

# 히스토그램 매칭을 이용한 다시점 비디오의 휘도와 색차 성분 보상 기법

\*이동석 \*유지환 \*유지상

광운대학교 전자공학과

\*dlehdtr86@kw.ac.kr

## Luminance and Chrominance Compensation of Multiview Video using Histogram Matching

\*Lee, Dong-Seok \*\*Yoo, Jihwan \*\*\*Yoo, Ji-Sang

Dept. Electronic Engineering Kwangwoon University

### 요약

본 논문에서는 효율적인 다시점 비디오 부호화를 위해 히스토그램(histogram)을 이용한 다시점 비디오의 휘도(luminance)와 색차(chrominance)성분 보상 기법을 제안한다. 다시점 비디오는 카메라의 기하학적인 위치 차이와 여러 대의 카메라가 동일한 특성을 가지도록 완벽히 조정되지 못함으로 인해 동일한 시간대에 촬영된 인접한 시점 영상 간에 휘도와 색상의 차이가 발생할 수 있다. 이러한 특성은 인접한 카메라로부터 획득된 영상을 참조하여 시점간 움직임 예측 시에 오정합의 원인이 되어 부호화 효율을 떨어뜨리게 된다. 본 논문에서는 효율적인 다시점 비디오 부호화를 위해 시점간의 히스토그램을 비교하여 정합하는 휘도 및 색차 보상 기법을 수행한다. 일정한 시간 대역(time interval)에서 다시점 비디오의 평균 누적 히스토그램을 이용하여 참조 영상을 생성하고 각 시점별로 정합 함수를 통해 다시점 영상 간의 휘도와 색상의 불일치성을 보상한다. 제안하는 조명 보상 기법을 통하여 다시점 비디오 부호화 효율을 높일 수 있었다.

### 1. 서론

다시점 비디오는 2대 이상의 카메라를 일렬 또는 행렬로 배치하고 하나의 장면을 촬영하여 획득된 영상을 말한다. 다시점 카메라에서 획득된 영상을 3차원적으로 디스플레이하는 기술이 활발히 연구되고 있는데 대표적으로 렌티큘러 디스플레이(lenticular display)를 이용한 3차원 TV와 사용자가 원하는 시점에서 시점이 가능하도록 하는 자유 시점 비디오(free-viewpoint video) 등이 있다.

다시점 비디오 부호화 기술이 일반적인 단일시점 비디오와 다른 가장 큰 특징은 서로 다른 카메라로부터 획득한 영상 간에 공간적 중복성이 존재한다는 것이다. 기존의 단일시점 비디오 부호화는 주로 영상의 시간적 중복성을 제거하는 반면에 다시점 부호화는 인접한 위치의 카메라에서 획득한 영상간의 중복성을 함께 제거함으로써 높은 압축 효율을 얻을 수 있다. 이와 같은 부호화 방식을 변이 보상 부호화(disparity compensated coding)라고 한다[1]. 일반적인 형태의 변이 보상(disparity compensation)은 기본적인 움직임 보상(motion compensation) 기술을 시간축 방향이 아닌 동일 시간에서 시점방향으로 적용되는 기술이다.

하지만 서로 다른 위치의 카메라에서 획득된 다시점 비디오 영상을 완벽하게 보정(calibration)하기는 매우 어렵기 때문에 영상 간에 명암(brightness), 색상(color), 초점(focus) 등의 차이는 항상 존재한다. 이러한 특징으로 인해 인접 시점 영상을 참조하여 움직임 예측 부호화를 수행할 때 인접한 카메라의 영상간의 상관성이 줄어들어 오정합을 일으켜 압축 효율을 떨어뜨리는 원인이 된다. 이러한 문제점을 해결한 효율적인 다시점 비디오 부호화를 위해 서로 다른 카메라에서 획득된

영상간의 명도나 색상이 일관성을 갖도록 보정하는 기술은 매우 중요하다.

본 논문에서는 Hekstra가 제안한 히스토그램 매칭을 이용하여 각각 다시점 비디오의 휘도와 색차성분의 편차를 보상하는 기법을 제안한다[2]. 동일한 시간대에서 주어진 다시점 비디오의 누적 히스토그램(cumulative histogram)의 평균을 구하여 새로운 참조 영상을 생성하고 각각 서로 다른 시점의 영상에 누적 히스토그램과 정합하는 방식을 통해 기하학적 위치 차이나 잘못된 카메라 조정 등으로 발생한 휘도 및 색차의 편차를 보상한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 알고리즘과 다시점 비디오에 적용되는 방법에 대하여 설명한다. 3장에서는 제안한 알고리즘을 적용한 다시점 비디오 부호화의 성능 비교 실험 수행의 결과를 서술하고 4장에서 결론을 도출한다.

