

## 감각형 증강현실 환경에서의 손 가림 현상 해결 방안

문희철\*, 박형준\*\*

### Resolving Hand Region Occlusion in Tangible Augmented Reality Environments

Hee-Cheol Moon\* and Hyungjun Park\*\*

#### ABSTRACT

In tangible augmented reality (AR) environments for virtual prototyping, the user interacts with virtual products by manipulating tangible objects with his or her hands, but the user often encounter awkward situations in which his or her hands are occluded by augmented virtual objects, which reduces both immersion and ease of interaction. In this paper, we present how to resolve such hand region occlusion in order to enhance natural interaction and immersive visualization. In the AR environment considered, we use two types (product-type and pointer-type) of tangible objects for tangible user interaction with a virtual product of interest. Holding the tangible objects with his or her hands, the user can create input events by touching specified regions of the product-type tangible object with the pointer-type tangible object. We developed a method for resolving hand region occlusion frequently arising during such user interaction. It first detect hand region in a real image and refines the rendered image of the virtual object by subtracting the hand region from the rendered image. Then, it superimposes the refined image onto the real image to obtain an image in which the occlusion is resolved. Incorporated into tangible AR interaction for virtual prototyping of handheld products such as cellular phones and MP3 players, the method has been found by a preliminary user study that it is not only useful to improve natural interaction and immersive visualization of virtual products, but also helpful for making the users experience the products' shapes and functions better.

**Key words** : Handheld products, Hand region occlusion, Image processing, Tangible augmented reality, Virtual prototyping

#### 1. 서 론

가상시작(virtual prototyping, VP)은 가상환경에서 CAD/CAM/CAE/CG 기술을 바탕으로 물리적 시작품 생성 이전 단계에서의 제품의 평가, 시험, 해석 등을 수행하는 것으로서 기존 시작 방법들의 단점들을 극복하기 위한 해법으로 인식되고 있다<sup>1-3)</sup>. 가상시작 관련 연구는 자동차/조선/항공 분야로 집중되어 왔으나, 최근에는 디지털 제품에 적합한 가상체형 및 품질에 대한 연구의 중요성이 커지고 있다<sup>4)</sup>. 디지털 제품

의 가상품질 평가를 위해서는 가상환경에서 제품의 사실적인 시각화와 함께 다양한 평가수단이 제공되어야 하며, 사용자와 가상제품 간의 직관적이고 자연스러운 상호작용 수단이 요구된다.

이러한 가상품질 평가를 위해 가상현실(virtual reality, VR)에 기반한 솔루션이 널리 이용되고 있으나, 솔루션 구현을 위해서는 고가의 영상출력장치, 고성능 컴퓨터 장비, 그래픽 관련 소프트웨어 및 하드웨어 등 상당한 투자와 개발인력이 수반된다<sup>5)</sup>. 특히 VR 환경에서 부피감 및 촉감을 제공하기 위해서는 상당한 비용과 노력이 요구되며, 실제 손으로 제품을 조작하는 것과 유사한 감각적인 상호작용을 사용자에게 제공하는 일은 현실적으로 매우 어렵다. 이러한 문제점들을 해결하기 위한 시도로서 증강현실(augmented reality, AR) 기술이 대두되어 가상시작에 적용되고 있

\*학생회원, 조선대학교 산업공학과 박사과정  
\*\*교신저자, 종신회원, 조선대학교 산업공학과  
- 논문투고일: 2011. 01. 18  
- 논문수정일: 2011. 06. 17  
- 심사완료일: 2011. 06. 23

다<sup>9,8)</sup>. 감각형 증강현실은 사용자가 감각형 객체를 이용하여 사용자와 컴퓨터 간의 직관적인 상호작용을 가능케 하는 증강현실 환경을 말한다. 여기서 감각형 객체는 가상 물체에 대한 유연한 제어를 사용자에게 제공하기 위한 도구들이라 할 수 있다.

지자들은 최근 증강현실 기술을 이용한 감각형 상호작용 방안을 개발하여 이를 휴대용 전자제품의 가상시각에 적용하였다<sup>9,10)</sup>. 또한, 이러한 감각형 상호작용 방안이 적용될 수 있는 부품 크기에 대한 유효영역을 도출하였다<sup>11)</sup>. 그러나, 증강현실 환경에서 감각형 오브젝트들을 이용한 상호작용 과정에서 가상의 물체가 사용자의 손을 가려서 시각적으로 어색한 현상이 발생한다. 이로 인해 사용자가 자연스러운 영상을 제공받지 못하며, 종종 손 위치를 파악할 수 없어 상호작용에 불편함을 느끼는 경우가 있다. 본 논문에서는 증강현실 환경에서 휴대용 전자제품의 가상객체와 사용자 간의 상호작용 과정에서 발생하는 손 가림 현상을 해결하는 방안을 제시한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 증강현실 기반 상호작용에 대해 간단히 설명하고, 3장에서는 이러한 상호작용 환경에서 발생하는 손 가림 현상의 해결 방안을 제시한다. 4장에서는 증강현실 기반 휴대용 전자제품 평형 환경에서 손 가림 해결 방안이 유용한가를 검증하기 위해 수행된 기초적인 사용성 평가에 대해 토의한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 증강현실 기반 감각형 상호작용

