

## SURF 알고리즘을 이용한 직교식 스테레오 카메라 영상의 칼라 불균형 보정 방법

이예홍 신형철 손광훈

연세대학교 전기전자공학과

khsohn@yonsei.ac.kr

## Color balancing of the half-mirror-based stereo image by using SURF algorithm

Li, Ruei-Hung Shin, Hyoungchul Sohn, Kwanghoon

School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

## 요약

본 논문에서는 SURF 알고리즘을 이용한 직교식 스테레오 카메라 영상의 칼라 불균형 보정 방법 제안한다. 제안 방법에서는 SURF 알고리즘을 이용하여 스테레오 좌, 우 영상의 대응점을 찾은 후, 찾은 대응점들의 칼라 보정 벡터를 영상 획득 모델을 기반으로 계산한다. 영상 전체에서 다양한 칼라 대응점 정보를 추출하기 위하여 본 논문에서는 분할영상을 이용하여 칼라 대응점 정보를 추출한다. 추출된 대응점 정보는 초기 칼라 보정 벡터로 변환할 수 있으며 좌, 우 영상의 모든 픽셀에 대하여 색정보가 가장 유사한 대응점의 보정 벡터를 사용하여 칼라 불균형을 보정한다. 초기 보정 벡터를 이용한 칼라 불균형 보정 후 존재하는 노이즈를 제거하기 위하여 유사한 색공간에 위치한 칼라 보정 벡터에 가우시안 필터를 적용한다. 실험 결과로 원본 영상과 보정된 영상의 칼라 히스토그램을 비교하였으며, 분할 영역의 수에 따른 보정 결과도 비교 제시하였다. 실험 결과로 제안한 방법이 직교식 스테레오 카메라 영상에 효과적인 칼라 불균형 보정 방법임을 보여준다.

## 1. 서론

최근 3DTV, 3D 영화 등 다양한 3D 콘텐츠의 보급으로, 3D 영상에 대한 관심이 비약적으로 증가하였다. 이러한 흐름에 따라, 보다 더 고품질의 3D 콘텐츠들이 요구 되고 있으며, 3D 영상 획득 기술과 3D 영상 처리 기술 또한 발전하고 있다.

이전의 3D 콘텐츠의 피로도 연구에 따르면, 카메라와 대상 객체의 거리가 가까울수록 스테레오 카메라의 좌,우 카메라 간의 거리(baseline distance) 또한 가까워져야 할 필요성이 있으며, 그렇지 않을 경우, 시청자에게 불편한 입체감을 유발하게 된다.[1, 2] 하지만 크기가 큰 렌즈를 사용하는 스테레오 카메라의 경우 baseline distance를 좁게 하기가 쉽지 않다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 사용되는 대표적인 시스템이 바로 하프미러 기반의 직교식 스테레오 시스템이다. 이 시스템은 빛의 일부는 반사시키고, 일부는 투과시키는 하프미러를 이용해 카메라 두 대를 수직으로 배치할 수 있게 함으로써 좁은 baseline distance를 구현할 수 있게 해준다. 하프미러를 투과한 빛은 우측 카메라에, 반사된 빛은 좌측 카메라에 의해 촬영되는 원리이다.

그림 1은 직교식 스테레오 카메라로 획득한 스테레오 영상이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 하프미러 기반의 직교식 스테레오 영상 획득 시스템의 경우 하프미러에 의해 빛의 경로가 투과와 반사라는 형태로 달라지기 때문에 칼라 불균형 현상이 발생한다. 이런 좌, 우 칼라 불균형이 심각할 경우 불편한 입체감을 유발할 수 있으며, multiview video coding(MVC) [3]에 직접적인 영향을 준다. 좌, 우 영상의 칼라 불균형



그림 1. 직교식 스테레오 카메라 영상

은 좌, 우 영상의 유사도를 낮추게 되고, 따라서 좌, 우 영상간의 변이 벡터를 이용한 압축 과정에서 레지듀얼(residual)값을 증가시킨다. 즉, 레지듀얼 부호화를 위해 많은 압축 용량을 사용하게 되고, 이에 따라 압축 효율은 낮아지게 된다.

