

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제24권 제1호, 2019년 1월 (JBE Vol. 24, No. 1, January 2019)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2019.24.1.3>

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

360 VR 기반 파노라마 영상 구성을 위한 칼라 및 밝기 보상 알고리즘

남다운^{a)}, 한종기^{a)†}

Color and Illumination Compensation Algorithm for 360 VR Panorama Image

Da-yoon Nam^{a)} and Jong-Ki Han^{a)†}

요약

360 VR 기반 파노라마 영상을 제작하는 과정에서 인접한 장면을 촬영한 영상들일 지라도 촬영 각도 및 조명의 위치에 따라 영상들 간에 밝기 변화가 크고 색상값에서도 큰 차이가 발생한다. 이런 영상들을 스티칭하여 360 VR 영상을 만들면, 제작된 파노라마 영상의 품질이 저하되기 때문에 밝기 보상 기법을 전처리 과정으로 사용해야 한다. 기존의 밝기 보상 기법들은 밝기 차이가 적은 경우 또는 적은 장수의 영상들을 스티칭하는 경우에 적용되도록 설계되었기 때문에, 360 VR 서비스용 스티칭 기법에서처럼 스티칭되는 영상의 개수가 많고, 영상들 간의 밝기 차이가 클 경우에는 성능 저하가 발생하는 것으로 알려졌다. 본 논문에서는 기존의 밝기 보상 기법이 급격한 밝기 차이가 발생하는 360 VR 서비스에서도 효과적으로 이용될 수 있도록 추가의 ‘색상 보정’ 및 ‘밝기 보정’ 단계를 전처리 과정으로 사용함으로써, 복잡도 증가는 최소화하면서 360 VR 영상 합성의 성능을 향상시키는 것을 목표로 한다. 본 논문에서는 다양한 환경에서 촬영된 실험 영상들을 이용해서, 제안하는 기술이 기존 기술들의 성능을 향상시킬 수 있음을 보이고 있다.

Abstract

Techniques related to 360 VR service have been developed to improve the quality of the stitched image and video, where illumination compensation scheme is one of the important tools. Among the conventional illumination compensation algorithms, Gain-based compensation and Block Gain-based compensation algorithms have shown the outstanding performances in the process of making panorama picture. However, those are ineffective in the 360 VR service, because the disparity between illuminations of the multiple pictures in 360 VR is much more than that in making the panorama picture. In addition, the number of the pictures to be stitched in 360 VR system is more than that in the conventional panorama image system. Thus, we propose a preprocessing tool to enhance the illumination compensation algorithm so that the method reduces the degradation in the stitched picture of 360 VR systems. The proposed algorithm consists of ‘color compensation’ and ‘illumination compensation’. The simulation results show that the proposed technique improve the conventional techniques without additional complexity.

Keywords : Illumination Compensation, 360 VR, Image Stitching, Panorama Image

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

† Corresponding Author : 한종기(Jong-Ki Han)

E-mail: hjk@sejong.edu

Tel: +82-2-3408-3739

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

※ This work was partly supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) under Grant NRF-2018R1A2A2A05023117 and partly by Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) under Grant 2017-0-00486 funded by the Korea government (MSIT).

· Manuscript received September 11, 2018; Revised November 17, 2018; Accepted November 17, 2018.

Copyright © 2016 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. 서론

파노라마 영상은 복수개의 영상들을 포개어지도록 촬영해서 얻은 여러 장의 사진들을 '스티칭(stitching)^[1] 과정을 통해 하나로 이어 붙여 만든 영상이다. 최근 신기술로 주목 받고 있는 360°VR 영상은 360도 회전시켜 촬영한 여러 장의 평면 사진을 '스티칭'하여, 구면의 가상현실에서 볼 수 있도록 전방향으로 이어 붙인 파노라마 영상이다^[2,3]. 360 파노라마는 카메라의 종류에 상관없이 만들어 질 수 있다. 특히 스마트폰 카메라로 촬영한 사진을 이용하는 경우, 일반적으로 50~70장의 사진이 필요하다. 파노라마 사진을 만들기 위한 사진을 촬영하는 경우, 카메라의 이동과 회전에 의해서 사진 간의 '크기', '각도', '밝기'의 차이가 생겨난다. 스마트폰의 경우, 50~70장의 사진의 '크기', '각도', '밝기' 값은 모두 다른 값을 가진다. '크기'와 '각도'는 미세한 차이만으로도 물체의 어긋남이 심해지고, '밝기'의 차이는 접합선을 기준으로 명확한 경계가 보이게 된다. 스티칭은 '크기', '각도', '밝기' 차이를 계산하고, 조절하는 기능을 포함하고 있다. 스티칭은 일반적으로, 크기와 각도에 불변하는 속성을 가진 특징점을 찾는 '특징점 검출^[4]', 영상간 닮은 특징점끼리 연결하는 '특징점 매칭', 매칭된 특징점이 동일한 위치에 놓이도록 영상을 왜곡시키는 '와핑', 영상의 접합선을 흐릿하게 만드는 '블랜딩'의 과정으로 구성된다. 이 구성에서 특징점 검출에서 와핑까지의 과정을 통해 동일한 대상의 다른 '크기'와 '각도'를 일치시킬 수 있다. 그리고 '밝기'의 차이로 인한 문제 역시 와핑 후와 블랜딩 전 단계에 '노출보상'을 추가 시킴으로써 해결할 수 있다.

카메라 렌즈로 들어오는 빛의 양은, 카메라 이동과 촬영시간 등의 여러 요인들로 인해 달라진다. 특히 360도 파노라마는 전방위에서 찍은 사진을 이용하기 때문에, 상대적인 조명의 위치차이에 큰 영향을 받고, 밝기 격차도 눈에 띄게 나타난다. 그렇기 때문에, 실제와 비슷한 밝기의 자연스러운 360도 파노라마를 만들기 위해, 밝기 격차를 줄이는 노출보상은 필수적인 과정이다. OpenCV 3.4^[5]에 내장된 기존의 노출보상 알고리즘은 Gain-based 노출보상^[6]과 Block Gain-based 노출보상^[7]으로 두 가지가 있다. 두 알고리즘의 기본원리는 공통적 포개지는 영상의 평균 밝기를 비교하여

가중치(gain)을 계산하고, 가중치를 적용하여 인접한 영상 간 밝기차이를 줄이는 과정이다. 두 알고리즘의 한 가지 차이는 Gain-based 노출보상은 영상단위로 가중치를 계산하고, Block Gain-based 은 영상보다 작은 블록 단위로 가중치를 계산하는 것이다. Gain-based 알고리즘과 Block Gain-based 알고리즘 모두 수직, 수평으로 인접한 5~10장의 영상으로만 현재 영상의 밝기가 조절되기 때문에, 360도 파노라마 영상과 같이 훨씬 많은 사진으로 영상을 연결하는 경우, 전체적인 밝기의 균형을 맞추어 줄 필요가 있다. 또한 색상은 각각 다른 빛의 반사율을 가지고 있고, 조명에 영향을 받아 색상차이가 생길 수 있다. 하지만, 기존의 두 알고리즘은 색의 속성인 색상, 채도, 밝기 중 색상과 채도를 보상하는 기능은 전혀 하지 못한다. 본 논문에서는 위와 같은 기존 Gain-based 과 Block Gain-based 노출보상의 한계를 개선하여, 전체 촬영 사진의 밝기와 색상을 평균 밝기와 평균 색상에 가까워지도록 조정하는 기능을 추가한 새로운 노출보상 알고리즘을 제안한다.

또한 Gain-based 노출보상과 Block gain-based 노출보상 알고리즘뿐만 아니라 그 밖에 여러 노출보상 알고리즘과 색보정(color correction) 알고리즘^[8]이 많이 등장하고 있다. 대부분의 경우 색보정 알고리즘은 노출보상과 유사하게 인접한 영상과의 색 차이를 줄이는 방식으로 보정하고 있다. 제안하는 알고리즘은 인접한 영상에 한정된 것이 아니라 스티칭에 사용되는 전체 영상을 고려한 색보정으로 밝기보정을 하는 동시에 색보정할 수 있는 단순한 알고리즘이다.

본 논문은 II장에서 360VR 영상을 만들기 위해 필요한 스티칭 과정을 대략적으로 설명하고, Gain-based 과 Block Gain-based 노출보상 알고리즘의 과정과 장단점을 세부적으로 분석한다. III장에서는 노출보상으로 해결되지 않는 문제점을 기술하고, 새롭게 제안하는 노출보상의 기본 목표를 설명한다. IV장에서는 제안하는 노출보상 알고리즘을 상세하게 단계별로 설명한다. V장은 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 결과 영상과 동작시간을 비교하여 성능을 분석한다. VI장은 제안하는 알고리즘을 구현한 결과를 요약하고, 한계점을 설명하며 본 논문을 마무리 짓는다.

II. 360 VR 영상 합성 및 노출보상 기법

1. 360 VR 영상 합성 시스템

본 논문에서는 일반 스마트폰 카메라 여러 대를 이용하여 자유로운 임의의 방향으로 촬영하여 얻은 복수개의 사진들을 합성하여 360 VR 영상을 제작하는 시스템을 고려했다. 아래 그림 1은 본 연구에서 고려하는 촬영 시스템의 개념도 보여주고 있다.

