | 1, 6, 8, MPM |
| $RVTD < -10$ | 1, MPM |

(b) Intra 16x16 모드(회도)를 위한 임계값과 후보 예측 모드

| 현재 블록의 RVTD 값 | 후보 예측 모드 |
|---------------------------|------------|
| $RVTD > 1.0$ | Vertical |
| $-1.0 \leq RVTD \leq 1.0$ | DC, Plane |
| $RVTD < -1.0$ | Horizontal |

(c) Intra 8x8 예측 모드(색차)를 위한 임계값과 후보 예측 모드

| 현재 블록의 RVTD 값 | 후보 예측 모드 |
|---------------------------|----------------|
| $RVTD > 1.5$ | Vertical |
| $0.5 < RVTD \leq 1.5$ | Vertical, DC |
| $-0.5 \leq RVTD \leq 0.5$ | DC, Plane |
| $-1.5 > RVTD \geq -0.5$ | Horizontal, DC |
| $RVTD < -1.5$ | Horizontal |

나. 임계값의 범위와 정의된 후보 블록 모드

선행된 실험을 통해 알아낸 RDO에 의해 결정된 예측 모드와 그때의 RVTD의 평균 값에 대한 특성은 각 모드의 방향성에 따라 뚜렷하게 다른 값을 갖기 때문에 부호화할 블록에 대한 RVTD 값을 구하여 그 값에 따라 후보 예측 모드의 수를 줄임으로서 부호화 속도를 크게 향상시킬 수 있다. 따라서 그림 2에 나타난 특성을 이용하여 RVTD 값에 대하여 표 1과 같이 임계값을 정하여 후보 블록 모드를 정의하였다. 또한 H.264/AVC에서는 Intra 4x4 모드를 위해 Most Probable Mode(MPM)를 예측하여 예측한 모드와 선택된 모드가 동일할 경우에는 예측 모드를 위한 Bit를 보내지 않는 방법을 사용하고 있다. 따라서 MPM은 상대적으로 작은 RDCost를 갖게 됨으로 항상 후보 블록 모드로 정의하였다. 표 1을 이용하여 현재 블록의 RVTD 값이 정의된 임계값에 해당될 경우 정의된 후보 예측 모드만 RDO의 후보 예측 모드로 고려하였다. 예를 들어 Intra 4x4 모드(회도)는 RVTD 값이 10 보다 클 때, 혹은 10 보다 작을 경우에 후보 예측 모드가 MPM과 동일하다면 오직 1번의 RDO 과정으로 예측 모드가 결정 될 수 있다. 이례적으로 예측을 위해 이용 가능한 주변 블록이 존재하지 않을 경우에는 모든 예측 모드를 후보 예측 모드로 고려하였다.

4. 실험 결과

제안된 방법의 성능 평가를 위해 H.264/AVC의 참조 소프트웨어인 JM8.6 버전을 이용하여 MPEG에서 권고하는 영상을 사용하여 실험을 하였다^[9]. 실험 환경은 Intel Pentium IV 3.0GHz의 CPU, RAM은 1.0GByte 사양을 갖는 PC를 사용하였고, 실험 조건으로는 RDO를 활성화하였고 엔트로피 부호화는 CABAC을 사용하였다. 그리고 부호화된 전체 프레임은 300장이며 모두 화면 내 프레임으로 부호화하였다. QP는 총 4가지(24, 27, 30, 33)에 대하여 실험하였다. 실험에 쓰인 영상은 QCIF (176x144) 해상도의 Foreman, Coastguard와 CIF (352x288) 해상도의 Mobile & Calendar와 Paris이다.

기존 JM8.6에서의 화면 내 예측과 비교 실험된 R-D 곡선(Rate-Distortion Curve)들을 그림 3에 나타내었다. 그림 3에서 알 수 있듯이 제안한 방법이 모든 비트율에서 PSNR이 약 0.1dB~0.2dB 정도 비슷하게 감소되는 것을 볼 수 있다. 또한 전체적인 성능의 비교를 위해 PSNR값, 비트율, 전체 부호화 시간을 표 2에 나타내었다. 표 2를 통해서 제안된 방법이 평균 0.04dB의 PSNR 감소와 평균 1.1%의 비트율 증가를 가져오지만 전체 부호화 속도에서는 평균 68.88%의 속도 향상을 보임을 알 수 있다.

