

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제22권 제6호, 2017년 11월 (JBE Vol. 22, No. 6, November 2017)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2017.22.6.808>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

특징점과 히스토그램을 이용한 360 VR 영상용 밝기 보상 기법

이 건 원^{a)}, 한 종 기^{a),†}

Luminance Compensation using Feature Points and Histogram for VR Video Sequence

Geon-Won Lee^{a)} and Jong-Ki Han^{a),†}

요 약

본 논문에서는 360 VR 멀티미디어 시스템에서 복수개의 카메라들이 촬영한 영상 신호들 간의 밝기 차이가 발생하여 360 VR 영상 품질을 저하시키는 것을 막기 위해, 360 VR 시스템에 적합한 밝기 보상 기법을 제안한다. 복수개의 카메라가 촬영한 영상들 간의 특징점들을 분석하고, 이 특징점들을 대상으로 누적 히스토그램을 계산한다. 그리고 이 누적 히스토그램을 기반으로 우선적으로 밝기 보상이 필요한 영상들을 선별한다. 선별된 영상들에 대해서 내부 특징점들의 누적 히스토그램과 외부 특징점들의 히스토그램들을 일치시키기 위한 루프테이블을 제작하여, 선별된 영상 내부의 모든 화소들의 밝기값을 보상한다. 본 논문의 실험결과에서는 제안하는 알고리즘의 우수성을 히스토그램 보상 측면, 밝기보상 영상의 시작적인 평가, ERP 영상의 화질 평가, Viewport 영상의 화질 평가 등의 측면에서 보였으며, 다양한 기준들에서 제안한 방법이 기존 기술들보다 우수함을 보였다.

Abstract

360 VR video systems has become important to provide immersive effect for viewers. The system consists of stitching, projection, compression, inverse projection, viewport extraction. In this paper, an efficient luminance compensation technique for 360 VR video sequences, where feature extraction and histogram equalization algorithms are utilized. The proposed luminance compensation algorithm enhance the performance of stitching in 360 VR system. The simulation results showed that the proposed technique is useful to increase the quality of the displayed image.

Keyword : Virtual Reality Video, Stabilization, Image Stitching

a) 세종대학교 정보통신공학과(Sejong University, Dept. of Electrical Engineering)

† Corresponding Author : 한종기 (Jong-Ki Han)

E-mail: hjk@sejong.edu

Tel: +82-3408-3739

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5036-7199>

※ 이 논문은 미래창조과학부의 지원으로 한국연구재단의 지원(No. 2015R1A2A2A01006193)과 정보통신산업진흥원의 지원(No. 2017-0-00486)을 받아 수행된 연구임.

· Manuscript received October 12, 2017; Revised October 26, 2017; Accepted October 26, 2017.

Copyright © 2017 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

"This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered."

I. 서 론

최근 들어 Virtual Reality(VR) 관련 기술이 게임, 방송, 오락, 군사, 의료, 관광 등에 다양하게 적용되고 있다. VR 기술을 활용한 시스템은 사용자들에게 주변의 상하좌우 360도 범위의 신호를 시각적 및 음향적으로 제공하여, 기존의 멀티미디어 시스템의 성능을 뛰어 넘는 몰입감을 제공한다. 이러한 기술은 사용자가 사무실이나 가정 거실에 있으면서도, 멀리 있는 관광지를 입체적으로 경험하거나, 위험한 환경의 훈련을 실제감 있게 체험할 수 있도록 멀티미디어 신호를 제공한다^[1].

VR 시스템은 입체 영상 및 음향 촬영, 스티칭(stitching), Projection, Formating, 압축 및 전송, Viewport Generation 등 기본적이고 핵심적인 세부기술로 구성되어 있다. 그렇지만 이러한 기술들만으로는 VR 시스템 구성의 완성도를 갖추는데 한계가 있으며, ‘카메라 흔들림 보상’, ‘카메라들 간의 밝기 보상’, ‘VR 영상의 해상도 변화’ 등의 추가적인 기술들이 보완적으로 사용되어야 한다. 특히, VR 서비스 컨텐츠들이 스튜디오 촬영에서 벗어나 야외 VR 컨텐츠 제작의 필요성이 증가하는 시점에서 이러한 추가 기술들의 중요성이 더욱 강조되고 있다.

본 논문에서는 VR 시스템의 복수개의 카메라들이 촬영한 영상들의 밝기를 보상하여 시각적으로 화질 개선된 VR 컨텐츠를 제작하는 기술을 제안한다. 이 기술은 단지 시각적인 화질 개선뿐만 아니라, stitching의 완성도를 높이고, 압축 효율을 증가시키며, viewport 추출 과정에서 왜곡을 감소시킨다. 기존에도 다양한 연구자들에 의해서 밝기 보상 기법들이 연구되어 왔으나, 이 기존 연구들은 2D 비디오 신호 또는 정지 영상들에 적용된 기술들^{[2][3]}로써, VR 비디오 신호에 그대로 적용할 수 없는 기술들이 대부분이다.

