

논문 2007-44CI-2-6

# 증강현실 기반 제품 디자인의 몰입감 향상 기법

## (Methodologies for Enhancing Immersiveness in AR-based Product Design)

하 태 진\*, 김 영 미\*, 류 제 하\*\*, 우 운 택\*\*

(Taejin Ha, Yeongmi Kim, Jaha Ryu, and Woontack Woo)

### 요 약

본 논문에서는 증강현실 환경에서 제품 디자인 시, 가상객체를 재현 하는 데 있어 몰입감을 향상 시킬 수 있는 기법들을 제안한다. 일반적으로 사용자가 가상의 객체와 상호작용을 하는 경우, 시각/청각/촉각 등의 다차원 감각을 사용자에게 제공하는 것은 몰입감을 향상시킬 수 있는 가장 보편적인 방법으로 알려져 있고, 이를 만족시키기 위해 다음과 같은 방법들을 제안한다. 대개 가상객체는 물리적인 존재가 없기 때문에 사용자에게 촉감을 제공하지 못하는 문제점이 있지만, 만질 수 있는 감각형 객체 (Tangible object)에 가상객체를 정합함으로써, 가상객체는 촉감을 제공할 수 있다. 또한 손을 이용하여 가상객체와 상호작용 할 때, 가상객체의 렌더링에 의해 손이 가려지는 어색한 증강결과를 부분적으로 해결함으로써, 시각적으로 자연스런 증강결과를 사용자에게 제공할 수 있다. 마지막으로, 가상객체와 상호작용 시 발생하는 이벤트에 따라, 페이지 모터 (Page motor)를 통한 진동 피드백과 공기촉감 피드백 그리고 사운드 피드백을 제공하여 다차원 피드백 (Multimodal feedback)을 가능케 하여 몰입감을 한층 향상시킨다. 어플리케이션으로써 게임 폰 모델의 재현 시스템을 구현하였고, 사용자는 가상 게임폰이 정합된 감각형 객체를 손에 쥐고 기움임으로써 레이싱 게임의 자동차를 조종할 수 있고, 동시에 제안된 촉각 피드백과 손 가림 현상이 줄어든 시각적인 효과 그리고 이벤트에 따른 사운드 피드백이 동시에 사용자에게 제공된다. 이 제안된 방법론들은 기존 AR 시스템의 실감 모델의 재현에 있어 몰입감을 향상시키는데 공헌을 할 수 있다.

### Abstract

In this paper, we propose technologies for enhancing the immersive realization of virtual objects in AR-based product design. Generally, multimodal senses such as visual/auditory/tactile feedback are well known as a method for enhancing the immersion in case of interaction with virtual objects. By adapting tangible objects we can provide touch sensation to users. A 3D model of the same scale overlays the whole area of the tangible object so the marker area is invisible. This contributes to enhancing immersion. Also, the hand occlusion problem when the virtual objects overlay the user's hands is partially solved, providing more immersive and natural images to users. Finally, multimodal feedback also creates better immersion. In our work, both vibrotactile feedback through page motors, pneumatic tactile feedback, and sound feedback are considered. In our scenario, a game-phone model is selected, by way of proposed augmented vibrotactile feedback, hands occlusion-reduced visual effects and sound feedback are provided to users. These proposed methodologies will contribute to a better immersive realization of the conventional AR system.

**Keywords :** AR-based Product, Multi Feedback, Tangible User Interface, Hand Occlusion phenomenon, Pneumatic Tactile Display

## I. 서 론

일반적으로 구매자들이 전자 제품을 구입할 때 가격, 제조회사, 내구성, 사용시간, 디자인 등과 같은 조건들을 고려한다. 이들 중에서 제품 디자인은 구매자들에게 제품 선택에 있어 점차 중요한 판단 기준이 되고 있다. 이에 따라 제품 디자인이 교체되는 사이클은 짧아지고

\* 학생회원, \*\* 종신회원, 광주과학기술원 정보기전공학부 (School of Information and Mechatronics, GIST)