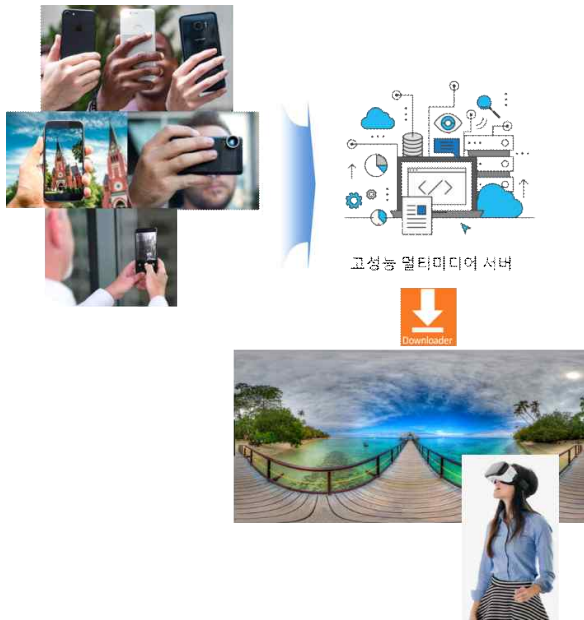


그림 1. 360 VR 영상 합성 개념도
 Fig. 1. Concept of the 360 VR image composition system

그림 1에서 다양한 각도로 촬영된 영상들을 합성하는 과정을 설명하면 다음과 같다. 개인용 스마트폰을 이용하여 여러 장의 사진을 촬영한다. 이때 360도 전방향을 향해 다양한 방향으로 사진들을 촬영한다. 그 다음 촬영 영상들의 고유한 정보가 되는 특징점(feature)들을 각 영상에서 찾는다. 이렇게 찾아진 특징점들을 이용해서 서로 이웃한 사진들의 특징점들을 매칭 시킨다(pairwise matching). 매칭 쌍을 통해 연결되는 영상들의 관계를 호모그래피 행렬로 저장한다. 호모그래피 행렬을 통해 영상 초점거리와 회전 행렬을 계산한다(Estimator)^[9]. Estimator 과정에서 측정된 초점거리를 최적화하여 다시 저장한다(Bundle adjustment). 위의 과정으로 얻은 초점거리와 회전행렬을 사용하여 평면

영상을 구좌표상으로 매핑시키고, 다시 ERP 평면으로 매핑시킨다(spherical warping). 와핑 후, 인접한 영상끼리 밝기를 비교하고 비슷한 밝기를 갖도록 영상 안의 픽셀의 강도(intensity)를 제조정한다(exposure compensation). 그 다음 와핑 영상들을 연결하기 위한 접합선을 찾는다(seam finder). Seam finder를 통해 얻은 접합선을 기준으로 인접한 두 영상이 자연스럽게 이어지도록 한다(Blending). 블렌딩까지 완료하면 최종 파노라마 영상을 얻을 수 있다. 이 과정을 그림 2에서 flowchart로 정리했다.



그림 2. 360 VR 영상 합성 과정
 Fig. 2. Flowchart of the 360 VR image composition algorithm

본 논문에서는 앞의 그림 2에서 설명하는 과정 중에서 밝기 보상(Exposure Compensation) 기법을 개선시켜 합성 영상의 화질을 개선시키는 것을 목표로 한다. 잘 알려진 노

출 보상 기법들에는 Gain-based 노출 보상과 Block gain-based 노출 보상 기법이 있다. 이들에 대해서 이론적으로 설명을 하면 다음과 같다.

2. Gain-based 노출보상

Gain-based 노출보상은 한 영상마다 이득(gain)을 계산하고 이 값을 이용해서 영상들의 밝기값을 보정하는 알고리즘이다⁶⁾. 이 방법에서는 계산된 이득값을 이용해서 각 영상 내부의 픽셀의 강도를 바꾸어 밝기를 조절한다. Gain-based 노출보상의 상세 과정은 다음과 같다. 우선 설명을 효율적으로 하기 위해 Gain-based 노출 보상의 개념도를 아래 그림으로 표현한다.

먼저, n번째 영상과 m번째 영상의 포개지는 영역(ROI: Region of Interest)을 추출하여, 그 오버랩 영역 안에 해당하는 픽셀의 개수 N_{nm} 를 계산한다. 이 ROI 영역 내에 있는 각 픽셀의 R(빨강), G(초록), B(파랑)의 값을 계산에 이용하여 각 픽셀마다 강도(intensity)을 계산한다. n번째 영상과 m번째 영상의 오버랩 영역에서 x행 및 y열에 위치한 픽셀

의 밝기 강도인 $I_{nm}(x,y)$ 을 아래와 같이 계산한다.

$$I_{nm}(x,y) = \sqrt{R_{nm}(x,y)^2 + G_{nm}(x,y)^2 + B_{nm}(x,y)^2} \quad (1)$$

n번째 영상의 ROI 영역 내에 있는 모든 픽셀에 대해서 계산된 밝기 강도를 모두 더하고, N_{nm} 을 나누어 n번째 이미지 안에 있는 오버랩영역의 밝기 강도의 평균을 계산한다. 식(2)와 같이 포개지는 영역 안의 모든 픽셀의 평균밝기 강도 I_{nm} 을 얻을 수 있다.

$$I_{nm} = \frac{\sum_x \sum_y I_{nm}(x,y)}{N_{nm}} \quad (2)$$

위의 (2)식을 이용한 계산을 모든 영상에 대해 실행하면, 촬영 영상의 개수를 IN 라 할 때 $IN \times 1$ 크기의 행렬 b 을 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$b = \begin{bmatrix} b_0 \\ \vdots \\ b_{IN-1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

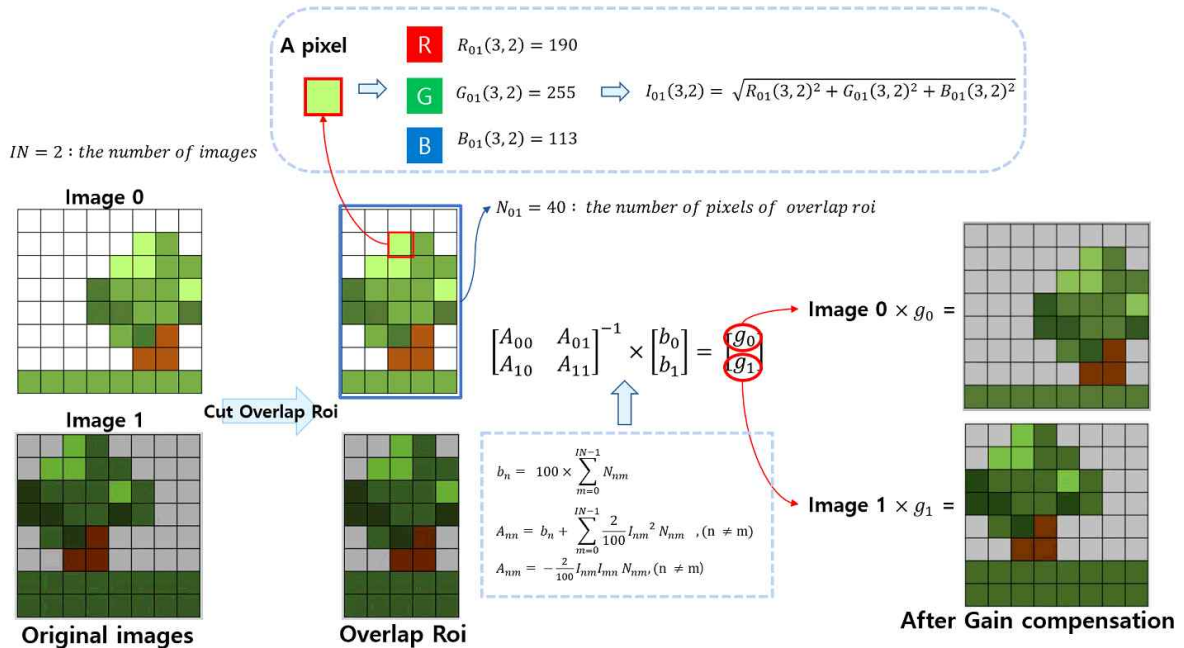


그림 3. Gain-based 노출 보상
 Fig. 3. Gain-based illumination compensation

$$b_n = 100 \times \sum_{m=0}^{IN-1} N_{nm} \quad (4)$$

행렬 b_n 는 모든 영상에 대해 다른 영상과 중첩되는 픽셀이 얼마나 되는지를 보여준다. N_{nm} 는 n 번째 영상과 m 번째 영상의 오버랩 영역 안에 있는 모든 픽셀의 개수이며, m 번째 영상과 오버랩 영역이 없다면 N_{nm} 는 0이 될 것이다. 따라서 $\sum_{m=0}^{IN-1} N_{nm}$ 은 처음 영상부터 마지막 영상까지 n 번째 영상과 중첩되는 오버랩 영역 안 픽셀 개수의 총합이다. 예를 들어, 행렬의 두 번째 원소 b_2 는 두 번째 영상과 그 외의 다른 모든 영상들과의 오버랩 영역 안의 모든 픽셀의 개수의 합을 나타낸다. 그리고 픽셀의 개수는 오버랩 영역의 크기를 나타내는 척도가 된다. 이 값들을 이용하여 다음과 같이 $IN \times IN$ 크기의 행렬 A 를 구한다.