Fig. 1에서는 게임폰을 예로 들어 증강현실 기반 휴대용 전자제품의 가상시작을 위해 필요한 주요 구성요소들과 이들의 관계를 보여준다. 구성요소들은 제품 모델 생성, 멀티미디어 콘텐츠 데이터 획득, HMI 기능 정보 모델 생성, 유한상태기계 코드 생성, 그리고 증강현실 기반 감각형 오브젝트 등이 있다. 구체적인 내용에 대해서는 기존 연구<sup>9,10)</sup>를 참고하기 바란다.

증강현실 환경에서는 실세계 이미지로부터 인식된 AR 마커 정보를 이용하여 카메라의 시점을 파악하여 가상객체에 대한 3D 렌더링 이미지를 생성하고, 이를 실세계 이미지 위에 실시간으로 오버레이(overlay)함으로써 시각화를 수행한다. 또한, 증강현실 환경에서는 3차원 공간에 위치한 카메라와 마커 간의 3차원 정보(상대적 위치 및 자세)를 이용하여 가상공간과 상호작용을 한다. ARToolKit<sup>12)</sup>의 카메라 보정(calibration) 작업을 통해 얻어진 카메라 보정 정보를 이용하여 마커와 카메라 간의 3차원 정보는 물론 마커와 마커 간

의 3차원 정보를 획득할 수 있다. 따라서, 서로 다른 마커 좌표계 위에 놓인 두 개의 가상모델 간의 상대적인 위치 및 자세 정보를 파악할 수 있으며, 상대적인 거리 값도 구할 수 있다<sup>10)</sup>.

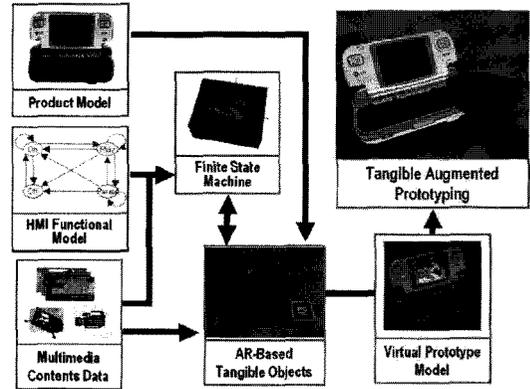


Fig. 1. Key components of AR-based approach and their relations.

이러한 증강현실 환경에서는 제품용 및 포인터용 감각형 오브젝트가 상호작용 매체로서 이용되는데, 사용자가 포인터용 감각형 오브젝트의 끝 부분을 제품용 감각형 오브젝트의 특정 부위(예, 버튼, 슬라이드, LCD 패널 등)에 접촉하면 특정 이벤트가 발생하고, 이에 따라 제품이 반응한다. 따라서, 사용자가 감각형 오브젝트들을 조작함으로써 모니터를 통해 실세계로 증강된 제품의 시각적 이미지를 보고, 스피커를 통해 제품 주변에서 흘러나오는 각종 소리를 들을 수 있으며, 궁극적으로 제품의 사실적인 시각화, 생생한 HMI 기능 시뮬레이션, 그리고 제품 기능 평가 및 사용성 평가 등과 같은 가상시각 과정에서 요구되는 중요한 일들을 수행할 수 있게 된다. 이러한 증강현실 환경에서의 가상제품-사용자 간의 상호작용 과정에서 Fig. 2와 같이 가상의 물체가 사용자의 손을 가려서 시각적으로 어색한 현상이 빈번히 발생한다.

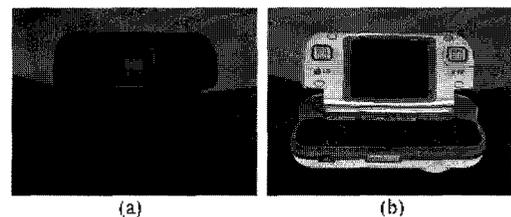


Fig. 2. A typical hand region occlusion in AR-based tangible interaction: (a) real image, (b) augmented image.

