

논문 2010-47SP-6-15

다시점 비디오의 휘도 및 색차 성분 불일치 보상을 위한 히스토그램 매칭 기반의 전처리 기법

(New Prefiltering Methods based on a Histogram Matching to
Compensate Luminance and Chrominance Mismatch for Multi-view
Video)

이 동 석*, 유 지 상**

(Dong Seok Lee and Jisang Yoo)

요 약

다시점 비디오는 카메라간의 다른 위치와 불완전한 카메라 보정(calibration)으로 인접한 시점의 영상 내에 존재하는 동일 물체 간에 색상 차이가 발생할 수 있다. 이러한 색상 불일치(color mismatch)는 시점 간 움직임 예측(inter-view prediction) 수행 시, 오정합을 발생시켜 다시점 비디오 부호화(Multi-view Video Coding : MVC) 성능을 저하시키는 원인이 된다. 본 논문에서는 이웃하는 영상 간에 존재하는 휘도 및 색차 성분 불일치를 보상하여 다시점 비디오 부호화의 압축률을 향상시키는 전처리 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 모든 시점의 영상을 히스토그램 매칭 기법에 의해 정해진 참조 시점 영상의 색상을 기준으로 보정된다. 또한 히스토그램 매칭 수행 전에 YCbCr 색상공간 변경 시에 색차 성분의 대표 값 추출(chrominance subsampling)에 사용되는 Cosited filter를 영상의 각 색상성분에 적용하여 성능을 더욱 높일 수 있다. 히스토그램 매칭은 YCbCr 색상공간에서 RGB 색상공간으로 변환하여 각 색상성분에 적용한다. 이 과정에서 영상에 존재하는 에지의 방향성과 화소 값의 존재 범위를 고려한 효과적인 색상 변환 기법이 사용된다. 실험을 통해 제안하는 전처리 기법이 다른 기법들에 비해 향상된 부호화 효율을 가지는 것을 확인하였다.

Abstract

In multi-view video, illumination disharmony between neighboring views can occur on account of different location of each camera and imperfect camera calibration, and so on. Such discrepancy can be the cause of the performance decrease of multi-view video coding by mismatch of inter-view prediction which refer to the pictures obtained from the neighboring views at the same time. In this paper, we propose an efficient histogram-based prefiltering algorithm to compensate mismatches between the luminance and chrominance components in multi-view video for improving its coding efficiency. To compensate illumination variation efficiently, all camera frames of a multi-view sequence are adjusted to a predefined reference through the histogram matching. A Cosited filter that is used for chroma subsampling in many video encoding schemes is applied to each color component prior to histogram matching to improve its performance. The histogram matching is carried out in the RGB color space after color space converting from YCbCr color space. The effective color conversion skill that has respect to direction of edge and range of pixel value in an image is employed in the process. Experimental results show that the compression ratio for the proposed algorithm is improved comparing with other methods.

Keywords : multiview video coding (MVC), Cosited filtering, histogram matching, color conversion, illumination compensation (IC).

* 학생회원, ** 평생회원, 광운대학교 전자공학과 (Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University)
※ 본 연구는 한국산업기술평가관리원(KEIT)의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음. [KI002058, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스 시스템의 구현을 위한 신호처리 요소 기술 및 SoC 개발]
접수일자: 2010년5월13일, 수정완료일: 2010년8월3일

I. 서 론

다시점 비디오는 기존의 단일시점 비디오와는 다르게, 서로 다른 위치에 배열된 여러 대의 카메라로 영상을 촬영하고, 획득한다. 다시점 비디오는 렌티큘러(lenticular) 디스플레이를 이용한 무안경식 3DTV와 영상의 시점을 사용자가 자유롭게 선택하는 것이 가능한 자유시점 TV(free-viewpoint television), 그리고 3차원 비디오를 이용한 의료산업 분야 등에서 폭넓게 사용되고 있다. 다시점 비디오는 데이터의 양이 단일시점 영상 보다 월등히 많으므로 저장이나 전송 시에 효율적인 부호화 기법을 필요로 한다. 이를 위하여 ISO/IEC 산하의 MPEG에서 다시점 비디오 부호화(multi-view video coding; MVC) 표준화를 2001년부터 진행하였고, 2008년 7월 ITU-T와 공동으로 설립한 JVT(Joint Video Team)에서 표준화가 완료되었다.

다시점 비디오 부호화의 가장 큰 특징은 전후 프레임의 상관도 뿐 아니라 시점간의 상관성도 이용한다는 것이다. 즉 시간적 중복성을 제거하는 움직임 보상 기법 뿐 아니라, 인접한 시점 영상간의 공간적 중복성도 제거하는 시점 간 보상 기법(inter-view compensation or disparity compensation)을 이용하여 부호화 효율을 증대시킨다는 것이다^[1]. 하지만 다수의 카메라를 사용할 경우 위치에 따라 조명의 차이가 발생할 수 있으며, 또한 촬영 전에 각 카메라가 물리적으로 동일한 특성을 가지도록 보정(calibration) 과정을 거치게 되는데 이때 잘못된 보정 등으로 획득된 다시점 영상 간에는 휘도(luminance) 및 색차(chrominance) 신호의 차이가 발생하게 된다. 이러한 문제는 인접한 시점 영상 간의 상관성을 떨어뜨려 시점 간 예측(inter-view prediction or cross-view prediction) 시에 정확한 변위 벡터를 얻지 못하게 하는 원인이 되고, 잔여 신호의 값이 크게 되어 부호화 효율을 저하시키는 결과를 초래하게 된다^[2-4].

이러한 문제점을 해결하기 위한 방법으로 히스토그램에 기반한 전처리 기법이 제안되었다. 다시점 비디오를 부호화하기 전에 모든 다시점 비디오 영상의 누적 히스토그램을 정해진 참조 영상의 누적 히스토그램으로 매칭시켜 다른 시점 영상의 휘도와 색차 성분의 불일치를 미리 보상하여 부호화 성능을 향상시키는 방법이다. 히스토그램 매칭을 이용한 조명 보상 방법의 또 다른 장점은 명암과 휘도, 색차 신호 등 다시점 영상에 발생할 수 있는 모든 종류의 조명 불일치를 동시에 보상한

다는 것이다. Fecker는 이러한 히스토그램 매칭에 기반하여 다시점 비디오의 조명 불일치 현상을 효과적으로 보상하는 전처리 기법을 제안하였다^[5]. 기존의 히스토그램 매칭이 매 프레임에서 개별적으로 수행될 경우 다시점 비디오의 공간적 중복성은 향상시키는 반면, 시간적 중복성을 저하시키고 결과적으로 압축 효율도 저하시키는 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 한 프레임의 히스토그램을 참조하지 않고, 한 시점의 모든 프레임의 히스토그램을 참조하는 기법을 통해 시간적 중복성을 향상시켰다. 또한 YCbCr 색상 형식의 다시점 비디오를 RGB 색상 공간으로 변환한 후, 히스토그램 매칭을 수행하여 더욱 압축효율을 향상시켰다.