본 논문의 II 장에서는 VR 시스템을 간단히 설명하고, 본 논문에서 해결하려는 밝기 보상 문제를 제시한다. III 장에서는 제안하는 VR 영상용 밝기 보상 기법에 대해 설명하고, IV 장에서 제안 기술의 성능을 평가한다. 마지막으로 V 장에서 간략한 결론을 맺는다.

II. VR 시스템에서 밝기 보상 문제

그림 1은 VR 기술을 활용한 멀티미디어 시스템의 한 예를 표현하고 있다. 맨 처음 복수개의 카메라로 촬영된 비디오 신호들을 stitching 과정을 통해 Equi-rectangular projection(ERP), Cubemap projection(CMP), Octahedron projection(OHP) 등 다양한 포맷의 2차원 영상 신호를 만든다. 이렇게 만들어진 신호를 비디오 코덱을 사용하여 압축된 비트열로 변환한다. 수신단에서는 수신된 비트열을 복호화한 후 수신단에서 사용하려는 projection format으로 변환한 다음 viewport를 추출한다.

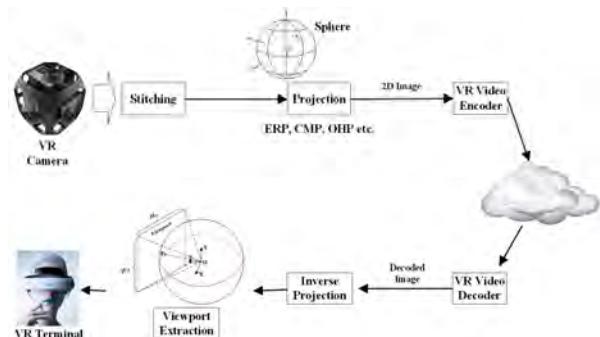


그림 1. VR 지원 시스템
 Fig. 1 VR System

위와 같은 과정을 통해 VR 신호를 처리할 때, 첫 단계의 복수개의 카메라에서 촬영된 영상을 간에 밝기 값의 큰 차이가 존재하는 경우 시각적으로 눈에 띠는 거슬림이 발생



그림 2. 카메라들 간의 밝기 신호 차이에 의해 ERP 영상에서 발생한 거슬림
 Fig. 2. Annoyance resulted from the difference between luminances in the images captured by multiple video cameras

한다. 이러한 예를 그림 2에서 보여주고 있다.

그림 2에서와 같은 거슬림을 제거하기 위해서는 그림 1의 stitching 과정 이전에 밝기 보상 기술을 적용해야 한다. VR 카메라는 360도 전방위를 촬영하기 때문에 여러 대의 카메라로 구성돼 있다. 각 카메라는 서로 다른 광원에 노출되기 때문에 영상의 전체적인 밝기가 모두 다르다. 이렇게 각 영상의 밝기가 다르면 발생하는 문제는 다음과 같다. (a) 스티칭 에러 발생: 각 영상 내 동일 사물의 밝기가 다르기 때문에 매칭 되는 특징점이 적어 스티칭 결과가 매끄럽지 못하다. (b) 시각적인 문제: 밝기 보상을 하지 않으면 VR영상 군데군데 밝기가 달라 영상 시청 시 영역 간 이질감이 느껴지고 시각적으로 불편하다. (c) 압축효율 감소: 압축하려는 영상 신호의 국지적인 밝기 차이는 비디오 코덱을 사용한 압축 과정에서 압축 효율을 감소시킨다.

VR 시스템에서 적용되는 밝기 보상 기법들의 개념도를 그림 3에서 설명하고 있다. VR 시스템에서 각 카메라로 촬영한 영상들은 서로 공통적인 부분을 촬영한 정보들을 가지고 있다. 본 논문에서 제안하는 기술에서는 이러한 복수 개 영상들 간의 공통적인 화상정보들을 활용하여 밝기값을 보상하는 방법을 제안한다. 이렇게 함으로써, VR 카메라로 촬영한 각 영상의 밝기를 일치시켜 스티칭 에러를 줄이고

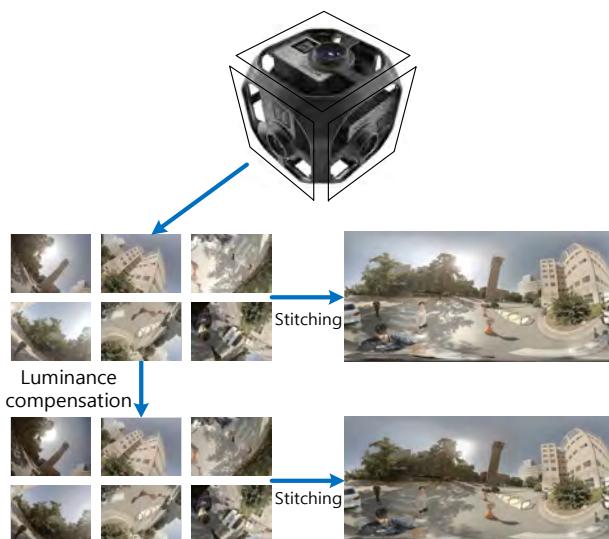


그림 3. 밝기 보상 기법 개념도

Fig. 3. Concept of the proposed luminance compensation

밝기가 자연스러운 VR 영상을 얻을 수 있다.