### 3. 손 가림 현상의 해결 방안

영상처리를 기반으로 피부(손 또는 얼굴) 영역을 찾는 기존의 연구들을 살펴보면, 피부에 해당하는 특징 영역을 구하기 위해 색상 모델(color model)을 이용하여 피부 영역을 추출한다. 색상 모델은 RGB, YCbCr, HSV 등 여러 가지가 있으며, 피부 영역을 찾는데 RGB보다는 YCbCr, HSV가 주로 사용되고 있다<sup>14)</sup>. 색상 모델을 이용하여 피부 영역을 추출할 때, 배경 이미지에 피부와 비슷한 색상이 있으면 피부로 인식되어 원하는 결과를 얻을 수 없게 된다. 따라서, 배경 이미지에서 손과 비슷한 색을 제거하기 위해 YCbCr의 Y 값 확률밀도 함수를 구하거나, 이미지의 팽창 및 축소를 이용하는 방법들이 제시되었다<sup>15,16)</sup>.

본 논문에서 제시하는 손 가림 해결 방안은 손 영역을 찾기 위한 피부 색상 모델로서 YCbCr을 사용한다는 점에서 기존의 손 영역 검출 방식과 유사하다. 그러나, 증강현실 환경에서는 손 가림 현상이 실세계 이미지(real world image) 위에 증강되는 가상객체 이미지(virtual object image) 영역에서만 발생한다는 점에 착안하여 증강된 가상객체 이미지를 포함하는 최소 사각형 영역만을 고려함과 동시에 손 색상과 대비가 잘 되는 감각형 오브젝트를 이용하여 손 가림 현상을 해결함으로써 기존 방식들<sup>14,16)</sup>에 비해 배경 이미지 인식 오류를 더욱 줄일 수 있는 장점이 있다.

#### 3.1 감각형 오브젝트 준비

본 연구에서는 실제 이미지로부터 손 이미지 영역을 찾는 일을 용이하게 하기 위해서 Fig. 3과 Fig. 4에서와 같이 손 색상과 대비가 잘 되는 파란색의 감각형 오브젝트를 이용하였다. 제품용 감각형 오브젝트를 제작하기 위해 제품용 RP 모델을 생성하여 파란색 페인트를 도포한 다음, 제품의 LCD 디스플레이 중심에 해당하는 부위에 마커를 부착시킨다. 포인터용 감각형 오브젝트 제작을 위해 파란색 도화지에 전계도

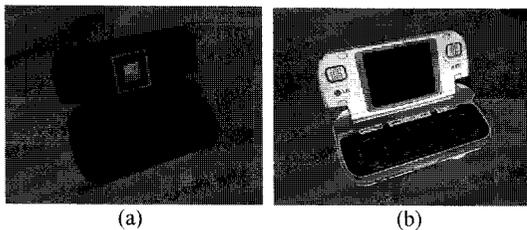


Fig. 3. AR-based tangible object for a gamephone: (a) RP model with AR markers, (b) augmented image of the RP model.

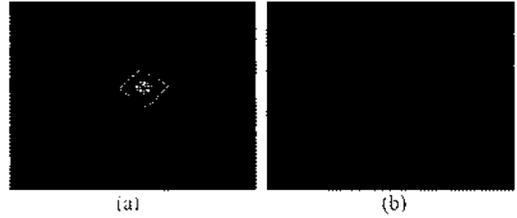


Fig. 4. AR-based tangible object for a pointer: (a) paper model with AR markers, (b) augmented image of the pointer.

를 출력하여 종이모델(paper model)을 만든 다음, 동일한 마커 4개를 부착시킨다.

#### 3.2 손 가림 현상 해결을 위한 전반적 과정

본 논문에서 제시하는 손 가림 현상 해결을 위한 전체 과정이 Fig. 5에 도식화되었다. 먼저, 실세계 이미지를 획득한 다음, AR 마커 정보를 이용한 가상객체의 렌더링을 통해 실세계 이미지 위에 증강시킬 가상객체 이미지를 획득하고, 가상객체 이미지로부터 최소 사각형 영역을 찾는다. 그런 다음, 사전에 확보된 손의 색상 정보를 이용하여 실세계 이미지로부터 최소 사각형 범위내 속하는 손 영역을 추출한 후, 손 영역 이미지와 가상객체 이미지의 영상처리를 통해 손 영역이 제외된 가상 객체 이미지를 생성한다. 마지막으로, 수정된 가상 객체 이미지를 실세계 이미지에 오버레이(overlay)한다. 결과적으로 사용자는 상호작용 과정에서 손 가림 현상이 해결된 현실감 있는 화면을 제공 받음으로써 휴대용 제품의 기능 체험을 보다 용이하게 할 수 있다.