※ 본 과제는 MIC 21C Frontier R&D Program의 UCN 프로젝트와 GIST의 ICRC와 RBRC의 지원으로 수행되었음

접수일자: 2006년10월31일, 수정완료일: 2007년2월24일

있으므로, 빠른 제품 디자인을 위해 래피드 프로토타이핑 (Rapid prototyping) 기법들이 필수적이게 된다. 보통 제품 디자인의 목업 모델 (Mock-up models)은 CAD를 이용한 3D 모델에 기반을 두고 있는데, 이것은 사용자가 최종 생산 전에 제품을 경험해 볼 수 있도록 하고 제품 디자이너는 사용자로부터 버튼의 컬러나 위치와 같은 항목 등에 대한 반응을 즉각적으로 얻을 수 있다는 장점이 있다. 그러나 제품 디자인 사이클이 짧아짐에 따라 목업 디자인과 목업 모델의 재생산에 대한 프로세스는 부가적인 시간과 비용을 소비하게 한다. 또한 CAD를 이용한 3D 모델을 통해 제품 디자인을 검증하는 경우, 전형적인 데스크 탑 기반의 제품 디자인 환경에서 사용자는 고정된 위치의 모니터를 통해서 가상 객체를 관찰한다. 이런 경우에 뷰 (View) 공간은 모니터에 존재하고 상호작용 공간은 테이블위의 마우스와 키보드를 통해서 형성이 된다. 이것은 각각의 공간이 일치되어 있지 않기 때문에 부자연스러운 상호작용의 결과를 야기 시킬 수 있다. 이와 같이 기존의 디자인 프로세스가 갖는 단점을 보완하기 위해서 AR 기반의 디자인 방법론들이 소개되었다. [1]에서는 자동차 제조 과정에서 고가의 클레이 목업 (Clay mockup) 모델을 대체할 수 있는 방법으로, [2]에서는 워크벤치 환경에서 가상모델의 3D 커브와 면을 생성/ 편집할 수 있는 시스템으로, [3]에서는 전자제품의 기능성 테스트를 위해 증강현실 기술을 사용하였다. 이러한 관련연구에서, 사용자는 보통 HMD를 착용하고 현실 공간에서 가상객체와 상호작용을 한다. 이 경우에 뷰 공간과 상호작용 공간을 일치시킬 수 있어 직관적이고 실감있는 상호작용이 가능하게 된다는 장점이 있다.

그러나 AR 기술을 제품 디자인에 적용하는데 몇 가지 문제점들이 존재한다. 첫 번째, 일반적으로 증강된 가상객체는 물리적으로 존재하지 않기 때문에 사용자는 가상객체를 만질 수 없고, 이것은 몰입감을 떨어뜨리는 요인이 된다. 팬텀 장치<sup>[4]</sup>는 가상객체를 만질 수 있는 한 가지 방법이지만, 이것은 제한된 공간 내에서 오직 펜의 엔드 이펙터 (End effector)를 통해서만 가상객체를 만질 수 있다는 단점이 있다. 두 번째, 손을 이용하여 가상객체와 상호작용할 때, 증강된 가상객체에 의해 사용자의 손이 가려지는 문제점이 있다. 왜냐하면 가상객체는 단순히 렌더링 할 영역을 오버레이 하기 때문이다. 이것은 시각적으로 어색한 증강결과를 생성하고 이 역시 몰입감과 자연스러움을 떨어뜨린다. 영상에서 손 객체를 추출하여 다시 렌더링하는 방법이 있지만, 상호

작용에 따른 변화하는 조명 조건하에서 손 객체의 분리는 일반적으로 어려운 문제이다. 마지막으로 기존의 증강현실 기술에서는 주로 시각적인 피드백에 초점을 맞췄다. 이러한 환경의 상호작용에서 역/촉각 피드백을 제공함으로써, 마치 실제처럼 그곳에 존재해 있다고 느낄 수 있는 현실감 (Presence)을 제공할 수 있지만 대부분의 증강된 객체들은 이러한 역/촉각정보들을 제공하지 않았다. 이 외에도 사운드 피드백 역시 몰입감 향상을 위해 필수적이다.