III. 제안하는 VR 신호용 밝기 보상 기법

그림 4는 VR 카메라 시스템에서 각 카메라가 촬영하는 영상들에 인덱스를 부여한 예시이다. 이 그림에서 부여된 번호들은 설명을 위한 예시이며, 실제 카메라 시스템에서는 다른 번호로 인덱스가 부여될 수도 있다.

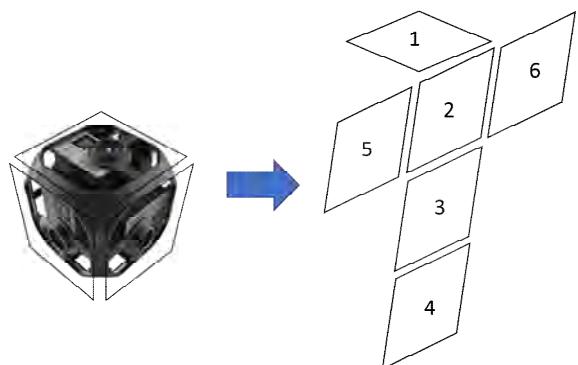


그림 4. VR 카메라 시스템의 화면 구성

Fig. 4. Camera composition of VR system

본 논문에서 밝기값 보상은 R, G, B 신호값을 Y, Cb, Cr로 변환한 후, Y 값에 대해서 적용하는 기술이다. Y 신호값 뿐만 아니라 다른 칼라 신호값에 대한 알고리즘은 후속 연구에서 다룰 예정이다.

그림 4의 예시를 사용하여 제안하는 알고리즘을 설명하면 다음과 같다.

1. 각 카메라 영상의 특징점 추출

첫 단계에서는 그림 4의 각 카메라가 촬영한 영상이 경계면을 공유하는 이웃 화면들과 어떻게 연관성이 있는지를 조사하는 단계로써, 이웃하는 영상들 간의 특징점 쌍(pair)들을 추출하는 과정이다. 이 특징점 쌍을 추출하기 위해서는 Harris corner^[4], SIFT^[5], FAST^[6]기술 등이 사용되는데, 본 연구에서는 시점, 조명, 스케일 등의 환경변화에 불변하는 특징점을 찾는 SURF^[7]알고리즘을 사용하였다. 이 과정

을 통해서 얻어진 특징점들은 $(x_i^{m \rightarrow n}, y_i^{m \rightarrow n}, l_i^{m \rightarrow n})$ 로 표현되는데, 여기서 $x_i^{m \rightarrow n}, y_i^{m \rightarrow n}, l_i^{m \rightarrow n}$ 는 m 번째 화면과 n 번째 화면 사이에서 추출된 복수개의 특징점 쌍들 중에서 m 번째 화면 내에 존재하는 i 번째 특징점의 x 좌표, y 좌표, 밝기 값(luminance)를 의미한다. 이 특징점들을 구성하는 집합 $F_{m \rightarrow n}$ 을 표현하면 다음 식과 같다. 이 식에서 $N_{m \rightarrow n}$ 은 m 번째 화면과 n 번째 화면 사이에서 추출된 복수개의 특징점쌍들 중 m 번째 화면 내에 존재하는 특징점들의 총 개수이다. 수식 내용을 쉽게 설명하기 위해 다양한 $F_{m \rightarrow n}$ 의 예를 그림 5에서 표시하였다.

$$F_{m \rightarrow n} = \{(x_i^{m \rightarrow n}, y_i^{m \rightarrow n}, l_i^{m \rightarrow n}), i = 0, 1, \dots, N_{m \rightarrow n} - 1\}, \quad (1)$$

$$\text{where } m, n = 1, 2, 3, 4, 5, 6$$

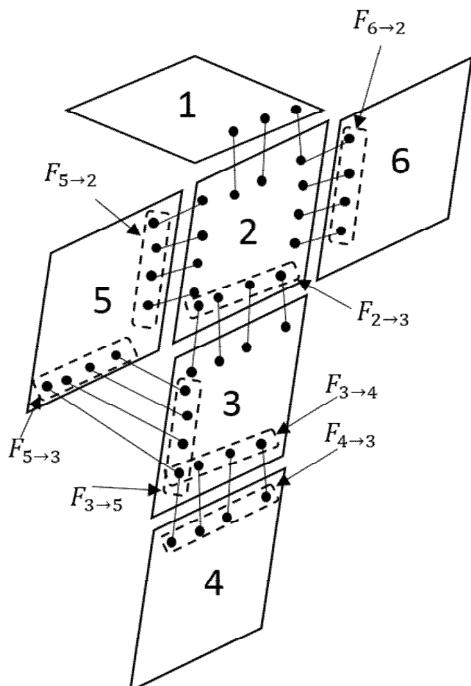


그림 5. 특징점들의 구성

Fig. 5. Compositions of sets of feature points between neighbor pictures

2. 특징점들의 집합에 대한 히스토그램 구성

이 단계에서는 6개의 화면 중 각 화면 내부에 존재하는 특징점들의 밝기값에 대해 히스토그램을 계산하고, 또 이

화면 내부의 특징점들과 매칭 되는 이웃 화면내의 특징점들의 히스토그램을 계산한다. 이를 식 (1)과 그림 5를 이용하여 표현하면 다음과 같다.