$$A = \begin{bmatrix} A_{00} & \cdots & A_{0(IN-1)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{(IN-1)0} & \cdots & A_{(IN-1)(IN-1)} \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$A_{nm} = b_n + \sum_{m=0}^{IN-1} \frac{2}{100} I_{nm}^2 N_{nm}, (m \neq n) \quad (6)$$

$$A_{nm} = -\frac{2}{100} I_{nm} I_{mm} N_{nm}, (m \neq n) \quad (7)$$

이 때, 식(6)의 $m \neq n$ 조건의 의미는, n 번째 영상과 인접한 모든 영상과의 오버랩 영역에 대한 $I_{nm}^2 N_{nm}$ 의 합을 구할 때, $m = n$ 인 자기 자신과의 오버랩 영상은 제외된다는 것을 말한다. 식(7)의 $m \neq n$ 조건의 의미는 대각 성분 A_{nm} 이 아닌 모든 원소의 계산이라는 것을 의미한다. 식 (6)의 A_{nm} 은 n 번째 영상과 전체 영상에 대해 중첩 관계를 나타내는 값으로, n 영상의 총 중첩픽셀개수 b_n 와 모든 오버랩 영역 안에서 평균밝기의 경향을 나타내는 $\sum_{m=0}^{IN-1} \frac{2}{100} I_{nm}^2 N_{nm}$ 의 합으로 계산된다. 식 (7)의 A_{nm} 는 식(6)과 달리 b_n 를 포함시키지 않고, 오로지 n 번째 영상과 m 번째 영상의 중첩 영역의 특성만을 본다. 식(7)에선 두 개의 밝기 강도 값 I_{nm} 과 I_{mm} 가 필요하다. 이 두 값은 오버랩 영상 안의 평균 밝기 강도 값이라는 공통된 특성을 갖지만 한 가지 차이는 I_{nm}

는 n 번째 영상의 픽셀 값의 평균밝기이고, I_{mm} 는 m 번째 영상의 픽셀 값의 평균밝기라는 점이다. 만약 오버랩 영역 안에서 두 영상의 밝기가 같다면 식(7) $I_{nm} \times I_{mm}$ 는 I_{mm}^2 가 될 것이다. 식(3)과 식(5)으로 계산된 행렬 A 와 b 를 이용하여 다음과 같이 1차 선형의 관계인 행렬 g 를 찾는다.

$$A \times g = b \quad (8)$$

결과적으로 행렬 g 는 오버랩 영역 안에서의 두 영상의 평균 밝기강도인 I_{nm} 와 I_{mm} 의 비율에 따라 연립적으로 얻어지는 해이다. 행렬 g 의 n 번째 원소 g_n 는 n 번째 영상의 gain이 된다. n 번째 영상의 모든 픽셀의 강도를 $I_n(x, y)$ 에서 $g_n \times I_n(x, y)$ 로 업데이트시켜 얻은 영상이 Gain-based 노출보상을 수행한 결과영상이다.

만약 중첩되는 영상 간의 밝기가 같다면, 식(8)의 행렬 g 의 모든 원소는 1이 될 것이다. 즉 모든 영상에 적용되는 gain은 1이 될 것이고, 노출 보상을 적용한 영상의 밝기는 그대로 유지될 것이다. 만약 n 번째 영상이 다른 중첩되는 영상들보다 대체적으로 평균 밝기가 어둡다면, g_n 은 1보다 클 것이다. 반대로 평균 밝기가 밝다면 1보다 작은 g_n 을 얻게 되고, 가중치 g_n 를 곱해 업데이트된 영상의 밝기는 주변 영상들의 밝기와 비슷하게 맞춰질 것이다.

3. Block Gain-based 노출보상

Block Gain-based 노출보상은 Gain-based 노출 보상을 영상 안의 블록단위로 수행하는 것이다⁷⁾. Gain-based 노출 보상은 한 영상마다 하나의 gain 값으로 밝기를 조절했지만, Block Gain-based 노출 보상은 영상 구성하는 블록마다 개별적으로 gain 값을 얻기 때문에 영상 안의 밝기 변화가 제각각 다르게 나타날 수 있다. 즉, 다른 영상과 오버랩 되지 않는 영역의 이득은 1에 가깝고, 오버랩 영역에서 영상 간 평균 밝기강도의 차이가 클수록 1보다 작거나 큰 이득을 얻게 된다. 블록단위로 gain 값을 얻었으면, 현재 블록의 gain값이 주변 블록의 gain값과 자연스럽게 연결되도록, 저주파통과필터(Low pass filter)를 통과시킨다. 그 다음, 선형 보간을 통해 해당 영상의 픽셀 단위 gain 값을 생성시킨다.

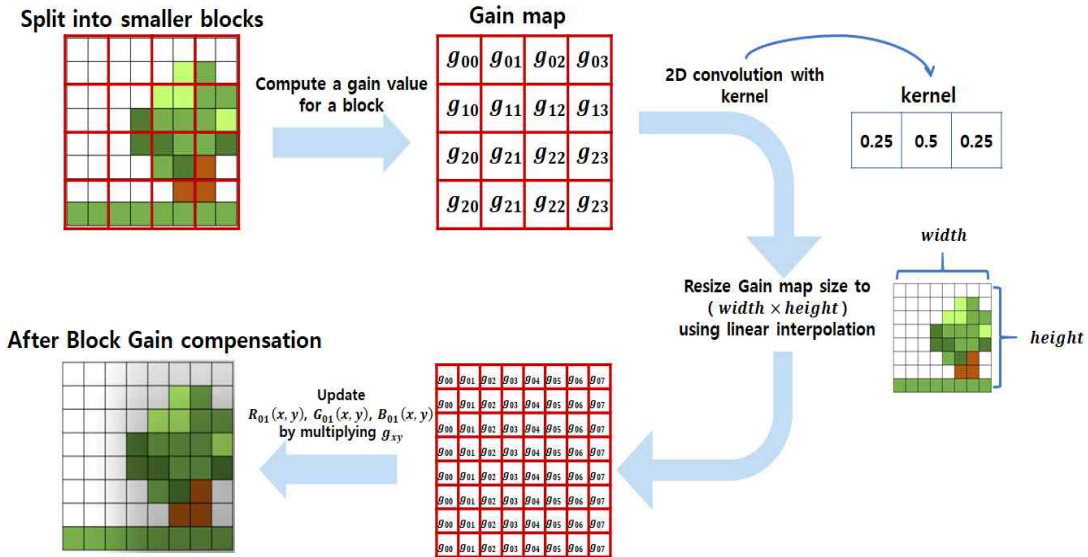


그림 4. Block gain-based 노출 보상
Fig. 4. Block gain-based illuminance compensation

모든 n번째 영상의 x행 및 y열 픽셀의 R, G, B 값인 $R_n(x,y)$, $G_n(x,y)$, $B_n(x,y)$ 와 그 픽셀에 해당하는 gain 값인 g_{xy} 을 곱해 $R_n(x,y)$, $G_n(x,y)$, $B_n(x,y)$ 값을 업데이트 시키면, Block Gain-based 알고리즘을 적용한 결과영상을 얻을 수 있다.

그림 3에서 설명하는 Gain-based 노출보상 알고리즘은 주변영상과의 오버랩 영역의 평균밝기강도의 비교를 통해 입력 영상에 적용할 이득을 구하는 알고리즘이다. 이는 간단한 알고리즘이기 때문에 쉽게 구현이 가능하고, 비교적 실행속도가 빠르다는 장점이 있다. 하지만 이웃한 영상에만 영향을 받기 때문에 전체 영상에 대해 밝기 균형을 맞추지 못할 수 있다. 그렇기 때문에, 밝기 차이가 적은 사진들의 경우 자연스러운 파노라마 사진을 얻을 수 있지만, 사진들 사이의 밝기 차이가 커지면 Gain-based 밝기보상 알고리즘으로 노출보상으로 큰 효과를 볼 수 없다. 이에 반해, 그림 4에서 설명하는 Block Gain-based 밝기보상 알고리즘은 5~6장 정도의 적은 개수의 입력 영상을 노출 보상할 때 Gain-based 밝기보상 알고리즘보다 더 자연스럽게 밝기가 연결되는 장점이 있다. 하지만, 급격한 밝기 변화가 나타나는 영상에서는 그 밝기 차이를 오히려 부각시킬 수 있다. 또한, 입력 영상의 개수가 증가할

수록 실행속도가 급격히 느려지기 때문에, 고속의 동작을 필요로 하는 360 VR 영상에 사용되기에는 적합하지 않은 기술이다.

그림 5는 노출보상 과정이 없이 합성된 영상과 Gain-based 밝기 보상 기술과 Block Gain-based 노출 보상을 적용시킨 결과 영상들을 비교하고 있다. 이 그림에서는 알고리즘의 성능들을 비교하기 위해서, 일부러 블렌딩 과정을 사용하지 않고 합성하였다. 그림 5의 (a)는 아무런 노출 보상기법을 적용하지 않은 결과 영상으로, 인접한 영상 간의 밝기 변화가 크기 때문에 영상 간의 구분이 명확하다. 그림 5의 (b)은 Gain-based 밝기 보상을 적용한 것으로 어두운 영상은 더 밝아지고 밝은 영상은 더 어두워지면서, 인접한 영상들의 밝기가 유사해진 것을 확인할 수 있다. 그림 5의 (c)는 Block Gain-based 노출 보상을 적용한 것으로 (b)영상보다 각 영상들의 평균밝기의 차이가 더 크지만, 영상을 연결하는 경계선부분이 더 자연스럽게 연결된다는 것을 확인할 수 있다. 이 때 주의할 것으로, 그림 5의 (b)과 (c)에서 회색 가방은 밝기는 보상되었지만 색상이 보상되지 않았기 때문에, 여전히 영상 간 차이가 크다는 점이다.



