

# 직접 투사형 증강현실을 위한 전반사 회피

박한훈, 이문현, 김상준, 박종일  
한양대학교 가상현실 연구실  
hanuni@mr.hanyang.ac.kr, fly4moon@teramail.com,  
markjun@empal.com, jipark@hanyang.ac.kr  
http://mr.hanyang.ac.kr

## Avoiding Specularity for Direct-Projected Augmented Reality

Hanhoon Park, Moon-Hyun Lee, Sang-Jun Kim, and Jong-Il Park  
Virtual Reality Lab., Hanyang University

### 요약

전반사 성분은 직접 투사형 증강현실 시스템들이 가지는 대표적인 문제점으로서, 사용자의 시점에 따라 유동적으로 변하면서 프로젝션된 정보의 가시도(visibility)을 심각하게 저해한다. 이러한 전반사 성분의 발생을 해결하기 위해 여러 대의 중첩된(overlapping) 프로젝터를 이용하는 방법이 최근 제안되었다. 그러나, 전반사 성분은 사용자의 시점 뿐만 아니라, 스크린의 재질의 반사 특성에도 크게 좌우되는데, 이에 대한 고려가 없었다. 본 논문에서는 스크린의 재질에 따른 반사 특성을 고려함으로써, 보다 정확하게 전반사 성분을 검출, 회피하는 방법을 제안한다. 제안된 방법을 기존의 방법과 비교함으로써, 제안된 방법의 성능을 검증한다. 또한, 프로젝터 간의 기하 보정의 오차나 광학적 특성의 차이를 보완하기 위한 알고리즘을 개발, 이용함으로써 양질의 합성 결과를 제공해 준다.

키워드: 전반사 성분, 증강 현실, 중첩된 프로젝터

Keywords: specular reflection, augmented reality, overlapping projectors

### 1. 서론

증강현실(augmented reality)은 인간과 컴퓨터의 상호 작용 및 의사 전달에 이용할 수 있는 새로운 패러다임을 제공하는 기술 분야이다. 사용자는 컴퓨터 모델을 이용하여 생성된 현실성을 강조한 비가시 정보를 실세계 정보에 부가하여 상호 작용함으로써, 현실 세계에 대한 이해와 인식력을 개선하고 향상시킬 수 있다[5].

프로젝터의 가격 하락 및 소형화로 인해 직접 투사형 증강현실에 대한 관심이 크게 증대되고 있으며 많은 분야에 응용되고 있다[6]. 프로젝터를 이용함으로써 임의의 표면에 대화면 디스플레이를

제공해 줄 수 있는 반면, 기존의 데스크탑 환경에서의 증강현실 시스템에 비해 부가적으로 해결되어야 할 기술적 과제들이 존재한다[3]. 특히, 전반사 성분은 직접 투사형 증강현실 시스템들이 가지는 대표적인 문제점으로서, 사용자의 시점에 따라 유동적으로 변하면서 프로젝션된 정보의 가시도(visibility)을 심각하게 저해한다. 그러나, 그 동안 전반사 성분을 해결하기 위한 마땅한 해결책이 제시되지 못해, 대부분의 직접 투사형 증강현실 시스템들은 스크린이 전반사 특성을 가지지 않는다고 가정해 왔다. 이는 직접 투사형 증강현실 시스템의 응용 분야를 크게 제약해 왔다.

최근, 전반사 성분의 발생을 해결하기 위해 여러 대의 중첩된(overlapping) 프로젝터를 이용하는 방법이 제안되었다[1]. 제안된 방법은 전반사 성분을 유발하는 프로젝터에 의한 프로젝션을 차단하고, 차단된 프로젝션의 영향을 보완하기 위해 나머지 프로젝터에 의한 프로젝션을 조절해 줌으로써, 사용자 시점의 동적인 변화에 적응적으로 전반사 성분을 억제할 수 있었다. 그러나, 전반사 성분은 사용자의 시점 뿐만 아니라, 스크린의 재질의 반사 특성에도 크게 좌우되는데, 이에 대한 고려가 없었다. 또한, 프로젝터 간의 기하 보정의 오차나 광학적 특성의 차이로 인한 오류로 인해 양질의 합성 결과를 제공해 줄 수 없었다. 본 논문에서는 스크린의 재질에 따른 반사 특성을 고려함으로써, 보다 정확하게 전반사 성분을 검출, 회피하는 방법을 제안한다. 또한, 프로젝터 간의 기하 보정의 오차나 광학적 특성의 차이를 보완하기 위한 알고리즘을 개발, 이용함으로써 양질의 합성 결과를 제공한다.