$$H_n^{IN}(v) = \frac{1}{\sum_{m \in \Omega_n} N_{n \rightarrow m}} \times \left\{ \sum_{m \in \Omega_n} \sum_{i=0}^{N_{n \rightarrow m}-1} \delta(v, l_i^{n \rightarrow m}) \right\} \quad (2)$$

$$H_n^{OUT}(v) = \frac{1}{\sum_{m \in \Omega_n} N_{m \rightarrow n}} \times \left\{ \sum_{m \in \Omega_n} \sum_{i=0}^{N_{m \rightarrow n}-1} \delta(v, l_i^{m \rightarrow n}) \right\} \quad (3)$$

$$\delta(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{if } a = b, \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

여기서 $v = 0, 1, 2, \dots, 255$, $m = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, $n = \{1, 2, 3, 4, 5, 6\}$ 이고, Ω_n 은 n 번째 화면과 경계를 공유하는 이웃 화면의 번호들의 집합이다. 예를 들면, $\Omega_2 = \{1, 3, 5, 6\}$ 이다. 식 (2)와 (3)에서 $H_n^{IN}(v)$ 는 n 번째 화면의 내부에 있는 특징점들의 히스토그램에서 밝기값 v 에 대한 정규화 된 빈도수 데이터이고, $H_n^{OUT}(v)$ 는 n 번째 화면의 내부에 있는 특징점들과 관련 있는 이웃 화면 내의 특징점들의 정규화 된 히스토그램에서 밝기값 v 에 대한 빈도수 데이터이다. 예를 들면, $H_2^{IN}(v)$ 는 2 번 화면의 내부에 있는 특징점들의 히스토그램에서 밝기값 v 에 대한 정규화 된 빈도수 데이터이고, $H_2^{OUT}(v)$ 는 2 번 화면의 이웃 화면들인 1 번 화면, 3 번 화면, 5 번 화면, 6 번 화면 내의 특징점들 중에서, 2 번 화면 내부의 특징점들과 매칭 되는 특징점들의 정규화 된 히스토그램에서 밝기값 v 에 대한 빈도수 데이터이다.

위와 같이 계산된 히스토그램 $H_n^{IN}(v)$ 과 $H_n^{OUT}(v)$ 에 대해 누적 히스토그램을 계산하면 다음과 같다.

$$C_n^{IN}(V) = \sum_{v=0}^V H_n^{IN}(v) \quad (5)$$

$$C_n^{OUT}(V) = \sum_{v=0}^V H_n^{OUT}(v) \quad (6)$$

3. 각 화면 밝기의 부조화 왜곡 측정

이 단계에서는 각 화면이 주변 화면들을 기준으로 화면

밝기 부조화가 어느 정도인지를 측정한다. 이 부조화 정도는 다음 수식으로 측정한다.

$$E_n = \frac{1}{256} \sum_{v=0}^{255} (C_n^{IN}(v) - C_n^{OUT}(v))^2 \quad (7)$$

위 식에서 E_n 은 n 번 화면의 밝기가 주변 화면의 밝기와 얼마나 부조화를 이루는지를 표현하는 값이며, 본 논문에서는 E_n 값이 가장 큰 화면의 밝기값을 우선적으로 보상한다. 이를 위해 E_n 를 내림차순으로 sorting하여 D_s 로 저장한다. 가장 큰 E_n 값을 D_1 에 저장하고, 가장 작은 E_n 값을 D_6 에 저장한다. 6개의 화면들 중에 가장 작은 부조화값인 D_6 의 γ 배보다 큰 부조화 값을 갖는 화면들을 밝기 보상한다. 즉, $\{s | D_s > D_6 \times \gamma\}$ 인 모든 화면들을 밝기 보상한다. 이때, 가장 큰 D_s 값을 갖는 면부터 작은 부조화 값을 갖는 면의 순서대로 차례차례 밝기 보상한다. γ 값은 실험적으로 최적의 값을 선택해서 사용한다.

