특집논문-06-11-4-03

다시점 비디오 부호화를 위한 적응적인 조명변화 보상 방법

허 재 호[a], 조 숙 희[b], 허 남 호[b], 김 진 웅[b], 이 영 렬[a]‡

Adaptive illumination change compensation method for multi-view video coding

Jae-Ho Hur[a], Sukhee Cho[b], Namho Hur[b], Jinwoong Kim[b], and Yung-Lyul Lee[a]‡

요 약

본 논문은 다시점 동영상 부호화를 위한 적응적인 조명변화 보상 방법을 제안한다. 다시점 비디오에서 카메라의 위치에 따라 조명의 차이가 발생할 수 있으며, 여러 대의 카메라가 물리적으로 완전히 동일한 특성을 가지도록 조정되지 못하여 각 카메라에서 촬영된 영상 간에 미세한 차이가 발생할 수 있다. 이러한 특성은 인접한 위치의 카메라로부터 획득된 영상을 참조하여 부호화하는 다시점 비디오 부호화의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 제안하는 조명변화 보상 방법을 통하여 다시점 비디오 부호화의 압축 효율을 높일 수 있었으며, 조명변화 보상을 수행하지 않는 다시점 비디오 부호화와 비교하여 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)이 약 0.1 ~ 0.6dB 정도 향상되었다.

Abstract

In this paper, an adaptive illumination change compensation method is proposed for multi-view video coding. In multi-view video, an illumination change can occur due to physically imperfect camera calibration, each different camera position and direction, and so on. These characteristics can cause a performance decrease in the multi-view video coding that uses an inter-view prediction by referring to the pictures obtained from the neighboring views. By using the proposed method, a compression ratio of the proposed method in the multi-view video coding is increased, and finally 0.1~0.6dB PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio) improvement was obtained compared with the case of not using the proposed method.

Keywords : Multi-view video coding, Illumination compensation, Motion Estimation, Disparity Estimation, H.264/AVC

I. 서 론

차세대 3차원 비디오 응용기술로써 최근 들어 다시점 비디오(Multi-view Video)를 이용한 응용분야가 활발히 연구되고 있다[1]. 다시점 비디오는 기존의 단일시점 비디오와는 달리, 여러 대의 카메라를 일렬 혹은 행렬로 배열하여 하나의 장면 및 객체를 촬영하고, 그 획득된 영상들을 이용하여 3차원적으로 디스플레이하는 기술이다. 이와 관련된 대표적인 응용으로 렌티큘러 디스플레이(Lenticular Display)를 이용한 3차원-TV(3D-Television)와 사용자가 원하는 시점으로 자유롭게 바꾸는 것이 가능한 자유 시점 비디오(Free Viewpoint Video) 등이 연구되고 있다.

a) 세종대학교 컴퓨터공학과
Dept. of Computer Engineering, DMS Lab., Sejong University
b) 한국전자통신연구원
Broadcasting System Research Group, Electronics and Telecommunications Research Institute
‡ 교신저자 : 이영렬(yllee@sejong.ac.kr)

다시점 비디오를 활용한 응용의 실현에 있어 가장 큰 문제점은 방대한 양의 영상 데이터이다. 이러한 문제점을 극복하기 위해서 다시점 비디오 부호화가 현재 활발히 연구 중에 있으며, ISO/IEC 산하의 표준화 그룹인 MPEG (Moving Picture Experts Group)에서 시작된 다시점 비디오 부호화 표준화를 현재 JVT(Joint Video Team)에서 H.264/AVC를 기반으로 하여 진행 중에 있다. 현재까지 표준화 회의를 통하여 다른 뷰의 화소값, 모드 정보, 움직임 벡터(Motion Vector) 등을 현재 뷰의 예측 데이터로 이용하는 다양한 방법들이 소개되었다. 다른 뷰의 화소값을 예측 데이터로 이용하는 방법으로 컴퓨터 비젼(Computer Vision)에서 사용되는 깊이(Depth)와 시차(Disparity) 정보 추출 알고리즘을 이용하여 다른 뷰의 픽쳐로부터 현재 뷰의 픽쳐의 예측값을 생성하는 뷰 합성 예측(View Synthesis Prediction) 방법[2][3], 본 논문에서 다루고자 하는 조명변화 보상(Illumination Compensation) 방법[4][5][6], 다른 뷰의 모드 정보와 움직임 벡터를 전역적 또는 국부적인 시차 정보로 보정한 후 추출하여 현재 뷰에서 그 데이터를 그대로 이용하는 방법[7] 등이 핵심 실험(Core Experiment)으로 연구 중에 있다.

다시점 비디오 부호화 기술의 가장 큰 특징은 서로 다른 카메라로부터 얻어진 영상 간의 상관성을 이용하는 것이다. 기존의 단일시점 비디오 부호화는 시간적인 상관성만을 고려하여 영상의 중복성을 제거하는 반면, 다시점 비디오 부호화는 인접한 위치의 카메라에서 얻어진 영상 또한 함께 고려함으로써 여러 개의 영상 시퀀스를 독립적으로 부호화하는 방법 보다 높은 압축 효율을 얻을 수 있다.

그러나 카메라의 위치에 따라 조명의 차이가 발생할 수 있으며, 각 카메라가 물리적으로 동일한 특성을 가지도록 조정(Calibration)되지 못하여 영상 신호 마다 미세한 차이가 발생할 수 있다. 이러한 특성은 영상 간의 상관성을 떨어뜨려 인접한 위치의 카메라로부터 획득된 영상을 참조하여 부호화하는 경우에 정확한 변위 벡터(Displacement Vector, 본 논문에서 시차 벡터와 움직임 벡터의 통칭으로 사용)를 얻기 힘들게 할 뿐만 아니라, 잔여 신호의 DC 성분을 크게 하여 압축 효율을 저하시킬 수 있다.

본 논문은 다시점 비디오 부호화 시에 조명변화로 인하여 압축 효율이 저하되는 문제점을 해결하기 위하여 매크로블록(Macroblock) 기반의 조명변화 보상 방법을 제안한다. 제 2장에서 제안하는 조명변화 보상 방법을 설명하고, 제 3장에서 제안하는 방법을 이용한 다시점 비디오 부호화의 성능을 분석한다. 제 4장의 결론을 끝으로 본 논문을 마친다.

Ⅱ. 다시점 비디오 부호화를 위한 적응적인 조명변화 보상 방법

본 장에서는 제안하는 조명변화 보상 방법의 기본적인 설명과 현재 MPEG에서의 다시점 비디오 부호화 표준화의 기본 골격을 이루는 참조 모델(Reference Model)을 간략히 소개한다. 그리고 제안하는 조명변화 보상 방법과 참조 모델의 통합 구현 과정을 구체적으로 설명한다.