본 논문에서는 Fecker가 제안한 전처리 기법을 개선한 효율적인 조명 불일치 보상 기법 등을 포함한 새로운 전처리 기법을 제안하고 있으며 이 기법을 통해 다시점 비디오의 압축 효율이 향상됨을 입증되었다. 제안하는 기법에서는 YCbCr 색상 구조에서 RGB 색상 구조로 변환 시에 영상의 에지 방향성과 화소 값의 존재 범위를 고려한 새로운 색상 변환 기법을 사용한다. 또한 색상 구조 변환과 히스토그램 매칭 수행 이전에 YCbCr 영상의 색차 성분의 대표 값 추출 시에 사용되는 Cosited 필터를 영상의 각 성분에 적용하여 히스토그램 매칭의 조명 보상 효과를 더욱 증대시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 다시점 비디오의 조명 불일치 현상의 원인을 분석하고 이를 보상하는 기존의 히스토그램 매칭 기법을 서술하고, III장에서는 새로이 개선된 기법이 추가된 히스토그램 매칭 기법을 제안하며, IV장에서는 제안하는 방법의 실험 결과를 기존의 방법들의 결과와 비교, 분석하여 성능 향상을 확인하고 그 이유를 분석하며, V장에서는 결론을 기술한다.

II. 히스토그램 매칭 기법을 이용한 조명 보상 기법

1. 인접 시점 영상간의 조명 불일치

다시점 비디오의 시점 간 예측 부호화의 경우, 인접한 시점 영상 간의 동일한 객체의 공간적 중복성이 크기 때문에 매우 효과적으로 움직임을 예측하고 보상할 수 있다. 하지만 인접 영상 간의 휘도 및 색차 성분의 불일치 때문에 시점 간의 잘못된 예측이 발생하여 다시점 비디오의 부호화 효율을 떨어뜨리는 결과를 가져올 수 있다. 그림

1는 MVC의 실험 시퀀스 중 Uli 시퀀스와 Ballroom 시퀀스에서 인접한 시점 영상 내에 동일 객체에 발생하는 색상 불일치의 예를 보여준다.

그림 1과 같이 다시점 비디오는 서로 다른 위치의 카메라에서 획득된 영상 간의 조명 불일치 현상이 존재한다. 그림 1(a)의 Uli 시퀀스에서는 4번 시점 영상 내의 등장 인물의 피부색이 3번 카메라에서 획득한 영상에 비해 붉게 표현되어 있고, 그림 1(b)의 Ballroom 시퀀스에서는 6번 시점 영상에서 커튼과 계단의 색이 5번 시점 영상보다 어둡게 표현되어 있다. 이러한 다시점 비디오의 특징은 인접 시점 영상을 참조하는 시점 간 예측 시에 잘못된 예측의 원인이 되어 부호화 성능을 저하시키는 결과를 초래한다. 이와 같은 조명 불일치 현상은 단일 시점 비디오의 전후 프레임 간에도 존재한다. 하지만 일반적으로 단일 시점 영상에서의 조명 불일치는 서로 다른 카메라에서 획득된 다른 시점의 영상 간 존재하는 조명 불일치보다 그 정도가 약해서 부호화 효율 저하에 미치는 영향이 상대적으로 적다.

다시점 영상에서 조명 불일치의 원인은 크게 두 가지로 생각할 수 있다. 첫 번째는 다시점 비디오를 촬영하고 획득하는 카메라 간의 잘못된 보정 때문이다. 서로 다른 카메라는 내부 특성(intrinsic parameter)이 서로 달라 노출과 초점 등의 특성들이 일치하지 않을 수 있고, 카메라간 동일한 특성을 가지도록 조정하는 것이 카메라 보정 수행의 목적이다. 그러나 잘못된 카메라 보정으로 내부 특성이 서로 다른 다시점 카메라 시스템에서 획득된 다시점 영상은 전반적인 조명 불일치(global illumination mismatches)가 발생할 수 있다. 또 다른 원인은 서로 다른 카메라의 위치 때문이다. 만약 모든 시점의 카메라가 이상적으로 보정되어 다시점 카메라 시스템에 존재하는 모든 카메라의 내부 특성이



그림 1. 인접한 시점 영상 간 조명 불일치의 예
(a) 시퀀스 “Uli” (b) 시퀀스 “Ballroom”

Fig. 1. Example of illumination mismatch between neighboring views.
(a) Sequence “Uli” (b) Sequence “Ballroom”

같아도 카메라 간의 위치와 방향이 서로 다르므로 획득된 영상 간의 불가피한 색상 차이가 발생할 수 있다. 이러한 경우 국부적인 조명 불일치(local illumination mismatches)가 발생하는데, 이는 동일한 물체라도 카메라의 위치에 따라서 촬영 시, 조명 환경과 물체의 절대 위치가 다르기 때문이다^[5].

2. 인접 시점 영상간의 조명 불일치

다시점 비디오에 존재하는 조명 불일치를 보상하기 위한 전처리 방법으로 히스토그램 매칭 기법을 이용하는 방법이 있다. 일반적인 히스토그램 매칭 방법은 YCbCr 색상 공간에서 각 색상 성분에 개별적으로 적용된다. 본 절에서는 YCbCr 색상 공간에 세 가지 색상 성분 중, 휘도 성분에 대한 히스토그램 매칭 동작을 설명한다. 다른 색차 성분도 동일한 방법으로 히스토그램 매칭을 수행한다. 참조 영상의 휘도 신호 값을 $y_R[m, n]$ 이라 할 때, 휘도 영상의 히스토그램은 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다.

$$h_R[v] = \frac{1}{w \cdot h} \sum_{m=0}^{h-1} \sum_{n=0}^{w-1} \delta[v, y_R[m, n]] \quad (1)$$

$$\delta[a, b] = \begin{cases} 1, & \text{if } a = b \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

여기서 w 와 h 는 각각 영상의 가로, 세로 크기를 의미한다. 참조 영상의 누적 히스토그램 $c_R[v]$ 는 식 (2)를 이용하여 구한다.

$$c_R[v] = \sum_{i=0}^v h_R[i]. \quad (2)$$

참조 영상의 누적 히스토그램에 매칭시킬 다른 시점 영상들의 히스토그램 $h_{D_i}[v]$ 와 대응하는 누적 히스토그램 $c_{D_i}[v]$ 도 식 (1)과 (2)를 이용하여 같은 방법으로 구할 수 있다. 그림 2와 3은 참조 영상과 다른 시점 영상의 휘도 성분 히스토그램과 누적 히스토그램의 예를 보여준다.