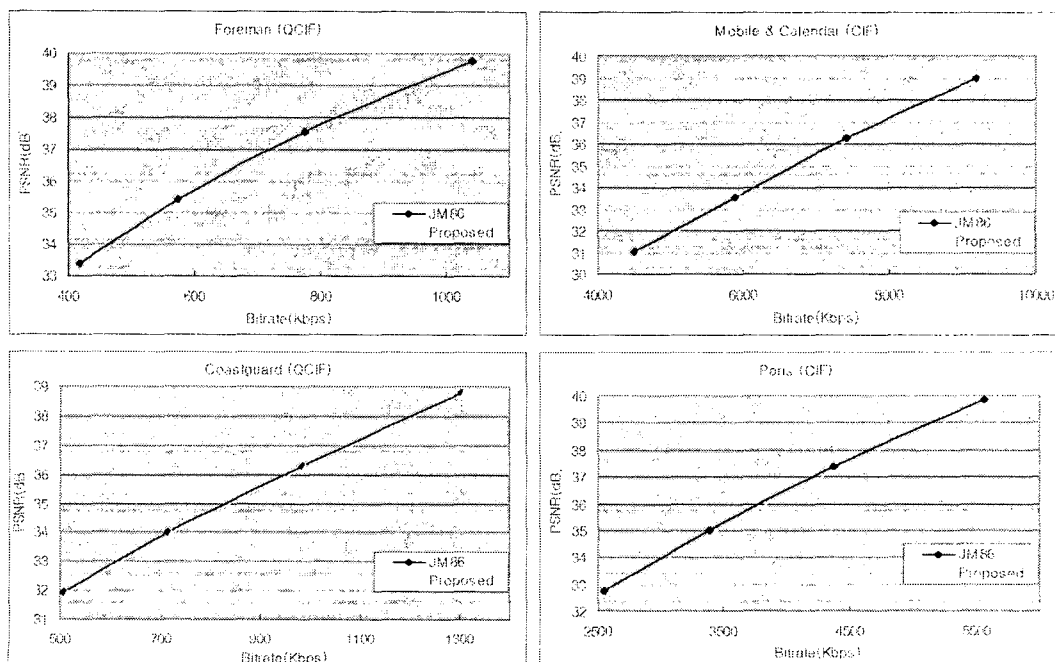


그림 3. QCIF 영상들 (Foreman, Coastguard)과 CIF 영상들 (Mobile & Calendar, Paris)의 R-D 곡선 그래프

표 2. JM8.6 방법과 제안된 방법의 전체적인 성능 비교

| Sequence | QP | JM8.6 | | | Proposed | | | Time Saving (%) | Δ PSNR (dB) | Δ Bitrate (%) |
|-------------------------|----|-----------|------------------|---------------------------|-----------|------------------|---------------------------|-----------------|--------------------|----------------------|
| | | PSNR (dB) | Bitrate (kbit/s) | Total Encoding Time (sec) | PSNR (dB) | Bitrate (kbit/s) | Total Encoding Time (sec) | | | |
| Foreman (QCIF) | 24 | 39.75 | 1071.49 | 112.52 | 39.70 | 1071.49 | 68.28 | 61.42 | -0.05 | 0.88 |
| | 27 | 37.54 | 776.08 | 108.84 | 37.50 | 803.34 | 64.40 | 62.77 | -0.04 | 1.13 |
| | 30 | 35.41 | 574.60 | 103.69 | 35.37 | 598.06 | 60.73 | 63.39 | -0.04 | 1.32 |
| | 33 | 33.37 | 418.74 | 97.67 | 33.35 | 439.72 | 58.21 | 63.35 | -0.02 | 1.85 |
| Coastguard (QCIF) | 24 | 38.79 | 1303.93 | 131.85 | 38.73 | 1308.21 | 122.65 | 72.09 | -0.06 | 0.33 |
| | 27 | 36.27 | 986.24 | 120.55 | 36.23 | 991.49 | 112.81 | 71.92 | -0.04 | 0.53 |
| | 30 | 33.97 | 716.26 | 110.36 | 33.95 | 722.48 | 103.78 | 71.79 | -0.02 | 0.86 |
| Mobile & Calendar (CIF) | 33 | 31.92 | 509.57 | 102.02 | 31.90 | 515.96 | 96.30 | 71.68 | -0.02 | 1.24 |
| | 24 | 38.99 | 9196.62 | 665.70 | 38.91 | 9269.47 | 221.65 | 66.70 | -0.08 | 0.79 |
| | 27 | 36.26 | 7433.15 | 611.76 | 36.19 | 7500.35 | 201.72 | 67.03 | -0.07 | 0.90 |
| Paris (CIF) | 30 | 33.55 | 5906.90 | 564.14 | 33.48 | 5969.30 | 186.55 | 66.93 | -0.07 | 1.05 |
| | 33 | 31.01 | 4509.97 | 524.31 | 30.96 | 4566.19 | 172.36 | 67.13 | -0.05 | 1.23 |
| | 24 | 39.82 | 5564.79 | 573.30 | 39.77 | 5615.78 | 147.14 | 74.33 | -0.05 | 0.91 |
| Average | 27 | 37.38 | 4381.96 | 530.25 | 37.34 | 4432.19 | 137.34 | 74.10 | -0.04 | 1.13 |
| | 30 | 34.98 | 3390.57 | 493.13 | 34.94 | 3441.28 | 129.24 | 73.79 | -0.04 | 1.47 |
| | 33 | 32.74 | 2554.58 | 462.00 | 32.73 | 2605.13 | 121.47 | 73.71 | -0.01 | 1.94 |
| | | | | | | | | 68.88 | -0.04 | 1.10 |