1. 조명변화 보상 방법

다시점 비디오에서는 각 카메라간의 불완전한 조정으로 인하여 서로 다른 카메라로부터 얻어진 영상 간에 미세한 차이가 발생할 수 있을 뿐만 아니라, 카메라 위치 및 각도의 차이로 인한 국부적인 조명변화가 발생할 수 있다. 이로 인하여 화면 간 부호화 시에 시차/움직임 추정(Disparity/Motion Estimation)의 효율이 저하되며, 이와 더불어 압축 효율 또한 저하된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 국부적인 조명변화에 적응적인 매크로블록 기반의 조명변화 보상 방법을 제안한다. 그림 1에서 나타낸 바와 같이, 제안하는 방법은 화면 간 예측과 변환 및 양자화를 수행하는 전통적인 하이브리드 비디오 부호화(Hybrid Video Coding) 구조를 기반으로 하며, 시차/움직임 추정과 결합된 조명변화 보상부(Illumination Change Compensation), 조명변화 차이값 계산부(DVIC Calculator), 예측부(DVIC Predictor)로 구성되어 있다.

1.1 조명변화 보상 및 시차/움직임 추정

매크로블록 단위로 조명변화를 보상하기 위하여 각 매크로블록에 대한 조명변화 차이값을 산출한다. 그림 1에서 나타낸 바와 같이, 조명변화 차이값(Difference Value of Illumination Change, DVIC)을 계산하기 위해 조명변화 보

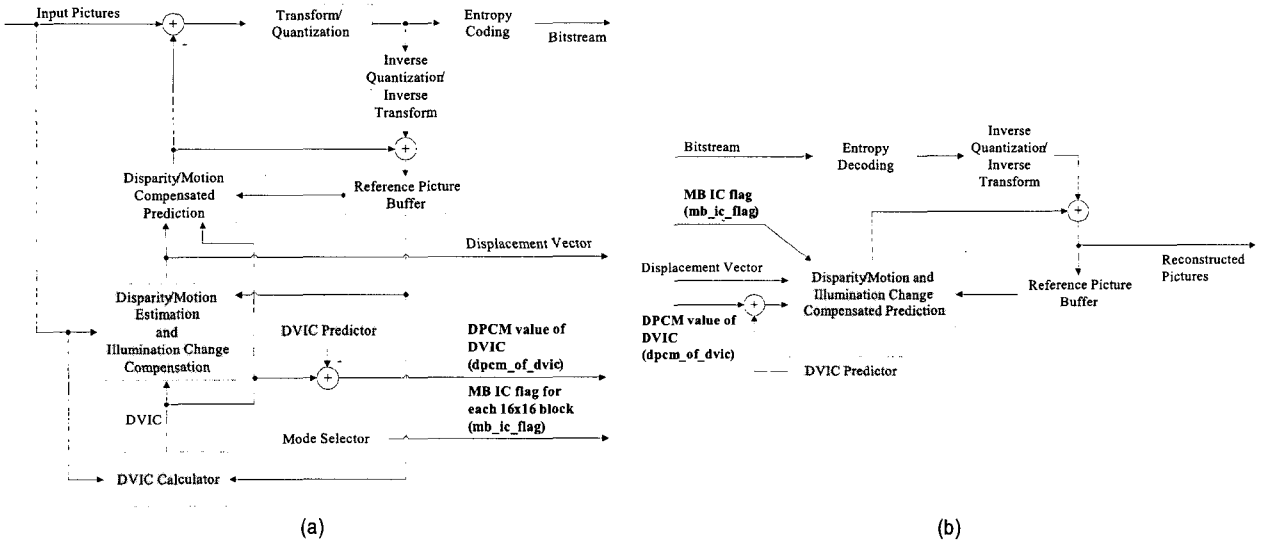


그림 1. 제안하는 매크로블록 기반의 조명변화 보상 방법을 이용한 부호기 및 복호기의 구조: (a) 부호기, (b) 복호기

Fig. 1. Structure of encoder and decoder using the proposed MB-based illumination change compensation method: (a) Encoder, (b) Decoder

상과 시차/움직임 추정이 결합되어 수행된다.

일반적으로 현재 프레임 블록의 움직임을 추정하기 위해 참조 프레임의 움직임 탐색 영역 내에서 블록 매칭(Block Matching) 방법을 수행하여 변위 벡터를 결정한다. 블록 매칭 시에 사용되는 척도는 주로 SAD(Sum of Absolute Differences)를 사용하며, 다음의 식과 같이 나타낸다.

$$\mathrm{SAD}^{(m,n)}(x,y)=\sum_{i=m}^{m+S-1}\sum_{j=n}^{n+T-1}\left|C(i,j)-R(i+x,j+y)\right| \quad (1)$$

$C(i,j)$는 현재 프레임의 (i,j)에 위치하는 화소값, $R(i,j)$는 참조 프레임의 (i,j)에 위치하는 화소값을 나타내며, 여기서 i와 j는 프레임 내 화소의 수평, 수직 위치를 나타낸다. S와 T는 블록 매칭에 사용되는 블록의 수평, 수직 크기, m과 n은 현재 프레임 블록의 수평, 수직 위치를 나타낸다. x와 y는 각각 후보 변위 벡터의 수평, 수직 성분을 나타낸다.

그러나 영상 내에서 조명변화가 발생하는 경우, 기존의 SAD 척도를 통하여 정확한 변위 벡터를 계산하는 것이 어렵기 때문에 시차/움직임 추정 시에 조명 변화를 함께 고려할 필요가 있다. 이를 위하여, 조명변화는 주로 영상의 AC 성분보다 DC성분에 영향을 미친다는 가정 하에 현재블록과 참조 블록에서 각 블록의 DC 성분(평균값)을 제거한 새로운 척도를 기반으로 움직임 탐색을 수행한다. 기존의 SAD의 대안으로 새로운 척도인 MRSAD(Mean-Removed SAD)는 다음의 식과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} M_C^{(m,n)} &= \frac{1}{S\times T}\sum_{i=m}^{m+S-1}\sum_{j=n}^{n+T-1}C(i,j) \\ M_R^{(m,n)}(x,y) &= \frac{1}{S\times T}\sum_{i=m+x}^{m+x+S-1}\sum_{j=n+y}^{n+y+T-1}R(i,j) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \mathrm{MRSAD}^{(m,n)}(x,y)=\sum_{i=m}^{m+S-1}\sum_{j=n}^{n+T-1}\Big|&\left\{C(i,j)-M_C^{(m,n)}\right\} \\ &-\left\{R(i+x,j+y)-M_R^{(m,n)}(x,y)\right\}\Big| \end{aligned} \quad (3)$$

$M_C^{(m,n)}$은 현재블록의 평균값, $M_R^{(m,n)}$은 참조 블록의 평균값을 나타낸다. 움직임 탐색 과정 중에 현재블록의 평균값은 한 번 계산되며, 참조 블록의 평균값은 각 탐색 위치마다 계산되어진다. 제안하는 방법은 매크로블록 단

위로 조명변화를 보상하기 때문에 S와 T는 각각 16으로 설정된다.

식 (2)에서 계산된 각 블록의 평균값은 그림 1의 조명변화 차이값 계산부로 전달되며, 조명변화 차이값(DVIC)은 다음의 식과 같이 계산된다.

$$DVIC^{(m,n)} = Round\left[M_C^{(m,n)} - M_R^{(m,n)}(x', y') \right] \quad (4)$$

$DVIC^{(m,n)}$는 (m,n)번째 위치의 매크로블록이 가지는 조명변화 차이값, x'과 y'은 각각 결정된 변위 벡터의 수평, 수직 성분을 나타내며, 조명변화 차이값은 양자화 간격 1의 크기로 양자화 되어 정수형으로 부호화된다.