본 논문에서는 직교식 스테레오 카메라 시스템으로 획득한 스테레오 영상의 칼라 불균형을 보정하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 분할 영상을 이용한 SURF 알고리즘을 이용하여 좌, 우 영상의 대응점들을 찾아내고, 대응점들의 색 정보를 이용하여 전체 영상의 칼라 불균형을 보정한다. 제안하는 알고리즘은 칼라 불균형 보정 시 발생하는 노이즈를 효과적으로 제거한다. 이 후의 본 논문의 구성은 다음과



그림 2. SURF를 이용한 대응점 추출

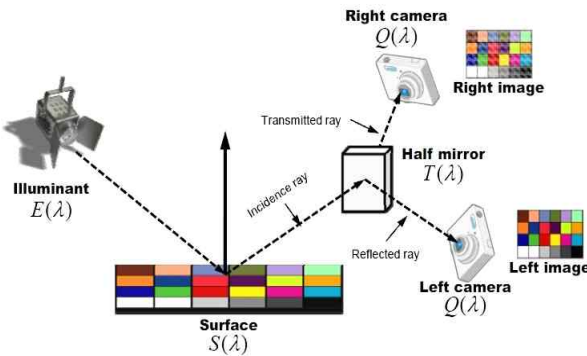


그림 3. 직교식 스테레오 카메라 시스템의 영상 획득 과정

같다. 2장에서 SURF 알고리즘과 직교식 스테레오 카메라의 영상 획득 모델에 대한 배경지식에 대하여 소개한다. 3장에서 본 논문에서 제안하는 칼라 불균형 보정 방법에 대하여 설명하고, 4장에서는 제안하는 방법의 성능을 실험 결과를 통하여 보여준다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## 2. 배경지식

### 2.1 SURF 알고리즘

본 논문에서는 좌, 우 영상에서 신뢰할만한 칼라 샘플을 얻어내기 위하여 SURF(Speeded Up Robust Features) 알고리즘 [4]을 사용한다. SURF 알고리즘은 SIFT(Scale Invariant Feature Transform) 알고리즘의 속도를 향상시킨 알고리즘이다[5]. SURF 알고리즘을 이용하여 좌, 우 영상의 특징점들을 찾아낼 수 있으며, 비슷한 특징점들을 매칭시킬 수 있다. 그림 2는 SURF 알고리즘을 이용하여 스테레오 영상의 특징점을 매칭시킨 예이다. 이와 같이 매칭된 특징점으로부터 색 정보를 알아내어 칼라 불균형을 보정하기 위한 샘플을 모을 수 있다. SURF 알고리즘을 통해 대응점을 찾은 후 이를 유사성이 높은 순으로 정렬한 후, 일정한 수를 뽑아 샘플로 사용한다. 만약 너무 적은 대응점을 샘플로 사용할 경우, 보정에 필요한 만큼의 다양한 샘플을 확보하지 못해 보정 성능이 저하될 수 있으며, 반면 너무 많은 대응점을 샘플로 사용할 경우, 이는 유사도가 낮은 샘플들을 포함할 수 있고, 이 또한 보정 성능을 저하시킬 수 있다.

### 2.2 직교식 스테레오 카메라 시스템의 영상 획득 모델

그림 3은 직교식 스테레오 카메라 시스템이 영상을 획득되는 과정을 나타낸다. 획득한  $i$ 번째 화소의 색정보  $i$ 는, 조명 환경에 의한 빛  $E(\lambda)$ 가  $i$ 번째 화소와 대응되는 객체 표면의 고유 반사

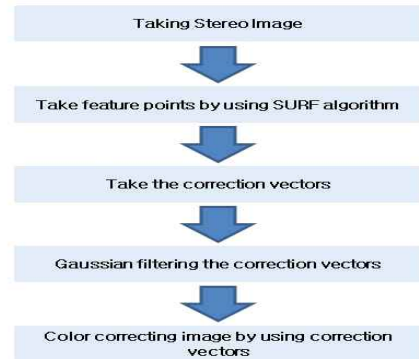


그림 4. 칼라 불균형 보정 과정

계수  $S^i(\lambda)$ 에 따라 반사된 다음, 하프미러의 투과특성  $T(\lambda)$ 에 따라 투과된 빛을 카메라의 광감 특성  $Q_x(\lambda)$ 에 따라 측정된 값에 의해 결정된다. 이와 같은 과정은 Lambertian 반사 모델을 기반으로 식(1)과 같이 모델링 할 수 있다[6].

$$R_x^i = \int E(\lambda) S^i(\lambda) T(\lambda) Q_x(\lambda) d\lambda, x \in \{r, g, b\} \quad (1)$$

$$L_x^i = \int E(\lambda) S^i(\lambda) (1 - T(\lambda)) Q_x(\lambda) d\lambda, x \in \{r, g, b\}$$

