

주관적 평가를 사용한 양안식 영상의 색상 불일치 평가 방법

*황수진, *허진, **강경희, **김학해, **주성범, *호요성

*광주과학기술원 정보통신공학과, **LG전자 MC 사업본부 MC 연구소

*{soojin, jinheo, hoyo}@gist.ac.kr, **{kh.kang, hae.kim, sungbum.joo}@lge.com

Evaluation Method for Color Mismatch in Stereo Image using Subjective Assessment

*Soo-Jin Hwang, *Jin Heo, **Kyunghee Kang, **Hak Hae Kim, **Sung-Bum Joo, *Yo-Sung Ho

*Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

**MC R&D Center, Mobile Communications Company, LG Electronics Inc.

요약

본 논문에서는 시청자의 색상 특성을 고려하여 양안식 영상에서의 색상 불일치를 예측하는 방법을 제안했다. 먼저 색상 불일치 예측을 위한 주관적 평가로 색상 민감도 평가를 수행했다. 기본 세 채널 색 R, G, B에 대해 각각의 색상의 오차 범위를 결정한 후, 이를 기반으로 관심도와 복잡도를 평가하여 보다 세밀한 주관적 평가를 수행했다. 실험 결과를 통해 제안한 방법이 기존의 색상의 품질을 평가하기 위해 사용하는 유클리디안 색 거리 계산 방법과 US & Canadian Government Printing Offices의 품질 수준 규격(Quality Level Specifications)을 이용한 방법보다 효율적으로 색상 불일치 여부를 평가함을 확인했다.

1. 서론

최근 2차원 영상에서는 느낄 수 없었던 입체감과 몰입감을 제공하는 3차원 영상 서비스에 대한 사용자들의 관심이 증대되고 있다. 3차원 콘텐츠를 제작하기 위해서는 두 대 이상의 카메라를 사용하여 다시점의 영상을 촬영해야 한다. 양안식 영상은 기존의 단일 시점 영상과 달리, 동일한 장면을 두 대의 카메라를 통해 촬영하여 사용자에게 다양한 시점에서의 입체감과 몰입감을 제공할 수 있는 장점이 있다. 하지만 두 대의 카메라를 사용하기 때문에 카메라의 설정과 수광 센서의 차이에서 기인하는 색상 불일치 문제가 발생한다.

색상 불일치 문제는 같은 물체의 색상 분포가 시점에 따라 달라지는 현상으로 같은 기종의 카메라를 이용하여 같은 설정으로 촬영하더라도 발생하게 된다. 이는 사용자에게 시점 간 색상 차이로 인한 부자연스러움을 느끼게 함은 물론 이후 진행되는 여러 영상처리 과정에서 문제를 발생시킨다. 또한, 이와 같은 불일치 문제가 해결되지 않은 3차원 영상을 시청할 경우, 구토, 두통, 어지럼증 등의 3차원 멀미 증상과 같은 심각한 부작용이 발생할 수 있다. 과거 3차원 산업의 초창기부터 현재까지, 3차원 산업의 지속적인 발전을 저해하는 가장 큰 장애물 중 하나가 바로 3차원 영상물이 유발하는 시각 피로감과 같은 안전성과 관련된 문제이다. 이러한 부작용을 최소화하기 위하여 3차원 콘텐츠를 시장에 출하하기 전에 3차원 콘텐츠에 대한 품질 평가를 통해 위에서 언급한 문제를 사전에 방지할 수 있는 3차원 콘텐츠의 품질을 평가하는 도구를 개발하는 것이 필요하다.

지금까지 색상 불일치 문제를 해결하기 위해 많은 알고리즘[1][2]들이 개발되었다. 그러나, 이러한 방법은 모두 색상 불일치가 존재한다는 가정 하에 수행되었다. 본 논문에서는 색상 불일치 문제를 해결하기 전에, 양안식 영상 간에 존재하는 색상의 불일치를 판별하는 방법을 제안한다. 색상의 민감도, 관심도, 복잡도 등 시청자의 색상 특성을 주관적 평가를 수행하여 예측한 후, 최종 색상의 불일치 여부를 판별한다.