(a)



(b)



(c)

그림 5. Gain-based 노출보상과 Block Gain-based 노출보상의 성능 비교

Fig. 5. Comparison between Gain-based compensation and Block Gain-based compensation algorithms. (a) Stitching without illumination compensation, (b) Stitched image with Gain-based illumination compensation algorithm, (c) Stitched image with Block Gain-based illumination compensation algorithm

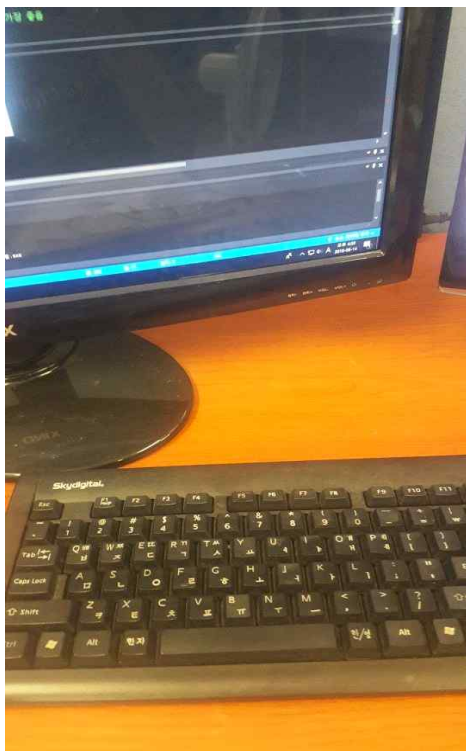
III. 노출 보상 기법들의 문제점 분석

본 장에서는 기존의 밝기보상 기술들의 단점을 분석하여, 본 논문에서 개선시켜야 할 사항들을 정리하고자 한다. 그림 6은 같은 조명, 같은 위치에서 같은 카메라의 조건으로 찍은 사진들을 비교하고 있다. (a) 사진에서는 손이 없이 책상위의 컴퓨터 모니터와 키보드를 촬영하였고, (b) 사진에서는 하얀색 종이를 들고 있는 손을 같이 촬영한 영상이다. 이 사진들에서 손이 없는 사진은 화소값들이 밝고 주황색에 가깝지만, 손이 들어간 사진에서는 책상이 어둡고 갈색에 가깝게 촬영된다는 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 이렇게 장애물 존재 여부에 따라 촬영된 영상의 밝기 값에 큰 차이가 발생하는 점을 고려하여 밝기 보상 기법을 제안한다.

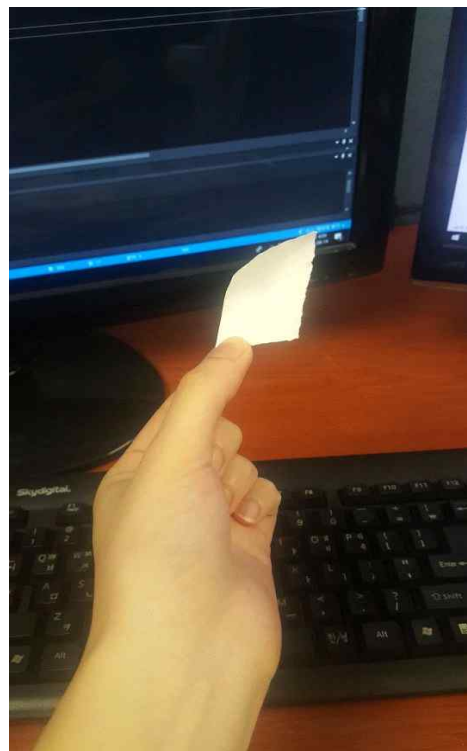
그림 7에서는 카메라의 촬영 파라미터는 유지한 채로 카메라의 촬영 방향만 변화시켜 찍은 영상들이다. 이 영상에

서 관찰할 수 있듯이, 카메라 파라미터 조건이 변화하지 않았는데도, 촬영 방향에 따라 영상 내 화소들의 밝기 차이가 크게 다른 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 이렇게 촬영 방향에 따라 영상의 밝기 값에 큰 차이가 발생하는 점을 고려하여 밝기 보상 기법을 제안한다.

그림 6과 그림 7에서 볼 수 있듯이 같은 조건의 같은 카메라에서 찍은 사진일 지라도, 명도, 채도, 대비가 모두 다른 영상을 얻을 수 있다. 이를 객관적으로 비교하기 위해서, 그림 6과 그림 7의 사진들에 대한 신호값을 분석해서 표 1에 정리했다. 표 1의 두번째 칸 Average brightness의 값은 사진의 평균 밝기강도를 밝기강도의 최대값인 $\sqrt{255^2 + 255^2 + 255^2}$ 로 나눠준 값이다. 0~1 사이의 값으로 표현되고, 1에 가까울수록 밝은 사진임을 의미한다. 이 값을 통해 영상들 간의 밝기의 차이를 확인할 수 있다. 표 1의 세번째 칸에서 Average R:G:B의 값은 세가지 색상 R, G, B의 평균을 비교하여, 비율로 나타낸 값이다. 이 값을 통해 영상 간의 색상



(a)



(b)

그림 6. 장애물(손)의 유무에 따른 밝기 변화
Fig. 6. Change of brightness according to obstacle (hand)



그림 7. 카메라 촬영 방향에 따른 영상들 비교
 Fig. 7. Pictures according to the direction of the camera

표 1. 비슷한 사진들의 평균 밝기값 및 삼원색 구성 비율 비교
 Table 1. Comparison of the averaged brightness and three primary colors in similar pictures

Images	Average brightness	Average R : G : B
Fig 6 (a)	0.6413	0.58 : 0.35 : 0.07
Fig 6 (b)	0.3135	0.64 : 0.25 : 0.01
Fig 7 (a)	0.4882	0.35 : 0.33 : 0.32
Fig 7 (b)	0.7557	0.34 : 0.33 : 0.33

차이를 확인할 수 있다.

360 VR 파노라마 사진은 모든 방향에서 카메라 위치를 옮겨가며 찍기 때문에, 그림 6과 그림 7에서 관찰되는 밝기 및 칼라 신호값 차이의 정도가 일반 파노라마 영상들의 경우보다 더욱 크게 발생한다. 하지만, 기존 Gain-based 과 Block Gain-based 노출보상 알고리즘들은 오직 오버랩 영상의 평균 밝기 강도 값만을 노출보상 계산에 사용되기 때문에, 밝기를 제외한, 색상, 대비(contrast)를 보상하는 기능을 하지 못한다. 뿐만 아니라, 급격한 밝기 변화를 가진 영상들은 노출보상의 한계가 있다. 360도 파노라마의 경우, 밝기가 가장

높은 곳과 밝기가 가장 낮은 곳의 차이가 크기 때문에, 360도 파노라마사진을 위한 노출보상으로 적합하도록 기존 노출보상의 개선이 필요하다.

IV. 제안하는 노출 보상 알고리즘

본 논문에서 제안하는 노출보상 기법은 기존의 Gain-based 노출보상의 전처리 과정으로써 ‘색상보정’과 ‘밝기보정’ 과정을 추가한 것으로, 색상 대비의 차이를 보상하며, 급격한 밝기변화가 나타나는 영상의 경우 전체적으로 밝기 균형을 맞추게 된다. 또한 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 기존 기술들보다 복잡도를 낮추어서, 노출보상의 실행시간이 짧아지도록 만드는 것을 목표로 한다. 본 장에서는 앞의 II장에서 그림 3과 그림 4를 이용해서 설명한 기존 알고리즘을 어떻게 개선시켰는지를 설명한다. 본 장에서 설명하는 기호는 II장에서 사용한 것과 같은 기호들이다.

1. 색상 보정

컬러영상은 빛의 삼원색인 R, G, B의 값으로 구성된다. 제안하는 색상 보정은 각 영상의 R, G, B 값들의 비율을 전체 영상들의 평균적인 R, G, B 비율에 가깝도록 조정하는 단계이다. 이 과정을 통해 오버랩 되는 영상 간의 색상차이를 줄일 수 있다. 본 논문에서 설명하는 아래 식들은 R, B, G 모두에 해당하는 식으로, 본 논문에서는 설명을 간략하게 하기 위해 R의 식만 표시하였다. 나머지 G와 B에 대해서도 같은 방식으로 처리하면 된다.

제안하는 기술의 첫 단계에서는, 모든 영상들에 대해 R (빨강), G(초록), B(파랑) 값의 평균을 계산한다. n번째 영상 내의 모든 화소값의 R, G, B 값에 대해 평균을 계산한 것을 R_n, G_n, B_n 이라 한다. 모든 영상들의 R_n, G_n, B_n 값들의 평균값 $avg(R_n), avg(G_n), avg(B_n)$ 을 식(8)과 같이 계산한다. 여기서 IN는 이미지 개수를 의미한다.

$$avg(R_n) = \frac{\sum R_n}{IN} \quad (8)$$

위와 같이 계산된 값들을 이용하여 n번째 영상의 $p(R_n), p(G_n), p(B_n)$ 을 계산한다.

$$p(R_n) = \frac{R_n}{avg(R_n)} \quad (9)$$

$p(R_n), p(G_n), p(B_n)$ 을 이용하여, n번째 영상 내의 각 픽셀의 R, G, B 값인 $R_n(x,y), G_n(x,y), B_n(x,y)$ 을 아래 식과 같이 업데이트 시킨다. $\tilde{R}_n(x,y)$ 는 업데이트된 픽셀값이다.

$$\tilde{R}_n(x,y) = \frac{3}{1/p(R_n) + 1/p(G_n) + 1/p(B_n)} \times \frac{R_n(x,y)}{p(R_n)} \quad (10)$$

식 (10)을 상세히 보면, $R_n(x,y), G_n(x,y), B_n(x,y)$ 을 각각 $p(R_n), p(G_n), p(B_n)$ 로 나눠주는 것은 영상의 색상비율을 전체 영상의 평균 색상비율에 가깝도록 변화시키기 위함이다. 그리고 모든 색상에 대해 $\frac{1}{1/p(R_n) + 1/p(G_n) + 1/p(B_n)}$ 을 곱해주어 $1/p(R_n)$ 의 곱으로 변하는 $R_n(x,y)$ 의 크기를 보정해 주는 기능을 한다.

