

# 3차원 기하학적 정보를 이용한 다시점 카메라 색상보정

신동원, 호요성  
광주과학기술원 정보통신공학부

{dongwonshin, hoyo}@gist.ac.kr

**초록:** 본 논문에서는 다시점 카메라 시스템의 3 차원 기하학적 구조를 이용하여 다시점 카메라 간의 색상보정을 수행하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 3 차원 워핑을 통해 기준 시점의 화소를 대상 시점으로 보내어 매칭점들을 찾고 이상치를 제거하고 다항 회귀 분석 방법을 이용해 기준 시점과 대상 시점간의 색상 변환 행렬을 구한다. 실험 결과는 인간의 색 인식 체계와 유사한 CIE Lab 색공간에서 수행되었고 제안하는 방법이 기존의 색상보정 방법과 비교하여 기준 시점에 적합하게 색상을 변환하는 것을 확인하였다. 또한 제안하는 색상보정 방법을 3 차원 객체 복원에 적용하여 적용하기 전 보다 매끄러운 색상을 가지는 3 차원 객체를 얻을 수 있었다.

**주제어:** color correction, 3d warping, polynomial regression, 3d object reconstruction

## I. 서론

최근 3차원 영상에 대한 관심이 날로 높아져 가고 있다. 기존의 2차원 영상에서는 느낄 수 없었던 깊이감을 통해 실제 세계의 물체가 실제로 우리의 눈 앞에 있는 듯한 느낌을 주는 3차원 영상은 교육, 광고, 영화, 건축, 의료 등 다양한 분야에서 그 영역을 점차 확대하고 있다. 실제적인 예로, 교육 분야에서는 인체나 조형물과 같은 교육 자료를 3차원 모델로 생성하여 학생들의 학습 이해도를 높여주고 영화 분야에서는 실제 눈 앞에서 배우들이 연기하는 것 같은 느낌을 전해주는 3차원 영화를 제작하여 관객들의 눈을 사로잡고 있다. 또한 최근의 2014년 브라질 월드컵에서는 3차원 영상 처리 기술을 사용하여 공이 골대를 넘어갔는지 심판이 실시간으로 확인할 수 있는 골 라인 판독기가 개발되어 사용되었다 [1].

이러한 3차원 영상을 처리하는 데 있어 다시점 카메라 시스템은 3차원 영상 처리 시스템의 다양한 세부 분야에서 사용되고 있다. 하나의 예로, 다시점 카메라 시스템은 깊이 영상 획득에서 사용될 수 있다. 3차원 영상은 기존의 색상 영상과 더불어 깊이 영상을 포함하는데 깊이 영상을 얻는 방법은 크게 능동형 방식과 수동형 방식의 두 가지로 나뉜다. 그 중 수동형 방식에서 다시점의 색상 영상을 이용하여 스테레오 매칭을 수행

하는 방법을 사용한다. 스테레오 매칭이란 한 쌍의 색상 영상에서 블록 단위로 텍스처 매칭을 수행하여 좌우 시차를 얻어내고 깊이 영상을 획득하는 방법이다. 그런데 다시점의 카메라 시스템으로부터 얻은 색상 영상 사이에는 각 카메라 간의 조명 변화, 영상 센서로부터 기인된 에러와 잡음이 존재한다. 스테레오 매칭의 성능은 색상 영상 사이의 색상 관계가 큰 영향을 미치기 때문에, 두 시점 사이의 색상이 판이하게 차이가 나면 정확한 좌우시차를 얻어내기 어렵다. 또한 우리는 다시점의 컬러 영상과 깊이 영상을 이용해서 3차원의 물체를 가상공간에 재현하는 3차원 객체 복원을 수행할 수도 있다. 이 과정에서 각 시점으로부터 얻은 영상의 색상 차이가 그대로 3차원 객체 복원에서 반영된다면 색상이 자연스럽게 이어지지 않은 객체를 얻게 된다.