왜곡된 i 번째 시점 영상의 누적 히스토그램 $c_{D_i}[v]$ 를 참조영상의 누적 히스토그램 $c_R[v]$ 으로 매칭할 때는 식 (3)의 함수 M 을 이용한다. 이때 다른 시점 영상의 누적 히스토그램이 참조 영상의 누적 히스토그램과 다르면 왜곡되었다는 표현을 쓴다.

$$M_i[v] = u \quad \text{if } c_R[u] \leq c_{D_i}[v] \leq c_R[u+1] \quad (3)$$

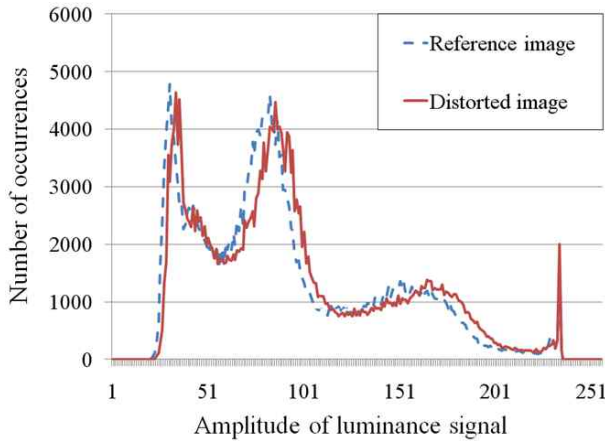


그림 2. 참조 영상과 왜곡된 영상의 휘도 성분 히스토그램 비교 (시퀀스 “Ballroom”)

Fig. 2. Comparison of histograms between luminance component of reference and distorted image (Sequence “Ballroom”).

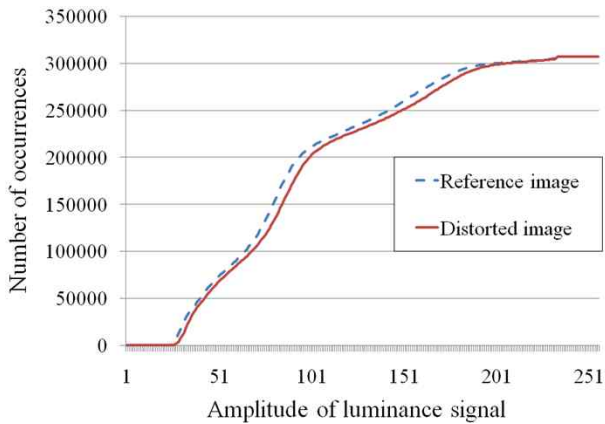


그림 3. 참조 영상과 왜곡된 영상의 휘도 성분 누적 히스토그램 비교 (시퀀스 “Ballroom”)

Fig. 3. Comparison of the cumulative histograms between luminance component of the reference image and the distorted image (Sequence “Ballroom”).

그림 4는 서로 다른 두 왜곡 영상의 누적 히스토그램 $c_{D1}[v]$ 과 $c_{D2}[v]$ 이 참조 누적 히스토그램 $c_R[v]$ 로 매핑되는 과정을 자세히 보여준다. $c_{D1}[v]$ 과 $c_{D2}[v]$ 각각의 화소값 v_1 와 v_2 에서의 누적 화소수가 참조 영상의 화소값 u 와 $u + 1$ 에서의 누적 화소수의 영역 사이에 존재하면 화소값 v_1 와 v_2 는 식 (3)의 함수 M 에 의해 u 의 값으로 변환된다. 결국 왜곡된 i 번째 시점 영상의 휘도 신호 $y_{Di}[m, n]$ 는 매칭 함수 M 을 거쳐 식 (4)와 같이 보정된 휘도 신호 $y_{Ci}[m, n]$ 으로 변경된다.

$$y_{Ci}[m, n] = M[y_{Di}[m, n]] \quad (4)$$

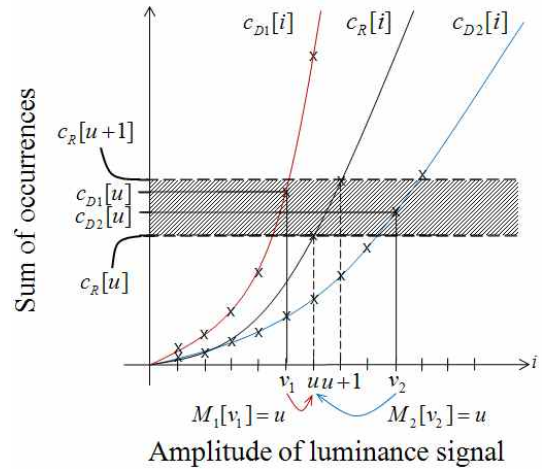


그림 4. 누적 히스토그램을 이용한 매핑 함수

Fig. 4. Details of the mapping function using the cumulative histogram.

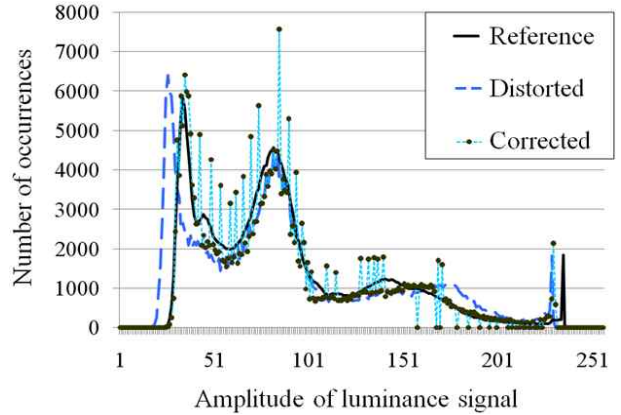


그림 5. 참조 영상과 왜곡 영상의 히스토그램과 매핑 함수를 통해 보정된 영상의 히스토그램의 비교 (시퀀스 “Ballroom”)

Fig. 5. Histogram of the corrected image compared with the reference image and distorted image (Sequence “Ballroom”).