4. 각 화면 밝기 보상

앞의 단계에서 밝기 보상 대상으로 선택된 화면들은 밝기 보상용 루업테이블을 사용하여 대상화면 내부의 모든 화소들의 밝기값을 보정한다. 이때, 루업테이블은 다음의 방법으로 제작한다.

$$u = LUT(v) \quad (8)$$

$$C_n^{OUT}(u) \leq C_n^{IN}(v) \leq C_n^{OUT}(u+1) \quad (9)$$

식 (8)과 (9)를 이용함으로써, 밝기 보상하려는 n 번 화면의 누적 히스토그램의 개형이 n 번 화면의 이웃 화면들의 누적 히스토그램의 개형과 일치하도록 화소값 대응용 루업테이블이 제작된다. 부등식 (9)를 만족하는 v 와 u 는 서로 같게 만들어야 하는 밝기 값들이다. 이 과정에서 제작된 식 (8)의 Look Up Table을 이용함으로써, n 번 화면 내의 화소의 밝기값 v 는 보상된 영상에서 u 가 된다.

IV. 실험결과

본 논문에서 제안하는 기술의 성능을 분석하기 위해 다양한 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 Kolor Autopano Video 소프트웨어를 사용하여 영상 그룹을 스티칭 하였다. 인텔® 코어 i7-2600 프로세서와 16GB RAM이 장착된 컴퓨터를 사용하여 실험을 실시하였다. 실험용 영상은 GoPro Omni 카메라를 사용하여 촬영하였고, 6개의 개별 카메라에서 촬영된 영상의 해상도는 $2,704 \times 2,028$ 이다. 밝기 보상이 필요한 테스트 영상은 야외에서 Omni 카메라로 촬영했으며, 이 과정을 통해 밝기 보상의 필요성이 있는 실험 영상들을 확보하였다. 실험에 사용한 영상 그룹은 각각 “충무관”과 “주차타워”이다. 각 영상 그룹은 6개의 영상으로 구성되어 있다.

본 논문에서 제안하는 기법의 성능을 검증하기 위하여 기존 2D영상에서 밝기 보상을 하는 기법인 Bi-Histogram Equalization(BBHE)^[2]과 Brightness Preserving Dynamic Histogram Equalization(BPDHE)^[3]을 대조군으로 선정하여 실험을 진행하였다.

1. 히스토그램 보상 측면의 분석

그림 6은 앞서 설명한 기준의 단일영상에서의 히스토그램 평활화 기법인 BBHE와 BPDHE 그리고 본 논문에서 제안하는 기술을 히스토그램으로 비교한 것이다. 보상 전 원본 영상의 히스토그램을 표시하여 가시적으로 비교하였다. 히스토그램 분석에 사용한 영상은 “충무관”영상 그룹의 3번 영상이다.

(a)에서 나타내는 BBHE 기법으로 밝기 보상한 영상의 히스토그램은 이웃 화면의 영향을 고려하지 않고 휘도성분을 넓게 분포시키기 때문에 히스토그램의 큰 개형만을 유지하고 원본 대비 심한 왜곡을 발생시킨다. (b)에서 적용한 기술인 BPDHE는 히스토그램을 동적으로 분할하여 평활화하는 방법이다. 반면 본 논문에서 제안하는 기술을 사용하여 밝기 보상을 하였을 때인 (c)에서는 전체적으로 히스토그램의 개형을 잘 유지하며 밝기 보상 된 것을 알 수 있다.