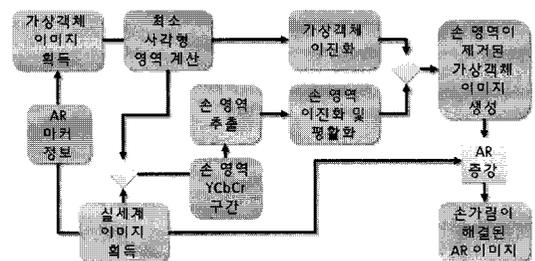


Fig. 5. Overall procedure for solving the hand region occlusion problem.

#### 3.3 최소 사각형 영역 획득 및 가상객체 영상 이진화

전술한 바와 같이 실세계 이미지로부터 인식된 AR 마커 정보를 이용하여 가상객체의 3D 렌더링 이미지를 생성할 수 있으며, 증강현실 환경에서는 손 가림 현상이 이러한 가상객체 이미지 영역에서만 발생

다. 따라서, 가상객체를 포함하는 최소 사각형 영역을 획득한 후, 손 가림 현상 해결을 위한 관심 영역 (Region of Interest, ROI)으로 이용한다.

Fig. 6(a)에서와 같이 검정 바탕색 위에 가상객체 렌더링 이미지를 생성하여 해당 이미지의 픽셀들 중 검정색이 아닌 픽셀들의 최대 및 최소 구간을 계산하여 최소 사각형 영역을 생성한다.

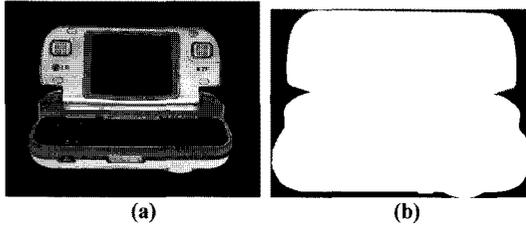


Fig. 6. Generation of the minimum rectangle of interest: (a) virtual object image, (b) binary image in the minimum rectangle.

그런 다음, Fig. 6(b)에서와 같이 가상객체 렌더링 이미지의 최소 사각형 영역에 해당하는 이미지를 추출하여 검정색이 아닌 (가상객체에 해당하는) 픽셀들은 흰색으로 처리하여 가상 객체에 대한 이진화 이미지를 생성한다.

### 3.4 손 색상 정보를 이용한 손 영역 추출

영상처리에서 색상 모델(color model)의 선택은 시스템의 성능과 관계되는 중요한 문제이다. 색상 모델이란 어떤 색상과 다른 색상 모델들과의 관계를 표현하는 방법으로 사람의 피부영역을 얻기 위한 색상 모델로는 RGB, YCbCr, HIS 등이 있다<sup>[16,17]</sup>.

RGB 색상 모델은 빨강(R), 초록(G), 파랑(B)의 기본 스펙트럼 성분들로 나타내며, 이들로 이루어진 영상은 각 원색 당 하나씩 모두 3개의 독립적인 영상평면으로 구성되어 있다. 이 모델은 위성의 다중 스펙트럼 영상 데이터의 처리, 컴퓨터 그래픽스 시스템들에서 주로 사용되고 있다. YCbCr 색상 모델은 밝기값 Y와 파란색 색차 신호 Cb, 빨간색 색차 신호 Cr로 이루어진다. RGB 색상 모델은 3개의 요소가 시각적으로 균일한 정보를 가지는 반면, YCbCr은 밝기값과 색차 신호로 서로 다른 정보를 가지고 있기 때문에 JPEG 압축과 MPEG 비디오 압축에서 주로 이용되고 있다. HSI 색상 모델은 색상 Hue, 채도(Saturation), 그리고 명도(Intensity)로 구성된다. 색상은 그 색의 원색을 나타내고, 채도는 색의 순수도를 나타내는 것으로 원색에 어느 정도의 흰색이 혼합되었는지를 나타

내며, 명도는 색깔의 밝은 정도를 나타낸다.

본 논문에서는 조명 변화에 강인하고 시스템 속도와 성능을 고려하여 YCbCr 모델을 이용하였다. 손의 YCbCr 영역 정보를 얻기 위해 다양한 각도에서 사용자의 손을 카메라로 찍은 후 휘도 Y를 제외한 CbCr 구간을 확보하였다.

손에 대한 CbCr 값의 구간은  $Cb_{hand} \in [Cb_{min}, Cb_{max}]$ ,  $Cr_{hand} \in [Cr_{min}, Cr_{max}]$  으로 주어지고, 이미지 A는 실제 이미지 중 최소 사각형 영역(ROI)에 해당하는 이미지일 때, 이미지 B는 이미지 A에 대한 YCbCr 이미지라고 하자. 이미지 B의 CbCr 값이 손 영역의 CbCr 구간에 해당하면, 이미지 A의 해당 픽셀 값으로 대처하고, 그렇지 않으면, 검정색으로 처리하여 손 영역 이미지 C를 구할 수 있다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$C(i,j) = \begin{cases} A(i,j) & \text{if } B_{Cb}(i,j) \in Cb_{hand} \wedge B_{Cr}(i,j) \in Cr_{hand} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

Fig. 7은 최소 사각형 영역의 실제 이미지에 대해 CbCr 값 구간을 이용하여 추출된 손 영역 이미지를 보여주고 있다.