히스토그램 매칭 기법을 이용하여 조명 불일치가 보정된 영상의 히스토그램이 이전의 왜곡된 영상의 히스토그램보다 참조 영상의 히스토그램에 가깝게 변한 것을 그림 5에서 확인할 수 있다. 보정된 영상의 히스토그램에서 그 값이 0일 때가 존재하는데 이는 해당 휘도 값을 지니는 화소가 존재하지 않는다는 것을 의미하는 것으로 보정된 영상의 압축 효율에는 영향을 미치지 않는다.

2. 기존의 히스토그램 매칭 기법

본래의 히스토그램 매칭 기법은 다시점 영상에서 각 프레임마다 참조 영상의 히스토그램을 기준으로 매칭

동작이 수행된다. 다시 말해서 주어진 다시점 영상이 총 M 개의 시점으로 이루어져 있고 각 시점의 시퀀스가 l 개의 프레임을 가진다면 총 영상의 개수는 $M \cdot l$ 이 되고, 히스토그램 매칭 기법을 이용하여 매칭하기 위해서 참조 시점을 제외한 각 시점당 l 개의 프레임을 참조 영상의 히스토그램과 매칭시퀀 $(M-1) \cdot l$ 개의 매칭 함수가 필요하다. 이 방법은 각 프레임별로 시점간의 존재하는 조명 불일치를 효과적으로 보상하지만, 반대로 시간적으로 연속된 영상 간의 조명 차이는 더 심해지는 단점이 존재한다. 즉, 다시점 비디오의 시점간 공간적 상관성은 증가하지만 시간적 상관성은 줄어들게 되고, 결과적으로 다시점 비디오 부호화의 효율은 떨어지게 된다.

이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 Fecker는 단일 시점 영상의 모든 프레임의 히스토그램을 고려하는 time-constant 히스토그램 매칭 기법을 제안하였다^[6]. 단일 시점의 참조 시퀀스에 존재하는 모든 프레임의 히스토그램은 식 (5)를 통해서 하나의 히스토그램으로 누적되어 계산된다.

$$h_R[v] = \frac{1}{l \cdot w \cdot h} \sum_{t=0}^{l-1} \sum_{m=0}^{h-1} \sum_{n=0}^{w-1} \delta[v, y_R[m, n]] \quad (5)$$

$$\delta[a, b] = \begin{cases} 1, & \text{if } a = b \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

여기서 l 은 시퀀스 내에 존재하는 프레임의 개수 즉, 시퀀스의 길이를 의미한다. 카메라 배열의 중심에 가까운 시점의 카메라에서 획득한 영상을 참조 시점 영상으로 설정하고, 나머지 왜곡된 시점 영상을 참조 시점 영상에 매칭시키는 과정으로 조명 보상을 수행한다. 즉 주어진 다시점 비디오의 카메라가 M 대라면 참조 시점을 제외한 $M-1$ 개의 매칭 함수가 존재하게 된다. 이후의 매칭 과정은 상기 언급한 기존의 히스토그램 매칭 기법과 같다.

JVT에서 규정한 MVC 실험 시퀀스는 YCbCr 4:2:0 색상 형식으로 제공된다. 따라서 히스토그램 매칭도 YCbCr 색상 구조에서 수행되는 것이 일반적인 방법이었다. 하지만 Fecker의 조명 보상 기법에서는 색상 구조 변환을 통하여 RGB 색상 구조에서 히스토그램 매칭을 수행하여 조명 보상효과가 개선되고 다시점 부호화 효율도 향상되는 것을 확인하였다^[5].

III. 제안하는 히스토그램 매칭 기법

본 논문에서는 RGB 색상 공간에서 time-constant 히스토그램 매칭 기법을 이용하여 색차차를 보상하는 기법을 개선하여 더욱 향상된 압축 효율을 가지는 다시점 비디오의 조명 보상 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 영상의 방향성을 고려한 ELA 선형 보간 기법과 Cosited 필터를 결합한 전처리 필터와 영상의 색상 성분별로 화소의 실제 존재 범위에 맞춰 새로운 변환 행렬식을 도출하는 색상 변환 기법을 적용하여 RGB 색상 공간에서의 히스토그램 매칭의 조명 보상 효과를 더욱 향상시킨다.

1. 영상의 방향성을 고려한 전처리 필터

ELA 선형 보간 기법(Edge-based Line Averaging linear interpolation)은 에지 방향성을 고려하여 영상을 선형적으로 보간한다. 영상의 해상도를 가로와 세로, 각각 2배로 늘리는 경우, 3x3 마스크 내에서 방향성을 고려한 화소간의 상관성을 비교하여 선택적으로 보간하게 된다. 그림 6은 화소 값 X 를 ELA 기법을 이용하여 선형 보간하기 위해 필요한 3x3 마스크에서의 동작을 보여준다.

3x3 마스크를 이용한 ELA 선형 보간 동작의 의사코드(pseudo code)는 다음과 같다^[7].

$$\begin{aligned} a &= |A - F|, \quad b = |B - E|, \quad c = |C - D| \\ \text{if } \min \{a, b, c\} &= a, \quad X = (A + F)/2 \\ \text{else if } \min \{a, b, c\} &= c, \quad X = (C + D)/2 \\ \text{else} & \quad X = (B + E)/2 \end{aligned} \quad (6)$$

그림 7은 YCbCr 4:4:4 색상 형식에서 YCbCr 4:2:0 색상 형식으로 변환 시에 색차 성분의 대표 값 추출에 사용되는 Interstitial filter와 Cosited filter의 동작 예를 보여준다. 2x2 마스크 내의 화소의 대표 값을 구하기 위해 4개의 화소의 평균값을 사용하는 Interstitial filter와 다르게, Cosited filter는 2x2 색차 성분 행렬의 첫

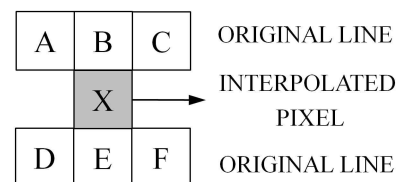


그림 6. ELA 선형 보간을 위한 3x3 마스크
Fig. 6. 3x3 window for the ELA algorithm.