## 2. 방법

### 2.1. 전반사 회피

그림 1은 전반사 회피 알고리즘의 개념을 보여준다. 제안된 알고리즘은 두 가지 선행 조건을 필요로 한다.

- ① 표면의 3차원 정보 및 프로젝터와의 기하학적인 관계가 주어져 있다면, 각 프로젝터에 의한 프로젝션 영상은 곡면 스크린 상에서 기하학적 왜곡 없이 정확하게 일치될 수 있다[1]. 따라서, 관찰자는 마치 하나의 프로젝션 영상이 존재하는 것처럼 느낀다.
- ② 각 프로젝터는 서로 충분히 떨어져 있기 때문에, 스크린 상의 한 점에서 동시에 전반사 성분을 발생시키지 않는다.

선행 조건이 만족되었을 때, 전반사 성분을 발생시키는 프로젝터의 프로젝션을 차단하고, 차단된 프로젝션의 영향을 보완하기 위해 나머지 프로젝터에 의한 프로젝션을 조절해 줌으로써, 사용자 시점의 동적인 변화에 적응적으로 전반사 성분을 억제

할 수 있다. 예를 들어, 그림 1에서의 점  $P_1$ 에서는 프로젝터-2의 프로젝션은 차단되고, 프로젝터-1의 프로젝션은 증대된다. 보다 자세한 내용에 대해서는 [1]을 참조하기 바란다.

일반적으로 전반사 성분은 입사각과 반사각이 같을 때 발생하기 때문에, 전반사 성분의 발생 여부는 입사각과 반사각의 차(그림 2에서의  $\theta$ )를 계산해 봄으로써 알 수 있다. 본 논문에서는 식 (1)을 이용하여  $\theta$  값을 계산한다.

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{N \cdot (L+V)}{|L+V|} \right), \quad 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \quad (1)$$

표면 위의 각 점에서 각 프로젝터와의  $\theta$ 를 계산한 후,  $\theta$ 가 일정 값 이하가 되면, 그 점에서는 전반사가 발생하는 것으로 판단한다. 완전한 표면을 가정했을 때, 표면 위의 모든 점에 대해서  $\theta$ 를 계산하지 않고, 표면을 삼각 메쉬로 모델링한 후, 각 패치에 대한  $\theta$ 를 계산한다[1].

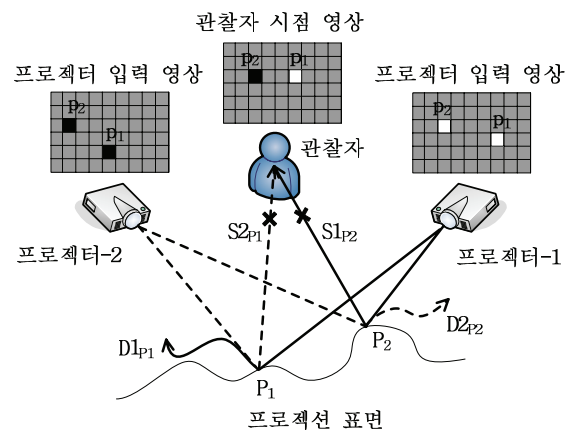


그림 1. 전반사 회피 알고리즘의 개념.  $S1P_2$ : 점  $P_2$ 에서의 프로젝터-1에 의한 전반사 성분,  $D1P_1$ : 점  $P_1$ 에서의 프로젝터-1에 의한 난반사 성분,  $S2P_1$ : 점  $P_1$ 에서의 프로젝터-2에 의한 전반사 성분,  $D2P_2$ : 점  $P_2$ 에서의 프로젝터-2에 의한 난반사 성분.

### 2.2. 전반사의 특성에 대한 고려

전반사는 표면의 물리적인 특성, 입사각, 편광, 입사광의 색 등에 따라 달라지는데[4], 입사각, 편광, 입사광의 색은 전반사의 세기를 결정하는 요소로, 본 논문에서는 전반사를 회피하기 위해 전반사의 세기를 조절하는 것이 아니라 전반사가 발생하는 영역에서의 전반사를 발생시키는 프로젝터의 빛을

차단하는 것이기 때문에 고려되지 않는다. 반면, 표면의 물리적인 특성은 전반사가 발생하는 영역과 관련되므로 고려되어야 한다.