위의 식 (10)을 통해 $R_n(x,y), G_n(x,y), B_n(x,y)$ 을 업데이트 하면, n번째 영상의 평균 R, G, B 비율이 전체 모든

영상에 대한 평균 R, G, B 비율에 가깝게 조절된 색상보정 영상을 얻을 수 있다.

이 때 업데이트 시키는 경우는 n번째 영상의 픽셀의 $R_n(x,y), G_n(x,y), B_n(x,y)$ 의 합 $S_n(x,y)$ 이 아래에서 정의한 임계값(threshold)보다 낮다는 조건을 만족시킬 때만 해당된다.

$$S_n(x,y) = R_n(x,y) + G_n(x,y) + B_n(x,y) < threshold \quad (11)$$

$$threshold = I_n \times \min(\mu_1, (|Cr_{min} - Cr_{max}| - 0.5)^2) \quad (12)$$

Cr_{min} 은 모든 영상의 R_n, G_n, B_n 중에서 각각 최소값인 $\min(R_n), \min(G_n), \min(B_n)$ 을 이용하여 YCrCb 색상공간의 Cr을 계산한 것이다⁴⁾. 마찬가지로 Cr_{max} 은 모든 영상의 R_n, G_n, B_n 중에서 최대값인 $\max(R_n), \max(G_n), \max(B_n)$ 을 이용하여 YCrCb 색상공간의 Cr을 계산한 것이다¹⁰⁾. I_n 는 n번째 영상의 평균밝기강도이다. $S_n(x,y)$ 가 굉장히 높을 경우 위와 같은 R, G, B의 값을 갱신시키는 것이 오히려 무채색에 가까워 질 수 있기 때문에, $S_n(x,y)$ 가 일정량 이상인 픽셀은 위의 계산에서 제외시켜야 한다.

2. 밝기 보정

밝기 보정은 각 영상의 밝기강도 값이 전체영상들의 평균 밝기강도 값에 가까워지도록 조정하는 과정이다. 이 과정을 통해 영상 간의 대비(contrast)의 차이와, 급격한 밝기 변화에 효과적으로 대응할 수 있다.

밝기 보상은 간단히 $R_n(x,y), G_n(x,y), B_n(x,y)$ 값에 보정비율 α 을 곱한 값을 x행, y 열 위치의 픽셀의 색상채널 값으로 저장하면 끝난다. 즉, 단순히 원래 픽셀 값에 가중치를 곱해 $\tilde{R}_n(x,y)$ 로 업데이트 시키는 과정이다.

$$\tilde{R}_n(x,y) = \alpha \times R_n(x,y) \quad (13)$$

α 는 식(15)과 같이 계산된다.

$$m = \sqrt{255^2 \times 3} \quad (14)$$

$$\alpha = \left(1 - \frac{S_n(x,y) - avg(I_n) + I_n}{m}\right) \frac{1.2m}{avg(I_n)} + \sqrt{\frac{m + avg(I_n)}{m + S_n(x,y)}} \quad (15)$$

여기서 $avg(I_n)$ 는 식(1)과 유사하게 모든 영상의 평균

이다. 식(15)의 각 항의 의미를 보면, $\sqrt{\frac{m + \text{avg}(I_n)}{m + S_n(x,y)}}$ 항은 1에 가까운 값으로 현재 픽셀의 밝기 대비 전체 영상의 밝기 평균이 클수록 큰 값을 가지는 항이다. 그리고 여기서 $(1 - \frac{S_n(x,y) - \text{avg}(I_n) + I_n}{m})$ 항을 더해, 현재 영상 안의 개개의 픽셀들의 밝기 분산을 줄이고, 전체 영상에 대해 각각의 영상들의 평균밝기 분산을 줄이는 효과가 준다. 하지만, 어두운 영상의 경우 밝기가 크게 밝아지는 경향을 보이기 때문에, $\frac{1.2m}{\text{avg}(I_n)}$ 를 지수로 사용하여 현재 영상의 평균 밝기가 어두울수록 가중치가 작아지도록 하였다. 이를 통해 밝기가 심하게 밝아지는 문제를 보완하였다.

색상보상과 마찬가지로, 업데이트 시키는 경우는 n번째 영상의 픽셀의 $R_n(x,y), G_n(x,y), B_n(x,y)$ 값의 합인 $S_n(x,y)$ 은 아래에서 정의한 임계값(threshold) 보다 낮다는 조건을 만족시킬 때만 해당된다.

$$S_n(x,y) < \text{threshold} \quad (16)$$

$$\text{threshold} = \text{avg}(I_n) \times \min(\mu_2, (\frac{\max(I_n)}{\min(I_n)})^2) \quad (17)$$

$\min(I_n)$ 와 $\max(I_n)$ 는 각각 모든 I_n 중의 최소값, 최대값에 해당한다.

위의 밝기 보정과 색상보정으로 픽셀의 밝기 강도를 업데이트하고, Gain-based 노출보상을 수행하는 것으로 본 논문

에서 제안하는 개선된 노출보상의 알고리즘이 끝난다.

특히 식 (11)과 (16)에는 굉장히 밝은 영역에서의 색상 보정과 밝기보정으로 인한 변화는 시각적으로 민감하게 보일 수 있다는 점을 고려하여, 임계값을 두어 보상 여부를 결정하였다. 만약 임계값을 따로 설정하지 않았다면, 옅은 하늘색 하늘이 회색 하늘로 변할 수 있다. 하지만, 임계값을 설정하는 경우, 각 영상은 보상이 적용된 영역과 보상되지 않는 영역이 공존하게 되서 부자연스러운 영상이 만들질 수 있다. 이런 부자연스러움을 최소화 하기위한 임계값을 반복적인 실험을 통해 찾은 결과, 1절 색상보정의 상수 μ_1 는 2.2~2.4 사이의 값일 때, 2절의 밝기보정의 상수 μ_2 는 1.4~1.6 사이의 값을 선택할 때가 가장 자연스러운 영상을 얻을 수 있었다.

3. 제안하는 알고리즘 구성

본 장에서 제안하는 내용을 flowchart로 표현을 하면 그림 8과 같다. Gain-based 노출보상 전에 색상보정과 밝기보정을 모든 영상에 대해 반복해주어야 한다. 색상보정과 밝기보정의 내부알고리즘은 임계값(threshold)과 가중치를 계산하고, 임계값보다 R, G, B의 합이 작은 픽셀에 가중치를 곱해 R, G, B 색상채널의 강도(intensity)값을 갱신하는 과정이다. 다만 색상보정은 색상채널에 따라 곱해지는 가중치가 $R\alpha_n, G\alpha_n, B\alpha_n$ 로 다르지만, 밝기보정에서 색상보정은 세가지 색상에 동일한 가중치인 α 값을 곱해준다.

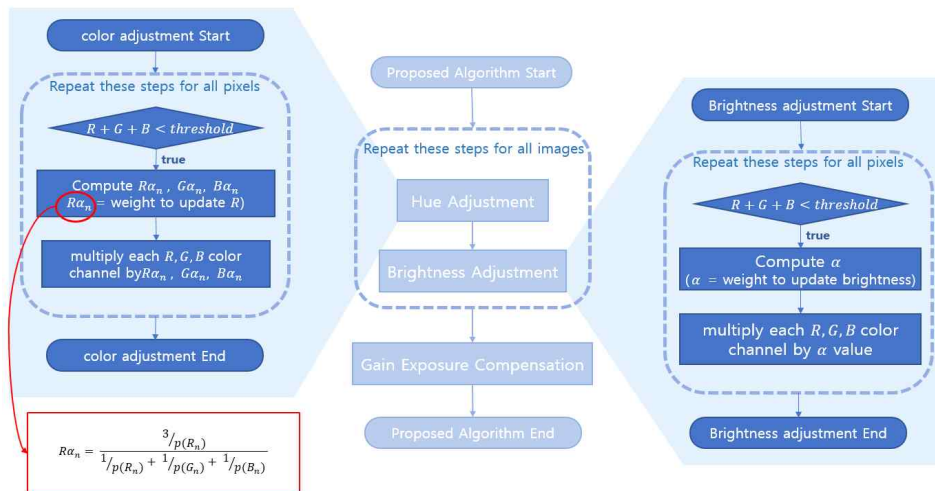


그림 8. 제안하는 알고리즘의 구성도
 Fig. 8. The flowchart of the proposed algorithm

$$R\alpha_n = \frac{3/p(R_n)}{1/p(R_n) + 1/p(G_n) + 1/p(B_n)}$$

그림 8처럼 제한하는 알고리즘은 픽셀 당 가중치를 곱한 후 Gain-based 보상 알고리즘을 실행하는 방법이다. 가중치를 계산하는 방법은 현재 영상과 전체 영상의 색상과 밝기의 평균을 사용하여 구할 수 있다. 기존의 Block-gain based 보상 알고리즘은 Gain-based 보상 알고리즘 보다 좋은 성능을 가지고 있다. 하지만 Block-gain based 보상 알고리즘은 블록으로 나뉘어서 하나의 블록마다 Gain-based 보상 알고리즘을 반복하고, 보간과 저주파 통과 필터까지 필요하기 때문에 동작시간이 굉장히 오래 걸렸다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 위와 같은 차이로 Gain-based 보상 알고리즘의 성능을 보완하고, Block-based 보상 알고리즘의 실행 시간보다 빠르게 동작한다. 다음 V장에서 소요시간의 비교와, 결과 영상의 비교를 통해 성능을 확인할 수 있다.