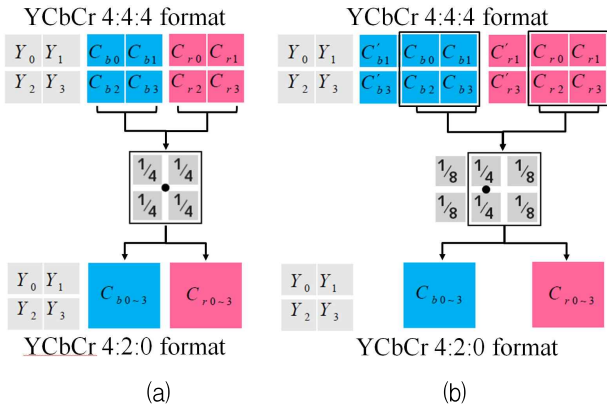


그림 7. 색차 성분의 대표 값을 구하는 필터
 (a) Interstitial filter (b) Cosited filter
 Fig. 7. Chrominance Subsampling filter.
 (a) Interstitial filter (b) Cosited filter

번째 열 성분에 큰 가중치를 부여한 2x3 마스크 연산을 수행하여 대표 색차 값을 결정한다. 영상의 방향성을 고려하여 선형적으로 보간할 때 사용되는 ELA 선형 보간 기법과 본래 비디오 압축 표준에서 색상 형식을 변경 시에, Cb나 Cr같은 색차 성분의 대표 값을 얻기 위하여 사용되는 Cosited filter를 결합하여 본 연구의 전처리 필터로 적용한다.

그림 8은 제안하는 전처리 필터의 동작을 보여준다. 먼저 영상의 각 색상 성분 별로 해상도를 가로 세로, 2배씩, 총 4배의 해상도를 가지도록 보간한다. 이때 영상에는 수직 성분의 에지 방향보다 수평 성분의 에지 방향이 많다는 결과에 근거하여 4배로 확장된 영상에 원 영상의 화소를 2배수 화소 단위로 배치하고 수평 방향으로 bilinear 필터를 통해 수평 성분을 보간한다. 그 후 ELA 선형 보간을 이용하여 수직 방향의 공백을 메워 영상을 4배로 보간한다. 그림 8은 A값을 갖는 화소가 4배로 보간되는 경우를 보였다. ELA 선형 보간을 통해 해상도가 4배로 확장된 각 색상 성분 영상을 2배수 화소 단위로 탐색하면서 Cosited filter를 적용하여 다시 원 영상의 해상도를 가지는 영상을 획득한다. 이러한

동작을 수행하는 전처리 필터를 YCbCr, RGB 색상 영역 각각에 수행하였을 경우, 수행하지 않았을 경우보다 RGB 색상 공간에서의 히스토그램 매칭 방법의 조명 보상 효과가 향상됨을 확인하였다.

2. 영상의 실제 화소 범위를 고려한 색상 변환 기법

YCbCr 4:2:0 색상 형식의 입력 시퀀스를 RGB 색상 공간 히스토그램 매칭을 수행하기 위해서는 YCbCr와 RGB, 두 색상 공간 간의 변환 및 역변환 과정이 반드시 필요하다. 제안하는 색상 변환 기법에서는 YCbCr 4:2:0에서 RGB로 색상 형식을 변환할 때, ELA 선형 보간 기법을 사용하여 색차 성분 Cb, Cr의 해상도를 4배로 늘리는 보간 작업을 수행한다. 반대로 RGB 색상 구조에서 히스토그램 매칭을 수행한 후, YCbCr 색상 형식으로 변환하는 경우는 Cosited filter를 통해 색차 성분의 대표 값을 추출한다. 일반적인 영상에서 화소가 8비트로 표현될 경우, 0부터 255까지의 256레벨의 값을 갖게 된다. 하지만 실제 주어진 YCbCr 영상에서 화소들의 값은 256레벨 범위 전역에 걸쳐 존재하지 않는다. 따라서 색상 보정의 성능을 향상하기 위해 본 논문에서는 새로운 색상 변환 기법을 제안한다. 식 (7)과 (8)은 YCbCr과 RGB, 두 색상 공간에서 화소의 실제 존재 범위가 0부터 255일 경우에 적용되는 변환식이다.

$$\begin{matrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{matrix} = \begin{matrix} 0 & 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 128 + & -0.169 & -0.331 & 0.500 \\ 128 & 0.500 & -0.419 & -0.081 \end{matrix} \cdot \begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} \quad (7)$$

$$\begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} = \begin{matrix} 1.000 & 0.000 & 1.400 \\ 1.000 & -0.343 & -0.711 \\ 1.000 & 1.765 & 0.000 \end{matrix} \cdot \begin{matrix} Y \\ Cb - 128 \\ Cr - 128 \end{matrix} \quad (8)$$

식 (9)과 식 (10)은 RGB 색상 구조의 각 색상 성분 화소의 범위가 0부터 255사이의 모든 값에 분포할 때, 휘도 값 Y는 220레벨로 표현하고, 색차 성분 Cb와 Cr은 225레벨로 표현하도록 하는 변환식의 예이다. 이와 같은 변환식은 YCbCr 색상 공간의 각 색상 성분의 화

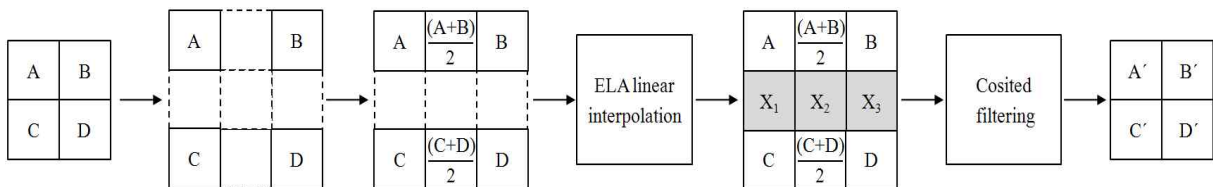


그림 8. 제안하는 전처리 필터
 Fig. 8. Proposed prefiltering filter.

