

H.264/AVC 비트스트림에 대한 공간주파수 영역에서의 썸네일 추출 방법

***홍승환 ***이여송 ***조혜정 *안창범 ***오승준

광운대학교 *VIA-멀티미디어 센터, **방통융합 플랫폼 센터

***{shhong, kunix, hjcho}@media.kw.ac.kr, *cbahn@kw.ac.kr, ***sjoh@media.kw.ac.kr

Thumbnail Extraction for H.264/AVC Bit Streams in the Spatial Frequency Domain

***Seung-Hwan Hong ***Yeo-Song Lee ***Hye-Jeong Cho *Chang-Beom Ahn ***Seoung-Jun Oh
*VIA-Multimedia Center and **BnC Convergence Platform Center, Kwangwoon University

요약

IPTV, 블루레이 디스크, DMB 등과 같은 멀티미디어 서비스에서 H.264/AVC 비디오 표준기술을 채택하고 있다. 따라서 H.264/AVC 비트스트림을 고속으로 인덱싱하기 위한 썸네일 기술이 요구 된다. 그러나 H.264/AVC는 기존 표준기술과는 다르게 인트라 모드에서도 예측방법을 이용하기 때문에 새로운 썸네일 추출방법이 요구되어 최근에 H.264/AVC 비트스트림 상에서 썸네일을 추출하는 방법이 제안되었다. 그러나 이 방법에서는 인트라 16x16 모드와 연관된 블록에서 심각한 화질의 저하가 발생하며, QP 값이 커질수록 그 증상이 더 심해지는 문제점이 있다. 그리고 공간주파수 영역에서 처리하기 때문에 예측 모드에 따라 연산오류가 발생하여 이 오류가 과급되는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 공간주파수 영역에서 H.264/AVC 썸네일을 추출할 때 인트라 16x16 예측 모드에서도 오류가 발생하지 않도록 하는 방법과 공간주파수 영역에서 발생하는 연산 오류를 보상하는 방법을 제안한다. 그리고 제안한 방법을 다양한 시험 비디오 시퀀스에 적용하여 이전 썸네일 추출 방법과 비교하여 프레임에 따라 최대 PSNR 약 4dB 증가 및 주관적 화질을 향상시켰다.

1. 서론

현재 IPTV, 블루레이 디스크, DMB 등과 같은 고급 매체를 이용한 디지털 멀티미디어 서비스가 활성화 되고 있다. 특히 고화질 디지털 방송이 일반화 되면서 다양한 서비스 어플리케이션이 개발되고 있으며, 데이터의 효율적인 보관 및 전송을 위해서는 MPEG과 같은 동영상 압축을 사용해야 하며, 압축된 자료의 효과적인 처리를 위하여 빠른 검색 및 복원을 위한 알고리즘에 대한 많은 연구가 진행되었다^[1-2].

이러한 연구 중 하나가 축소영상에 대한 연구이다. 썸네일(thumbnail) 영상은 동영상 시퀀스의 대표 영상이다. 썸네일 영상은 각 블록의 DC 값을 대표값으로 가지고 있으며, 원본 영상의 일반적인 특징을 가지고 있기 때문에 빠른 검색이나 인덱싱에 사용된다. 더욱이, 썸네일 추출은 원본 영상을 저장하는 것보다 적은 메모리가 요구되므로 MPEG기반의 압축 영상의 검색에 사용된다^[3].

H.264/AVC는 새로운 기술들을 채택함으로써 기존의 비디오 압축 표준보다 월등히 높은 압축률을 제공한다^[4]. 하지만 새롭게 채택된 기술중의 하나인 인트라 예측으로 인해 기존의 국제 표준에 적용되던 썸네일 영상 추출방법을 적용할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 H.264/AVC의 인트라 프레임으로부터 썸네일 영상을 추출하는 방법이 제안되었다^[6]. 제안된 방법은 인트라 예측에 대한 일반화 식을 정의하고, 특수 필터를 정의하여 LUT(Look Up Table)을 이용하여 공간주파수 영역에서 썸네일을 추출하는 방법이다. 이 방법은 빠른 썸네일의 추출이 가능하지만, 인트라 16x16 모드와 연관된 블록에서 심각한 화질의 저하가 발생하며, QP값이 커질수록 그 증상이 더 심해지는 문제점이 있다. 또한, 공간주파수 영역에서 예측 모드에 따라 연산오류가 과급되는 문제가 있다.