2. 양안식 영상의 색상 불일치 문제

양안식 영상을 획득하기 위해서는 두 대의 카메라를 사용한다. 하지만 각 카메라는 서로 다른 광전(photo-electric) 특성을 갖기 때문에 그림 1과 같이 동일한 물체의 색상이 다르게 촬영되는 색상 불일치 문제가 발생하게 된다. 이와 같이 동일 기종의 카메라를 같은 설정을 이용하여 촬영하더라도 색상의 불일치 문제가 발생하게 되는데, 이는 단순히 디지털 카메라의 필름 역할을 하는 전하 결합 소자(CCD)나 상보성 금속 산화막 반도체(CMOS)의 미세한 차이에서 기인하는 것일 수도 있고, 카메라의 셔터 속도나 조리개, 초점 거리에 의해 발생할 수도 있다. 즉 카메라 간의 색상 불일치 문제는 카메라의 반도체나 회로의 전자적 특성 차이뿐 아니라 기계적 특성 차이로도 발생할 수 있다는 것을 의미한다.

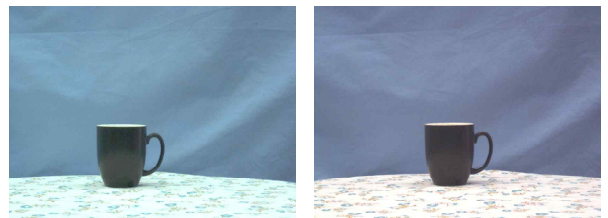


그림 1. 양안식 영상의 색상 불일치 문제

3. 색상 불일치 평가를 위한 대응점 추출 과정

본 논문에서는 다양한 응용 분야에서의 폭넓은 사용을 위해 색상 차트를 사용하지 않았다. 따라서, 참조 시점 영상과 보정 시점 영상 간의 대응하는 색상 정보를 획득하는 과정이 필요하다. 색상 불일치 평가를 위한 전처리 과정으로 대응하는 색상 정보를 획득한 후, 색상 불일치 여부를 평가한다.

본 논문에서는 크기와 회전, 밝기에 불변한 특징을 이용하여 특징점을 검출하는 크기 불변 특징 변환 (SIFT) 방법[3]을 사용하여 대응점을 추출한다. SIFT는 총 5단계로 구성되어 있다. 1단계에서는 영상에 대해 크기를 다르게 한 가우시안 이미지들에 대해 차분 영상을 추출한다. 2단계에서는 추출된 가우시안 차분 영상에서 특징점을 선택한다. 3단계에서는 특징점의 방향과 크기를 계산한다. 4단계에서는 특징점 주변에 있는 화소들의 방향과 밝기를 계산한 후, 계산된 방향과 밝기 값만큼 방향을 회전시키고 밝기를 제거하는 정규화 과정을 수행한다. 마지막으로 참조 영상과 보정 영상을 비교한다. 이때, 참조 영상의 모든 특징점을 보정 영상의 특징점과 비교하여 매칭을 수행한다. 물론 영상 내의 모든 색상의 대응 정보를 얻을 수 없으므로, 최적의 성능을 제공하는 데는 한계가 있다.

4. 주관적 평가를 사용한 색상 불일치 평가

그림 2는 제안하는 색상 불일치 평가 방법의 전체 흐름도를 나타낸다. 먼저 SIFT 방법을 사용하여 대응점을 추출한 후, 추출한 대응점에 색상 민감도 평가 방법을 사용하여 색상의 불일치 여부를 일단 판별한다. 만약 참조 시점 영상과 보정 시점 영상 간의 색상 오차가 존재하면 관심도와 복잡도에 대한 주관적 평가를 고려하여 좀 더 세밀하게 불일치 정도를 파악한다.

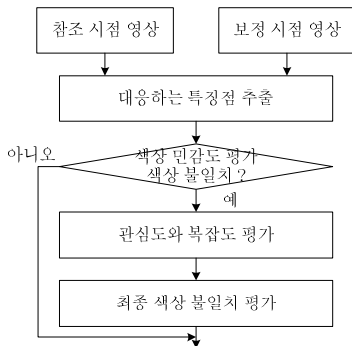


그림 2. 제안하는 색상 불일치 평가 방법의 전체 흐름도

가. 색상 민감도 평가

고려해야 할 주관적인 평가 요소는 많지만, 본 논문에서는 색에 따라 감수성이 다르므로 이 점을 고려하여 사람에게 민감한 색을 결정할 후, 이를 주관 평가 요소로 사용한다. 하지만, 사람마다 민감한 색이 모두 다르므로 기본 세 채널 색 R, G, B에 대한 주관 평가를 수행한다.