빛이 나는 표면은 작은 전반사 범위를 갖고 어두운 표면은 더 넓은 반사 범위를 갖는다[4]. 전반사 범위를 계산하기 위한 경험적인 모델로서 Phong에 의해 개발된 풍 모델(Phong specular-reflection model)은 전반사의 크기가  $\cos^n_s \theta$  에 비례한다고 가정한다. 매개변수  $n_s$  ( $1 \sim \infty$ )<sup>1</sup>는 표면의 상태에 따라 결정되는데, 매우 반짝이는 표면은  $n_s$ 의 값을 매우 큰 값으로 모델링하고, 어두운 표면은 작은 값으로 모델링한다. 그림 2는  $n_s$ 에 크기에 따른 전반사의 범위를 보여준다.

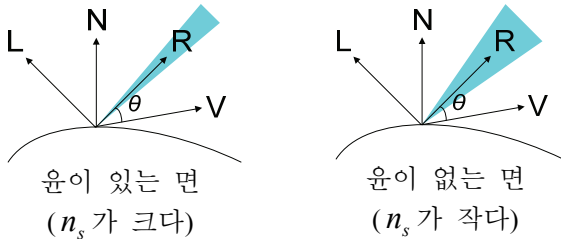


그림 2. 표면의 반사 특성에 따른 전반사 범위.  $L$ 은 광원 방향의 단위 벡터,  $N$ 은 표면의 법선 벡터,  $R$ 은 이상적인 전반사 방향 벡터,  $V$ 는 관찰자 방향의 단위 벡터를 표현한다.

본 논문에서는 표면의 반사 특성을 고려하기 위해 식 (1)을 다음과 같이 변환한다.

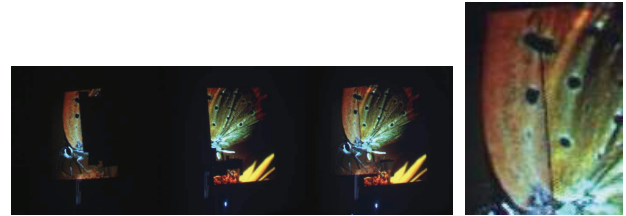
$$\theta = \cos^{-1} \left( \sqrt[n_s]{\frac{N \cdot (L+V)}{|L+V|}} \right), \quad 0^\circ \leq \theta \leq 90^\circ \quad (2)$$

식 (2)에 비해 식 (1)은 대부분의 표면에 대해 전반사 성분이 발생하는 영역을 과도하게 크게 설정할 우려가 있다. 결과적으로, 식 (2)를 사용함으로써, 각 표면의 특성에 맞게 전반사 성분을 검출하여, 불필요한 연산량을 줄일 수 있다. 특히, 프로젝터 간의 거리가 가까워지면, 모든 프로젝터가 동시에 전반사 성분을 발생하는 영역이 커지게 되는데, 이는 제안된 방법의 성능을 크게 저해하는 요인이 된다.

<sup>1</sup> 일반적으로, 스크린의 재질에 따른  $n_s$ 는 알려져 있다[4].

### 2.3. 프로젝션 영상의 기하학적, 광학적 오차 보정

본 논문에서 제안된 방법을 적용한 후, 프로젝션된 전체 영상은 여러 대의 프로젝터에 의해 부분적으로 프로젝션된 영상들을 이어 붙인 모양이 된다. 프로젝터의 기하 보정의 오차<sup>2</sup>는 경계 부분에 틈(hole)을 유발할 수 있다(그림 3 참조). 이는 사용자의 몰입감을 크게 떨어뜨리는 원인이 된다. 이를 해결하기 위해 그림 4에서 보는 것처럼, 각 프로젝터에 의해 프로젝션되는 부분 영상들의 가장자리 영역을 일정하게 확장한 후, 다른 프로젝터의 영상과 겹치는 부분에 대해서는 선형 보간법을 적용한다.



(a) (b) (c) (d)

그림 3. 프로젝터의 기하 보정의 오차로 인한 틈. (a)와 (b)는 두 대의 프로젝터 의해 프로젝션된 부분 영상, (c)는 전체 영상을 보여준다. (d)는 틈 영역을 확대해서 보여준다.