본 논문은 H.264/AVC 인트라 프레임에서 썸네일 추출을 위한 연산이 공간주파수 영역에서 수행되므로 이에 따라 발생하는 인트라 16x16 예측 모드에 따른 연산 오류가 과급되는 문제를 해결하는 방법을 제안한다. 제안된 방법은 인트라 16x16 예측 모드에서 썸네일 추출을 위한 수식의 문제점을 찾고 이를 보완하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 H.264/AVC의 비트스트림에 대한 공간주파수 영역에서의 썸네일 추출 방법에 대해 설명하고, 3장에서는 발생하는 오류의 해결 방법에 대하여 설명한다. 4장에서는 제안한 방법에 대한 실험결과를 보여주며, 5장에서는 결론을 맺는다.

2. H.264/AVC의 비트스트림에 대한 썸네일 추출 방법

인트라 예측에서는 주변 블록과의 상관관계를 이용하기 때문에, 각 블록에서 독립적으로 썸네일 영상을 추출하는 종래의 방법을 적용할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 H.264/AVC의 인트라 프레임으로부터 썸네일 영상을 추출하는 방법이 제안되었다^[6]. 이번 장에서는 인트라 예측을 위해 정리된 일반화 수식을 바탕으로 공간주파수 영역에서의 썸네일 추출방법을 기술한다.

가. 인트라 4x4에 대한 썸네일 추출

현재 블록 \mathbf{y} 는 인트라 예측 블록 \mathbf{y}_{pred}^m 과 예측오차 \mathbf{y}_e 의 합으로 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{y} = \mathbf{y}_{pred}^m + \mathbf{y}_e = \left(\sum_{n=1}^3 \sum_{i=1}^4 \mathbf{s}_n \mathbf{x}_n \mathbf{c}_{n,i}^m \right) + \left(\sum_{i=1}^4 \mathbf{c}_{1,i}^m \mathbf{x}_1 \mathbf{s}_1^T \right) + \mathbf{y}_e \quad (1)$$

식 (1)에서 $\mathbf{x}_{n,v}$ 과 $\mathbf{x}_{n,h}$ 은 인트라 예측 블록에 사용되는 참조 블록의 수직/수평 필터된 형태이다. 여기서 $\mathbf{x}_{n,v}$, $\mathbf{x}_{n,h}$ 은 각각 $V(\mathbf{x}_n)$, $H(\mathbf{x}_n)$ 이며, $V(\cdot)$, $H(\cdot)$, $U(\cdot)$ 은 썸네일 영상 추출을 위한 수직, 수평, 평균 연산자이다.

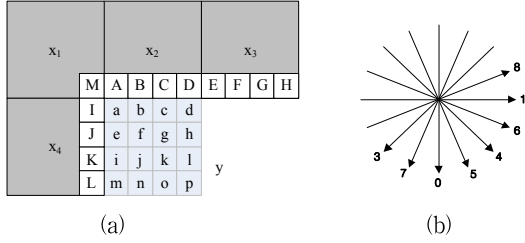


그림 1. 4x4 인트라 예측 모드, (a) 예측 블록과 참조 픽셀 8가지 예측 방향

화소 영역에서의 가로, 세로 각각 1/4의 축소된 영상 \mathbf{y}_{dc} 는 현재 블록 \mathbf{y} 의 화소 값의 평균으로 구할 수 있다. 축소 영상은 인트라 예측 블록의 DC 값과 예측 오차에 대한 공간주파수 영역에서의 DC 값의 합을 이용하여 계산이 가능하다. 화소 영역에서의 블록의 평균은 공간주파수 영역에서 DC 값과 같기 때문에 식 (1)에 $U(\cdot)$ 연산을 적용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_{dc} &= (U(\mathbf{y}))_{(0,0)} \\ &= (U(\mathbf{y}_{pred}^m) + U(\mathbf{y}_e))_{(0,0)} \\ &= \frac{1}{4} (HT(\mathbf{y}))_{(0,0)} \\ &= \frac{1}{4} (HT(\mathbf{y}_{pred}^m))_{(0,0)} + \frac{1}{4} (HT(\mathbf{y}_e))_{(0,0)} \end{aligned} \quad (2)$$