본 논문에서 제안된 AR 기반의 제품 디자인 환경에서, 사용자는 감각형 객체를 통해 감각형 객체에 정합된 가상객체와 상호작용할 수 있다. 감각형 객체는 사용자에게 물리적 실체가 없는 가상객체의 촉감을 제공할 수 있고, 감각형 객체와 동일한 크기로 가상객체를 정합함으로써 몰입감 향상과 가상과 현실 환경의 사이의 거리를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 둘째, 변화하는 조명 조건하에서 손 객체 추출을 통한 손 가림 현상을 감소시키기 위해서, 본 논문에서 제안된 방법은 감각형 객체의 볼록 다각형 (Convex polygon)을 추출한 다음 커널확률밀도함수의 추정 (Kernel density estimation) [5]를 통해서 볼록 다각형 영역 내에서 미지의 잠재적인 확률 밀도 함수를 예측한 후, 최대 (Peak)와 최소 (Valley) 검출을 통해 손 객체의 분리를 위한 임계값을 결정한다. 마지막으로 사용자에게 상호작용에 따른 다차원 피드백을 제공하기 위해서, 제안된 촉각 피드백과 손 가림 현상이 줄어드는 시각적인 효과 그리고 사운드 피드백이 동시에 사용자에게 제공된다.

본 시스템의 어플리케이션으로써, 본 논문에서는 게임폰의 기능성 테스트를 위한 실감 모델링 테스트베드를 구현하였다. 사용자는 게임폰이 정합된 감각형 객체를 손에 쥐고 기울임으로써 레이싱 게임의 자동차를 조정할 수 있다. 만약 자동차가 벽과 충돌한다면 진동과 사운드 피드백이 동시에 제공이 된다. 이것은 다차원 피드백을 통한 몰입감 향상을 가능하게 한다. 이 논문에서 제안된 방법론은 기존의 AR 기반의 제품 디자인 과정에서 실감 모델의 몰입감을 향상시킬 수 있을 것이다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 몰입감 향상을 위해 제안된 방법론들에 대해서 설명을 하고, III장은 이를 위한 구현과 제안된 방법론의 실험 결과들을 보인다. 마지막으로 IV장에서 결론과 향후 연구를 설명한다.