일반적으로 색의 민감도는 그 색이 가지고 있는 밝기의 양에 따라 사람이 느끼는 민감도가 다르므로 하나의 색을 5단계(25, 75, 125, 175, 225)로 구분하여 민감도를 측정한다. 그림 3은 세 기본 채널 색 중 R의 4단계(175)에서 민감도를 측정하는 실험 방법을 나타낸다. 그림 3에서 보듯이, 오른쪽의 큰 사각형의 색은 R 채널 값을 175로 설정하고 나머지 채널 (G, B) 값은 0으로 설정한 후, 안의 흰색 작은 사각형의 R 색상 값을 175부터 165까지, 175부터 185까지 변화시켜가면서 사람들이 감지하는 상한과 하한의 색 경계 값을 조사한다.

이와 같은 색의 민감도 측정을 R의 나머지 4단계(25, 75, 125, 225)에서도 동일한 방법으로 각각 수행한다. 이때, 각 단계에서 상한 값과 하한 값의 범위는 해당 단계의 값에서 ± 10 으로 설정한다. 최종 이러한 방법을 나머지 두 채널 G와 B에서도 수행하여 각 단계에서 해당 상한

값과 하한 값을 결정한다.

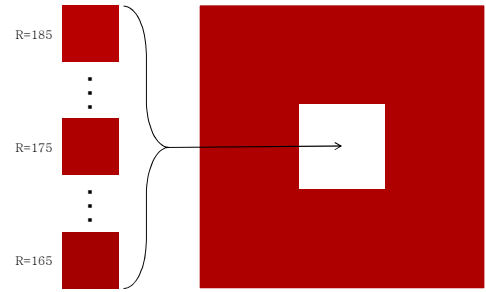


그림 3. R의 민감도 평가 예

색의 민감도에 대한 주관적 평가는 본 연구실의 연구원 11명이 참석하여 수행했다. 각 색상의 기본 5단계에 대해 상한과 하한의 경계 값을 측정 후, 최고점과 최저점을 제거하고 평균을 계산하여 민감도를 결정했다. 측정된 민감도에 대한 주관 평가 결과를 기반으로 각 색상에서 사람이 오차를 느낄 수 있는 색의 오차 범위를 결정한다. 표 1은 측정된 민감도에 따른 최종 오차 범위를 나타낸다. 주관적 평가 결과로부터, 색의 밝기가 밝아질수록 사람이 느끼는 색의 민감도는 떨어지고, 사람은 붉은 색과 녹색 보다는 파란색에 더 민감하다는 것을 확인할 수 있다.

표 1. 색의 민감도에 따른 최종 오차 범위

색 범위	R		G		B	
	하한 경계	상한 경계	하한 경계	상한 경계	하한 경계	상한 경계
0~50	4	4	4	3	3	4
50~100	7	6	5	5	4	4
100~150	8	7	7	6	6	5
150~200	8	9	9	8	7	7
200~255	10	9	8	7	8	8

나. 관심도 평가

민감한 색을 우선하여 색상을 보정하는 것은 효과적이지만, 사람의 관심이 집중되지 않는 가장자리 영역에 민감한 색이 존재하는 경우 민감한 색이 실제 주관적 평가에 미치는 영향이 적을 것으로 예상되며, 색차 오류가 존재하는 민감한 색을 보정하여도 효과가 적을 것으로 예상된다. 따라서, 만약 현재 추출된 대응점이 색상 민감도 평가에서 결정된 색상의 오차 허용 범위를 벗어나면 관심 영역에 따른 민감도를 고려한 보다 세밀한 주관적 평가를 추가로 수행한다.

그림 4는 사람들의 관심도를 측정하기 위해 사용한 임의의 두 영상이다. 각 영상은 세 영역(1, 2, 3)으로 구분한다. 각 영역은 가로, 세로의 비를 고려하여 설정했다. 연구실의 연구원 총 11명을 대상으로 실험한 결과, 영상을 처음 보았을 때 1번 영역에 시선이 집중되는 비율이 왼쪽 영상의 경우 82%, 오른쪽 영상의 경우 91%로 높았다. 또한, 영상의 가장자리 영역인 3번 영역에는 시선이 도달하지 않았다. 이를 통해, 사람들이 영상을 처음 보는 경우 사람들의 시각이 굉장히 민감하거나 굉장히 특이한 텍스처가 존재하는 영역이 아닌 대부분의 경우 시선이 중앙에 집중됨을 확인할 수 있었다. 따라서, 관심도를 고려한 색상의 불일치 정도 파악은 측정된 사람의 관심도를 고려하여 가중 값을 할당한다. 표 2는 영역에 따른 가중 값을 나타낸다.