썸네일 영상 \mathbf{y}_{dc} 은 HT(H.264/AVC modified DCT) 수식에 의하여 변환된 블록의 DC 값은 화소 공간상의 블록의 평균보다 4배가 크기 때문에 1/4를 곱해서 계산된다.

식 (2)에서 $U(\mathbf{y}_{pred}^m)$ 을 $U(\cdot)$ 연산자와 $\mathbf{x}_{n,v}$, $\mathbf{x}_{n,h}$ 값을 이용하여 정리 하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_{pred,uni}^m &= U(\mathbf{y}_{pred}^m) \\ &= \frac{1}{16} \sum_{n=1}^3 \mathbf{x}_{n,v} \sum_{i=1}^4 \mathbf{c}_{n,i}^m \mathbf{u} + \frac{1}{16} \sum_{i=1}^4 \mathbf{u} \mathbf{c}_{i,i}^m \mathbf{x}_{i,h} \\ &= \sum_{n=1}^3 \mathbf{x}_{n,v} \mathbf{c}_n^m + (\mathbf{c}_n^m)^T \mathbf{x}_{i,h} \\ \text{where } \mathbf{c}_n^m &= \frac{1}{16} \sum_{i=1}^4 \mathbf{c}_{n,i}^m \mathbf{u} \end{aligned} \quad (3)$$

식 (3)에서 $\mathbf{y}_{pred,uni}^m$ 는 현재 블록에 대한 예측값을 나타내며 예측 오차 \mathbf{y}_e 와 함께 썸네일 데이터로 사용된다.

나. 인트라 16x16에 대한 썸네일 추출

인트라 16x16 예측 블록은 식 (4)와 같이 4x4의 행렬로 구성된 4x4 블록으로 표현할 수 있다.

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} \mathbf{y}_{00} & \cdots & \mathbf{y}_{03} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{y}_{30} & \cdots & \mathbf{y}_{33} \end{pmatrix}, \quad \text{where } \mathbf{y}_{ij} = \begin{pmatrix} Y_{00} & \cdots & Y_{03} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Y_{30} & \cdots & Y_{33} \end{pmatrix} \quad (4)$$

\mathbf{x}_M	\mathbf{x}_{V1}	\mathbf{x}_{V2}	\mathbf{x}_{V3}	\mathbf{x}_{V4}
\mathbf{x}_{H1}	y_{00}	y_{01}	y_{02}	y_{03}
\mathbf{x}_{H2}	y_{10}	y_{11}	y_{12}	y_{13}
\mathbf{x}_{H3}	y_{20}	y_{21}	y_{22}	y_{23}
\mathbf{x}_{H4}	y_{30}	y_{31}	y_{32}	y_{33}

그림 2. 16x16 매크로 블록과 구성하는 4x4 블록

인트라 16x16 예측 모드는 수평, 수직, DC, 평면의 4가지 모드를 지원한다. 16x16 수평 모드일 경우 $\mathbf{y}_{00}, \mathbf{y}_{01}, \mathbf{y}_{02}, \mathbf{y}_{03}$ 의 예측 블록은 모두 같다. 따라서 이 경우에는 \mathbf{x}_{H1} 블록을 이용하여 \mathbf{y}_{03} 의 예측 블록만 생성하면 된다. 수직이나, DC 예측 모드도 마찬가지이다. 그러나 평면 모드인 경우에는 내부 블록의 예측 블록이 서로 다르게 계산된다. 평면 모드를 제외한 3가지 모드는 앞선 방법과 동일하게 정리 가능하기 때문에 생략한다.