5. 결론

본 논문은 블록 내의 가로, 세로 방향의 화소 유사성으로부터 유도 되어 분석된 값(RVTD)을 이용하여 임계값 범위에 정의된 후보 블록 들만을 RDO 기법에서 고려하는 방법으로 화면 내 예측 모드 결정을 위한 부호화 시간을 단축시키는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 부 호화 할 블록 내의 가로, 세로 방향의 분산만을 이용하기 때문에 기존 의 고속 화면 내 예측 모드 결정 방법과 비교하여 계산량이 상당히 적 고 매우 간단하여 부호화에 적용이 매우 용이하다. 실험 결과 제안한 방법은 H.264/AVC와 비교하여 약 0.04dB의 PSNR 감소와 약 1.1%의 비트율의 증가를 나타냈지만 화면 내 예측 부호화 시간을 평균 약 68.88% 단축시키는 결과를 보였다. 또한 기존의 방법들이 고비트율에 서의 속도 향상이 적었으나 제안한 방법은 고비트율에서도 압축 성능 의 감소가 거의 없이 평균 약 68.64%의 높은 속도 향상을 보였다.

참 고 문 헌

[1] ITU-T Recommendation H.264 and ISO/IEC 14496-10, "Advanced video coding for generic audiovisual services", May 2003 (and subsequent amendment [8] and corrigenda).

[2] Thomas Wiegand, Gary J. Sullivan, Gisle Bjøntegaard, and Ajay Luthra, "Overview of the H.264/AVC video coding standard", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., pp. 560-576, July 2003.

[3] Gary J. Sullivan and Thomas Wiegand, "Video compression - from concepts to the H.264/AVC stand-ard", Proc. IEEE, pp. 18-31, January 2005.

[4] Gary J. Sullivan and Thomas Wiegand, "Rate-Distortion Optimization for Video Compression", IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE, pp 74-90, November 1998

[5] Zibo Chen, Peng Zhou, and Yun He, "Fast integer pel and fractional pel motion estimation for JVT," JVT-F017, 6th JVT Meeting, Awaji, Japan, Dec. 2002.

[6] K. P. Lim, S. Wu, D. J. Wu, S. Rahardja, X. Lin, F. Pan, and G. Li, "Fast intermode decision," presented at the 9th JVT Meeting (JVT-I020), San Diego, CA, Sep. 2003.

[7] F. Pan, X. Lin, S. Rahardja, K. P. Lim, Z. G. Li, D. Wu, and S. Wu, "Fast mode decision algorithm for intra prediction in H.264/AVC video coding," IEEE Trans. Circuits and Syst. for Video Technol., vol.15, no.7, pp.813-822, Jul. 2005.

[8] http://bs.hhi.de/~suehring/tml/download/old_jm/jm86.zip

[9] G. Sullivan, "Recommended simulation common conditions for H.26L coding efficiency experiments on low resolution progressive scan source material," presented at the 14th VCEG-N81 Meeting, Santa Barbara, CA, Sep. 2001.