위와 같이, 조명변화 보상과 결합된 시차/움직임 추정을 통하여 최종적인 변위 벡터와 함께 조명변화 차이값을 산출한다.

1.2 조명변화 보상을 통한 잔여신호의 계산

잔여신호를 계산하기 위해서 조명변화 보상 및 시차/움직임 추정을 통하여 얻어진 변위 벡터와 조명변화 차이값을 이용하며, 식 (3)과 유사하게 매크로블록 단위로 DC성분을 제거하여 다음의 식과 같이 계산한다.

$$\begin{aligned} E^{(m,n)}(k,l) &= \left\{ C(m+k, n+l) - M_C^{(m,n)} \right\} \\ &\quad - \left\{ R(m+k+x', n+l+y') - M_R^{(m,n)}(x', y') \right\} \\ &= \left\{ C(m+k, n+l) - R(m+k+x', n+l+y') \right\} \\ &\quad - \left\{ M_C^{(m,n)} - M_R^{(m,n)}(x', y') \right\} \\ &= \left\{ C(m+k, n+l) - R(m+k+x', n+l+y') \right\} \\ &\quad - DVIC^{(m,n)} \end{aligned} \quad (5)$$

$E^{(m,n)}(k,l)$은 (m,n)번째 위치의 조명변화가 보상된 잔여신호 블록을 나타낸다.$(0 \le k \le 15, 0 \le l \le 15)$

부호기는 잔여신호를 변환 및 양자화 하여 부호화된 잔여신호를 생성하며, 복호기는 부호화된 잔여신호를 역 양자화 및 역 변환하여 잔여신호를 복원하고 다음의 식과 같이 현재블록을 복원한다.

$$\begin{aligned} \hat{C}^{(m,n)}(k,l) &= \left\{ \hat{E}^{(m,n)}(k,l) + R(m+k+x', n+l+y') \right\} \\ &\quad + \left\{ M_C^{(m,n)} - M_R^{(m,n)}(x', y') \right\} \\ &= \left\{ \hat{E}^{(m,n)}(k,l) + R(m+k+x', n+l+y') \right\} \\ &\quad + DVIC^{(m,n)} \end{aligned} \quad (6)$$

$\hat{E}^{(m,n)}$는 (m,n)번째 위치의 복원된 잔여신호 블록을 나타내며, 역 양자화와 역 변환을 통하여 얻어진다. $\hat{C}^{(m,n)}$는 (m,n)번째 위치의 복원된 현재 프레임 블록을 나타낸다. 이와 같이, 복호기는 부호기로부터 변위 벡터와 조명변화 차이값(DVIC)을 전달받아 복호화를 수행한다.

1.3 적응적인 조명변화 보상을 위한 시그널링

일반적으로 프레임 내에서 조명변화는 국부적으로 발생하기 때문에 프레임 내의 모든 영역, 다시 말해서 프레임 내의 모든 블록들이 조명변화 보상을 필요로 하는 것은 아니다. 일부 블록들은 조명변화 수행 시 오히려 부호화 효율이 저하될 수도 있기 때문에 블록 단위로 적응적인 조명변화 보상을 수행할 필요가 있다. 따라서 각 블록의 조명변화 보상 여부를 복호기에 전달하기 위해, 그림 1에서 나타낸 바와 같이, 부호기는 매크로블록 단위의 시그널링 비트(Signaling Bit)인 mb_ic_flag와 조명변화 보상이 수행된 매크로블록을 대상으로 조명변화 차이값을 함께 복호기로 전달한다. 복호기는 mb_ic_flag가 0인 경우 기존의 방식으로 복호화하며, mb_ic_flag가 1인 경우 조명변화 차이값을 비트스트림으로부터 읽어내고 조명변화 보상을 수행하여 복호화한다.

부호기는 현재블록에 대해 조명변화 보상 여부를 효과적으로 결정해야 하며, 이에 관한 설명은 본 장의 3절에서 다룬다.

1.4 조명변화 차이값의 예측

앞에서 설명한 바와 같이, 복호기에서 조명변화가 보상된 블록을 완전하게 복원하기 위해서는 변위 벡터뿐만 아니라 조명변화 차이값 또한 복호기로 전달되어야 한다.

현재 매크로블록의 조명변화 차이값은 인접한 위치의 조

명변화 보상된 매크로블록이 가지는 조명변화 차이값과 상관성이 높기 때문에, 조명변화 차이값을 PCM(Pulse Code Modulation)으로 부호화하는 것보다 DPCM(Differential Pulse Code Modulation)을 수행한 후 엔트로피 부호화(Entropy Coding)하여 전달하는 것이 더욱 효율적이다.

조명변화 차이값의 예측 방법을 구현하기 위해서 현재블록의 조명변화 차이값과 주변블록의 조명변화 차이값 간의 평균제곱오차(Mean Squared Error)를 여러 가지 테스트 영상에 대하여 측정하였다. 그림 2(a)는 상단, 좌측, 우측 상단, 좌측 상단에 위치한 매크로블록이 가지는 조명변화 차이값과 현재블록이 가지는 조명변화 차이값 간의 평균제곱오차를 나타낸 것이다. 이를 바탕으로 하여 통계적으로 작은 평균제곱오차를 가지는 블록에 높은 우선순위를 부여하여 최종적인 예측값으로 결정하도록 하였다.

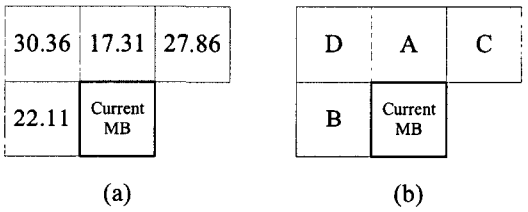


그림 2. (a) 현재블록과 주변블록이 가지는 조명변화 차이값 간의 평균제곱오차, (b) 현재블록의 조명변화 차이값의 예측에 사용되는 4개의 인접한 매크로블록

Fig. 2. (a) The MSEs between the DVICs of the current MB and the neighboring MB, (b) The causal neighboring MBs used for the prediction of the current DVIC

조명변화 차이값의 예측은 다음과 같은 단계로 수행된다.

단계 **1)** 현재 조명변화 보상 블록의 상단에 위치한 블록 A가 현재블록과 같은 참조 프레임 번호(Reference Frame Index)를 가지고 조명변화 보상을 한 경우, 블록 A의 조명변화 차이값을 예측값($pred_{DVIC}$)으로 결정하고 진행을 마친다. 그렇지 않으면 다음 단계로 진행한다.
단계 **2)** 현재 조명변화 보상 블록의 좌측에 위치한 블록 B가 현재블록과 같은 참조 프레임 번호를 가지고 조명변화 보상을 한 경우, 블록 B의 조명변화 차이값을 예측값으로 결정하고 진행을 마친다. 그렇지 않으면 다음 단계로 진행한다.
단계 **3)** 현재 조명변화 보상 블록의 우측 상단에 위치한 블록 C가 현재블록과 같은 참조 프레임 번호를 가지고 조명변화 보상을 한 경우, 블록 C의 조명변화 차이값을 예측값으로 결정하고 진행을 마친다. 그렇지 않으면 다음 단계로 진행한다.
단계 **4)** 현재 조명변화 보상 블록의 좌측 상단에 위치한 블록 D가 현재블록과 같은 참조 프레임 번호를 가지고 조명변화 보상을 한 경우, 블록 D의 조명변화 차이값을 예측값으로 결정하고 진행을 마친다. 그렇지 않으면 다음 단계로 진행한다.
단계 **5)** 현재 조명변화 보상 블록의 상단에 위치한 블록 A, 좌측에 위치한 블록 B, 우측 상단에 위치한 블록 C가 조명변화 보상을 한 경우, 이 세 블록의 조명변화 차이값을 중간값 필터링(Median Filtering)하여 그 결과를 예측값으로 결정하고 진행을 마친다. 그렇지 않으면 다음 단계로 진행한다.
단계 **6)** 예측값을 0으로 결정한다.