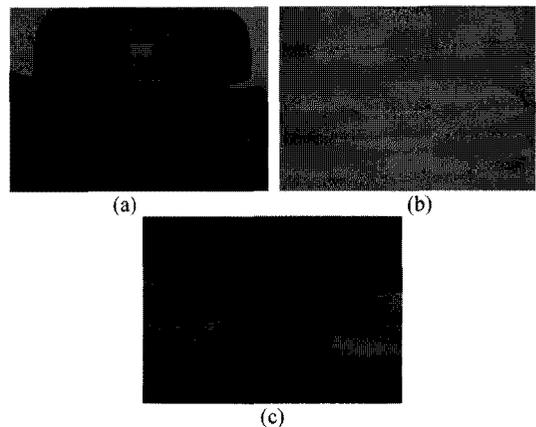


Fig. 7. Hand region extraction using YCbCr color model: (a) real world image in ROI, (b) its YCbCr image, (c) hand region image extracted.

### 3.5 손 영역 이미지 이진화 및 평활화

YCbCr 구간을 이용하여 얻어진 손 영역의 외곽선(boundary) 부분은 이미지 팽창 및 축소 기법을 이용하여 잡음을 제거해야 할 수 있다. 본 연구에서는 시스템의 속도를 개선시키기 위해 손 영역 이미지를 이진화하여 외곽선을 추출한 후, 외곽선의 점들을 샘플링(sampling)하여 평활화 작업을 수행하였다. 평활화

된 이미지는 추후에 실제 이미지에서 가상객체를 오버레이 할 때 이용된다. Fig. 8은 손 영역 이미지의 이진화 및 평활화 과정을 도식화하였다.

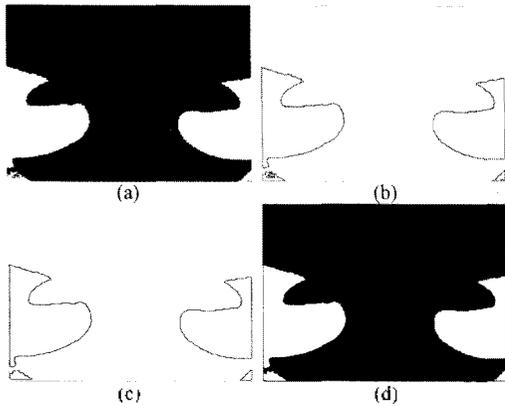


Fig. 8. Hand region binarization and smoothing: (a) image of hand region binarization, (b) boundary extraction, (c) boundary smoothing, (d) binary image of smooth hand region.

### 3.6 손 영역이 제거된 가상 객체 이미지 생성

얻어진 가상객체 이진화 이미지와 손 영역 이진화 이미지를 함께 이용하여 손 영역이 제외된 가상 객체 이진화 이미지를 얻을 수 있다. 각각 최소 사각형 영역에 해당하는 크기의 가상 객체 이진화 이미지와 손 영역 이진화 이미지가 주어졌을 때, 가상 객체 이진화 이미지의 픽셀 값  $I(i, j)$ 는 흰색 값이고, 손 영역 이

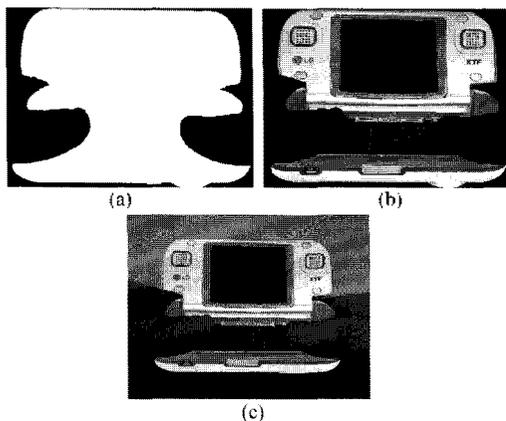


Fig. 9. Resolving hand region occlusion: (a) binary image of the virtual object in which hand regions are removed, (b) rendered image of the virtual object in which the hand regions are removed, (c) resulting image in which hand region occlusion has been resolved.