색상 불일치 문제를 해결하기 위해서 기존에 다양한 방법들이 제안되었다. 잘 알려진 색상보정 방법으로는 histogram matching 방법이 있다. Histogram matching 방법은 각 시점 영상에서의 histogram을 계산하고 대상 시점의 histogram 분포를 기준 시점의 histogram의 분포와 유사하게 조절하는 방법이다. 다른 방법으로는 X. Xiao가 제안한 global color transfer 방법이 있다. 이 방법은 기준 시점의 화소 값을 3차원의 통계 변수로 고려하여 이미지를 표본공간의 집합으로 설정한다. 그리고 3개의 색 원소(RGB) 사이의 상관 관계를 공분산을 이용하여 얻는다. 이 공분산 행렬에 특이값 분해 방법을 사용하여 변환 행렬을 얻고 이 변환 행렬을 대상 시점에 적용하여 색상보정을 한다 [2].

본 논문에서는 이러한 색상 불일치 문제를 해결하기 위해서 3차원 기하학적 구조를 이용하였다. 먼저 오프라인 과정으로 기준 시점과 대상 시점으로부터 색상 영상과 깊이 영상을 각각 획득한다. 획득된 색상 영상과 깊이 영상의 쌍으로부터 3차원 워핑을 이용하여 기준 시점과 목적 시점 사이의 매칭 쌍을 구한다. 이 매칭 쌍의 결과에서 물체의 가려짐으로 인해 발생한 이상치들을 제거하고 매칭 쌍 사이의 수학적 관계를 다항 회귀 방법으로 얻는다. 이를 통해 우리는 대상 시점에서 매칭점에 포함되지 않은 색상도 기준 시점의 색상으로 변환할 수 있는 색상 변환 행렬을 얻을 수 있다. 이 변환 행렬을 이용해서 모든 대상 시점의 화소를 변환하면 색상이 보정된 영상을 얻을 수 있다.

## II. 제안하는 색상보정 방법

제안하는 방법은 다시점 카메라 시스템에서 카메라의 3차원 기하학적 구조를 이용하여 색상 영상을 보정한다. 그림 1은 제안하는 방법의 흐름도를 나타낸 그림이다.

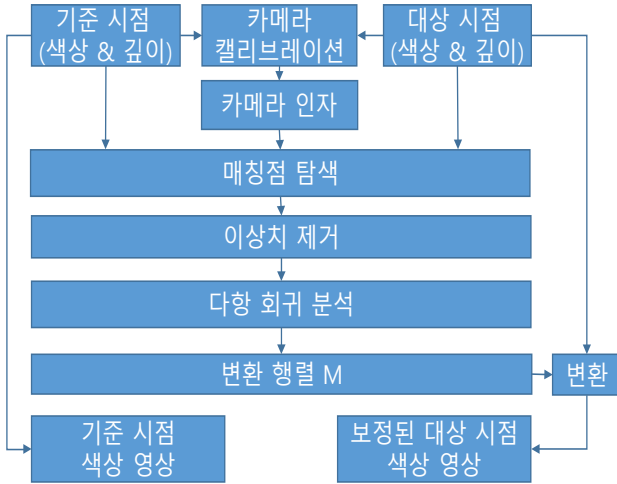


그림 1. 제안하는 방법의 흐름도

먼저 사전 과정으로 다시점 카메라 시스템의 카메라 캘리브레이션 과정을 수행한다. 카메라 캘리브레이션은 평면의 체스보드패턴을 이용하여 영상을 촬영한 뒤 Matlab calibration toolbox를 이용하여 각 카메라의 내부 인자와 외부 인자를 획득한다.

그런 다음 기준 시점과 대상 시점의 카메라로부터 각각 색상 영상과 깊이 영상을 획득한다. 이를 이용하여 기준 시점에서 대상 시점으로 3차원 영상 워핑을 수행하면 두 시점 사이의 매칭점들을 얻을 수 있다. 매칭점들을 얻은 뒤에 가려짐 현상으로 발생하는 이상치들을 제거하고 매칭점들의 색상에 대해 다항 회귀 분석 방법을 수행하면 변환 행렬 M을 얻어 낼 수 있다. 이를 대상 시점의 영상에서 모든 픽셀들에 대해 적용하면 결과적으로 색상이 보정된 영상을 얻을 수 있다.