위의 예측 과정에서 참조 프레임 번호를 비교할 때, P 슬라이스의 경우 현재블록과 주변블록이 가지는 List 0(L0)의 참조 프레임 번호를 비교하며, B 슬라이스의 경우 L0와 List 1(L1)의 참조 프레임 번호를 개별적으로 비교한다.

현재블록의 조명변화 차이값과 위의 예측 과정을 통하여 산출된 예측값을 식 (7)과 같이 차분하며, 그 차분된 값을 엔트로피 부호화한다.

$$\text{dpcm_of_dvic} = DVIC - \text{pred}_{\text{DVIC}} \tag{7}$$

1.3에서 설명한 바와 같이, 부호기는 mb_ic_flag가 1인 경우 dpcm_of_dvic를 복호기로 전달한다. dpcm_of_dvic를 전달받은 복호기는 위의 예측 과정과 동일한 방법으로 예측값을 계산한 후, 식 (8)과 같이 조명변화 차이값을 얻을 수 있다.

$$DVIC = \text{dpcm_of_dvic} + \text{pred}_{\text{DVIC}} \tag{8}$$

2. 다시점 비디오 부호화 참조 모델

지난 2006년 1월 태국에서 열린 75차 MPEG 방콕 회의

에서 CfP(Call for Proposal)를 수행하여 다시점 비디오 부호화 표준의 기본 골격이 되는 참조 모델(Reference Model)[8]이 결정되었다. 결정된 참조 모델은 기존의 단일 시점 비디오 부호화 표준인 H.264/AVC를 기반으로 하며, 입력되는 다시점 비디오의 재배열(Reordering)과 RPLR (Reference Picture List Reordering) 및 MMCO(Memory Management Control Operation)를 이용하여 부호화 구조를 구성한다는 것이 특징이다.

참조 모델은 부호화를 수행하기 전의 전처리 단계로써 모든 뷰의 영상들을 재배열하여 하나의 시퀀스로 구성한다. 재배열된 시퀀스는 H.264/AVC 부호기로 입력되며, 입력된 영상들은 RPLR과 MMCO를 이용하여 정의된 다시점 비디오 부호화 구조로 부호화된다.

이 구조의 가장 큰 특징은 시간 축으로 부호화를 수행할 때 계층적 B 픽쳐 부호화(Hierarchical B Picture Coding)[9]를 사용하여 높은 압축 효율과 시간적 스케일러빌리티(Temporal Scalabilty)를 지원한다는 것이다. 또한 뷰 축으로 B 픽쳐를 사용하여 뷰 간의 상관성을 더욱 효과적으로 제거함으로써 높은 압축 효율을 나타낸다.

3. 제안하는 조명변화 보상 방법과 참조 모델의 통합

본 논문에서 제안하는 조명변화 보상 방법은 참조 모델을 기반으로 하는 부호기와 통합된다. H.264/AVC를 기반으로 하는 참조 모델은 여러 가지 종류의 슬라이스(Slice)를 지원하는데, 그 중에 P 와 B 슬라이스에서 제안하는 조명변화 보상 방법을 적용한다. 그리고 비디오 데이터의 상당 부분을 차지하는 휘도신호(Luma)에 대해 조명변화 보상을 수행하며, 상대적으로 낮은 비율을 차지하는 색차신호(Chroma)는 조명변화 보상을 수행하지 않는다. 이는 추가 비트(mb_ic_flag, dpcm_of_dvic)의 증가로 인하여 조명변화 보상을 통한 성능향상이 상쇄되는 것을 줄이기 위한 것이다. 또한 적응적인 조명변화 보상을 위한 조명변화 보상 여부 결정을 위해서 율-왜곡 최적화(Rate-Distortion Optimization)[10][11] 방법을 활용하며, mb_ic_flag와 dpcm_of_dvic의 부호화를 위해 CABAC(Context-Based Adaptive Binary Arithmetic Coding)[12]을 이용한다.

3.1 P 슬라이스에서의 조명변화 보상

P 슬라이스에서는 L0 참조픽쳐 리스트를 참조하여 화면 간 예측 부호화를 수행한다. 화면 간 예측 부호화 수행 시에 기존의 H.264/AVC는 매크로블록(16×16) 단위로 3가지 블록 모드(Inter 16×16, Inter 16×8, Inter 8×16)와 서브블록(8×8) 단위로 4가지 블록 모드(Inter 8×8, Inter 8×4, Inter 4×8, Inter 4×4)를 지원한다. 제안하는 조명변화 보상 방법은 Inter 16×16 모드에 대해서 조명변화 보상을 수행한다. 매크로블록 단위로 조명변화 보상 및 시차/움직임 추정을 수행하기 위하여 식 (3)을 척도로 변위 벡터를 결정하며, 식 (4)를 통하여 조명변화 차이값을 계산한다.

3.2 B 슬라이스에서의 조명변화 보상

B 슬라이스에서는 L0 참조픽쳐 리스트와 L1 참조픽쳐 리스트를 참조하여 화면 간 예측 부호화를 수행한다. 2개의 참조픽쳐 리스트를 이용하기 때문에, 단방향(전방향 또는 후방향) 예측 또는 쌍-예측(Bi-predictive)이 가능하다. P 슬라이스와 같이 Inter 16×16 모드에서 조명변화 보상을 수행하며, 이와 더불어 Direct 16×16 모드에서 조명변화 보상을 수행한다. B 슬라이스에서의 조명변화 보상은 다음과 같이 수행된다.

- Inter 16×16 모드/단방향 예측

  P 슬라이스에서의 방식과 동일하다.

- Inter 16×16 모드/쌍-예측

  2개의 참조픽쳐로부터 움직임 탐색을 수행하여 2개의 변위 벡터를 산출하며, 그 2개의 변위 벡터를 이용하여 다음과 같이 현재블록을 위한 예측블록을 계산한다.

$$\tilde{R}^{(m,n)}(k,l) = Round\Big[\{R_{L0}(m+k+x'_{L0}, n+l+y'_{L0}) + R_{L1}(m+k+x'_{L1}, n+l+y'_{L1})\}/2\Big] \quad (9)$$

$\tilde{R}^{(m,n)}(k,l)$은 (m,n)번째 위치의 예측블록, x'_{L0}와 y'_{L0}는 각각 L0 변위 벡터의 수평, 수직 성분, x'_{L1}와 y'_{L1}는 각각 L1 변위 벡터의 수평, 수직 성분, $R_{L0}(i,j)$와 $R_{L1}(i,j)$는 각

각 L0 참조픽쳐로부터 얻어진 예측화소와 L1 참조픽쳐로부터 얻어진 예측화소를 나타낸다.