진화 이미지 픽셀 값  $E(i, j)$ 는 검정색 값이면, 해당 픽셀  $F(i, j)$ 에 흰색 값을 부여하고, 그렇지 않으면 검정색 값을 부여함으로써 Fig. 9(a)에서와 같은 손 영역이 제외된 가상 객체 이진화 이미지  $F$ 를 얻을 수 있다. 이러한 이미지  $F$ 에서 흰색 값을 갖는 픽셀에 대해 가상 객체 이미지의 원래 픽셀 값을 부여하고, 나머지 픽셀들에 대해서는 검정색 값을 부여함으로써 Fig. 9(b)에서와 같은 손 영역이 제외된 가상 객체 이진화 이미지를 얻을 수 있다. 궁극적으로, 이러한 손 영역이 제외된 가상 객체 이진화 이미지를 실제세계 이미지 위에 오버레이(overlay)함으로써 Fig. 9(c)에서와 같은 손 가림 현상이 해결된 AR 이미지를 구할 수 있다.

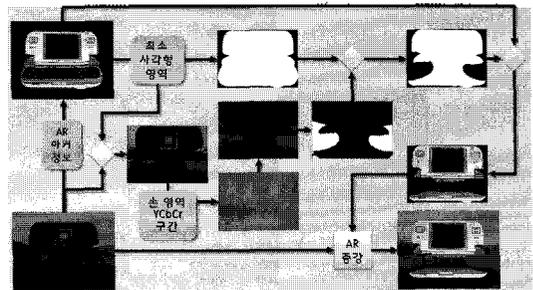


Fig. 10. Steps of the proposed solution for hand region occlusion.

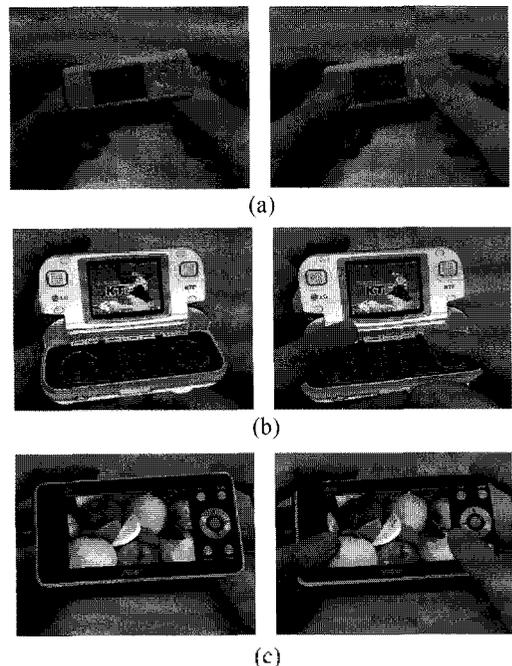


Fig. 11. Applications of AR-based tangible interaction: (a) MP3 Player, (b) Game Phone, (c) PMP.

3.7 적용 예

Fig. 10은 손 가림 현상의 해결 과정의 도식화를 나타낸다. 제시된 손 가림 현상 해결 방안을 A사 MP3 플레이어와 B사 게임폰, C사 PMP에 대한 AR 기반 감각형 상호작용에 적용하였다. Fig. 11은 이러한 3가지 휴대용 전자제품들에 대해 손가림 현상이 해결되지 않은 경우와 해결된 경우의 그림을 각각 나타낸다. 그림에서와 같이 손 가림이 해결된 화면이 보다 쉽게 손에 위치를 파악할 수 있으며, 좀더 사실적인 이미지를 사용자에게 제공할 수 있다.

4. 사용성 평가

제시된 손 가림 해결 방안을 증강현실 기반 휴대용 전자제품 품평 시스템<sup>19,10)</sup>에 통합하여 구현하였다. C와 C++을 이용하여 Windows 기반 PC상에서 구현하였으며, 영상획득을 위해 800×600 해상도를 갖는 PC 카메라를 이용하였다. 그리고 눈과 카메라의 시점을 일치시키기 위해 스포츠용 모자에 카메라를 부착시켰다. 시각화 및 렌더링을 위해 그래픽스 라이브러리 Open GL 및 GLUT를 이용하였으며<sup>18)</sup>, AR 증강을 위해 ARToolKit을 이용하였다. 그리고 영상처리를 위해 컴퓨터 비전 라이브러리 OpenCV를 이용하였다<sup>11)</sup>. Fig. 12는 구축된 증강현실 환경을 나타낸다.



Fig. 12. Tangible AR environment.

그런 다음, 본 논문에서 제시된 손 가림 현상의 해결 방안이 증강현실 기반 품평 환경에서 상호작용 및 몰입감 향상에 도움이 되는지를 검증하기 위해 기초적인 사용성 평가를 수행하였다.