## III. 3차원 영상 워핑

3차원 영상 워핑은 기준 시점에서 2차원의 깊이 정보를 세계 좌표 계로 표현된 3차원 공간으로 보내 뒤 우리가 관찰하고자 하는 대상 시점으로 옮기는 방법을 말한다. 이를 통해 우리는 기준 시점의 픽셀을 대상 시점으로 보내어 두 시점 사이의 매칭점을 찾을 수 있다. 3차원 영상 워핑을 수행하기 전에 시점간의 카메라 캘리브레이션 과정을 수행하여 카메라의 내부, 외부인자들을 획득해야 한다. 본 논문에서는 평면의 체크무늬 패턴을 이용하여 캘리브레이션 영상을 촬영하였고 Matlab calibration toolbox를 사용하여 카메라의 내부, 외부 인자들을 획득하였다 [3]. 그림 2는 3차원 워핑을 설명하는 그림이다 [4].

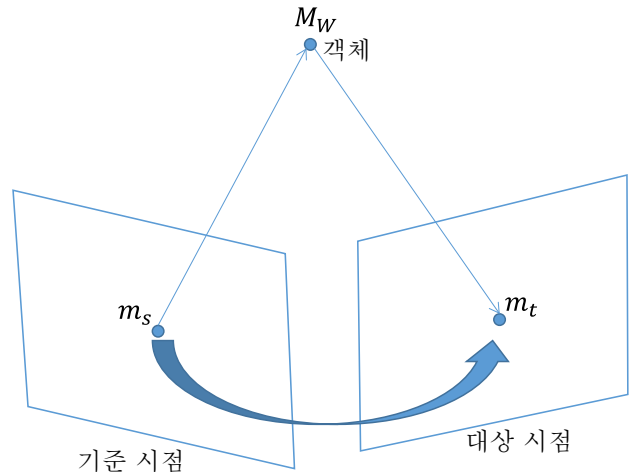


그림 2. 3차원 워핑

먼저 기준 시점에서의 화소  $m_s$  를 3 차원 공간상으로 보내 주는 작업을 하기 위해 식 (1)과 같은 연산을 수행한다.

$$M_W = R_s^{-1} A_s^{-1} \tilde{m}_s - R_s^{-1} t_s \quad (1)$$

여기서 행렬  $A$  는 카메라의 내부 인자를 의미한다. 행렬  $R$  은 외부 인자의 회전행렬을 의미하고  $t$  는 이동행렬을 나타낸다. 아래 첨자로 들어가 있는  $s$  는 기준(source) 시점을 뜻하고  $t$  는 대상(target) 시점을 의미한다.  $\tilde{m}$  은 2 차원 평면에서의 좌표를 그 위치에서의 깊이 값을 이용하여 동차 좌표계로 나타낸 것을 의미한다. 이 식 (1)을 이용하면 기준 시점의 2 차원 좌표가 3 차원 공간상에서 어디에 위치하는지를 파악 할 수 있다.

다음으로 3 차원 공간으로 이동된 화소를 대상 시점으로 보내주는 작업을 하기 위해 식 (2)와 같은 연산을 수행한다.

$$\tilde{m}_t = A_t R_t M_W + A_t t_t \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)를 이용하여 최종적으로 기준 시점의 화소의 위치로부터 대상 시점의 화소 위치를 얻어내는 식을 구성하면 식 (3)과 같다.

$$\tilde{m}_t = A_t R_t R_s^{-1} A_s^{-1} \tilde{m}_s - A_t R_t R_s^{-1} t_s + A_t t_t \quad (3)$$

이 식을 이용하여 두 시점간의 매칭점들을 얻어내면 매칭점 사이의 수학적인 색상 관계를 계산할 수 있다.

## IV. 다항 회귀 분석

회귀 분석이란 통계학에서 주로 사용되는 용어로서 측정된 관찰 값들에 대해서 독립변수와 종속변수 사이의 상관 관계를 나타내는 관계식을 구하는 기법을 말한다. 특히 다항 회귀 분석은 독립변수와 종속변수 사이의 상관 관계를 선형관계식이 아닌 다항식으로 표현함으로써 비선형적인 관찰 값에 대해서도 선형관계식보다

더 자연스럽게 나타낼 수 있게 해준다.