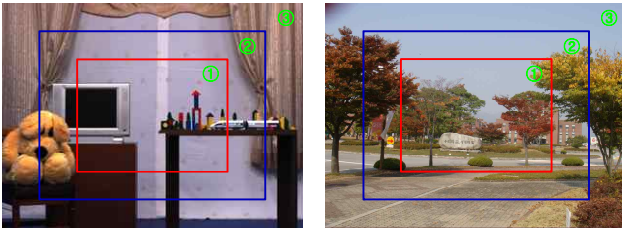


그림 4. 관심도 측정 예

표 2. 화소의 영역에 따른 가중 값

화소의 영역	가중 값
1	1
2	0.95
3	0.85

다. 복잡도 평가

사람의 관심 영역뿐만 아니라, 대응점의 복잡도도 주관적 화질 평가에 영향을 미친다. 그림 5는 대응점 주변의 복잡도에 따른 사람의 관심도를 측정하기 위해 사용한 영상이다. 그림 5의 영상은 복잡도에 따라 네 영역(1, 2, 3, 4)으로 구분한다. 11명의 연구원을 대상으로 실험한 결과 9명의 연구원들이 1번 영역, 1명의 연구원이 3번 영역, 1명의 연구원이 4번 영역을 선택했다. 즉 대부분의 연구원들이 단순한 영역에 시선이 집중된다고 했다. 3번과 4번을 선택한 연구원의 경우 선택된 영역의 색이 주변의 색과 달라 눈에 띄었다고 보고함에 따라 색상이 사람의 관심도에 약간의 영향을 미침을 알 수 있다.

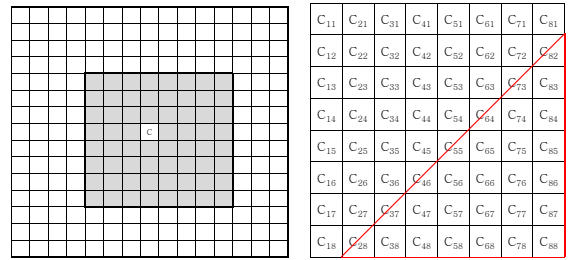


그림 5. 관심도 측정 예

선택된 대응점의 복잡도를 측정하기 위해, 본 과제에서는 8×8 이산 코사인 변환(discrete cosine transform, DCT)을 사용한다. 일반적으로 이산 코사인 변환은 신호처리 및 영상처리에 널리 사용되는데, 이산 코사인 변환 후의 계수들을 살펴보면 블록의 특징을 간략하게나마 살펴볼 수 있다. 이는 이산 코사인 변환의 경우 에너지 집중 현상이 있으므로, 단순한 영상의 경우 에너지가 저주파로 집중되는 현상이 강하기 때문이다.

먼저 SIFT 방법을 수행한 후, 참조 시점 영상에서 선택된 대응점을 중심으로 그림 6(a)와 같이 8×8 크기의 블록을 생성한다. 그림 6(a)에서 C로 표시된 하얀 블록은 SIFT 방법을 수행한 후 추출된 대응점이고 C 주변의 회색으로 표시된 영역은 새롭게 생성된 8×8 블록 내의 화소들을 나타낸다. 하나의 대응점은 세 색상 정보(R, G, B)를 포함하므로, 세 색상 정보의 평균값을 이산 코사인 변환의 입력으로 사용한다. 새롭게 생성된 8×8 블록에 8×8 이산 코사인 변환을 적용한다. 일반적으로 부동 소수점 이산 코사인 변환의 경우 복잡도가 높으므로, 복잡도가 낮은 8×8 정수 이산 코사인 변환(integer DCT)을 사용한다.