$\lambda$ 는 파장을 의미하며, 획득한 좌측 영상의 경우(  $i$  ) 하프미러에서 투과 대신 반사되기 때문에 반사 특성  $1 - T(\lambda)$ 가 적용된다. 그러므로 이 모델에서 칼라 불균형은 하프미러에서 투과( $T(\lambda)$ )와 반사( $1 - T(\lambda)$ )라는 서로 다른 경로차로 인해 발생한다. 따라서 직교식 스테레오 영상의 칼라 불균형을 보정하는 것은 하프미러에서 투과, 반사에 의해 획득된 두 영상을 이용하여 객체에서 반사되어 카메라로 바로 입사되는 빛에 의한 영상을 추정하는 것이다.

## 3. 칼라 불균형 보정 방법

본 논문에서 제안하는 칼라 불균형 보정 방법은 그림 4와 같은 과정을 거친다. 이 장에서는 그림 4의 과정들을 순서대로 설명한다.

### 3.1 영상 분할 및 SURF 알고리즘을 이용한 대응점 추출

기존의 SURF 알고리즘을 이용하여 영상의 대응점을 추출할 경우, 그림 2와 같이 영상의 일부가 복잡한 패턴을 나타낸다면 그 부분에 대응점이 집중될 수 있다. 이렇게 된다면 다양한 색정보의 샘플을 모을 수 없게 되고, 영상 전체 영역에서 좋은 보정 결과를 얻을 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위하여, 본 논문에서는 그림 5와 같이 좌, 우 영상 중 한 영상을 일정한 간격으로 분할하고, 각각의 분할면 안에서 일정한 수의 대응점을 찾아내는 방법을 제안한다. 그림 6은 제안한 방법으로 샘플을 추출한 결과를 보여주고 있다. 이 방법은 다양한 색정보 대응점을 추출하는데 도움을 준다. 하지만 너무 많은 수로 분할하여 샘플을 추출할 경우, 각각의 분할면에서 충분한 수의 샘플을 뽑아내지 못하거나, 대응 색의 유사도가 현저히 떨어지는 샘플을 포함할 수 있기 때문에 성능 저하의 원인이 될 수 있다.

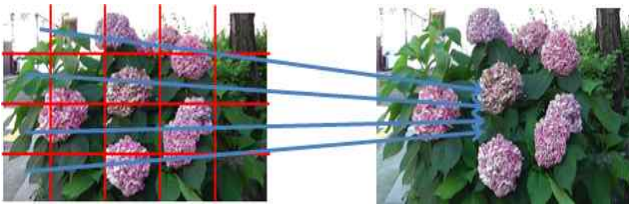


그림 5. 우 영상을 분할하여 좌 영상에 SURF 알고리즘 매칭

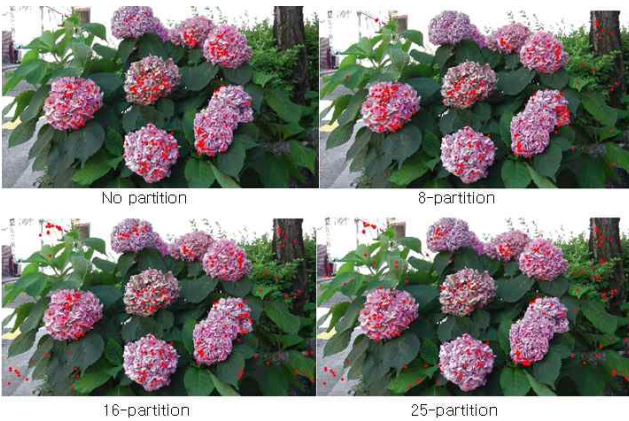


그림 6. 분할 SURF 알고리즘을 적용한 예

### 3.2 RGB 벡터공간을 이용한 보정 벡터 추출

식 (1)로부터 보정된  $i$ 와  $L_x^i$ 을 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{c,x}^i = \frac{R_x^i + L_x^i}{2}, x \in \{r, g, b\} \quad (2)$$