본 연구에서는 기준 시점에 존재하는 매칭점의 색상을 구성하는 값인  $r$ (빨강),  $g$ (초록),  $b$ (파랑) 값과 대상 시점에 존재하는 매칭점의  $r, g, b$  값 사이의 관계를 계산하였다. 먼저 대상 시점에 있는 화소의  $r$  값에 대해서 다항 회귀 분석을 수행하기 위해 식 (4)와 같이 벡터  $\mathbf{X}_r$  을 구성한다 [5].

$$\mathbf{X}_r = [\mathbf{1} \quad r \quad r^2 \quad r^3 \quad r^4 \quad r^5] \quad (4)$$

그리고 나서 식 (5)와 같은 normal equation 방법을 이용하여 R에 대한 변환행렬을  $\mathbf{M}_r$  을 구한다.

$$\mathbf{M}_r = (\mathbf{X}_r^T \mathbf{X}_r)^{-1} \mathbf{X}_r^T \mathbf{Y}_r \quad (5)$$

여기서  $\mathbf{Y}_r$  은 대상 시점에 존재하는 매칭점들의 화소 값들 중 R값들을 이용해서 만든 벡터이다. 최종적으로 변환행렬  $\mathbf{M}_r$  을 구해서 매칭점에 속하지 않는 화소들에 대해서도 변환을 수행할 수 있다.

이와 같은 과정을 나머지  $g, b$  값에 대해서도 수행하면 각각에 해당하는 변환 행렬  $\mathbf{M}_g, \mathbf{M}_b$  를 얻을 수 있다.

### V. 실험 결과

실험 환경은 다음과 같다. 먼저 전면에 수렴형으로 배치된 3대의 Kinect로부터 영상을 얻어온다. 색상 영상과 깊이 영상의 크기는 640x480이다. 영상에는 X-Rite사의 Munsell 색상표가 촬영되도록 하여 각 시점간의 색상을 정확하게 비교해 볼 수 있도록 하였다 [6]. 표 1은 제안하는 방법과 기존의 방법을 비교하여 나타낸 표이다. 각 시점으로부터 얻은 원본 영상들을 비교하여 보았을 때 대상 시점들이 기준 시점보다 좀더 어둡게 나온 것을 알 수 있다. 이를 기존의 방법인 global color transfer와 histogram matching을 이용하여 색상보정을 한 영상과 비교하였다. 각 방법들이 대상 시점의 색상을 기준 시점의 색상에 맞게 보정을 해주어 다소 밝게 나온 것을 확인할 수 있다. 하지만 육안으로는 어떤 방법이 잘 보정을 수행하였는가를 판별하기 어렵다. 따라서 수치적인 비교를 수행한 것을 표 2에 나타내었다. 표 2는 각 영상을 CIE Lab 색 공간으로 변환하고 색상표에 나타나는 24개의 색에 대해서 기준 시점의 색상과 대상 시점의 색상 간의 Euclidean 거리를 계산해서 그 평균값을 나타낸 것이다. CIE Lab 색 공간은 국제조명위원회에서 규정한 색상 공간으로 인간의 시각 체계와 매우 가깝게 설정되어 있어 사람이 느끼는 색상 차이를 표현할 때 많이 사용되는 색상 공간이다. 그림 3은 표 2를 시각적으로 표현한 막대그래프이다 [7].

표 1. 제안하는 방법과 기존의 방법 그림 비교

	대상 시점 1	기준 시점	대상 시점 2
원본			
Global color transfer			
Histogram matching			
제안하는 방법			

표 2. 제안하는 방법과 기존의 방법 수치 비교

	대상 시점 1	대상 시점 2
보정 전	13.0488	10.2544
Global Color Transfer	12.1945	15.0885
Histogram Matching	10.6297	16.6104
제안하는 방법	8.0320	6.4672