8×8 블록에 대해 정수 이산 코사인 변환을 적용하고 난 후, 변환된 8×8 블록에서 고주파 영역(붉은색 삼각형 내의 모든 화소 영역)을 그림 6(b)와 같이 설정한다. 추출된 대응점의 복잡도는 선택된 고주파 영역에서 0이 아닌 계수의 합으로 결정한다. 설정한 고주파 영역의 총 28개 계수의 합이 400보다 크면 매우 복잡한 영역으로, 0이 아닌 계수의 합이 200이상 400미만의 경우에는 중간 정도의 복잡도를 갖는 영역으로, 마지막으로 0이 아닌 계수의 합이 200보다 작으면 단순한 영역으로 간주한다. 표 3은 선택된 대응점의 복잡도에 따라 할당된 가중 값을 나타낸다.



(a) 8×8 블록 생성

(b) 고주파 영역 설정

그림 6. 복잡도 평가를 위한 8×8 블록

표 3. 화소의 복잡도에 따른 가중 값

0이 아닌 계수의 합	가중 값
200 미만	1
200 이상 400 미만	0.95
400 이상	0.9

최종적으로 주관적 평가에 기반을 둔 색상의 불일치 여부 판별은 다음과 같은 방법을 사용하여 수행한다.

$$CH_{\text{오차확률}} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i_{CH}=1}^{M_{CH}} (W_{i_{CH}\text{-위치}} + W_{i_{CH}\text{-복잡도}}) / 2 \right) \times 100 \quad (1)$$

여기서 CH 는 색상의 정보(R, G, B)를 의미하고, N 은 추출된 대응점의 전체 수를 나타내며, M_{CH} 는 해당 색상에서 선택된 오차 범위를 벗어난 오차 화소의 수를 나타낸다. $W_{i_{CH}\text{-위치}}$ 와 $W_{i_{CH}\text{-복잡도}}$ 는 해당 색상에서 추출된 대응점의 위치와 복잡도에 따른 가중 값을 나타낸다. 최종적으로, 식 (1)의 $CH_{\text{오차확률}}$ 에 기반을 둔 색상의 정확도를 계산하여 색상의 불일치 여부를 판별한다. 색상의 정확도는 식 (2)를 사용하여 계산한다.

$$\text{정확도} = 100 - CH_{\text{오차확률}} \quad (2)$$

주관적 평가를 통해, 일반적으로 색상의 정확도가 약 70% 정도 이상이면 시청자는 색상의 불일치를 감지하지 못한다. 하지만, 이 값은 주관적인 값으로 색상에 민감하거나 혹은 둔한 사람의 경우 정확도 값은 더 높아질 수도 낮아질 수도 있다.

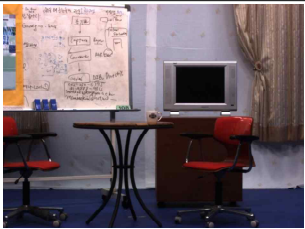

4. 실험 결과 및 분석

양안식 영상간의 색상 불일치를 분석하고 평가하기 위해 광주과학기술원 실감방송연구센터의 가상 스튜디오에서 촬영한 영상을 사용했다. 실험을 수행한 컴퓨터의 성능은 Intel Core™ i7 CPU@3.33 GHz 이고 메모리는 4.00GB이다. 또한, 색상 불일치를 판별하기 위해 일반



적으로 사용하는 평균 절대 오차 합(MAE)을 함께 사용하여 평가했다. 평균 절대 오차 합을 계산하는 수식은 다음과 같다.

$$MAE_{CH} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |CH_i - CH_{ref..i}| \quad (3)$$

여기서 CH은 각 색상 정보 (R, G, B) 별 화소 값을 의미한다. CH_i는 보정 시점 영상의 채널 별 화소 값을 의미하고, CH_{ref..i}는 참조 시점 영상의 채널 별 화소 값을 의미한다.