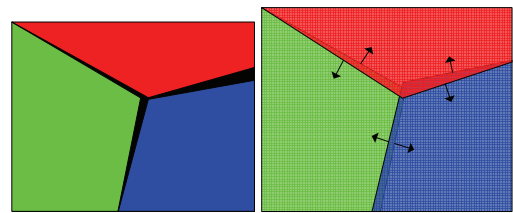


그림 4. 영역 확장을 통한 틈 제거. 각 사각 영역은 세 대의 프로젝터에 의해 프로젝션된 부분 영상을 나타낸다.

<sup>2</sup> 본 논문에서는 카메라에 대한 프로젝터의 기하 관계를 각 프로젝터에 대해 독립적으로 계산하기 때문에, 표면이 곡면일 경우, 각 프로젝터의 위치에 따라 기하 보정의 정확도는 차이가 난다. 따라서, 각 프로젝터에 의한 부분적인 프로젝션을 정확하게 이어 붙이는 데는 한계가 있다. 이를 근본적으로 해결하기 위해 tensor 개념[8]을 도입할 수 있다.

프로젝터 간의 광학 특성의 차이로 인해 각 프로젝트에 의한 부분 영상들은 다른 색조나 밝기를 가진다(그림 5 참조). Majumder 등에 의해 제안된 방법[2]은 프로젝트 간의 광학적 특성 차이를 보정하기 위해 전체 프로젝트의 광학적 특성을 광학적 특성이 가장 좋지 못한 프로젝트에 맞추어 준다. 그러나 이는 전체 프로젝트의 광학적 특성을 낮추는 것이기 때문에, 양질의 합성 결과를 제공할 수 없다. 이를 개선하기 위한 방안도 제안되었으나[7], 여전히 프로젝트 간의 상대적인 차이를 보정할 뿐, 스크린 컬러에 대한 보정은 할 수 없다. 스크린이 특정 색상을 가질 경우, 프로젝션된 영상의 색상은 왜곡된다. 직접 투사형 증강현실에서는 이러한 색상 왜곡의 보정 또한 중요한 과제이므로, 이를 해결할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 본 논문에서는 각 프로젝트의 광학적 보정(radiometric calibration)을 통해[3], 스크린 컬러에 적응적으로 프로젝트 간의 광학적 특성을 맞추어준다.

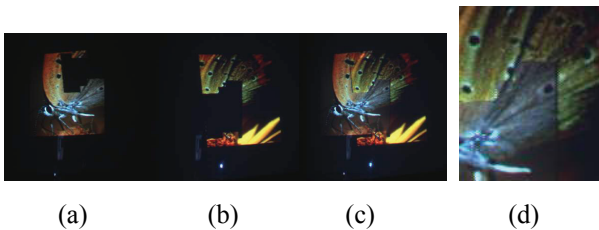


그림 5. 프로젝트의 광학 특성의 차이로 인한 색조의 차이. (a)와 (b)는 두 대의 프로젝트 의해 프로젝션된 부분 영상, (c)는 전체 영상을 보여준다. (d)는 색조 차가 발생하는 영역을 확대해서 보여준다.

### 3. 실험 방법 및 결과

실험의 편의를 위해 스크린 표면은 부드럽고(smooth) 볼록(convex)하다고 가정한다. 제안된 알고리즘의 성능을 검증하기 위해 두 대의 프로젝트(SONY VPL-CX6 [9])와 한 대의 카메라(PointGrey Dragonfly [10])를 이용한다. 프로젝트와 카메라는 미리 보정(calibrated)되고, 삼각법(triangulation)에 의해 스크린 표면의 3 차원 모델도 미리 계산된다[3].

그림 6 은 전반사 성분을 가지는 스크린( $n_s=10$ )에 증강현실 영상을 프로젝션한 후, 본 논문에서 제안하는 전반사 성분 회피 방법을 적용한

결과를 보여준다. 다양한 시각의 변화에 대해 효과적으로 전반사 성분을 회피할 수 있음을 보여준다. 그러나, 프로젝트 간의 기하 보정의 오차나 광학적 특성의 차이로 인해 합성 결과가 여전히 만족스럽지 못하다.



(a)



(b)

(c)



(d)

(e)

그림 6. 전반사 회피 결과. (a) 사용된 스크린, (b) 프로젝션 영상(전반사 회피 전), (c)-(e) 다른 시점에서 관찰된 프로젝션 영상(전반사 회피 후).