### 2. 다시점 비디오 영상의 히스토그램 매칭기법

#### 가. 히스토그램 매칭 알고리즘

기본적인 히스토그램 매칭은 왜곡된 영상(distorted image)의 히스토그램을 참조 영상(reference image)의 히스토그램에 정합시키는 목적으로 사용된다. 본 논문에서 히스토그램의 정합 연산은 휘도 성분  $Y$  뿐만 아니라 두 색차 성분  $Cb$ 과  $Cr$ 을 포함하는  $YCbCr$  색차 공간에서 수행된다. 본 논문에서는 히스토그램 매칭 알고리즘이 휘도와 색차 성분에 동일한 방식으로 적용된다. 따라서 휘도 성분의 히스토그램 매칭 알고리즘을 예로 들어 후술한다. 참조 영상의 화소의 휘도 값을  $y_R[m,n]$ 이라고 할 때, 일반적인 히스토그램은 다음 식 (1)과 같이

구할 수 있다.

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

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

여기서  $w$ 는 입력 영상의 넓이,  $h$ 는 입력 영상의 높이를 나타낸다.

참조 영상의 히스토그램을 이용하여 누적 히스토그램  $c_R[v]$ 은 아래의 식 (2)를 이용하여 구한다.

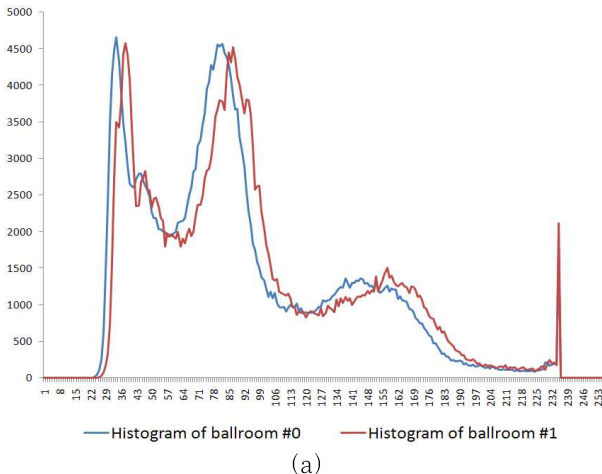
$$c_R[v] = \sum_{i=0}^v h_R[i]. \quad (2)$$

왜곡된 영상의 히스토그램  $h_D[v]$ 와 누적 히스토그램  $c_D[v]$ 도 참조 영상과 같은 방식으로 계산한다. 그림 1은 동일 시간대에서 인접한 서로 다른 카메라에서 획득한 두 영상의 히스토그램과 누적히스토그램을 각각 비교하여 보여준다. 그림 1(a)와 같이 카메라의 기하학적 위치 차이와 그로 인한 광원과의 위치 차이 등으로 인해 인접한 카메라의 영상에서 동일한 객체의 휘도 값이 다르게 된다. 이와 같은 현상은 휘도 성분뿐만 아니라 색차 성분에서도 마찬가지로 발생하며 시점간 움직임 예측을 수행할 때 잘못된 정합의 원인이 되어 부호화 효율을 떨어뜨리게 된다.

이와 같은 휘도 값의 불일치를 보정하기 위해 누적 히스토그램  $c_R[v]$ 과  $c_D[v]$ 를 이용한 누적 히스토그램 정합 함수  $M$ 를 사용한다. 정합 함수  $M$ 은 임의의 화소 값에 대한 왜곡 영상과 참조 영상의 발생 빈도수를 맞춰주는 방식으로 식 (3)과 같이 계산된다.

$$M[v] = u \quad \text{with } c_R[u] \leq c_D[u] < c_R[u+1]. \quad (3)$$

그림 2는 정합 함수  $M$ 의 동작을 자세하게 보여준다. 연속된 휘도 값  $u$ 와  $u+1$ 에서 참조 영상의 누적 히스토그램  $c_R[u]$ 과  $c_R[u+1]$ 이 주어질 때 그림 2의 빗금친 부분과 같이 누적 히스토그램 사이에 임의의 영역이 존재하게 된다. 만약  $c_{D1}[u]$ 와  $c_{D2}[u]$  같이 왜곡 영상의 누적 히스토그램이 이 영역 내에 존재하게 된다면 그때의 누적 히스토그램의 휘도 값  $v_1$ 과  $v_2$ 는 해당 영역에서의 참조 영상의 휘도 값



$u$ 로 변환한다.