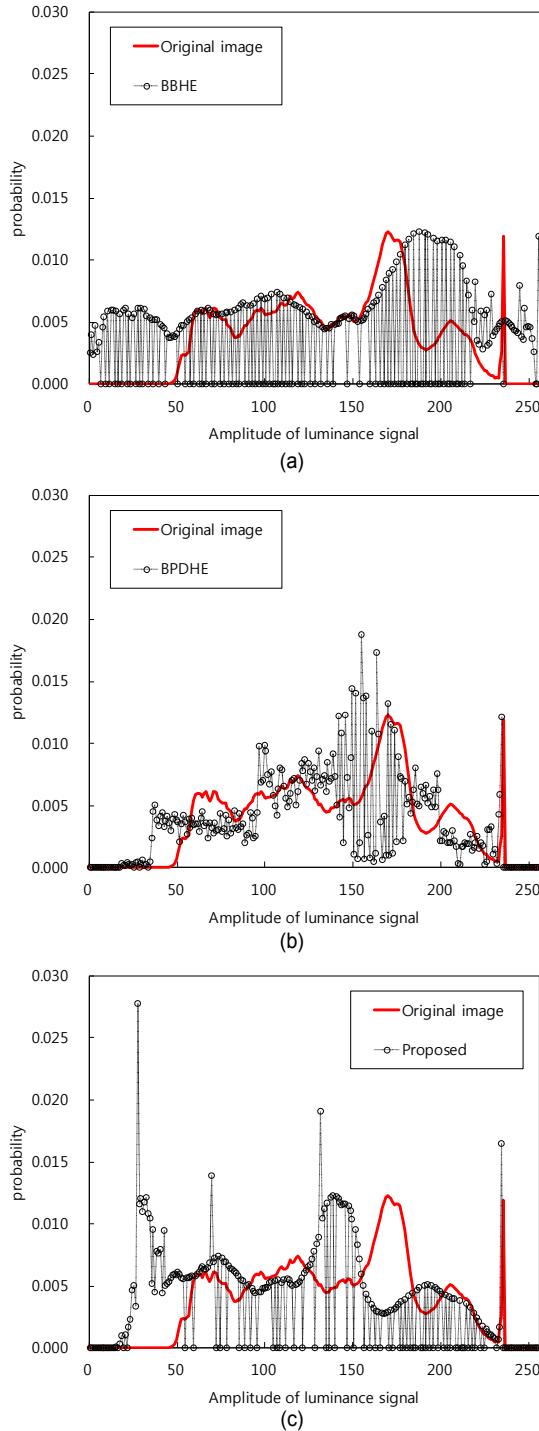


그림 6. 다양한 밝기보상기법을 사용한 영상들의 히스토그램들
 Fig 6. Histograms of images compensated by various techniques

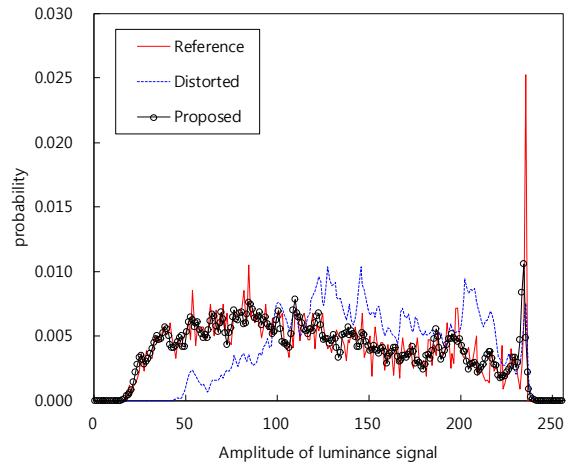


그림 7. 제안하는 방법을 이용한 경우의 밝기 보상 전 후 특징점들 집합의 히스토그램

Fig 7. Histograms of feature points of the original and the compensated images

그림 7의 히스토그램은 식 (2)와 (3)에서 기술한 해당 영상 내부에 매칭 되는 특징점들과 매칭 되는 이웃하는 화면 내에 있는 특징점들의 히스토그램이다. 영상 내부의 특징점들의 밝기를 보상하여 이웃하는 화면 내에 있는 특징점들의 히스토그램과 일치하게 된 것을 알 수 있다. 그림 7의 실험 결과에서 히스토그램의 평활화 관점의 성능을 객관적인 수치로 설명하기 위하여, distorted 신호의 히스토그램과 제안한 방법으로 밝기 보상한 신호들의 히스토그램 각각이 reference(red)를 기준으로 얼마나 차이가 있는지를 계산하기 위해 평균제곱에러(MSE)를 계산하였다. 이를 계산한 후, 이를 이용해서 아래 식을 이용해서 PSNR을 계산하였다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{1}{MSE} \right) = 20 \log_{10} \left(\frac{1}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (10)$$

위 식에서 문자가 1인 이유는 PDF의 최대값은 1이기 때문이다. 이렇게 계산한 distorted(blue)의 PSNR은 49.91 dB이고, 제안한 방법을 사용한 신호인 proposed(black)의 PSNR은 55.53 dB이었다. 이 PSNR 값들을 기준으로 판단할 때, 제안한 기술을 사용함으로써 VR 영상 신호에 존재하는 밝기 차이 왜곡이 상당히 제거되었음을 확인할 수 있었다.

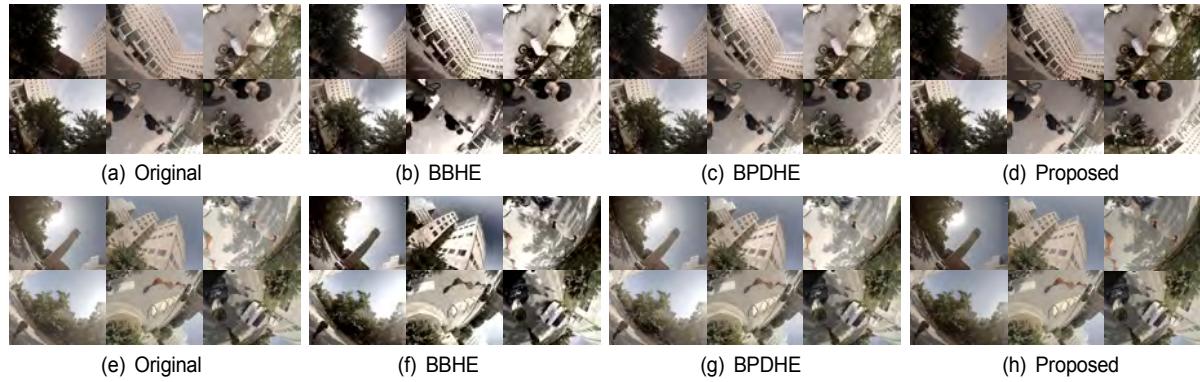


그림 8. 다양한 방법을 이용하여 밝기 보상한 영상 들. (a) - (d) “충무관” 영상그룹, (e) - (h) “주차타워” 영상그룹
Fig 8. Subjective quality comparison between images compensated by various algorithms