소 존재 범위가 Y 성분은 16부터 235사이 총 220레벨로 표현되고, Cb와 Cr은 16부터 240사이 총 225가지의 색으로 표현되는 경우로 0부터 255까지 전 범위에 적용되는 색상 변환식 (7)과 (8)을 재조정하는 것이다^[8].

$$\begin{matrix} Y & 16 & & & \\ Cb = 128 + & -0.148 & -0.291 & 0.439 & \cdot \\ Cr & 128 & 0.439 & -0.368 & -0.071 \end{matrix} \cdot \begin{matrix} R \\ G \\ B \end{matrix} \quad (9)$$

$$\begin{matrix} R & 1.164 & 0.000 & 1.594 & \\ G = & 1.164 & -0.392 & -0.813 & \cdot \\ B & 1.164 & 2.017 & 0.000 & \end{matrix} \cdot \begin{matrix} Y-16 \\ Cb-128 \\ Cr-128 \end{matrix} \quad (10)$$

재조정된 식 (9)에서 휘도 성분 Y값에 더해진 상수 값 16은 Y 성분의 가장 어두운 화소를 표현하는 화소 값인 16을 뜻하고, 색차 성분 Cb와 Cr 값에 더해진 128은 -128부터 127사이에서 걸쳐 분포하는 색차 성분의 범위의 시작을 0으로 만들기 위한 상수이며, 화소의 존재 범위가 줄어들 경우에도 공백으로 존재하는 화소 값의 전후 분포가 동일하다는 가정 하에 휘도 성분과는 달리, 추가적인 상수의 덧셈이나 뺄셈은 존재하지 않는다. 변환 계수는 원 변환식의 총 레벨 범위와 이를 재조정하기 위해 각 색상 성분의 실제 화소 표현 레벨 범위간의 곱과 나눗셈으로 계산된다. 즉, 식 (9)의 3x3 행렬의 계수 값들은 레벨 범위를 재조정하기 위해 식 (7)의 3x3 행렬 값에서 휘도 값을 계산하는 1행 성분에는 219/255를, 색차 값을 계산하는 2, 3행 성분에는 224/255를 곱해서 구할 수 있다. 반대로 식 (10)의 3x3 행렬의 계수 값들은 식 (8)의 3x3 행렬 값에서의 레벨 범위를 재조정하기 위해 휘도 값과 곱해지는 1열 성분

표 1. 실제 화소 존재 범위
Table 1. Actual pixel range.

sequence	range	Y	Cb	Cr
Ballroom	min	17	71	77
	max	234	209	211
Exit	min	16	69	108
	max	234	155	212
Race1	min	2	21	18
	max	255	190	232
Rena	min	0	80	82
	max	181	157	191
Uli	min	16	58	67
	max	255	194	204
Breakdancers	min	0	68	97
	max	254	173	187
Ballet	min	16	81	106
	max	232	159	167

에는 255/219를, 색차 값과 곱해지는 2, 3열 성분에는 255/224를 곱해서 구할 수 있다.

그러나 본 논문에서 사용된 시퀀스는 색상 성분별 화소의 분포 범위는 각각 다르고, 중앙값을 기준으로 대칭적으로 분포하지도 않는다. 표 1은 실험에 사용된 시퀀스 별로 색상 성분별 화소의 존재 범위를 보여준다. 특히 색차 성분의 분포를 16에서 240까지로 가정한 일반적인 색상 변환의 가정은 실제 시퀀스의 색차 성분 분포와 큰 차이를 보인다. 제안하는 기법에서는 표 1에 나타난 각 색상 성분의 화소 분포에 맞게 재조정된 새로운 변환식을 시퀀스에 따라 개별적으로 계산하여 사용한다.

IV. 제안하는 기법의 성능 평가

제안하는 전처리 기법의 성능을 측정하기 위해 다시점 비디오 부호화의 참조 소프트웨어 JMVM 7.0.2를 사용하여 평균 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)과 비트율(bit-rate)에 대한 결과를 JMVM에 구현된 조명 보상 기법^[9]과 Fecker^[5]가 제안한 조명 보상 기법과 비교하여 실험을 수행하였다. 실험은 다시점 비디오 표준에서 객관적인 실험을 위해 정의한 공통 실험 조건 (common test condition)에 따라 수행하였으며, 다시점 비디오 표준에 정의되어 있는 8가지 실험 시퀀스 중, 8시점 이상의 6가지 시퀀스와 MSR에서 제공하는 Ballet 시퀀스를 사용하였다. Fecker의 기법과의 객관적인 성능 비교를 위해 실험에 사용된 시퀀스의 길이는 Fecker의 실험 조건과 같이 Breakdancers 시퀀스와 Ballet 시퀀스는 96 프레임, 다른 시퀀스는 180 프레임을 사용하였고, Rena 시퀀스는 연속된 8시점 영상을 선택하여 실험을 수행하였다^[5, 10].

표 2는 Fecker가 제안한 조명보상 전처리 기법과 본 논문에서 제안하는 두 가지의 새로운 전처리 기법을 각각 다시점 비디오 부호화에 적용하여 그 성능을 비교한 결과이다. Fecker의 논문에는 색상 변환 기법에 대해 논하지 않았기 때문에, 실험에서는 모든 시퀀스의 범위를 포괄할 수 있는 색상 구조 변환식 (7)과 (8)을 적용하였다. 새로이 제안하는 첫 번째 방법은 일반적인 색상구조 변환식 (9)와 (10)을 사용하고 새로이 제안한 전처리 기법을 적용한 경우이고, 두 번째 방법은 시퀀스 별로 새로이 제안한 색상 변환 식과 새로이 제안한 전처리 기법을 적용한 경우이다. 그림 8은 제안한 첫 번

표 2. 제안하는 기법을 포함한 조명 보상 기법들의 다시점 비디오 부호화와 조명 보상을 수행하지 않은 다시점 비디오 부호화와의 색상 성분별 평균 PSNR과 비트 절감율 비교

Table 2. Average performance of Fecker’s algorithm, proposed first algorithm and proposed second algorithm. The PSNR and bit saving rate differences are calculated compared to multiview video coding without illumination compensation.