식 (9)로 계산된 예측블록과 식 (4)를 통하여 1개의 조명변화 차이값을 계산한다.

• Direct 16×16 모드

H.264/AVC는 B 슬라이스에서 시간적(Temporal) 방법과 공간적(Spatial) 방법으로 2가지의 Direct 모드 부호화 방법을 지원한다. 두 방법의 기본적인 개념은 변위 벡터를 부호화하지 않고, 이미 부호화된 매크로블록으로부터 변위 벡터를 예측하여 사용하는 것이다. Direct 모드에서의 조명변화 보상은 16×16 크기의 블록을 대상으로 수행되며, 변위 벡터는 기존의 Direct 모드의 움직임 벡터 예측 방법으로 계산된다[13]. Direct 모드로 얻어진 변위 벡터를 이용하여 예측 블록을 생성하고, 최종적으로 식 (4)를 통하여 조명변화 차이값을 계산한다. 여기서 Direct 16×16 모드의 블록이 B Skip 모드로 결정된 경우에도 mb_ic_flag와 dpcm_of_dvic를 부호화한다.

3.3 율-왜곡 최적화를 이용한 조명변화 보상 여부 결정

프레임 내에서 일부 매크로블록은 조명변화 보상을 수행하지 않는 것이 더 좋은 성능을 보일 수 있기 때문에, 매크로블록 단위로 조명변화 보상을 적응적으로 수행할 필요가 있다. 이를 위해 매크로블록의 타입이 Inter 16×16과 Direct 16×16 모드인 경우 mb_ic_flag를 이용하여 현재 매크로블록의 조명변화 보상 여부를 나타낸다. 여기서 각 매크로블록에 대해 조명변화 보상 여부를 결정하는 방법으로 율-왜곡 최적화를 이용한다.

율-왜곡 최적화 시 모드 결정을 위한 비용(J_{MODE}) 계산식은 다음과 같다.

$$J_{MODE}(S_k, I_k \mid Q, \lambda_{MODE}) = D(S_k, I_k \mid Q) + \lambda_{MODE} R(S_k, I_k \mid Q) \quad (10)$$

S_k는 k번째 매크로블록을 나타내고, I_k는 k번째 매크로블록의 모드를 나타낸다. Q와 λ_{MODE}는 각각 사용된 QP(Quantization Parameter)와 라그랑지 승수(Lagrange Multiplier)를 나타내고, 함수 D와 R은 매크로블록에 대한 왜곡 정도(Distortion)와 소요 비트수(Rate)를 나타낸다.

여기서 Inter 16×16과 Direct 16×16 모드의 경우 mb_ic_flag(1-bit)와 dpcm_of_dvic에 소요되는 비트를 함께 포함하며, 소요 비트수의 계산은 다음과 같이 수정된다.

• 조명변화 보상을 수행하지 않는 경우,

$$\tilde{R}(S_k, I_k \mid Q) = R(S_k, I_k \mid Q) + 1 \quad (11)$$

• 조명변화 보상을 수행하는 경우,

$$\tilde{R}(S_k, I_k \mid Q) = R(S_k, I_k \mid Q) + 1 + \text{BitsUsage(dpcm_of_dvic)} \quad (12)$$

► Inter 16×16과 Direct 16×16 모드를 위한 비용 계산식

$$J_{MODE}(S_k, I_k \mid Q, \lambda_{MODE}) = D(S_k, I_k \mid Q) + \lambda_{MODE} \tilde{R}(S_k, I_k \mid Q) \quad (11)$$

율-왜곡 최적화를 사용하여 모드를 결정하는 것은 부호기의 복잡도를 높일 수 있는 단점을 가지고 있으나, 조명변화 보상의 대상이 Inter 16×16과 Direct 16×16 두 가지 모드로 국한되어 있기 때문에 상대적으로 높은 계산량을 필요로 하는 것은 아니다.

3.4 mb_ic_flag와 dpcm_of_dvic의 부호화를 위한 CABAC 구현

Inter 16×16과 Direct 16×16 모드에 대해 조명변화 보상 여부를 나타내기 위해 mb_ic_flag를 부호화한다. 조명변화 보상을 수행한 블록의 경우 mb_ic_flag가 1로 부호화되며, 그렇지 않은 경우 0으로 부호화된다. 또한 mb_ic_flag가 1인 블록의 경우 조명변화 차이값의 예측 차분된 값을 나타내는 dpcm_of_dvic를 함께 부호화한다. 이 두 가지 요소를 효과적으로 부호화하기 위해서 본 논문에서는 CABAC을 사용한다.

mb_ic_flag의 경우 기존의 mb_skip_flag와 유사한 방식으로 3개의 Context Model을 사용하였으며 다음과 같이 Context Model을 결정한다.

Let the variable condTermFlagN (with N being either A or B) be derived as follows.
- If mbAddrN is available and mb_ic_flag for the macroblock mbAddrN is equal to 1, condTermFlagN is set equal to 0.
- Otherwise (mbAddrN is not available or mb_ic_flag for the macroblock mbAddrN is equal to 0), condTermFlagN is set equal to 1.

The variable ctxIdxInc is derived by
ctxIdxInc = condTermFlagA + condTermFlagB

dpcm_of_dvic는 잔여신호 변환 계수 레벨 부호화와 유사하게 UEG0(Unary/0th Order Exponential Golomb)으로 이진화(Binarization)되며, 2개의 Context Model을 사용한다. 그림 3과 같이, 첫 번째 Context Model은 첫 번째 Bin Value를 위해 사용되며, 두 번째 Context Model은 Unary Prefix 부분의 Bin Value들을 위해 사용된다. Bin String의 나머지 Exponential Golomb Suffix 부분과 부호(Sign) 비트는 Bypass 모드로 부호화된다.

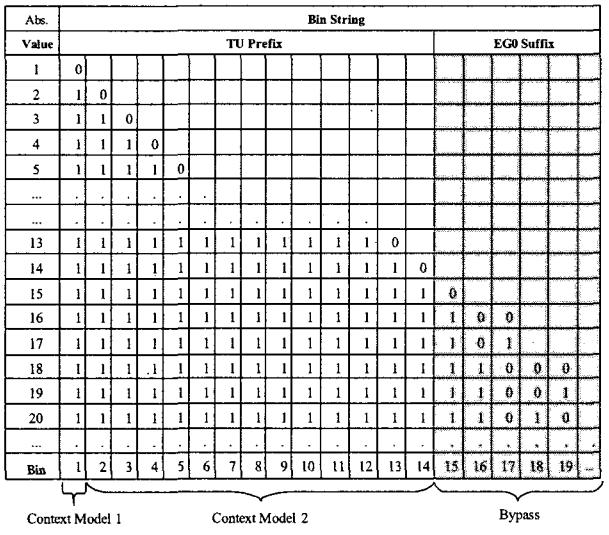


그림 3. dpcm_of_dvic를 위한 Bin String 및 Context Model 할당
Fig. 3. Assignment of Bin Strings and Context Models for dpcm_of_dvic

Ⅲ. 실험 결과 및 분석

본 장에서 제안하는 조명변화 보상 방법과 통합된 참조 모델 부호기의 성능을 다양한 실험 결과를 통하여 비교하고 분석한다.