Table			
참조 시점 영상		보정 시점 영상	
			
	Red	Green	Blue
정확도	62.37	40.08	26.88
보정 유무	보정 필요	보정 필요	보정 필요
MAE	7.89	8.98	12.64

(a) Table 실험 영상

YootPlay			
참조 시점 영상		보정 시점 영상	
			
	Red	Green	Blue
정확도	71.74	67.52	51.51
보정 유무	필요 없음	필요 없음	보정 필요
MAE	6.51	5.35	7.03

(b) YootPlay 실험 영상

그림 7. 실험 결과

그림 7(a)의 Table 영상을 보면 양안식 영상 간에 Blue 색상의 오차가 눈에 띈다. 제안한 방법으로 계산된 정확도와 MAE 값을 비교한 결과, Blue 색상의 정확도는 Red와 Green보다 낮고, Blue 색상의 MAE 값은 Red와 Green보다 큼을 확인할 수 있다. 그림 7(b)의 YootPlay 영상을 보면 양안식 영상 간에 눈에 띄는 색상 오차가 없다. 이러한 사실은 계산된 YootPlay 영상의 정확도와 MAE 값이 Table 영상의 정확도와 MAE 값에 비해 높고 작음을 통해 확인할 수 있다. 또한, 실험 결과로부터 계산된 MAE 값을 통해 색상의 불일치 여부를 평가하여 보정의 유무를 결정하는 것은 쉽지 않다. 하지만 제안한 정확도 측정 방법을 사용하면 색상의 보정 유무를 쉽게 결정할 수 있다.

일반적으로 색상 불일치 평가는 CIELab 색공간의 유클리디안 색 거리를 계산하거나 US & Canadian Government Printing Offices의 품질 수준 규격(Quality Level Specifications)을 평가하여 이루어진다. 먼저, CIELab 유클리디안 색 거리는 다음의 식으로 계산한다.

$$\Delta E_{ab} = \frac{1}{m} \sqrt{\sum_m (L_{\text{참조}} - L_{\text{보정}})^2 + (a_{\text{참조}} - a_{\text{보정}})^2 + (b_{\text{참조}} - b_{\text{보정}})^2} \quad (4)$$

그림 7 (a)의 Table 영상의 유클리디안 색 거리를 계산한 결과 ΔE_{ab} 값은 0.676이다. 이때, ΔE_{ab} 값은 0이거나 0에 가까울수록 색차가 적다는 것을 의미한다. CIELab 색공간 정보의 유클리디안 색 거리에 기반을 둔 일반적인 평가 기준은 표 4와 같다. 또한, US & Canadian Government Printing Offices는 품질 수준 규격을 표 5와 같이 구분하여 평가 기준을 정하고 있다.

표 4 CIELAB 유클리디안 색 거리 평가

단계	평가 기준
아주 정밀한 단계	ΔE_{ab} 값이 1.5 이하
정밀한 것으로 간주되는 단계	ΔE_{ab} 값이 1.5~2.0
눈에 띄지 않을 정도의 단계	ΔE_{ab} 값이 4.0 이하

표 5 품질 수준 규격 평가 내용

단계	평가 기준
Level I	ΔE_{ab} 값이 2 이하
Level II	ΔE_{ab} 값이 2~3
Level III	ΔE_{ab} 값이 3~4

Table 영상의 ΔE_{ab} 값을 표 4와 표 5의 색 거리 평가와 품질 수준 규격 평가에 적용해보면, 모두 색상 불일치는 정밀하여 눈에 띄지 않는다는 결과를 얻는다. 하지만, 실제 Table의 양안식 영상을 살펴보면, 두 영상 간에는 분명 시각적인 색상 불일치가 존재한다. 따라서, 추출된 대응점의 색상 정보와 더불어 주관적인 평가 요소를 동시에 고려하여 색상 불일치 여부를 판별하는 방법이 보다 효율적임을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 양안식 영상을 촬영할 경우 발생하는 색상 불일치를 분석하고 평가하는 방법을 제안했다. 먼저, 색상 보정 차트를 사용하지 않는 가정 하에, 양안 시점 영상 간의 대응점을 추출하고, 대응점 사이의 색상 정보와 민감도, 관심도, 복잡도를 고려한 주관적 평가를 기반으로 색상의 불일치 여부를 판별하는 방법을 제안했다. 다양한 실험 영상에 제안한 방법을 사용하여 실험한 결과, 기존의 색상 품질을 평가하는 방법보다 정확하게 색상 불일치를 평가함을 확인했다.

참고 문헌

- [1] A. Ilie and G. Welch, "Ensuring Color Consistency across Multiple Cameras," IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp. II: 1268-1275, Oct. 2005.
- [2] U. Fecker, M. Barkowsky, and A. Kaup, "Improving the Prediction Efficiency for Multi-View Video Coding Using Histogram Matching," Picture Coding Symposium, pp. 2-16, April 2006.
- [3] D.G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints," International journal of computer vision (IJCV), vol. 60, no. 2, pp. 91-110, Jan. 2004.