예를 들어, 인트라 16x16의 평면 모드의 $U(\cdot)$ 연산을 이용한 썸네일 추출은 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \mathbf{y}_{pred,uni}^{plane} &= U(\mathbf{y}_{pred}^{plane}) = \\ &= \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{00,uni} & \mathbf{y}_{00,uni} + 4b\mathbf{u} & \mathbf{y}_{01,uni} + 4b\mathbf{u} & \mathbf{y}_{02,uni} + 4b\mathbf{u} \\ \mathbf{y}_{00,uni} + 4c\mathbf{u} & \mathbf{y}_{01,uni} + 4c\mathbf{u} & \mathbf{y}_{02,uni} + 4c\mathbf{u} & \mathbf{y}_{03,uni} + 4c\mathbf{u} \\ \mathbf{y}_{01,uni} + 4c\mathbf{u} & \mathbf{y}_{11,uni} + 4c\mathbf{u} & \mathbf{y}_{12,uni} + 4c\mathbf{u} & \mathbf{y}_{13,uni} + 4c\mathbf{u} \\ \mathbf{y}_{02,uni} + 4c\mathbf{u} & \mathbf{y}_{12,uni} + 4c\mathbf{u} & \mathbf{y}_{22,uni} + 4c\mathbf{u} & \mathbf{y}_{23,uni} + 4c\mathbf{u} \end{bmatrix} \quad (5) \\ \mathbf{y}_{00,uni} &= (a - 5.5b - 5.5c)\mathbf{u} \end{aligned}$$

식 (5)를 통해 인트라 16x16 예측 블록은 내부 블록을 다 구하지 않고 주변 블록을 이용하여 선형 관계로 얻을 수 있음을 볼 수 있다. $a = 16(H_{15} + V_{15}), b = (5H + 32) \gg 6, c = (5V + 32) \gg 6$ 이다.

다. 공간주파수 영역에서의 썸네일 추출

앞서 설명되었던 화소 영역에서 유도된 수식들은 공간주파수 영역으로 수식을 바꾸어 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{Y}_{pred,v}^m &= HT(\mathbf{x}_{1,v} \mathbf{c}_{1,4}^m + \mathbf{x}_{2,v} \mathbf{c}_{2,4}^m + \mathbf{x}_{3,v} \mathbf{c}_{3,4}^m + (\mathbf{p}_{1,4}^m \mathbf{x}_{i,h})^T) \\ &= \mathbf{x}_{1,v} \mathbf{C}_{1,4}^m + \mathbf{x}_{2,v} \mathbf{C}_{2,4}^m + \mathbf{x}_{3,v} \mathbf{C}_{3,4}^m + (\mathbf{P}_{1,4}^m \mathbf{x}_{i,h})^T \end{aligned} \quad (6)$$

$$\mathbf{Y}_{pred,h}^m = \left(\sum_{n=1}^3 \mathbf{x}_{n,v} \mathbf{Q}_{n,h}^m \right)^T + \mathbf{C}_{4,4}^m \mathbf{x}_{i,h} \quad (7)$$

$$\mathbf{Y}_{pred,uni}^m = \sum_{n=1}^3 \mathbf{x}_{n,v} \mathbf{C}_n^m + (\mathbf{C}_4^m)^T \mathbf{x}_{i,h} \quad (8)$$

여기서 $\mathbf{C}_{n,i}^m, \mathbf{x}_{n,v}, \mathbf{x}_{n,h}$ 는 $\mathbf{c}_{n,i}^m, \mathbf{x}_{n,v}, \mathbf{x}_{n,h}$ 의 HT 변환된 행렬이다. 따라서 주파수 공간에서의 썸네일은 수식 (8)에 1/4를 곱하여 계산된다.

그림 3은 제안하는 썸네일 추출기 구성도를 보여준다. 제안하는 구조는 공간주파수 영역에서 직접 썸네일을 추출한다.