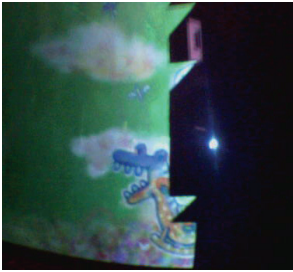
그림 7 은 프로젝트 간의 광학적 특성 차이나 기하 보정의 오차를 보완하기 위해 제안한 방법을 적용한 결과를 보여준다. 그림 7-(a)에서 보는 것처럼, 두 프로젝트에 의한 부분 영상(그림 7-(b)와 그림 7-(c))의 경계 부분에 틈이 나타나고, 두 부분 영상간의 색조가 일치하지 않는다. 그림 7-(d)는 광학 보정을 적용한 결과로서, 부분 영상간의 색조가 거의 같아 졌음을 확인할 수 있다. 그림 7-(e)는 광학 보정 적용 후, 영역 확장 후 선형 보간법을 이용하여 프로젝트의 기하 보정의 오차로 인한 틈을 제거한 결과를 보여준다. 그림 7-(a)와 비교했을 때, 두 부분 영상간의 경계 영역이 거의 보이지 않음



을 확인할 수 있다.



(a)



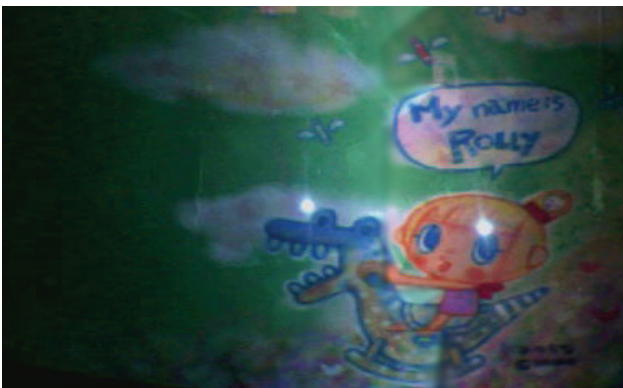
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 7. 프로젝터 간의 광학적 특성 차이나 기하 보정의 오차 보완. (a) 전반사 회피 결과 영상, (b)-

(c) 두 프로젝터에 의한 부분 영상, (d) 광학 보정을 적용한 영상, (e) 광학 보정 및 영역 확장 후 선형 보간법을 적용한 영상.

#### 4. 결론

본 논문에서는 스크린의 재질에 따른 반사 특성을 고려함으로써, 보다 정확하게 전반사 성분을 검출, 회피하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 기존의 방법과 비교함으로써, 제안된 방법의 성능을 검증하였다. 또한, 프로젝터 간의 기하 보정의 오차나 광학적 특성의 차이를 보완하기 위한 알고리즘을 개발, 이용함으로써 양질의 합성 결과를 제공할 수 있었다.

기존의 직접 투사형 증강현실 시스템들은 스크린이 전반사 특성을 가지지 않는다고 가정함으로써, 응용에 많은 제약을 가졌었다. 본 논문에서 제안하는 방법을 도입함으로써, 이러한 제약을 해소하고 직접 투사형 증강현실의 응용 분야를 크게 확대할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 감사의 글

본 연구는 보건복지부 보건의료기술진흥사업의 지원에 의하여 이루어진 것임(02-PJ3-PG6-EV04-0003).

#### 참고 문헌

- [1] H. Park, M.-H. Lee, S.-J. Kim, and J.-I. Park, "Specularity-free projection on nonplanar surface," Lecture Notes in Compute Science, vol.3767, pp.606-616, 2005.
- [2] A. Majumder and R. Stevens, "Color nonuniformity in projection-based displays: analysis and solutions," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 10(2):177-188, 2004.
- [3] H. Park, M.-H. Lee, S.-J. Kim, and J.-I. Park, "Surface-independent direct-projected augmented reality," Proc. of ACCV'06, 2006.
- [4] D. Hearn and M. P. Baker, Computer Graphics, Prentice Hall, 1997.
- [5] 장병태, 김주완, 김동현, "증강현실 기술," 정보

과학회 논문지, 제 15 권 11 호, pp.14-19, 1997.

- [6] O. Bimber and R. Raskar, Spatial Augmented Reality, A K Peters, 2005.
- [7] A. Majumder, "Contrast enhancement of multi-displays using human contrast sensitivity," Proc. of CVPR'05, 2005.
- [8] R. Hartley and A. Zisserman, Multiple View Geometry, Cambridge University Press, 2003.
- [9] <http://www.sony.com>
- [10] <http://www.ptgrey.com>

다음 페이지 (전체 6 쪽 이내)