method sequence	Fecker’s			제안하는 첫 번째 기법			제안하는 두 번째 기법					
	bit saving (%)	Y (dB)	Cb (dB)	Cr (dB)	bit saving (%)	Y (dB)	Cb (dB)	Cr (dB)	bit saving (%)	Y (dB)	Cb (dB)	Cr (dB)
Ballroom	6.25	-0.32	0.32	0.31	-18.90	1.29	1.22	1.27	-23.66	1.50	1.52	1.64
Exit	21.21	-0.58	0.14	0.56	-22.16	1.82	1.06	1.50	-32.41	2.16	1.24	2.82
Racel	17.35	-1.19	0.44	0.28	-25.84	0.88	1.65	1.68	-23.14	0.61	2.01	1.67
Rena	-6.95	-0.30	0.98	0.97	-19.66	0.29	2.11	2.74	-15.98	-0.07	2.60	2.86
Uli	4.39	-0.41	1.21	0.60	-55.68	1.74	2.88	2.03	-25.78	1.69	3.13	2.36
Breakdancers	-8.39	0.14	1.82	1.06	-39.59	3.39	3.78	2.15	-28.93	2.67	2.79	2.38
Ballet	-1.27	-0.15	1.11	0.93	-17.43	2.09	2.01	1.77	-14.15	1.93	2.01	2.08
Average	4.66	-0.40	0.86	0.67	-28.47	1.64	2.10	1.88	-23.44	1.50	2.19	2.26



그림 8. 제안한 첫 번째 방법으로 인접 시점 영상 간 색상 차이를 보상한 예 (a) 시퀀스 “Uli” (b) 시퀀스 “Ballroom”

Fig. 8. Example of images that are compensated illumination mismatch by proposed method. (a) Sequence “Uli” (b) Sequence “Ballroom”.

제 방법을 통해 다시점 비디오의 그림 1의 색상 불일치 현상을 보상한 결과를 보여준다. 그림 8이 그림 1에 비해 인접 시점 영상간의 색상 차이가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

표 2의 PSNR과 비트 절감율은 조명 보상을 수행하지 않은 다시점 비디오 부호화 결과와의 차이를 나타낸 것이다. 표 2에서 보면 새로이 제안하는 두 가지 방법이 기존의 Fecker의 방식보다 효과적으로 조명 불일치를 보상하는 것을 알 수 있다. 제안하는 두 가지 조명 보상 방법은 Y 성분은 약 1.5dB, Cr 성분은 약 2.1dB, Cb 성분은 약 1.9dB의 평균 PSNR 향상이 있었으며, 평균적으로 약 23.5%의 비트 절감 효과도 보였다. 즉, 본 논문에서 제안하는 새로운 전처리 기법을 다시점 부호화 과정에 적용하였을 때, PSNR과 비트율 모두 향상 되는 것을 확인할 수 있다.

Breakdancers, Uli 시퀀스는 전처리 필터와 일반적인 행렬식을 사용한 색상 변환을 적용한 첫 번째 방법 (Prefilter +General Color Conversion)에서 더 나은 성능 향상을 보여주었고, Ballroom, Exit, Racel, Rena 시퀀스는 . Breakdancers, Uli는 전처리 필터와 화소 범위에 맞게 재조정된 색상 변환 기법을 적용한 두 번째 방법(Prefilter +Actual Range Color Conversion)에서 가장 좋은 성능을 보였다. 또한 Breakdancers, Uli는 제안하는 기법에 대해 성능 향상이 다른 시퀀스보다 더 좋은 것을 알 수 있다. 왜냐하면 두 시퀀스는 시간에 흐름에 따른 전경과 배경의 위치와 구성이 고정되어 있어 시간에 따른 영상의 구성이 대체적으로 균일하기 때문이다. 이는 시퀀스의 모든 프레임이 비슷한 히스토그램 분포를 가지게 되는 원인이 되고, 히스토그램 매칭 후의 조명 보상 효과도 더욱 커지게 되는 결과를 보였다.

반면에 Ballroom, Exit, Racel 시퀀스는 시간에 따라 전경과 배경의 위치와 구성이 다르고, 그에 따른 히스토그램 분포의 차이도 커지게 되어 Breakdancers나 Uli 시퀀스에 비해 상대적으로 낮은 성능 향상을 보였다. 이는 모든 시간대의 참조 영상을 고려한 히스토그램 매칭 기법이 구성이 전혀 다른 영상끼리의 불필요한 상관성까지 고려하기 때문이다. 이후로 영상의 구성에 따라 선택적으로 히스토그램 매칭을 하는 연구가 수행될 필요가 있다. 그림 9는 Breakdancers, Uli, Ballroom, Exit 시퀀스의 실험 결과를 윌-왜곡 곡선(RD curve)을 보여 준다.