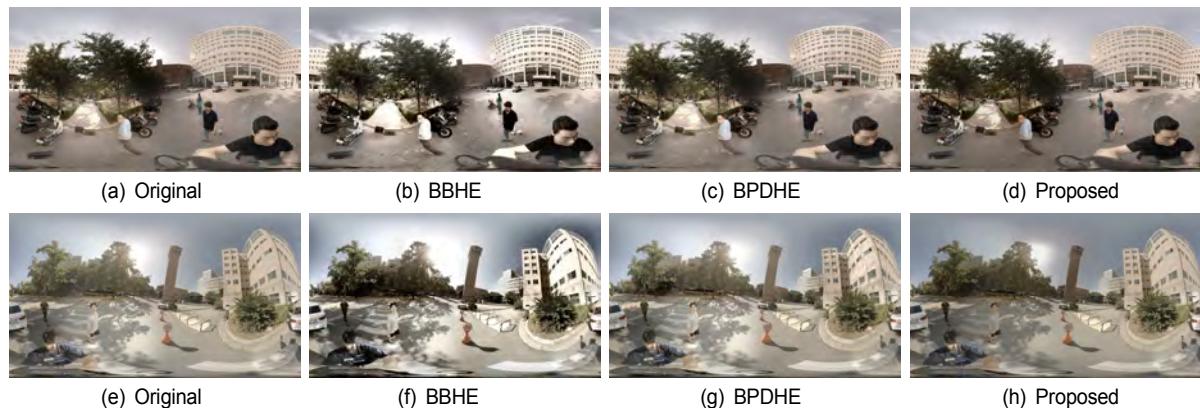


그림 9. 다양한 방법을 이용하여 밝기 보상한 영상 들을 ERP로 표현한 결과들. (a) - (d) “충무관” 영상그룹, (e) - (h) “주차타워” 영상그룹
Fig 9. Subjective quality comparison between ERP images compensated by various algorithms

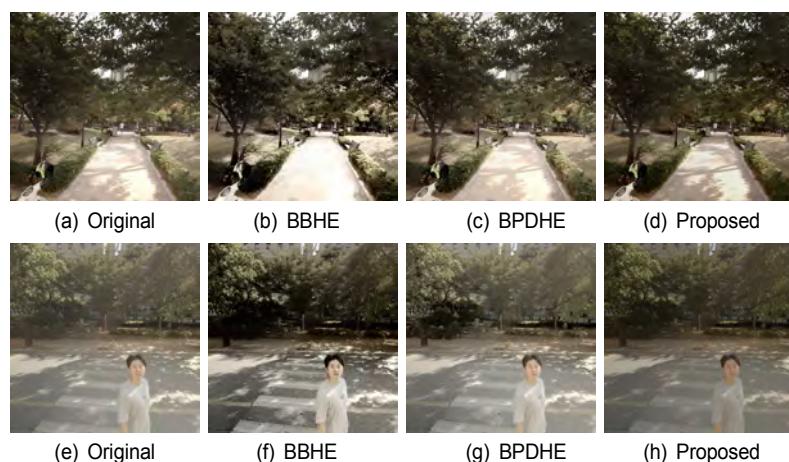


그림 10. 다양한 방법을 이용하여 밝기 보상한 영상 들을 viewport 영상 관점에서 비교
Fig 10. Subjective quality comparison between viewport images compensated by various techniques

2. 밝기 보상 영상의 시각적인 평가

그림 8은 두 영상그룹의 모든 영상을 밝기 보상한 결과이다. 원본 영상들을 보았을 때 각 영상에서의 광원에 따라 노출 정도의 차이가 발생함을 볼 수 있다.

영상 그룹 내 모든 영상에 기존의 히스토그램 평활화 기법들인 BBHE와 BPDHE를 적용한 경우는 모든 영상들의 명암비가 과도하게 높아졌음을 보여준다. 선명한 영상을 얻을 수 있지만 주변 영상 대비 밝기 수준이 비슷해졌다고 볼수는 없다.

본 논문에서 제안하는 기술을 사용하여 밝기 보상 한 결과를 보면 영상 그룹 내 특정 영상만을 선택적으로 보상했음을 알 수 있다. 그림8의 영상 그룹 (h)의 경우에는 좌측부터 영상의 순서를 매긴다 하였을 때 1, 3, 4번 영상이 보상 된 영상이다.

3. ERP 영상에서 화질 평가

영상 그룹의 개별 화면을 하나의 VR영상으로 스티칭 하여 화질을 평가한다. 스티칭은 ERP 포맷으로 하였다.

그림 9은 스티칭된 ERP영상을 비교한 것이다. VR카메라로 촬영된 원본 영상 그룹을 스티칭한 (a), (e)의 경우 역광을 받아 과하게 노출되거나 그림자가 진 부분이 전체 영상 대비 국부적으로 밝기가 일정치 않음을 알 수 있다. 그렇기 때문에 영상들이 스티칭되며 겹치는 부분에서의 밝기차가 두드러진다.