정합 함수는 왜곡 영상이 참조 영상보다 전체적으로 어두워서 왜곡 영상의 누적 히스토그램  $c_{D1}[u]$ 이 참조 영상의 누적 히스토그램  $c_R[u]$ 보다 전체적으로 큰 값을 가질 때나 반대로 전체적으로 왜곡 영상이 참조 영상보다 밝아 누적 히스토그램  $c_{D2}[u]$ 이  $c_R[u]$ 보다 작은 값을 가질 때나 동일하게 적용된다.

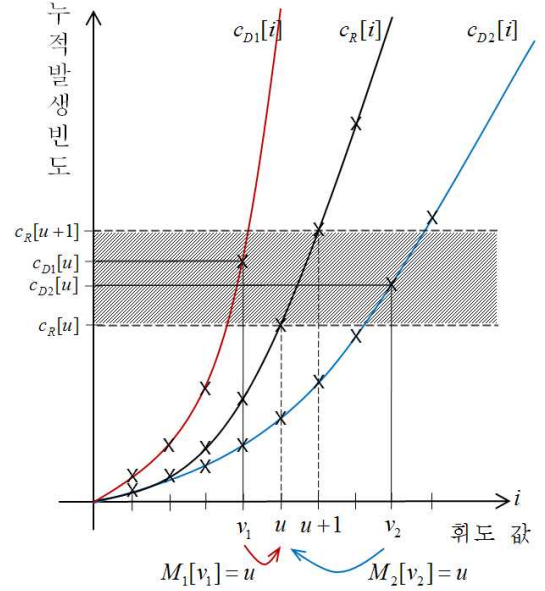


그림 2 . 누적 히스토그램의 정합 함수 동작의 예

$$y_C[m, n] = M[y_D[m, n]]. \quad (4)$$

히스토그램 정합 함수가 왜곡 영상  $y_D[m, n]$ 에 적용되면 조정된 영상  $y_C[m, n]$ 이 얻게 된다.

#### 나. 다시점 비디오를 위한 참조 영상 획득 기법

휘도와 색차 성분이 왜곡된 다시점 영상을 보정하기 위해서는 먼저 기준이 되는 참조 영상을 결정해야 한다. 기존의 연구에서는 카메라 배열에서 중심이 되는 카메라 영상을 참조 영상으로 정하고 그 히스토그램에 다른 카메라의 영상들의 히스토그램을 정합하여 보정하는 방

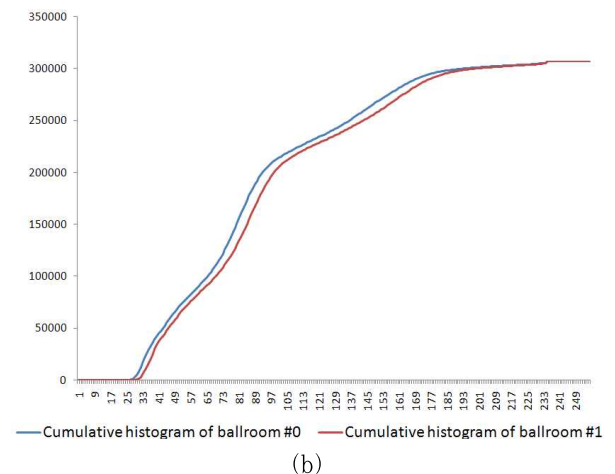


그림 1 . 왜곡 영상과 참조 영상간의 히스토그램 비교 (sequence "Ballroom"), (a) 히스토그램, (b) 누적 히스토그램

법을 사용하였다[3].

하지만 카메라 배치에서 중심에 위치한 카메라의 영상이 다른 모든 다시점 비디오의 명암과 색차 성분의 왜곡을 보상하는 기준 참조 영상이라 하기에는 무리가 있다.

따라서 본 논문에서 제안하는 참조 영상 획득 기법은 식 (5)와 같이 다시점 비디오의 누적 히스토그램의 평균을 취하여 새로운 참조 영상을 생성한다.

$$c_R[v] = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} c_i[v]}{N} \quad (5)$$

여기서  $N$ 은 다시점 비디오의 총 카메라 개수이다.