식 (2)를 각각의 r,g,b 성분이 아닌, 하나의 r,g,b벡터로 나타낼 수 있고, 또한 좌측 영상, 우측영상의 한 픽셀에 대한 r,g,b 벡터를 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{R}^i &= \vec{R}^i + \frac{\vec{L}^i - \vec{R}^i}{2} = \vec{R}^i + \hat{c}_r^i \\ \vec{L}^i &= \vec{L}^i + \frac{\vec{R}^i - \vec{L}^i}{2} = \vec{L}^i + \hat{c}_l^i \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)에서  $\hat{c}_r^i$ 와  $\hat{c}_l^i$ 은 각각 우측, 좌측 영상의 보정 벡터(correction vector)이다. 즉, 자기 픽셀의 보정 벡터를 더함으로써 칼라 보정을 할 수 있다. 그러나 영상의 모든 픽셀에 대한 대응점을 찾을 수 없으므로, 보정할 픽셀과 가장 가까운 색정보를 가지고 있는 샘플의 보정 벡터를 보정 벡터로 사용한다. 이를 식으로 나타내면 식(4)와 같으며, 여기서  $\hat{c}_r^i$ 와  $\hat{c}_l^i$ 은 자기 픽셀의 색정보와 가장 비슷한 샘플의 보정 벡터이다.

$$\begin{aligned} \vec{R}^i &= \vec{R}^i + \frac{\vec{L}^i - \vec{R}^i}{2} = \vec{R}^i + \hat{c}_r^i \\ \vec{L}^i &= \vec{L}^i + \frac{\vec{R}^i - \vec{L}^i}{2} = \vec{L}^i + \hat{c}_l^i \end{aligned} \quad (4)$$

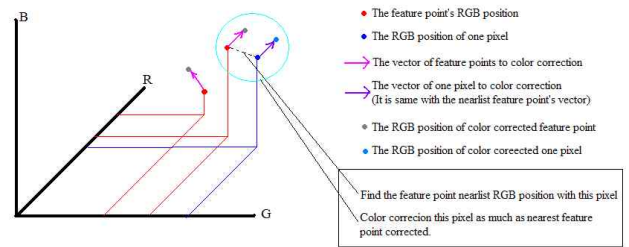


그림 7. RGB 색 공간을 이용한 칼라 불균형 보정

이러한 과정을 그림으로 나타내면 그림 7과 같다. 그림 7은 r,g,b 벡터 공간에서 자기 픽셀의 색정보와 가장 가까운 샘플의 보정 벡터를 가져와 자기 픽셀의 색정보를 보정하는 과정을 나타낸다.

### 3.3 노이즈 제거를 위한 색공간 가우시안 필터링

앞에서 구한 보정 벡터를 바로 사용하여 칼라 불균형을 보정할 경우 노이즈가 발생할 수 있다. 이러한 노이즈는 인접 픽셀의 보정벡터가 상이할 경우, 그 차이에 의해 발생한다. 이러한 노이즈가 발생하는 원인을 제거하기 위해 보정 벡터의 크기가 매우 클 경우 부적절한 벡터로 볼 수 있기 때문에 크기를 제한하는 방법을 사용할 수 있다. 하지만 좌, 우 영상의 칼라 불균형 정도가 매우 큰 경우, 이러한 보정 벡터들이 타당할 수 있으며, 충분한 수의 샘플을 확보하지 못할 수 있기 때문에 한계가 있다. 따라서 본 논문은 노이즈 제거를 위하여 보정 벡터의 크기가 매우 큰 샘플들을 사용하지 못하도록 제한함과 동시에 보정 벡터들에 대하여 색공간에서 가우시안 필터링을 하는 방법을 제안한다. 가우시안 필터는 대표적인 지역 통과 필터로써 영상 처리에 사용할 경우 영상의 고주파 성분을 제거하기 때문에 전체적으로 스무딩(smoothing)되는 효과가 있다. 우리는 인접 픽셀의 보정 벡터간의 현저한 차이에 따른 영상 왜곡을 제거하기를 원하기 때문에, 보정된 영상 전체가 아닌 색공간에 존재하는 보정 벡터에 대해서만 가우시안 필터링을 사용하는 것이 타당하다. 따라서 가우시안 필터링을 적용하여 식 (4)를 식 (5)로 다시 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \vec{R}^i &= \vec{R}^i + \frac{\vec{L}^i - \vec{R}^i}{2} = \vec{R}^i + G^* \hat{c}_r^i \\ \vec{L}^i &= \vec{L}^i + \frac{\vec{R}^i - \vec{L}^i}{2} = \vec{L}^i + G^* \hat{c}_l^i \end{aligned} \quad (5)$$

식 (5)에서 G는 가우시안 필터이며, 이는 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma}} \quad (6)$$