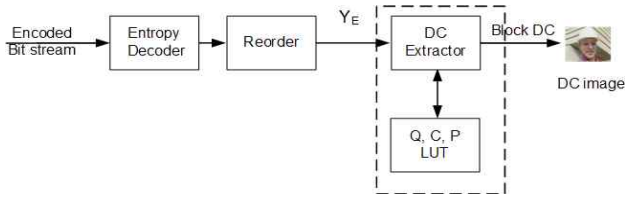


그림 3. H.264/AVC 비트스트림으로부터 썸네일을 추출하는 방법

3. 제안하는 인트라 16x16에서의 연산오류 보상 방법

가. 썸네일 영상 추출 시 발생하는 오류

제안된 썸네일 추출 방법은 인트라 16x16 블록을 4x4 행렬의 집합인 하나의 4x4 블록으로 보고 이에 인트라 4x4 예측 모드에서 적용된 썸네일 추출 방법을 동일하게 적용하였다. 이것은 16x16 블록의 최우측 4개의 4x4 블록에는 $H(\cdot)$ 연산된 썸네일 데이터만 저장해두게 된다.

예를 들어, 인트라 16x16 예측 모드의 평면 모드의 경우 식 (9)와 같이 최 우측 4개의 4x4 블록에 수평 성분 썸네일 데이터를 다음 블록의 썸네일 추출을 위해 저장해두게 된다.

$$\mathbf{Y}_{pred16,h}^{plane} = H(\mathbf{Y}_{pred16}^{plane}) = \begin{bmatrix} \times \times \times & \mathbf{Y}_{03,h} \\ \times \times \times & \mathbf{Y}_{03,h} + 4c\mathbf{u} \\ \times \times \times & \mathbf{Y}_{03,h} + 8c\mathbf{u} \\ \times \times \times & \mathbf{Y}_{03,h} + 12c\mathbf{u} \end{bmatrix} \quad (9)$$

where $\mathbf{Y}_{03,h} = (a + 8b - 7c)\mathbf{u} + c\mathbf{z}^T$

식 (9)에서 “ \times ”는 예측 블록의 내부에 있는 4x4 행렬로 다음 블록의 예측에 참조되지 않기 때문에 연산을 생략한다.

따라서 만약 썸네일 데이터를 추출할 현재 블록이 인트라 4x4 예측 모드이고 좌측상단 참조 블록 \mathbf{X}_1 (그림 1)이 인트라 16x16 예측 모드로 부호화 되었다면 현재 블록의 썸네일 데이터를 추출할 때 좌측상단 참조 블록 \mathbf{X}_1 으로부터는 수평 필터된 $\mathbf{X}_{1,h}$ 성분만을 얻을 수 있게 된다. 그러나 앞서 정의된 인트라 4x4 예측 모드의 썸네일 추출 일반식에서는 참조블록 $\mathbf{X}_1, \mathbf{X}_2, \mathbf{X}_3$ 에 대해서 수직 필터된 $\mathbf{X}_{1,v}, \mathbf{X}_{2,v}, \mathbf{X}_{3,v}$ 성분을 사용하도록 제안되었다. 따라서 위와 같이 특정 예측 모드에서 오류가 발생하게 되면 발생한 오류는 다음 블록으로 과급되어져 가는 문제가 있다.

따라서 본 논문에서는 위와 같은 문제점을 막기 위해 인트라 16x16 예측 모드에 대한 썸네일 추출 방법을 보완하였다.

나. 제안하는 인트라 16x16 예측 모드 썸네일 추출 방법

인트라 16x16 예측 모드에 대하여 기존의 방법에 추가로 새로운 $H_V(\cdot)$ 연산을 통하여 16x16 블록의 최 우측 4개의 4x4 블록에 수직 성분 또한 저장하게 된다. 본 논문에서는 16x16 블록에 대한 수평-수직 성분이라 정의 하겠다.

16x16 수평 모드일 경우 $\mathbf{Y}_{03}, \mathbf{Y}_{13}, \mathbf{Y}_{23}, \mathbf{Y}_{33}$ 의 예측 블록은 모두 같다. 따라서 이 경우에는 \mathbf{X}_{H1} 블록을 이용하여 \mathbf{Y}_{03} 의 예측 블록만 생성하면 된다. 예를 들어, 인트라 16x16 예측 모드의 평면 모드의 경우 식 (10)과 같이 수평-수직 성분을 저장해두게 된다.