모든 다시점 비디오 영상의 평균 누적 히스토그램을 계산하여 획득한 참조 영상은 상대적으로 카메라 배치에서 중앙에 위치하는 영상보다 각 시점 영상과의 오차를 줄일 수 있다. 표 1은 8 시점 다시점 비디오 "Ballroom" 시퀀스를 이용하여 제안하는 방법으로 획득한 참조 영상과 카메라 배치에서 중앙에 해당하는 3번, 4번 카메라 영상이 각각의 시점의 영상과 가지는 절대 오차를 보여준다.

표 1 . 참조 영상과 왜곡 영상과의 절대 오차 비교

참조영상 기준영상	3번 카메라 영상	4번 카메라 영상	제안하는 참조 영상
0번 카메라 영상	64652	74854	<b>60846</b>
1번 카메라 영상	44812	45746	<b>35826</b>
2번 카메라 영상	29334	28956	<b>22682</b>
3번 카메라 영상	0	<b>20430</b>	21482
4번 카메라 영상	20430	0	<b>18268</b>
5번 카메라 영상	36238	<b>28158</b>	31300
6번 카메라 영상	39574	31558	<b>27776</b>
7번 카메라 영상	39420	<b>30280</b>	36652
평균 절대 오차	<b>39209</b>	<b>37140</b>	<b>31854</b>

sequence "Ballroom" 1번 프레임

표 1을 통해 대부분의 다시점 영상은 제안하는 참조 영상과의 절대 오차가 가장 적은 것을 확인할 수 있다. 또한 평균 절대 오차도 3번이나 4번 카메라 영상보다 더 적은 것을 확인할 수 있다. 왜곡 영상과 정합되는 참조 영상간의 오차가 적을수록 정합 후에 히스토그램이 더 유사하므로 제안하는 참조 영상이 중앙에 위치하는 영상보다 참조 영상으로써 더 적합함을 알 수 있다.

### 다. 다시점 비디오를 위한 시 불변 히스토그램 매칭 기법

기존의 히스토그램 매칭 알고리즘은 프레임 단위로 전체 시퀀스에 적용된다. 매시간대마다 참조 영상과 그에 따른 정합 함수가 생성된다. 이러한 알고리즘은 고정된 시간대에서 서로 다른 시점 영상의 명암과 색차 성분을 보정하는데 적합하지만 시간적 중복성을 고려하지 않아 연속된 프레임간의 오차를 발생시켜 다시점 비디오 부호화의 압축 효율을 감소시키게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 일정한 시간대의 누적 히스토그램을 구하여 참조 영상을 생성하는 변경된 히스토그램 매칭 알고리즘을 사용하는 방법을 제안한다[4]. 변경된 히스토그램은 아래의 식 (6)과 같이 계산한다.

$$h_R[v] = \frac{1}{l \cdot w \cdot h} \sum_{t=0}^{l-1} \sum_{m=0}^{h-1} \sum_{n=0}^{w-1} \delta_R[v, y_R[m, n, t]] \quad (6)$$

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

여기서  $y_R[m, n, t]$ 은  $t$  시간의 참조 영상에서 높이  $m$ , 넓이  $n$ 의 위치에 휘도 값을 뜻한다.  $l$ 은 히스토그램을 누적하는 시퀀스의 간격이다.

식 (6)에서 획득한 히스토그램을 식 (2)를 이용하여 누적 히스토그램을 구하고 식 (5)를 통해 참조 영상의 누적 히스토그램을 계산한다. 계산된 참조 영상의 누적 히스토그램을 기준으로 식 (3)의 정합 함수를 대입하면 영상의 휘도 값이 보상된다. 시간 간격을 두고 히스토그램을 더하는 위와 같은 방법을 통해 연속된 프레임간의 오차를 줄일 수 있다.

제안한 히스토그램 매칭 알고리즘은 다시점 비디오의 모든 시점의 영상에 개별적으로 적용된다.  $N$ 개의 시점을 가지는 다시점 비디오는 하나의 참조 영상을 생성하고 각 시점의 영상을 보상하는  $N$ 개의 정합 함수가 도출된다.

### 3. 실험 결과

그림 3은 제안하는 참조 영상 획득 기법을 사용한 히스토그램 매칭의 결과를 참조 영상과 왜곡 영상, 그리고 보정된 영상의 히스토그램을 비교하여 보여준다.