## 4. 실험 결과 및 분석

### 4.1 영상 분할 및 SURF 알고리즘을 이용한 대응점 추출 결과

영상 분할을 이용한 대응점 추출은 그림 2과 같이 샘플이 심각하게 일정 부분에 집중되는 경우에 대하여 매우 좋은 성능을 보인다. 그



그림 8. 영상 미분할시(상)와 분할시(하)의 칼라 불균형 보정 결과



그림 9. 그림 8의 부분 확대 영상

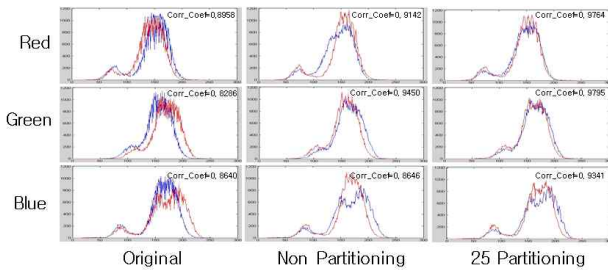


그림 10. 영상 분할에 따른 칼라 불균형 보정 결과의 스펙트럼



그림 11. 보정 노이즈 필터링 결과

림 8은 영상을 분할하지 않고 대응점 샘플을 획득해 보정 했을 때(상)와 분할하고 대응점 샘플을 획득해 보정 했을 때(하)의 결과이다. 주목해야 할 부분은 영상의 좌측 하단의 콘크리트 부분이며 이 부분을 확대하여 그림 9에 나타내었다. 이 부분은 다른 부분보다 눈에 띄게 불균형하며, 영상 미분할시 대응점 샘플을 거의 획득할 수 없었다. 하지만 영상을 분할하면 보정에 필요한 충분한 대응점을 확보할 수 있었다. 그림 10은 그림 9에 나타낸 부분 영상의 히스토그램과 히스토그램의 상관 계수를 나타낸 것이다. 그림 10에서 볼 수 있듯이 분할을 하지 않았을 때 원본과 비교하여 상관 계수가 조금 높아지거나 거의 같음을 알 수 있다. 하지만 분할했을 때 상관계수가 크게 높아짐을 볼 수 있다.

#### 4.2 노이즈 제거를 위한 색공간 가우시안 필터링 결과

그림 11은 노이즈 제거를 위한 필터링의 결과를 보여주고 있다. 그림 11의 왼쪽 영상은 보정 벡터만을 사용하여 보정한 결과이다. 그림에서 알 수 있듯이 잎사귀 부분에서 눈에 띄는 색왜곡을 관찰할 수 있다. 그림 11의 오른쪽 영상은 보정 벡터에 제안한 노이즈 제거 필터링을 적용한 결과이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 제안한 노이즈 제거 필터링 처리 후 본래의 영상의 화질과 근접한 수준으로 칼라 불균형이 보정된다.

#### 5. 결론

본 논문에서는 직교식 스테레오 카메라 시스템으로 획득한 스테레오 영상의 칼라 불균형을 보정하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 충분히 칼라 대응점 샘플을 얻기 위하여 한쪽 영상을 분할하여 SURF 알고리즘을 적용하였다. 또한 잘못된 대응점으로 인해 발생하는 보정 노이즈를 효과적으로 제거하는 필터링 방법을 제안하였다. 실험의 결과는 제안한 방법이 효과적으로 칼라 불균형을 보정하였음을 보여준다.

#### 6. 참고 문헌

- [1] F. Kooi and A. Toet, "Visual comfort of binocular and 3D displays," *Display* 25, pp.99-108, 2004
- [2] F. Speranza, W. Tam, R. Renaud, and N. Hur, "Effect of disparity and motion on visual comfort of stereoscopic images," in *Proc. of SPIE*. vol. 6055, pp.94-103, 2006
- [3] Vetro, A. Wiegand, and T. Sullivan, G.J., "Overview of the Stereo and Multiview Video Coding Extensions of the H.264/MPEG-4 AVC Standard," *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 4, pp. 626-642, 2011
- [4] Herbert Bay, Andreas Ess, Tinne Tuytelaars, Luc Van Gool "SURF: Speeded Up Robust Features", *Computer Vision and Image Understanding (CVIU)*, Vol. 110, No. 3, pp. 346-359, 2008
- [5] Lowe, David G. (1999). "Object recognition from local scale-invariant features". *Proceedings of the International Conference on Computer Vision*. 2. pp. 1150 - 1157.
- [6] Ukil Yang, Bongjoe Kim, Kar-Ann Toh, and Kwanghoon Sohn, "Illumination Invariant Color Space and its Application to Skin-color Detection," *Optical Engineering*, vol. 49, no. 10, pp.107004-1~107004-10, 2010