1. 실험 환경

실험을 위하여 참조 소프트웨어인 JSVM 3.5[14]를 기반으로 제안하는 조명변화 보상 방법을 구현하였다. 부호화를 위한 프로파일(Profile)은 기본적으로 Main Profile을 기반으로 하였으며, 추가적으로 FREXt(Fidelity Range Extensions)에 정의되어 있는 8×8 정수변환을 4×4 정수변환과 함께 적응적으로 사용하였다.

표 1은 실험에서 사용된 테스트 영상[15]을 나타내며, 모두 다시점 비디오 부호화 표준화에서 사용하기 위해 제공된 영상들이다. 각 영상은 카메라 개수만큼의 개별 시퀀스로 구성된다.

표 2와 같이, 각 테스트 영상마다 3개의 비트율에 대하여 부호화를 수행하였으며, 시간 축으로 임의 접근(Random Access)에 대한 간격을 0.5초 또는 1초로 제약 조건을 두어 실험하였다.

표 1. 테스트 영상
Table 1. Test Sequences

테스트 영상	영상 속성	카메라 배열	각 카메라당 프레임 수
Race1	640×480, 30fps	8 cameras, 1-D parallel	300
Rena	640×480, 30fps	16 cameras, 1-D parallel	300
Exit	640×480, 25fps	8 cameras, 1-D parallel	250
Breakdancers	1024×768, 15fps	8 cameras, 1-D arc	100

표 2. 부호화 조건
Table 2. Coding Conditions

테스트 영상	임의 접근 시간 간격	평균 비트율 [kbps/camera]		
Race1	0.5 sec	384	512	768
Rena	0.5 sec	128	256	512
Exit	0.5 sec	192	256	384
Breakdancers	1.0 sec	256	512	1024

참조 모델에서 사용된 계층적 B 픽쳐 부호화는 압축 효율을 높이기 위하여 각 계층마다 QP 값을 다르게 설정한다. 표 3은 표 2에서 명시된 세 가지의 비트율로 부호화하기 위하여 설정된 Fixed QP 값을 나타내며, 표 4는 계층적 B 픽쳐 부호화 시에 각 계층(Temporal Decomposition Layer)에서 사용되는 QP 값(= Fixed QP + Delta QP)을 계산하기 위한 Delta QP 값을 나타낸다.

표 3. Fixed QP 설정
Table 3. Fixed QP settings

테스트 영상	BasisQP		
Race1	28	26	24
Rena	33	28	23
Exit	31	29	26
Breakdancers	31	26	22

표 4. Delta QP 값
Table 4. Delta QP values

Delta QP Values	
DeltaLayer0Quant	0
DeltaLayer1Quant	3
DeltaLayer2Quant	4
DeltaLayer3Quant	5
DeltaLayer4Quant	6
DeltaLayer5Quant	7

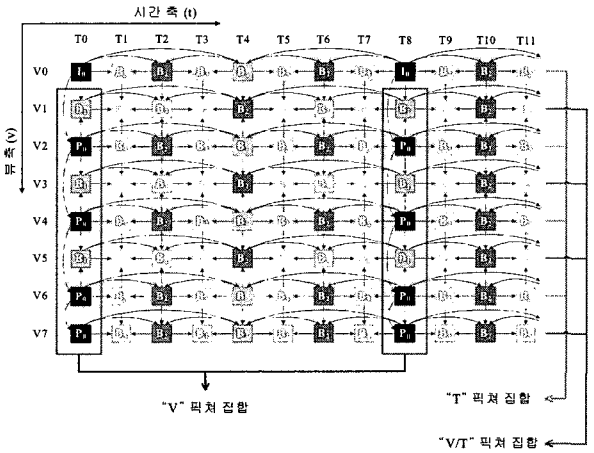


그림 4. 참조 모델 부호화 구조에서 사용되는 3가지 종류의 픽쳐 집합
Fig. 4. Three kinds of picture sets used in reference model encoder

2. 픽쳐 집합에 따른 실험 결과

제안하는 방법의 성능을 분석하기 위해 3가지 종류의 픽쳐 집합으로 나누어 실험 결과를 나타내었다. 그림 4와 같이, 화면 간 예측 부호화되는 픽쳐의 참조(Reference) 방식에 따라 세 가지 종류의 픽쳐 집합으로 분류할 수 있다. 시간 축으로 임의 접근 지점 T0, T8에 존재하는 P 또는 B 픽쳐들은 오직 가장 인접한 다른 뷰의 픽쳐를 참조하여 부호

표 5. 3가지 종류의 픽쳐 집합에 따른 중간 비트율에서의 참조모델(RM)과 제안하는 조명변화 보상 방법(RM+MBIC)과 통합된 참조모델의 비교
Table 5. Comparison of reference model(RM) and reference model integrated with the proposed method(RM+MBIC) according to three picture sets in the middle-bitrate point

테스트 영상	픽쳐 집합	참조 모델(RM)		제안하는 방법을 사용한 참조 모델(RM+MBIC)		△PSNR	비트 감소율
		PSNR	픽쳐당 비트수	PSNR	픽쳐당 비트수		
Race1	V	39.49	117909.93	39.51	102978.18	0.02	12.66%
	T	38.71	12679.76	38.89	12137.80	0.18	4.27%
	V/T	38.33	8539.95	38.63	8359.00	0.30	2.12%
Rena	V	42.15	33584.20	42.75	29438.22	0.60	12.35%
	T	41.32	7622.78	41.64	7859.86	0.32	-3.11%
	V/T	40.56	5133.96	41.24	5264.33	0.68	-2.54%
Exit	V	38.20	43894.60	38.27	42555.74	0.07	3.05%
	T	37.79	6628.63	37.91	7003.54	0.12	-5.66%
	V/T	37.29	5778.50	37.45	6017.62	0.16	-4.14%
Breakdancers	V	39.70	95249.57	39.77	87425.29	0.07	8.21%
	T	38.76	30799.83	38.85	30932.02	0.09	-0.43%
	V/T	38.55	21406.67	38.72	20733.72	0.17	3.14%

화되며, 이러한 픽쳐들을 "V" 픽쳐 집합으로 정의한다. 뷰 축으로 짝수 번째에 위치하는 V0, V2, V4, V6 뷰에서 임의 접근 지점의 사이(T1~T7)에 존재하는 B 픽쳐들은 오직 시간적으로 다른 위치에 존재하는 픽쳐를 참조하며, 인접한 다른 뷰의 픽쳐를 참조하지 않는다. 이러한 픽쳐들을 "T" 픽쳐 집합으로 정의한다. 그리고 홀수 번째에 위치하는 V1, V3, V5, V7 뷰에서 임의 접근 지점의 사이에 존재하는 B 픽쳐들은 시간적으로 다른 위치에 존재하는 픽쳐뿐만 아니라 인접한 다른 뷰의 픽쳐까지 함께 참조하여 화면 간 예측을 수행하며, 이러한 픽쳐들을 "V/T" 픽쳐 집합으로 정의한다.