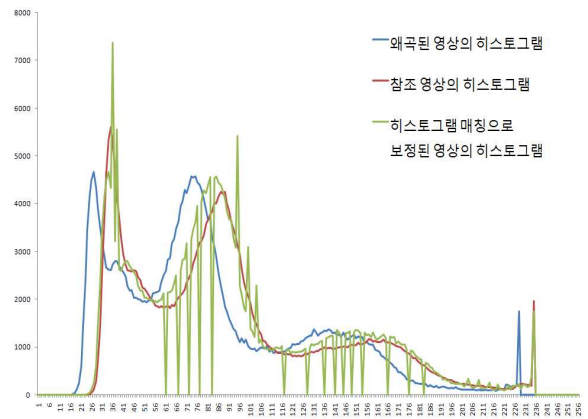


그림 3 . 다시점 비디오 영상에서의 히스토그램 매칭의 예 (sequence "Ballroom")

보정된 영상의 히스토그램이 왜곡된 영상의 히스토그램보다 참조 영상의 히스토그램 쪽에 더 가까운 것을 확인할 수 있다. 카메라의 기하학적 위치 차이와 그에 인한 카메라 간 광원의 위치 차이 등으로 발생한 다시점 비디오의 휘도 및 색차 성분의 불일치가 제안된 히스토그램 매칭 알고리즘을 통해 개선됨을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 실험 영상으로 MERL에서 제공하는 8 시점의 "Ballroom" 영상을 사용하였다. 영상은 각 시점 당 250 프레임으로 구성되어 있으며, 본 실험을 위해서 각 시점 당 24 프레임의 영상을 사용하였다. 실험 영상의 해상도는 VGA(640×480)이며 초당 25 프레임으로 구성되어 있다. 시간적으로 다른 위치에 존재하는 픽처뿐만 아니라 인접한 다른 시점의 존재하는 픽처를 함께 참조하여 B 픽처를 예측하

는 홀 수 번째 시점에서의 성능을 비교하였다[5].

표 2에서 제안하는 히스토그램 매칭 방법을 이용하여 다시점 비디오의 휘도와 색상 보상을 거친 다시점 비디오 부호화 효율이 시간 대역을 포함하지 않는 히스토그램 매칭 방법을 이용한 다시점 비디오 부호화나 일반적인 다시점 부호화보다 향상됨을 확인 할 수 있다.

표 2 . 평균 PSNR

	Y(dB)	Cb(dB)	Cr(dB)
JMVM	31.53	37.07	36.95
HMM	<b>31.67(+0.14)</b>	<b>37.38(+0.30)</b>	<b>36.96(+0.01)</b>
Proposed	<b>31.67(+0.14)</b>	<b>37.49(+0.41)</b>	<b>36.92(-0.03)</b>

표 2를 통해 시간적 중복도를 고려하는 히스토그램 매칭 방법(HMM)을 적용한 다시점 부호화가 일반적인 히스토그램 매칭을 적용한 다시점 부호화 보다 색차 성분에서 다소 부호화 성능을 향상시킨 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 효율적인 다시점 비디오 부호화를 위한 히스토그램 매칭을 이용한 휘도와 색차 성분 보상 기법을 제안하였다. 다시점 비디오는 카메라의 서로 다른 기하학적 위치 차이와 그에 기인한 광원의 위치 차이 등에 의해 영상 내에 동일한 물체에 대한 화소 값이 일치하지 않는 문제점이 존재한다. 이러한 문제점을 보상하기 위해 영상이 가지는 화소 값의 분포 특성을 잘 보여주는 히스토그램을 정합함으로써 다시점 부호화의 성능을 향상시킬 수 있다. 정해진 시간 대역에서 다시점 영상의 평균 히스토그램을 계산하여 참조 영상을 생성하고 각각의 시점과 누적 히스토그램을 비교하고 정합하여 인접한 영상 간의 휘도와 색상 차이를 효과적으로 보상하였다.

다시점 영상에서는 동일한 시간에서도 시점에 차이에 따라 영상의 구성도 차이를 보인다. 이와 같은 영상은 한 영상에 맞추어 히스토그램을 정합하면 오히려 잘못된 정합 값을 가지게 된다. 이를 보정하는 적응적인 색상 보정 방법이 적용된다면 부호화 효율을 더욱 향상시킬 수 있을 것이다.

#### 5. 참고문헌

[1] C. Doutre, P. Nasiopoulos, "A Colour Correction Preprocessing Method for Multiview Video Coding," Department of Electronic and Computer Engineering, University of British Columbia.

[2] U. Fecker, M. Barkowsky, and A. Kaup, "Improving the prediction efficiency for multi-view video coding using histogram matching," in Proc. Picture Coding Symp. (PCS 2006), Beijing, China, Apr. 2006.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 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. 20 - 27, 2006.

#### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2009-(C1090-0902-0017)).