V. 실험 결과

본 장에서는 IV장에서 제안한 알고리즘을 구현해서 스티칭 프로그램에 적용시켰을 때, 기존의 노출보상 알고리즘과 제안하는 알고리즘의 결과 영상과 동작시간을 통해 성능을 분석하였다. 기존의 알고리즘은 Gain-based 노출보상^[6]과 Block Gain-based 노출보상^[7]이다. Gain-based 알고리즘과 Block Gain-based 알고리즘은 공통적으로 이득(gain)값을 구해 픽셀값을 업데이트는 시키는 알고리즘이다. 한 가지 차이점은, gain 값이 발생하는 단위이다. Gain-based 알고리즘은 gain 값을 영상단위로 구한다. 반면, Block Gain-based 알고리즘은 처음엔 블록단위로 gain값을 구한 다음 컨볼루션과 보간법을 사용해 다시 픽셀단위로 gain값을 구한다는 것이다. 두 알고리즘 모두 일반적으로 비슷한 밝기의 영상의 밝기는 효과적으로 보상되지만, 강한 조명의 영향을 받아 입력영상들의 밝기 차이가 커지면 적절하게 밝기가 보상된 영상을 얻기 어렵다. 제안하는 알고리즘은 이런 문제를 개선하고, 밝기(brightness)만을 보상하던 기존 알고리즘의 기능을 확장해서 색상(hue)까지 보상하는 것을 목표로 하였다. 구현한 알고리즘으로 실제 효과적으로 기능하는 지 확인하기 위해 ‘색상’이 변하는 영상, ‘명도’가 변하는 영상, ‘수평 전방향으로 촬영’한 영상 등을 스티칭 했을 때의 결과영상을 비교하였다. 또한 입력 영상의

개수에 따라 동작시간이 각 알고리즘마다 얼마나 달라지는 분석하였다. 본 장의 그림 15를 제외한 모든 그림에서 (a) 영상은 ‘Gain-based’ 알고리즘을, (b)영상은 ‘Block Gain-based’ 알고리즘을, (c)영상은 제안하는 노출보상 알고리즘을 적용한 결과 영상을 보여준다.

본 실험에서 사용된 테스트 영상들은 삼성 갤럭시 S6 SM-G920K 카메라로 촬영한 영상이다. 그림 9는 540x960 ‘창문 밖’ jpg 영상 43장을, 그림 11은 540x960 ‘책상’ jpg 5장을, 그림 12는 540x960 ‘우측복도’ jpg 3장을, 그림 14는 540x960 ‘9층복도’ jpg 11장을, 그림 15는 540x960 ‘연구실’ jpg 3장을, 그림 16은 960 x 540의 ‘층무관 1층’ jpg 59장을, 그림 17은 540x960 ‘선풍기’ jpg 3장을 스티칭한 결과 영상이다.

그림 9는 기존의 노출보상을 적용한 결과영상과, 개선시킨 노출보상을 적용한 결과영상이다. 파노라마 사진 속 가장 큰 회색 건물을 보면, 촬영 당시 하늘을 향해 찍은 건물은 어둡게 나오고, 아래를 향해 찍을 때는 건물이 비교적 밝게 나온 촬영 영상을 얻었고, 각 노출보상마다 다른 밝기의 결과영상을 확인할 수 있다.

그림 10의 촬영영상들은 밝기 뿐만 아니라 색상까지 차이가 난다. 그림 10을 스티칭하면, 그림 11에서 볼 수 있듯이 왼쪽과 오른쪽이 구분된 영상을 얻게 된다. 컴퓨터, 종이 뿐만 아니라 책상, 파티션 역시 색상 차이가 난다. 기존의 Gain-based 알고리즘과 Block Gain-based 알고리즘을 적용시킬 경우, 색상차이를 보완하는 기능을 전혀 할 수 없기 때문에, 입력 영상의 색상들 간의 차이가 그대로 적용된 파노라마 영상을 얻는다. 하지만 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 적용시켰을 경우에는 책상과 파티션과 같은 색상보정을 수행한 영역에서는 왼쪽과 오른쪽의 색상차가 줄어들었음을 확인할 수 있다. 다만 가운데 종이나 모니터 화면의 경우 식 (11)의 조건을 만족하지 않아 색보정이 이뤄지지 않았다. 식 (11)은 채도가 낮거나 너무 밝은 영역의 경우 색보정을 수행하지 않는다는 조건문이다. 마찬가지로 다른 영상에서도, 조건에 만족되지 않는 영역이 존재한다면 부분적으로 색보정되지 않는 영역이 나타날 것이다.

그림 12는 그림 11과 같이 색상이 차이 나는 영상들을 스티칭한 결과 영상이다. 다만 그림 11과 달리 블렌딩 기능을 없애 영상간의 경계가 명확하게 보이게 하였다. 왼쪽 영



(a) The image stitched by Gain-based compensation



(b) The image stitched by Block Gain-based compensation



(c) The image stitched by the proposed compensatoin

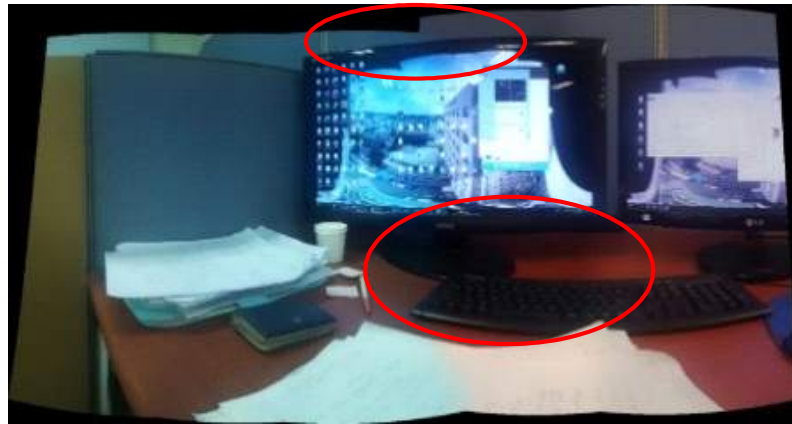
그림 9. 다양한 노출보상 알고리즘들을 이용한 스티칭 영상

Fig. 9. The stitched images resulted from the various compensation algorithms



그림 10. 그림 11의 입력 영상

Fig. 10. Input images for Fig 11



(a)



(b)



(c)

그림 11. 다른 색상의 입력 이미지들을 이용해서 스티칭한 영상들

Fig. 11. The stitched images resulted from the various compensation algorithms with input images having the different colors, (a) The image stitched by Gain-based compensation, (b) The image stitched by Block Gain-based compensation, (c) The image stitched by the proposed compensatoin algorithm