표 5는 픽쳐 집합("V","T","V/T")에 따라 참조 모델(RM)과 제안하는 조명변화 보상 방법과 통합된 참조 모델(RM+MBIC)의 성능을 비교하여 나타낸다. 모든 테스트 영상에 대해 "V" 픽쳐 집합에서 가장 많은 성능향상이 있으며, "V/T" 픽쳐 집합에서도 약간의 성능향상이 있다. 주로 각 뷰 사이에서 조명변화의 차이가 발생하기 때문에, 뷰 간의 예측 부호화 시에 제안하는 조명변화 보상 방법이 효과적으로 수행되는 것을 알 수 있다. 그러나 "T" 픽쳐에서는 성능향상이 상대적으로 매우 낮으며, 그 이유는 대부분의 테스트 영상에서 시간의 흐름에 따라 조명의 변화가 크지 않고, 일부분 조명 변화가 발생하더라도 B 픽쳐의 쌍-예측을 통해 어느 정도 극복 될 수 있기 때문이다.

3. H.264/AVC의 가중치 예측과 제안하는 방법의 비교

H.264/AVC는 기존의 비디오 부호화 표준과 달리 슬라이스 단위의 조명변화 보상을 위한 가중치 예측(Weighted Prediction)[16] 방법을 채택하였다. 여기서 가중치 예측을

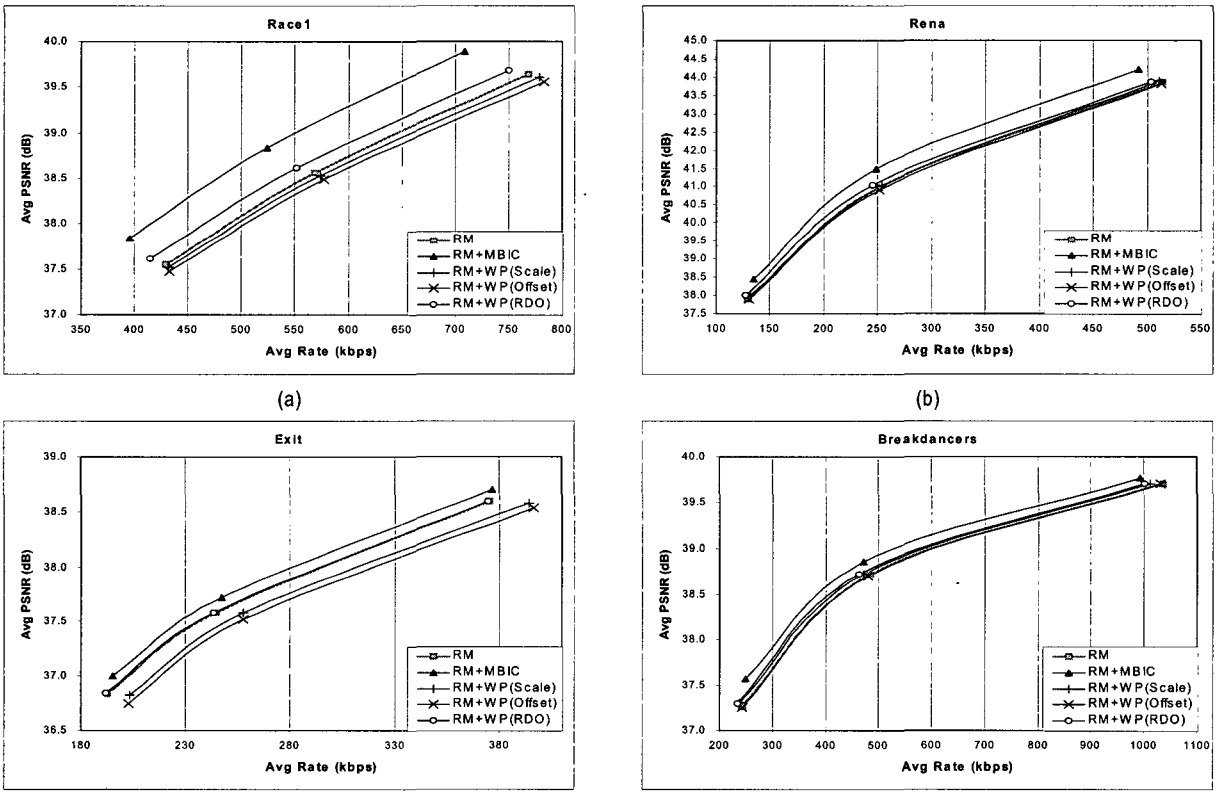


그림 5. 참조모델(RM), 제안하는 조명변화 보상 방법과 통합된 참조모델(RM+MBIC), 가중치 예측을 사용한 참조 모델(RM+WP)의 율-왜곡 그래프 비교: (a) Race1, (b) Rena, (c) Exit, (d) Breakdancers

Fig. 5. Comparisons of rate-distortion curves of RM, RM+MBIC, and RM using the weighted prediction(RM+WP): (a) Race1, (b) Rena, (c) Exit, (d) Breakdancers

다시점 비디오 부호화에 적용하여 부호화 성능을 분석하고 제안하는 방법의 성능과 비교한다.

그림 5는 시퀀스 전체에 대한 참조 모델, 제안하는 방법과 통합된 참조 모델, 가중치 예측을 사용한 참조 모델(RM+WP)의 율-왜곡 그래프를 나타낸다. 가중치 예측은 3가지 방식으로, 스케일링 인자(= 현재픽쳐 전체 화소값의 평균 / 참조픽쳐 전체 화소값의 평균)를 사용한 경우, 오프셋 인자(= 현재픽쳐 전체 화소값의 평균 - 참조픽쳐 전체 화소값의 평균)를 사용한 경우, 슬라이스 단위의 율-왜곡 최적화된 다중 경로 부호화(Multi-pass Coding)를 사용한 경우에 대해 모두 실험하였다. 율-왜곡 최적화된 다중 경로 부호화를 위해 부호기는 각 슬라이스마다 가중치 예측을 수행하지 않는 경우, 스케일링 인자를 사용하여 가중치 예측을 수행하는 경우, 오프셋 인자를 사용하여 가중치 예측을 수행하는 경우로 총 3번의 부호화를 수행한다.

그림 5에서 나타내는 바와 같이, 스케일링 인자 또는 오프셋 인자만을 사용하여 가중치 예측을 수행하는 경우가 가장 낮은 성능을 나타낸다. 가중치 예측은 기본적으로 슬라이스 단위로 조명변화를 보상하기 때문에 상대적으로 국부적인 조명변화가 많은 영상에서는 성능을 발휘하지 못한다. 한편 율-왜곡 최적화된 다중 경로 부호화를 사용한 경우 참조모델과 비교했을 때 어느 정도 성능향상이 있음을 알 수 있다. 그러나 참조모델보다 약 3배 이상의 계산량을 필요로하는 것에 비하여 성능향상이 높지 않았다. 그러나 제안하는 방법을 사용한 경우 다중 경로 부호화를 이용한 가중치 예측과 비교하여 낮은 계산량으로 더 높은 부호화 효율을 얻을 수 있었다

결과적으로 제안하는 방법을 통하여 가장 효과적으로 조명변화 보상을 수행할 수 있었으며, 다중 경로 부호화를 이용한 가중치 예측과 비교하여 약 0.1~0.4dB, 참조모델과 비교하여 약 0.1~0.6dB의 성능향상이 있었다.