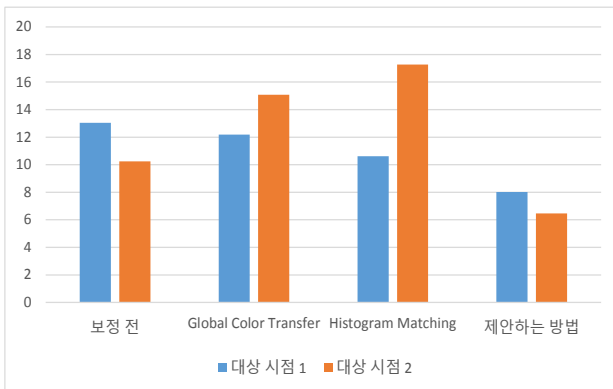


그림 3. 색상보정 결과 비교 그래프

그림 3의 막대그래프를 살펴보면 global color transfer 방법과 histogram matching 방법은 대상 시점 1에 대해서 색상을 일치시키는 방향으로 보정하였으나 대상 시점 2에 대해서는 오히려 불일치시키는 방향으로 색상을 변질시켰다. 그러나 제안하는 방법은 기준 시점과 대상 시점 간의 Euclidean 거리가 가장 가까운 것을 알 수 있다. 이를 통해 제안하는 방법이 기준 시점에 제일 가깝게 색상보정을 수행한 것을 확인 할 수 있다.

다음으로 제안하는 방법에 대한 응용으로 이를 3차원 객체 복원에 적용해보았다 [8]. 그림 4는 제안하는 색상보정 방법을 Kinect 3대를 이용한 다시점 객체 복원 시스템에 적용한 결과이다.



그림 4. 제안하는 방법을 3차원 객체 복원에 적용

색상보정을 수행하기 전에는 옷이나 얼굴 부분에서 시점의 차이 때문에 발생하는 어둡고 밝은 색상 차이 경계가 뚜렷하게 드러나는 것을 확인할 수 있다. 하지만 색상보정을 수행한 후에는 전체적으로 색상이 매끄럽게 연결되는 객체를 얻을 수 있었다.

### VI. 결론

본 논문에서는 다시점 카메라 시스템에서 발생하는 색상 불일치의 문제를 카메라 간의 3차원 기하학적 정보를 이용하여 해결하였다. 먼저 3차원 워핑으로 기준 시점과 대상 시점 간의 매칭점을 획득하고 가려짐 현상에 의해 발생하는 이상치들을 제거하였다. 그리고 이 매칭점들에 다항 회귀 분석 방법을 사용하여 색상 변환 행렬을 획득하였다. 실험 결과는 기존의 방법들과 비교하여 좋은 결과를 보여주는 것을 확인할 수 있었고 제안하는 색상보정 방법을 3차원 객체 복원에 적용하여 각 시점에서의 영상이 부드럽게 이어지는 3차원 객체를 얻을 수 있었다.

### 감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013-067321).

### 참고문헌

- [1] <http://news.discovery.com/tech/gear-and-gadgets/goal-line-tech-to-star-in-world-cup-140613.htm>.
- [2] U. Fecker, M. Barkowsky, and A. Kaup, "Histogram-Based Prefiltering for Luminance and Chrominance Compensation of Multiview Video," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, vol. 18, no. 9, pp. 1258-1267, June 2008.
- [3] <http://www.vision.caltech.edu/bouguetj>.
- [4] W. R. Mark, L. McMillan, and G. Bishop, "Post-rendering 3D Warping," in *Proc. of Symposium on Interactive 3D Graphics*, pp. 7-16, Apr. 1997.
- [5] J.I. Jung and Y.S. Ho, "Improved Polynomial Model for Multi-View Image Color Correction," *The Journal of Korea Information and Communications Society*, vol. 38, no. 10, pp. 881-886, Oct. 2013.
- [6] [http://xritephoto.com/ph\\_product\\_overview.aspx?ID=1192&catid=28](http://xritephoto.com/ph_product_overview.aspx?ID=1192&catid=28).
- [7] S. Gurbuz, M. Kawakita, and H. Ando, "Color calibration for multi-camera imaging systems," *Universal Communication Symposium (IUCS), 2010 4th International*, pp. 201-206, Oct. 2010.
- [8] D. Shin, Y. Ho, "Implementation of 3D Object Reconstruction using a Pair of Kinect Cameras," *Summer Conference Proceeding of The Korean Society of Broadcast Engineers*, July 2014.