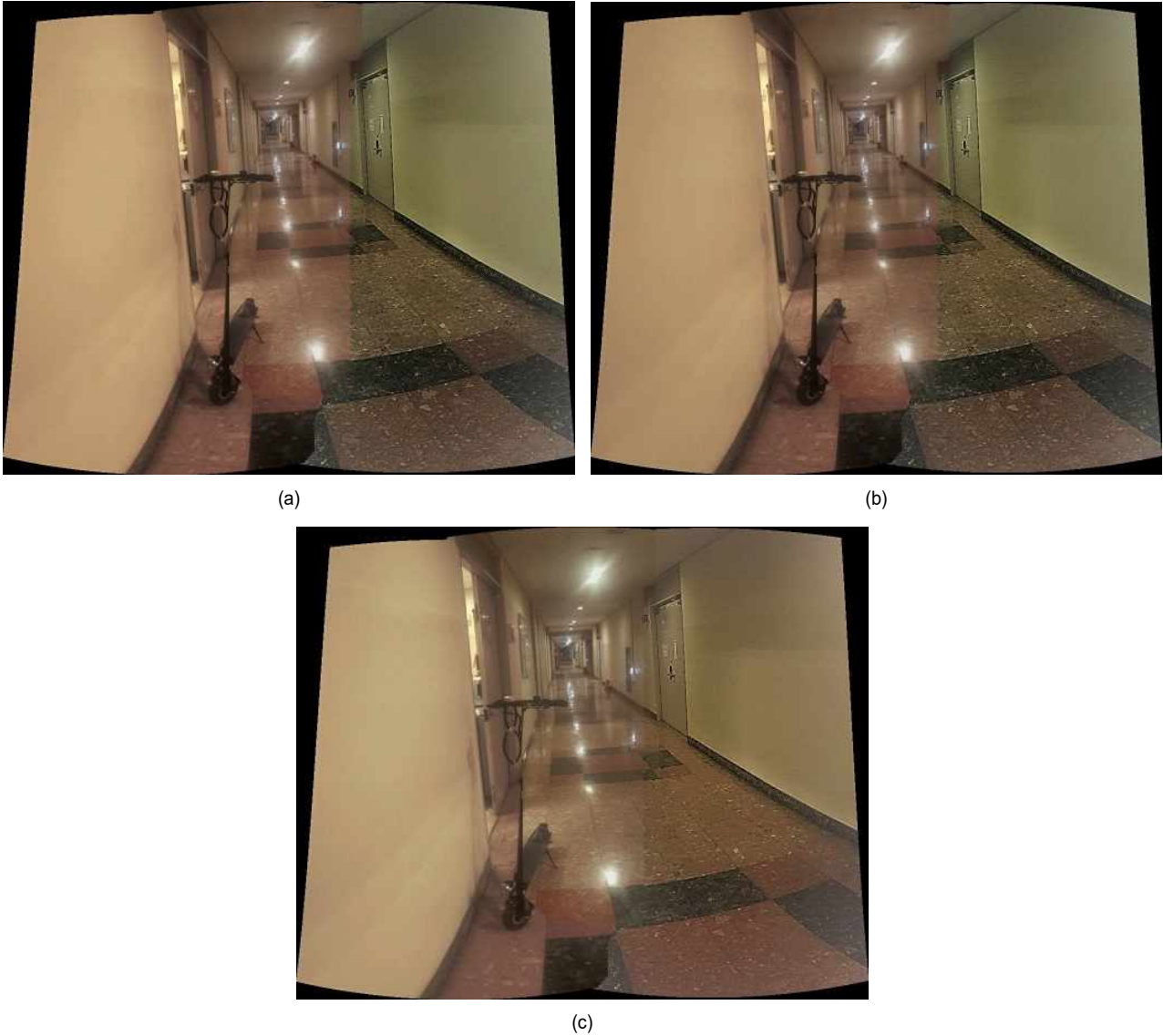


그림 12. 다른 색상의 입력 이미지들을 이용해서 스티칭한 영상들 (복도)

Fig. 12. The stitched images (hallway) resulted from the various compensation algorithms with input images having the different colors, (a) The image stitched by Gain-based compensation, (b) The image stitched by Block Gain-based compensation, (c) The image stitched by the proposed compensation algorithm

상과 오른쪽 영상의 색상이 다르고, 기존의 노출 보상 알고리즘으로는 입력영상간의 구분이 뚜렷하다. 그림 12의 (c) 영상은 제안하는 알고리즘을 통해 얻은 스티칭 영상으로, 앞 선 두 결과 영상보다 비교적 적은 색상 차이를 보임을 확인 할 수 있다.

그림 13의 촬영 영상은 같은 시간, 같은 공간, 같은 조건의 카메라로 찍은 영상이고, 창문에 가깝게 찍을 수록, 창문 주변의 밝기가 급격하게 어두워진다. 창문 뒤의 햇빛이 강하게 투사되기 때문에, 복도의 형태를 알아보기 어려울 정도로 밝기가 낮아진다. 후면에 강한 조명이 있는 피사체 주위를 촬영



그림 13. 그림 14의 입력 영상
 Fig. 13. Input images for Fig 14

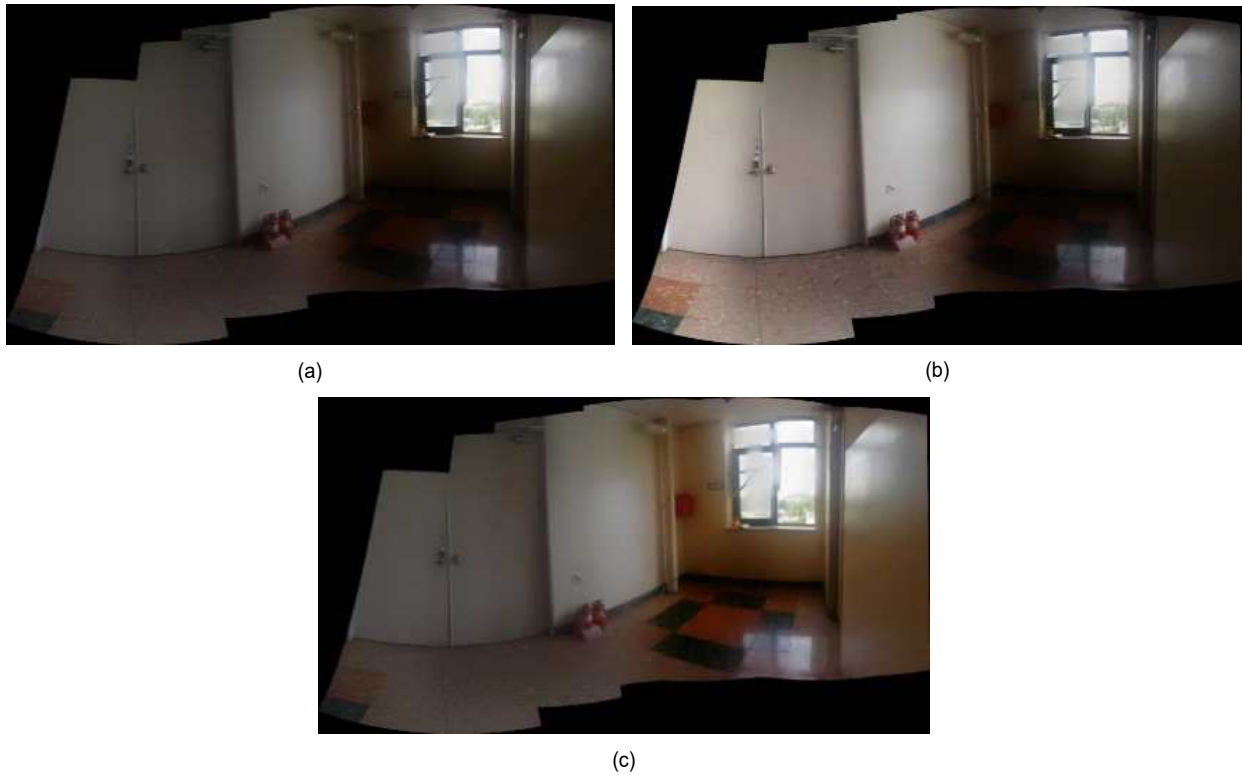


그림 14. 급격하게 밝기가 변하는 입력 영상을 스티칭한 결과
 Fig. 14. The stitched images resulted from the various compensation algorithms with input images having the different brightness, (a) The image stitched by Gain-based compensation, (b) The image stitched by Block Gain-based compensation, (c) The image stitched by the proposed compensation algorithm

한 영상을 입력영상으로 스티칭하면, 피사체 중심으로 밝기와 색상변화가 심한 파노라마사진을 얻게 될 것이다. 그림 14의 (a)와 (b)는 입력 영상의 급격한 밝기 변화가 그대로 결과 영상에 적용되어 밝은 영역과 어두운 영역으

로 눈에 띄게 구분된다. Gain-based 알고리즘을 적용할 경우 주변영상끼리 밝기를 맞추기 때문에 전체적으로 실제보다 어두워진 결과 영상을 얻게 된다. Block Gain-based 알고리즘을 적용할 경우, 왼쪽 문 주변은 실제의 밝기에



그림 15. 밝기와 색상 보정이 모두 필요한 영상의 스티칭 결과

Fig. 15. The stitched images resulted from the various compensation algorithms with input images having the different brightness and color, (a) The image stitched by no compensation, (b) The image stitched by only color compensation, (c) The image stitched by only brightness compensation, (d) The image stitched by the proposed compensation algorithm

가깝고, 선명한 영상을 얻을 수 있지만 창문 주변의 밝기 차이를 더 부각시킨다. 제안된 알고리즘은 영상마다 개별적으로 영상의 밝기를 평균 밝기에 가깝도록 보정을 하기 때문에, 창문 주변과 왼쪽 문 사이의 밝기 차이가 줄어든 결과를 얻을 수 있다.

그림 15 (a)는 노출 보상을 적용하지 않은 결과로 색상 차와 밝기 차이가 커서 영상 간의 경계가 분명히 보인다. 그림 15 (b)는 밝기 보정을 제거하고 색상보상만을, (c)는 색상 보정을 제거하고 밝기 보정만을 적용한 결과이다. 이

결과 영상을 통해 색상과 밝기 보정의 개별적인 기능을 확인할 수 있다. 그림 15 (d)는 색상보정과 밝기 보정이 모두 포함된 제안하는 알고리즘으로 나온 결과 영상으로 그림 15 (a)보다 색상과 밝기 차이가 줄어들었다. 특히 그림 15 (c)와 그림 15 (d)을 비교하여 경계선 부근의 파티션을 통해 색상보정 효과를 볼 수 있고, 그림 15 (b)와 그림 15 (d)을 비교하여 경계선 부근의 파티션이나 바닥의 밝기차이 통해 밝기 보정의 효과를 확인할 수 있다.