Ⅳ. 결 론

본 논문에서 다시점 비디오 부호화 시에 각 뷰 간의 조명 차이로 발생할 수 있는 문제점에 대해 고찰하였으며, 그 문제점을 해결하기 위한 매크로블록 단위의 국부적인 조명변화 보상 방법을 제안하였다. 조명변화 보상과 움직임 예측을 결합하여 사용함으로써 조명변화 발생 시 기존의 방식보다 더욱 효과적으로 변위 벡터를 획득할 수 있었으며, 효과적인 조명변화 차이값의 예측 부호화와 함께 매크로블록 단위로 조명변화를 보상함으로써 보다 적응적으로 보상을 수행 할 수 있었다. 뷰 간의 예측 부호화 시에 제안하는 방법의 효율이 가장 높았으며, 특히 임의 접근 지점에 위치하는 픽쳐에서 높은 향상을 얻을 수 있었다. 임의 접근 지점의 픽쳐는 이를 참조하는 픽쳐의 화질에 많은 영향을 주기 때문에 전체적인 화질의 향상에 있어 매우 중요한 역할을 한다. 제안하는 방법은 다시점 비디오 부호화에서 보다 높은 압축 효율을 얻기 위해 반드시 필요한 기술이며, 앞으로 다시점 비디오 부호화에서 유용하게 활용될 것으로 전망된다.

참 고 문 헌

[1] A. Smolic and D. McCutchen, "3DAV Exploration of Video-Based Rendering Technology in MPEG," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 14, pp. 348 - 356, Mar. 2004.

[2] S. Yea, J. Oh, S. Ince, E. Martinian, and A. Vetro, "Report on Core Experiment CE3 of Multiview Coding," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11*, Doc. M13695, Klagenfurt, Austria, Jul. 2006.

[3] M. Kitahara, H. Kimata, M. Tanimoto, T. Fujii, and K. Yamamoto, "Report of Core Ex-periment on View Interpolation (Multi-view Video Coding CE3)," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11*, Doc. M13509, Klagenfurt, Austria, Jul. 2006.

[4] Y. L. Lee, J. H. Hur, Y. K. Lee, S. Cho, H. J. Kwon, N. Hur, and J. Kim, "Results of CE2 on Multi-view Video Coding," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11*, Doc. M13498, Klagenfurt, Austria, Jul. 2006.

[5] J. H. Kim, P. L. Lai, A. Ortega, Y. Su, P. Yin, and C. Gomila, "Results of CE2 on Multi-view Video Coding," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11*, Doc. M13720, Klagenfurt, Austria, Jul. 2006.

[6] K. Sohn, Y. Kim, J. Seo, J. Yoon, G. Kim, C. Park, and J. Lee, "Results on CE2 using IBDE for multi-view video coding," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11*, Doc. M13543, Klagen-furt, Austria, Jul. 2006.

[7] H. S. Koo, Y. J. Jeon, and B. M. Jeon, "Motion Skip Mode for MVC," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T Q6/SG16*, Doc. JVT- U091-L, Oct. 2006.

[8] K. Mueller, P. Merkle, A. Smolic, and T. Wiegand, "Multiview Coding using AVC," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11*, Doc. M12945, Bangkok, Thailand, Jan. 2006.

[9] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Hierarchical B Pictures," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 and ITU-T Q6/SG16*, Doc. JVT-P014, Jul. 2005.

[10] G. J. Sullivan and T. Wiegand, "Rate-Distortion Optimization for Video Compression," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 15, pp. 74-90, Nov. 1998.

[11] T. Wiegand, H. Schwarz, A. Joch, F. Kossentini, and G. J. Sullivan, "Rate-Constrained Coder Control and Comparison of Video Coding Standards," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, pp. 688-703 July 2003.

[12] Detlev Marpe, Thomas Wiegand, and Heiko Schwarz, "Context-based adaptive binary arithmetic coding in the H.264/AVC video compression standard," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 13, pp. 620-636 July 2003.

[13] A. M. Tourapis, F. Wu, and S. Li, "Direct Mode Coding for Bipredictive Slices in the H.264 Standard," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 15, pp. 119 - 126, Jan. 2005.

[14] Multi-View Coding Software, http://iphome.hhi.de/mueller/MVC_SW.htm

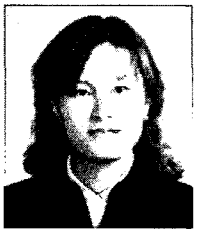
[15] Video and Test, "Updated Call for Proposals on Multi-view Video Coding," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11*, Doc. N7567, October 2005.

[16] J. M. Boyce, "Weighted Prediction in the H.264/MPEG AVC Video Coding Standard," *Circuits and Systems, 2004. ISCAS '04. Proceedings of the 2004 International Symposium*, vol. 3, pp. III-789-92 , May 2004.

저 자 소 개

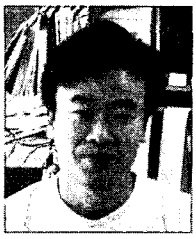
허 재 호

- 2005년 2월 : 세종대학교 컴퓨터공학과 (학사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 컴퓨터공학과 (석사)
- 주관심분야 : Video coding, Image processing, H.264/AVC, Multi-view video coding, Video transcoding



조 숙 희

- 1993년 2월 : 부경대학교 전자계산학과 (학사)
- 1996년 2월 : 부경대학교 대학원 전자계산학과 (석사)
- 1999년 9월 : 요코하마국립대학교 대학원 전자정보공학과 (박사)
- 1999년 11월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 전파방송연구단 방송시스템연구그룹 3DTV시스템연구팀
- 주관심분야 : Multiview video coding, MPEG-2/4 systems, 3DTV



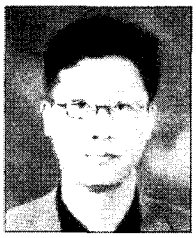
허 남 호

- 1992년 2월 : 포항공과대학교 전기전자공학과 (학사)
- 1994년 2월 : 포항공과대학교 대학원 전기전자공학과 (석사)
- 2000년 2월 : 포항공과대학교 대학원 전기전자공학과 (박사)
- 2000년 4월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 전파방송연구단 방송시스템연구그룹 3DTV시스템연구팀
- 주관심분야 : 3DTV, Free-viewpoint TV

저 자 소 개

김 진 웅

- 1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (학사)
- 1983년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 (석사)
- 1993년 2월 : 미국 Texas A&M 대학교 전기공학과 (박사)
- 1983년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 전파방송연구단
- 주관심분야 : 3DTV, Free-viewpoint TV, MPEG-7, Image processing



이 영 렬

- 1985년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (학사)
- 1987년 2월 : 서강대학교 전자공학과 (석사)
- 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 · 전자공학과 (박사)
- 1987년 1월 ~ 1994년 2월 : 삼성전자 R&D 센터 Digital Media Lab.
- 1999年 3월 ~ 2001년 8월 : 삼성전자 R&D 센터 Digital Media Lab. 수석연구원
- 2001년 9월 ~ 현재 : 세종대학교 전자정보대학 컴퓨터공학부 컴퓨터공학과 부교수
- 주관심분야 : Muliti-view video coding, MPEG video compression, Multimedia(MPEG) systems, H.264/AVC, Image compression, Image processing, Multimedia data(A/V/System) over IP, Embeded system for A/V transport, Transcoding, Watermarking