4.1 실험 계획

실험에 참여한 피실험자는 20명이며, 증강현실 환

경에 대부분 경험이 없는 대학생들을 대상으로 하였다. 피실험자에게 휴대용 전자제품의 가상시작을 위한 손 가림이 해결된 환경과 그렇지 않은 환경을 각각 사용하게 한 후, 설문지를 작성하게 하였다. 작성할 설문지 항목들은 5단계로 평가되었으며, 1은 질문에 대해 동의하는 정도가 가장 낮은 단계를 나타내며, 5는 동의하는 정도가 가장 높은 단계를 나타낸다. 설문지에 질문 항목들은 Table 1과 같다.

Table 1. Questionnaires contents for user study

사용성 평가 항목	
1.	몰입감 및 사실감을 느낄 수 있는가?
2.	시스템이 흥미를 유발시키는가?
3.	가상제품을 조작하는 게 쉬운가?
4.	손의 위치를 정확히 파악할 수 있는가?
5.	가상 제품이 선명하게 보이는가?
6.	프레임 재생 지연으로 인한 불편함은 없는가?
7.	시스템 환경에 대한 불편함은 없는가?

4.2 실험 결과 및 분석

Fig. 13의 도표는 피실험자들의 설문 결과 평균값을 나타낸다. 1, 2, 3, 4번 항목에 대해서는 손 가림 현상이 해결된 환경이 그렇지 않은 항목에 비해 좋은 점수를 받았다. 손 가림 문제를 해결함으로써 손 위치 파악이 용이해져 가상제품 조작 과정에서의 몰입감 및 사실감이 향상되었다고 볼 수 있다.

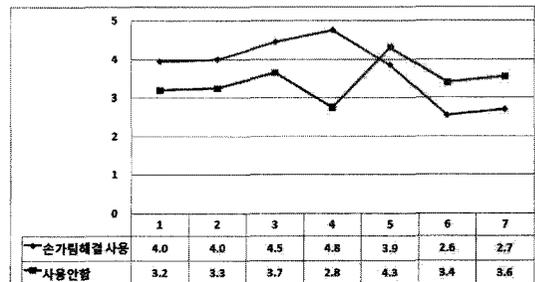


Fig. 13. Graphical plots of questionnaire results.

5번 항목에 대해서는 손의 그림자로 인해 가상 객체의 외각부분이 일그러지는 현상이 일어나는 경우가 있는데, 이로 인해 손 가림 현상이 해결된 환경이 상대적으로 나쁜 점수를 얻었다고 사료된다. 이 문제를 해결하기 위해서는 조명에 보다 강건하게 손의 색상 영역을 얻는 방안이 요구된다.

손 가림 현상 해결 방안 사용 유무에 상관없이 가상제품의 기능 체험 중 동영상이 실시간 재현되는 경우, 계산량 증가에 따른 프레임 재생율(frame rate) 저

하가 발생한다. 6번 항목에 대해서는 손 가림 현상이 해결된 환경이 상대적으로 나쁜 점수를 얻었는데, 이는 영상처리 작업에 소요되는 계산량 증가로 인한 프레임 재생을 저하가 더 심해져서 가상 제품을 조작하는데 약간의 지연 현상이 발생하기 때문으로 사료된다.

7번 항목에 대해서는 손 가림 현상이 해결된 환경이 시스템 환경에 대한 제약이 더 크다고 나왔는데, 손의 YCbCr 구간 정보를 얻는 과정에서 주변 배경이 손과 비슷한 YCbCr 값은 경우를 피하기 위해 조명 및 배경을 조절해야 하는 추가적인 제약이 요구되기 때문으로 사료된다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 각각형 증강현실 환경에서 사용자와 가상 객체 간의 상호작용 과정에서 발생하는 손 가림 현상을 해결하는 방안을 제시하였다. 원활한 영상처리를 위해 손 색상과 대비가 잘 되는 파란색을 갖는 삼각형 오브젝트를 이용하였으며, 증강된 가상객체 이미지를 포함하는 최소 삼각형 영역만을 고려하여 손 가림 현상을 해결하였다. 제시된 방안이 가상시작 작업 과정에서 몰입감 및 사실감 향상에 도움을 주는지를 확인하기 위해 사용성 평가를 수행하였는데, 피실험자들은 손 가림이 해결된 환경에서 보다 쉽게 가상 물체를 조작할 수 있고, 보다 향상된 몰입감을 경험하는 등의 긍정적인 반응을 보였다.

그러나, 추가적인 영상처리로 인해 계산량이 증가되어 프레임 재생율이 저하되어 피실험자들이 다소 불편함을 느꼈다. 현재 영상처리 및 렌더링 작업을 단일 CPU에서 처리하고 있는데, 추후 GPU를 이용한 병렬처리를 도입함으로써 이러한 문제를 해결하고자 한다.