$$\mathbf{Y}_{pred16,h,v}^{plane} = H_V(\mathbf{Y}_{pred16}^{plane}) = \begin{bmatrix} \times \times \times & \mathbf{Y}_{03,v} \\ \times \times \times & \mathbf{Y}_{03,v} + 4c\mathbf{u} \\ \times \times \times & \mathbf{Y}_{03,v} + 8c\mathbf{u} \\ \times \times \times & \mathbf{Y}_{03,v} + 12c\mathbf{u} \end{bmatrix} \quad (10)$$

where $\mathbf{Y}_{03,v} = (a + 5b - 4c)\mathbf{u} + c\mathbf{z}^T$

이렇게 인트라 16x16 예측 모드의 최 우측 4개 4x4 블록에 수직 필터된 성분을 저장함으로써 연관된 블록에서 오류가 발생함을 막을 수 있다.

4. 실험 결과 및 분석

썸네일 영상은 원본영상에 대한 대략적인 정보를 제공한다. 따라서 제안된 방법을 적용하여 얻은 썸네일 영상의 객관적 화질 및 주관적 화질을 통해 성능을 평가한다. 표 1은 실험환경을 나타낸다.

표 1. 실험환경

구분		실험 환경
참조 소프트웨어		JM 12.2 Baseline
프레임 부호화 모드		인트라
부호화 영상 수		100 프레임
양자화 계수		9, 21, 33, 45
실험 영상	704×576	City, Crew, Harbour, Soccer
썸네일 영상 크기		176×144

그림 4~7은 city(704×576) 영상에 기존의 썸네일 추출 방법과 제안하는 방법을 적용하여 원 영상의 가로, 세로 각각 1/4배 축소된 영상과 PSNR을 프레임별로 비교한 것이다.

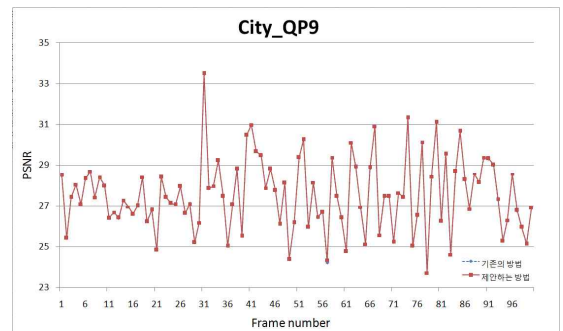


그림 4. 제안된 방법의 프레임별 PSNR 성능 비교(city, QP:9)

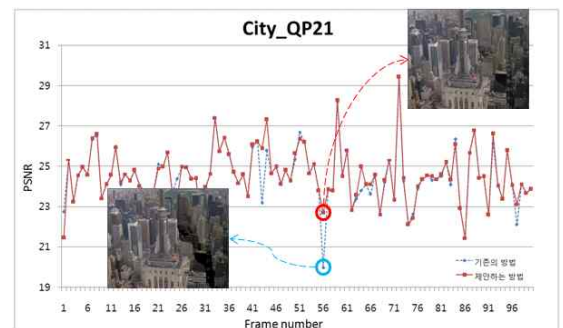


그림 5. 제안된 방법의 프레임별 PSNR 성능 비교(city, QP:21)

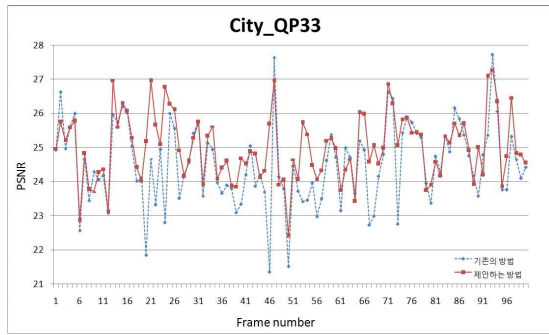


그림 6. 제안된 방법의 프레임별 PSNR 성능 비교(city, QP:33)