그림 16은 수평으로 360도 회전하면서 찍은 블렌딩을



(a) Gain-based compensation



(b) Block Gain-based compensation



(c) Proposed compensatoin

그림 16. 수평의 360도 파노라마
Fig. 16. Horizontality 360 degree panorama

제거한 파노라마 영상으로, 천장의 조명이 포함된 공간을 촬영할 경우 그 조명 주위가 실제보다 어두워진다. 그림 16의 기둥, 벽의 모서리 등에서 보이듯 아래에서 위로 갈수록 어두워진다. 제안된 노출보상 결과영상은 이 문제를 보완하여, 조명근처의 천장이나 벽면, 기둥의 밝기가 밝아진 것을 확인할 수 있다. 하지만, 개선이 되었다고 해도, 제안한

알고리즘과 기존의 알고리즘의 결과영상은 큰 차이가 없어 보인다. 제안한 노출보상 알고리즘은 Gain-based 보상 알고리즘에 색상보정과 밝기보정을 추가한 것이기 때문에, 촬영 영상의 색상차와 밝기차가 심하지 않으면 제안한 두 알고리즘을 각각 적용시킨 결과는 Gain 밝기보상 결과와 비슷할 것이다.



(a) Gain-based compensation



(b) Block Gain-based compensation



(c) Proposed compensatoin

그림 17. 밝기와 색상이 유사한 영상들의 스티칭 영상들

Fig. 17. The stitched images resulted from the various compensation algorithms with input images having the similar colors and brightness

그림 17은 밝기와 색상이 비슷한 입력 영상들로 스티칭한 결과 영상이다. 영상의 색상과 밝기 차이가 적을 경우, Gain-based 보상만으로도 충분히 자연스러운 영상이 출력된다. 이 경우 세가지 노출 보상 기법을 적용한 각각의 결과 영상은 굉장히 비슷하다. 한가지 차이점은 제안한 방법의 결과 영상은 제안하는 밝기보정에 의해 책상아래와 같은 어두운 영역이 더 밝아졌다는 점이다.

표 2. 기존 노출보상 기법들과 제안하는 노출보상 기법의 실행시간 비교
Table 2. Comparison between run times of Gain-based compensation, Block Gain-based compensation, and the proposed compensation algorithms

	Gain-based compensation [sec]	Block gain-based compensation [sec]	Proposed compensation [sec]
Fig 9	0.622	573.667	0.628
Fig 11	0.015	0.136	0.020
Fig 14	0.059	0.719	0.065
Fig 16	0.632	812.519	0.633

표 2는 4가지 영상에 대해 Gain-based과 Block gain-based 보상 알고리즘과 제안 알고리즘의 평균 실행 시간이 다. 평균 실행 시간은 10번의 측정치로 얻은 값이다. Fig 9는 43장, Fig 11는 5장, Fig 14는 11장, Fig 16은 59장의 입력 사진으로 얻은 스티칭 영상이다. 표 2의 수치를 비교하면, Block Gain-based 알고리즘이 Gain-based 알고리즘보다 훨씬 긴 시간이 필요하다는 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 입력 영상 개수가 증가함에 따라 Gain-based 보상보다 Block gain-based 보상의 실행시간이 훨씬 빠른 속도로 증가한다는 것을 알 수 있다. Block gain-based 노출보상은 영상을 블록 개수로 나눈 만큼 Gain-based 알고리즘을 반복하고, 현재 영상과 인접 영상 간의 비교가 아니라, 현재 영상의 현재 블록과 인접 영상의 모든 블록을 비교해서 이득 (gain)값을 얻기 때문에, 입력영상의 개수와 해상도가 증가할수록 Block gain-based 알고리즘의 동작 시간은 기하급수적으로 길어진다.

또한 표 2로 Gain-based 보상과 제안하는 노출보상을 비교해보면, Fig 11과 Fig 14처럼 입력 영상이 적은 경우의

동작 속도의 차이를 확인할 수 있으나, Fig 9 와 Fig 16처럼 입력영상이 많은 경우의 두 알고리즘의 동작시간은 매우 비슷하다는 특징이 있다. 심지어 제안하는 노출보상이 더 적은 동작시간이 걸리는 경우도 있었다. 제안한 노출보상은 Gain-based 알고리즘에 색상보정과, 밝기보정을 추가한 알고리즘이라는 것을 고려하여 위 표의 결과를 확인해보면, 제안하는 노출보상의 밝기 보정과 색상 보정은 Gain-based 보상보다 입력 영상에 따른 실행시간의 증가율이 더 작다는 것을 짐작할 수 있다. 색상보정과 밝기보정은 공통적으로 가중치를 구해 현재 픽셀강도를 업데이트하는 과정이고, 두 알고리즘 모두 가중치를 계산하는 과정은 비교적 단순하기 때문에, Gain-based 노출보상 시간보다 훨씬 짧을 것이다. 만약 입력영상이 굉장히 많을 경우, Gain-based 보상 알고리즘과 제안하는 노출보상 알고리즘의 실행시간 속도 차이는 굉장히 미세할 것이다.

표 3. Fig 11의 0번째 영상과 4번째 영상의 오버랩 영역의 평균 밝기와 색상 비율 비교
Table 3. Comparison of the averaged brightness and three primary colors in the overlap region between image0 and image4 of Fig 11

	Image 0 brightness	Image 4 brightness	Image 0 R : G : B	Image 4 R : G : B
No compensation	0.488	0.438	19 : 37 : 44	30 : 32 : 38
Gain-based compensation	0.506	0.477	19 : 37 : 44	30 : 32 : 38
Block gain-based compensation	0.476	0.444	20 : 37 : 43	30 : 32 : 38
Proposed compensation	0.515	0.495	22 : 36 : 42	30 : 32 : 38

표 3은 표 1과 같이 평균 밝기와 평균 색상 비율을 비교한 표이다. 표 3은 Fig 11 에서 0번째 영상과 4번째 영상의 오버랩 영역 안의 평균 밝기와 색상비율이 네 가지 노출보상의 경우에 대해 얼마나 차이 나는지 알 수 있다. 표 3를 통해 Image0과 Image4의 평균 밝기 차이를 비교했을 때, 제안하는 노출보상 알고리즘이 가장 적은 차이를 보이고, 색상 비율도 가장 닮아 있음을 확인할 수 있다. 다만, 색상 비율의 경우 Fig 9의 0번째 영상과 4번째 영상의 오버랩

영역은 식(11)의 조건에 만족하지 않는 영역이 많아 색상보정이 들어간 영역이 비교적 적다. 이런 이유로 나머지 세가지 노출보상의 색상 비율과 큰 차이는 없어 보인다. 하지만, 조건에 만족하는 영역이 넓은 사진의 경우라면, 색상보정 후 두 영상의 색상비율이 눈에 띄게 닮아 있을 것이다.

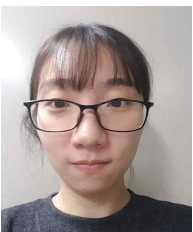
VI. 결 론

기존의 노출보상 알고리즘들의 한계를 보완하기 위해 기존의 Gain-based 노출보상하기 전 단계로써 새로운 색상보정과 밝기보정 과정을 추가하여, 각각의 영상이 전체 영상의 평균 색상비율과 평균 밝기에 가까워지도록 조정하였다. 추가된 과정을 통하여 카메라 위치마다 달라지는 밝기, 색상의 차이를 감소되었음을 확인하였다. 하지만, 제안된 노출보상에도 문제점이 있다. 제안 노출보상으로 얻은 결과영상에는 일부 선명도가 떨어져 책상 무늬, 벽 무늬와 같은 디테일 정보가 사라질 수 있다. 그리고 야외 야간사진과 같이 어두운 환경에서 촬영한 영상을 노출 보상하면 평균적인 밝기는 증가한다. 또한 낮의 하늘, 종이와 같이 밝기가 높을 경우는 색상보정이 효과적이지 않다는 한계점이 있다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] Wei Xu, "Panoramic Video Stitching," *Computer Science Graduate Theses & Dissertations*. 47, 2012.
- [2] Jinwoong Jung, Joon-Young Lee, Byungmoon Kim, and Seungyong Lee, "Upright adjustment of 360 spherical panoramas," *2017 IEEE Virtual Reality*, pp 251 - 252, 2017.
- [3] Myeongah Cho, Junsik Kim, and Kyuheon Kim, "Three-Dimensional Rotation Angle Preprocessing and Weighted Blending for Fast Panoramic Image Method," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 23, No. 2, pp 235- 245, March 2018.
- [4] David G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Key points," *International Journal of Computer Vision*, Vol 60, No 2, pp 91 - 110, November 2004.
- [5] Kaili Chen and Meiling Wang, "Image stitching algorithm research based on OpenCV," *Proceedings of the 33rd Chinese Control Conference*, pp. 7292 - 7297, 2014.
- [6] Matthew Brown and David G. Lowe, "Automatic Panoramic Image Stitching using Invariant Features," *International Journal of Computer Vision*, Vol. 74, No. 1, pp. 59-73, 2007.
- [7] Wei Xu and Jane Mulligan, "Performance Evaluation of Color Correction Approaches for Automatic Multi-view Image and Video Stitching," *2010 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 263 - 270, 2010.
- [8] Meer Sadeq Billah and Ahn Heejune, "Stitching Method of Videos Recorded by Multiple Handheld Cameras," *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 22, No. 3, pp.27-38, June 2017.
- [9] Heung-Yeung Shum and Richard Szeliski, *Panoramic vision*, Springer-Verlag New York, Secaucus NJ USA, pp.227-268, 2001.
- [10] Benoit Payette, "Color Space Converter: R'G'B' to Y'CrCb", *XAPP 637(v1.0)*, September 2002.

저 자 소 개



남 다 운

- 2016년 3월 ~ 현재 : 세종대학교 전자정보통신공학과 학사과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-6573-4932>
- 주관심분야 : 영상 신호처리

저 자 소 개



한 종 기

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