아울러, AR 환경에서 주변 배경이나 조명이 변할 경우, 사용자 손에 대한 YCbCr 구간 값을 재설정하여 손 영역 추출의 정확성을 유지해야 하는 불편함이 있다. 이 문제를 해결하기 위해 배경 및 조명 변화에 보다 강건한 손 색상 영역의 표현 및 생성 방안의 개발이 요구된다.

### 감사의 글

이 논문은 2010년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(NRF-2010-0021953).

### 참고문헌

1. K. Lee Principles of CAD/CAM/CAE Systems, Addison Wesley, Berkeley, 1999.
2. Burdea, G. C. and Coiffet, P., Virtual Reality Technology, John Wiley & Sons, USA, 2003.
3. Bullinger, H. J., Breining, R. and Baucer, W., "Virtual Prototyping - State of the Art in Product Design," *Proceedings of the 26th International Conference on Computers & Industrial Engineering*, pp. 103-107, 1999.
4. 박형준, 배재일, 이관행, "HMI 기능성 시뮬레이션과 VR 기법과의 연동을 통한 개인용 전자제품의 가상시작 방안," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 12, No. 2, pp. 87-94, 2007.
5. Azuma, R. T., "A Survey of Augmented Reality," *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, Vol. 6, No. 4, pp. 355-385, 1997.
6. Ishii, H. and Ullmer, B., "Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces Between People, Bits and Atoms," *Proceedings of Conference of Human Factors in Computing Systems (CHI)*, pp. 234-241, 1997.
7. Kato, H., Billingham, M., Poupyrev, I., Imamoto, K. and Tachibana, K., "Virtual Object Manipulation on a Table-top AR Environment," *Proceedings of the International Symposium on Augmented Reality (ISAR)*, pp. 111-119, 2000.
8. Billingham, M., Kato, H. and Poupyrev, I., "Collaboration with tangible augmented reality interfaces," *Proceedings of HCI International*, pp. 234-241, 2001.
9. 박형준, 문희철, "증강현실 기반 상호작용과 시뮬레이션을 이용한 휴대용 전자제품의 설계품질," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, Vol. 13, No. 3, pp. 209-216, 2008.
10. Park, H., Moon, H. C. and Lee, J. Y., "Tangible Augmented Prototyping of Digital Handheld Products," *Computers in Industry*, Vol. 60, No. 2, pp. 114-125, 2009.
11. 문희철, 박형준, 박형욱, "증강현실 기반 삼각형 상호작용의 유효영역 측정," 한국 CAD/CAM 학술포럼 발표 논문집(poster), pp. 929-933, 2008.
12. ARToolKit, <http://www.hitl.washington.edu/ARToolKit>
13. Lee, W. and Park, J., "Augmented Foam: A Tangible Augmented Reality for Product Design," *Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 106-109, 2005.
14. Tan, W., Wu, C., Zhao, S. and Chen, S., "Hand Extraction Using Geometric Moments Based on Active Skin Color Model," *Intelligent Computing and Intelligent Systems*, pp. 468-471, 2009.
15. Ruiz-del-Solar, J. and Verschae, R., "Skin Detection using Neighborhood Information," *6th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture*

- Recognition*, 2004.
16. Chai, D. and King, K. N., "Face Segmentation Using Skin-Color Map in Videophone Applications," *IEEE Transactions on Circuits and System for Video Technology*, Vol. 9, No. 4, pp. 551-564, 1999.
17. Dadgostar, F. and Sarrafzadch, A., "An Adaptive Real-time Skin Detector Based on Hue Thresholding," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 27, pp. 1342-1352, 2006.
18. GLUT, <http://www.opengl.org>
19. OpenCV, <http://www.intel.com/technology/computing/opencv/index.htm>



### 문희철

2005년 조선대학교 산업공학과 학사  
 2007년 조선대학교 산업공학과 석사  
 2008년~현재 조선대학교 산업공학과 대학원 박사과정

관심분야: Virtual Prototyping of Engineered Products, Tangible Augmented Reality, CAD/CAM Applications



### 박형준

1991년 포항공과대학교 산업공학과 학사  
 1993년 포항공과대학교 산업공학과 석사  
 1996년 포항공과대학교 산업공학과 박사  
 1996년~2001년 삼성전자 중앙연구소 책임연구원

2008년~2010년 UCLA 전산학과 방문교수

2001년~현재 조선대학교 산업공학과 부교수

관심분야: Geometric Modeling and Processing, Virtual Prototyping of Engineered Products, 3D Shape Reconstruction and Understanding, Dental Engineering Applications, CAD/CAM/CG Applications