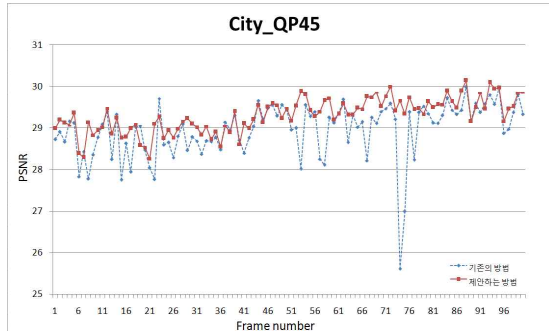


그림 7. 제안된 방법의 프레임별 PSNR 성능 비교(city, QP:45)

그림 4~7에서 보듯이 양자화 계수가 증가할수록 인트라 16x16에서 발생했던 오류의 영향이 커지는 것을 확인 할 수 있다. 그림 5에서 보듯이 특정 블록에서 오류가 발생하여 영상에 확산됨으로써 프레임 전체의 PSNR이 심각하게 저하되는 현상을 볼 수 있다. 이를 제안한 방법을 통해 보완할 수 있음을 보였다.



그림 8. city #20 결과 영상, 양자화 계수: 33



그림 9. crew #10 결과 영상, 양자화 계수: 21



그림 10. harbour #54 결과 영상, 양자화 계수: 33



그림 11. soccer #3 결과 영상, 양자화 계수: 33

그림 8~11은 제안된 방법을 적용할 경우 부호화 영상과 양자화 계수에 따른 주관적 화질의 향상을 나타낸다. (a)는 원 영상을 가로, 세로 각각 1/4배 축소, (b)는 기존에 제안되었던 썸네일 추출 방법, (c)는 본 논문에서 제안한 썸네일 추출 방법으로 얻은 결과 영상이다. (b)의 결과 영상은 특정 위치에서 발생된 에러가 누적되어 영상의 좌측하단으로 확산되어가는 현상을 볼 수 있다. (c)의 결과 영상은 제안된 방법을 통해 이러한 문제점이 해결되는 것을 보여준다.

5. 결론

본 논문에서는 최근에 제안된 H.264/AVC의 비트스트림 상에서 썸네일을 추출하는 방법 중에 인트라 16x16 예측 모드와 관련하여 발생하는 오류에 대해 정의하고 오류를 막는 방법을 제안하였다. H.264/AVC 공간주파수 영역에서 인트라 16x16 예측 모드와 연관된 인트라 4x4 예측 모드에서 썸네일을 추출할 때 발생하는 일반화 수식의 문제점을 인트라 16x16에서 썸네일을 추출하기 위한 새로운 필터 연산을 적용함으로써 오류의 발생을 막았다. 실험결과를 통해 제안하는 방법을 적용하여 향상된 화질의 썸네일 영상을 얻을 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 방송통신위원회, 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 IT 원천기술개발사업의 일환으로 수행한 연구[과제관리번호: 2008-F-011, 과제명: 차세대 DTB 핵심기술 개발]와 지식경제부, 한국산업기술진흥원의 전략기술인력양성사업으로 수행된 결과임.

참고문헌

- [1] B. Yeo and B. Liu, "Rapid scene analysis on compressed video", *IEEE Trans. Circuits and Systems for video Technology*, vol. 5, no. 6, pp. 533-540, 1995.
- [2] 윤자천, 실상훈, "압축영역에서 빠른 축소 영상 추출을 위한 이중부호 록업테이블 설계", *한국방송공학회*, vol. 10, no. 3, pp. 413-421, May 2005.
- [3] Taskiran, C. Jau-Yuen Chen, Bouman, C.A. Delp, E.J. "A compressed video database structured for active browsing and search", *IEEE image processing*, vol. 49, no. 3, pp. 683-688, Aug. 2003.
- [4] T. Wiegand, Gary J. Sullivan, G. Bjontegaard, and A. Luthra, "Overview of the H.264/AVC Video Coding Standard," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, no. 7, pp. 560-576, Jul. 2003.
- [5] Chen Chen, Ping-Hao Wu and Chen H, "Transform-Domain Intra Prediction for H.264", *IEEE ISCAS*, pp. 1497-1500, May 2005.
- [6] Eun-Seok Kim, Tae-Woong Um, Seoung-Jun Oh, "A fast thumbnail extraction method in H.264/AVC video streams", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 55, no. 3, pp. 1424-1430, Aug. 2009