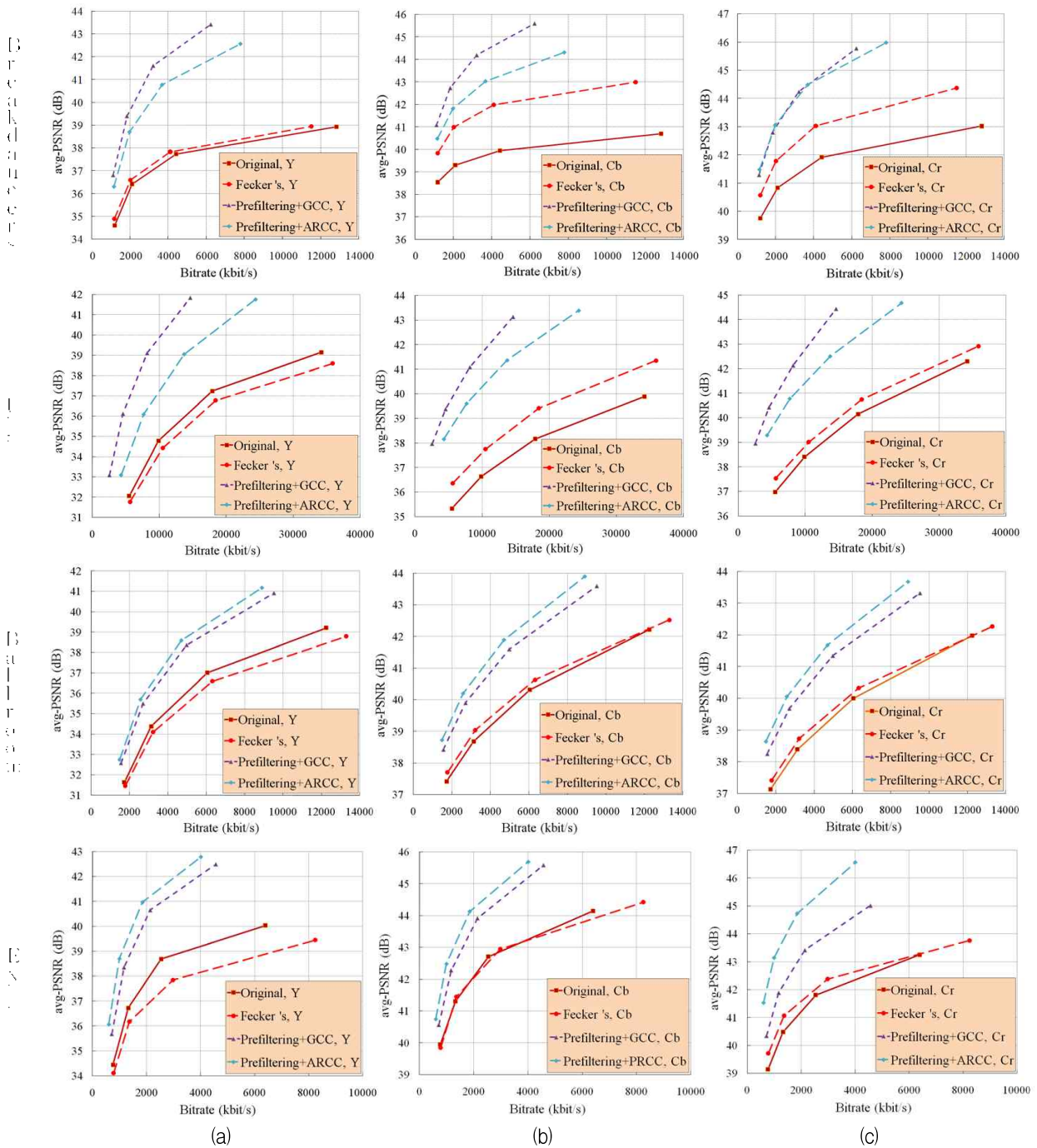


그림 9. 울-왜곡 그래프 비교 (a) Y 성분 (b) Cb 성분 (c) Cr 성분

Fig. 9. Rate-Distortion comparison of different coding schemes (a) Y component (b) Cb component (c) Cr component.

V. 결 론

본 논문에서는 다시점 비디오 부호화 시에 각 시점 영상 간의 조명 차이로 인한 압축 효율 저하의 문제를 해결하기 위하여 히스토그램 매칭 기법을 이용한 효과적인 조명 불일치 보상 기법을 제안하였다. 다시점 비

디오는 영상별로 촬영 위치의 차이 등으로 인한 인접 시점 영상 간 조명 불일치 현상이 발생하게 되고, 이는 다시점 비디오 부호화 성능 저하의 원인이 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 RGB 색상 구조에서 수행되는 히스토그램 매칭의 조명 보상 효과를 향상시키기 위해서 방향성을 고려한 전처리 필터링

기법과 영상의 화소 존재 범위를 고려하여 재조정된 계수를 사용하는 새로운 색상 변환 기법을 제안하였다. 제안하는 기법을 다시점 비디오 부호화에 적용하여 부호화의 성능이 크게 향상됨을 확인할 수 있었다. 실험 결과가 보여주듯이, 시간에 따른 영상의 구성 차이에 따라 참조의 기준을 가변적으로 변경한다면 더욱 뛰어난 조명 보상 효과를 보여줄 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] ITU-T RECOMMENDATION H.264 "Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services". May 2003.
- [2] C. Doutre, P. Nasiopoulos, "A Colour Correction Preprocessing Method for Multiview Video Coding," Department of Electronic and Computer Engineering, University of British Columbia.
- [3] 이동석, 유지환, 유지상, "히스토그램 매칭을 이용한 다시점 비디오의 휘도와 색차 성분 보상 기법", 한국방송공학회 학술대회, Nov. 2009, pp. 191-194.
- [4] 이동석, 서영호, 김동욱, 유지상, "다시점 비디오의 조명 보상을 위한 에지 방향성을 고려한 새로운 전처리 기법", 한국방송공학회 학술대회, Jul. 2010.
- [5] U. Fecker, M. Barkowsky, and A. Kaup, "Histogram-Based Prefiltering for Luminance and Chrominance Compensation of Multiview Video," IEEE Trans. ,vol. 18, no 9, Sep. 2008.
- [6] U. Fecker, M. Barkowsky, and A. Kaup, "Time-constant histogram matching for colour compensation of multi-view video sequences," in Proc. 26th Picture Coding Symp. (PCS 2007), Lisbon, Portugal, Nov.2007.
- [7] P. Brox, I. Baturone, and S. Sanchez-Solano, "Interlaced to progressive scan conversion using a fuzzy edge-based line average algorithm," in Proc. IEEE Int. Workshop Intell. Signal Process., Faro, Portugal, Sep. 2005, pp. 10-15.
- [8] Keith Jack, "Video Demystified 3rd edition", Harris, 2001.
- [9] Y.-L. Lee, J.-H. Hur, Y.-K. Lee, K.-H. Han, S. Cho, N. Hur, J. Kim, J.-H. Kim, P.-L. Lai, A. Ortega, Y. Su, P. Yin, and C. Gomila, "CE11: illumination compensation," in Joint Video Team (JVT) of ISO/IEC MPEG & ITU-T VCEG, Document JVT-U052r2, Hangzhou, China, Oct. 2006.
- [10] Y. Su, A. Vetro, and A. Smolic, "Common test conditions for multiview video coding," (2006) Doc. JVT-U211, [Online]. Available: <http://ftp3.itu.ch/av-arch/jvt-site/>

저 자 소 개



이 동 석(학생회원)
2009년 광운대학교 전자공학과
학사 졸업
2009년~현재 광운대학교
전자공학과 석사 과정
<주관심분야 : 통신, 컴퓨터, 신호
처리, 반도체>



유 지 상(평생회원)
1985년 서울대학교 전자공학과
학사 졸업
1987년 서울대학교 전자공학과
석사 졸업
1993년 Purdue대학교 전기공학과
박사 졸업
1993년~1994년 현대전자산업(주) 선임연구원
1994년~1997년 한림대학교 전자공학과 조교수
1997년~현재 광운대학교 전자공학과 교수
<주관심분야 : 3D 입체영상처리/압축, 웨이블릿
기반 영상처리, 비선형 디지털신호처리>