(b), (e)에 해당하는 기존의 히스토그램 평활화 기술을 이용하여 밝기 보상 후 스티칭한 영상은 앞서 기술한 국부적인 밝기 차이를 해결하지 못했다. 오히려 원래 존재하던 밝기 차이가 더 극명해졌고 ERP영상이 전체적으로 밝기의 조화를 이루지 못함을 알 수 있다.

(d), (h)에 해당하는 본 논문에 제안하는 방법을 이용하여 밝기 보상 후 스티칭한 영상은 국부적인 밝기 차이 문제를 해결하여 전체적으로 밝기가 균일해졌다.

4. Viewport 영상에서 화질 평가

본 논문에서 제안하는 기술이 좀 더 효용성을 갖고 있다

는 것을 증명하기 위하여 viewport영상에서 비교를 하였다. viewport를 추출한 영역은 스티칭 과정에서 두 영상이 겹치는 영역으로 선택하였다.

그림 10의 기존의 기술인 BBHE기술로 밝기 보상 한 (b), (f)영상에서는 전체적인 명암비는 향상됐지만 그림자가 사라지거나 암부가 뭉개진다. 두 번째 기존의 방법인 BPDHE 기술로 밝기 보상 한 (c), (g) 영상에서는 암부의 심도가 깊어져 시각적으로 뚜렷해졌지만 스티칭 경계에서 밝기 차이를 개선하지 못했다. 논문에서 제안하는 기술로 밝기 보상 한 (d), (h)영상은 전체적으로 밝기의 균일화가 됐고 원본 영상의 디테일을 보존했다.

V. 결 론

본 논문에서는 VR 멀티미디어 시스템에 적합한 밝기 보상 기법에 대해서 효율적인 방법을 제안하였다. 이를 위해서 특징점 분석, 히스토그램 분석, 누적 히스토그램 분석 등을 수행하였고, 이런 과정을 통해 제작된 톡업테이블을 사용해서 밝기 보상을 수행했다. 본 논문에서는 다양한 실험 결과를 통해 제안한 알고리즘의 효용성을 증명하였다.

본 논문에서는 촬영된 영상의 밝기값만을 보상하였으나, 다음 후속 연구에서는 R, G, B 칼라 또는 Y, Cb, Cr 칼라 좌표에서 칼라 신호값 전부를 보상하는 기법을 연구할 예정이다. 또한, 후속 연구에서는 밝기 보상 기법이 VR 비디오 신호의 압축에 끼치는 영향에 대해서도 다룰 예정이다.

또한 본 논문에서 제안하는 기술이 특징점 매칭에 기반하고 있어서, 특징점이 잘 찾아지지 않는 저주파수 성분이 많은 영상에서는 성능 저하가 발생할 수 있다. 이 점을 보완하는 연구를 후속 연구에서 다룰 예정이다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] C. Kim, "A Comparative Study for Virtual Reality 360° Contents Shooting Equipments Based on Real World," *Journal of Broadcast Engineering*, 21(5), pp 714-725, Sept., 2016.
- [2] Y. T. Kim, "Contrast Enhancement using Brightness Preserving Bi-Histogram Equalization," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*,

- Vol. 43, No. 1, pp. 1-8, February 1997.
- [3] H. Ibrahim and N. S. P. Kong, "Brightness Preserving Dynamic Histogram Equalization for Image Contrast Enhancement," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, Vol. 53, No. 4, pp. 1752-1758, Nov., 2007.
- [4] C. Harris and M. Stephens, "A Combined Corner and Edge Detector," *Proceedings of the Alvey Vision Conference*, pp. 147-151, 1988.
- [5] D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 60, Issue 2, pp. 91-110, November 2004.
- [6] E. Rosten and T. Drummond, "Machine Learning for High-Speed Corner Detection," *European Conference on Computer Vision ECCV*, pp 430-443, 2006
- [7] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars, and L. V. Gool, "Speeded-Up Robust Features (SURF)," *Computer Vision and Image Understanding*, pp. 346-359, June 2008.

저자 소개



이건원

- 2011년 3월 ~ 2017년 2월 : 안양대학교 정보통신공학과 재학
- 2017년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 전자정보통신공학과 학사과정 편입
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-3926-8544>
- 주관심분야 : VR, 비디오 신호처리, 비디오 부호화



한종기

- 1992년 : KAIST 전기및전자공학과 공학사
- 1994년 : KAIST 전기및전자공학과 공학석사
- 1999년 : KAIST 전기및전자공학과 공학박사
- 1999년 3월 ~ 2001년 8월 : 삼성전자 DM연구소 책임연구원
- 2001년 9월 : 세종대학교 정보통신공학과 교수
- 2008년 9월 ~ 2009년 8월 : UC San Diego Visiting Scholar
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0002-5036-7199>
- 주관심분야 : 비디오 코덱, 영상 신호처리, 정보 압축, 방송 시스템