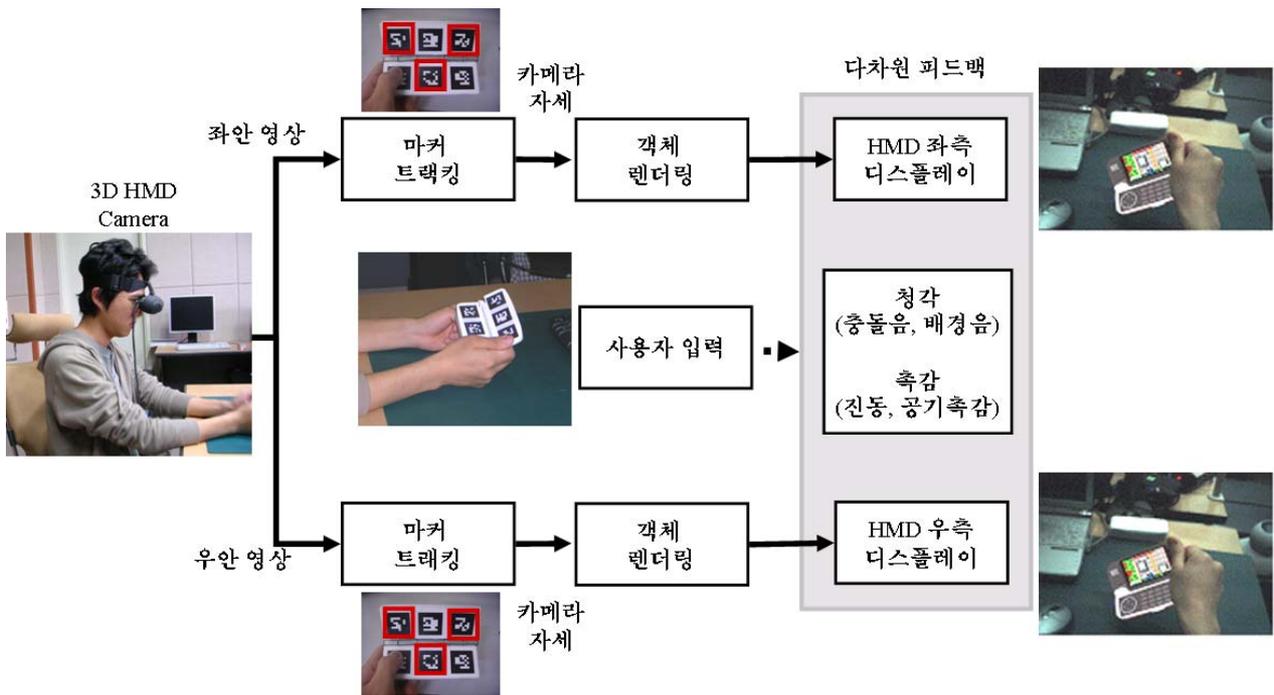


그림 1. 전체 시스템  
Fig. 1. Overall system.

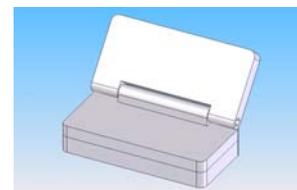
## II. 실감 모델 재현 시의 물입감 향상 방법론

본 논문에서 구현한 환경에서, 사용자는 Video-see through HMD를 머리에 착용한 채 게임폰의 목업 모델인 감각형 객체를 손에 쥐고 가상 객체와 상호작용한다. 감각형 객체의 각 면에는 특징 마커들이 3D 정보를 제공하기 위해서 부착되어있다. 가상의 3D 모델은 손영역을 제외하고 감각형 객체의 모든 영역을 오버레이한다. 또한 촉각 피드백과 사운드 피드백들이 이벤트에 따라서 사용자에게 제공된다.

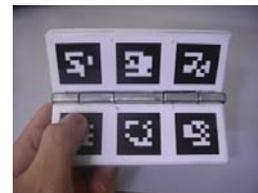
### 1. 감각형 객체 (Tangible object) 디자인

전형적으로 가상객체가 물리적인 존재를 가지고 있지 않기 때문에, 사용자는 증강된 가상객체를 만질 수 없다. 그러나 감각형 객체에 가상객체를 정합함으로써, 사용자는 가상객체의 촉감을 느낄 수 있다.

또한, 가상객체의 증강을 위해 사용되는 다수의 ARToolKit<sup>[17]</sup> 마커들을 감각형 객체의 면에 부착되도록 하여 최소한 한 개의 마커라도 인식된다면, 가상의 객체가 증강 될 수 있도록 한다. 이것은 손을 이용한 상호작용 시, 몇몇의 마커들이 손에 의해 가려지는 경우에도 증강이 가능하도록 하기 위해 필수적인 요소이다. 본 논문에서 디자인된 감각형 객체는 그림 2. (b)와 같



(a)



(b)

그림 2. (a) 카드 모델 (b) 폴더 타입의 목업 모델  
Fig. 2. (a) A CAD model (b) A folder-type mock-up model.

이 접이식 구조의 게임폰<sup>[6]</sup>이고, 그림 2. (a)의 CAD 모델을 기반으로 하고 있다.

### 2. 손 가림 현상의 감소

ARToolKit<sup>[17]</sup>을 사용하는 기존의 AR 어플리케이션에서, 가상 객체는 단순히 그림 5와 같이 마커 영역 전체를 오버레이 하기 때문에 증강된 가상 객체가 종종 사용자의 손을 가리게 되는 시각적으로 어색한 이미지

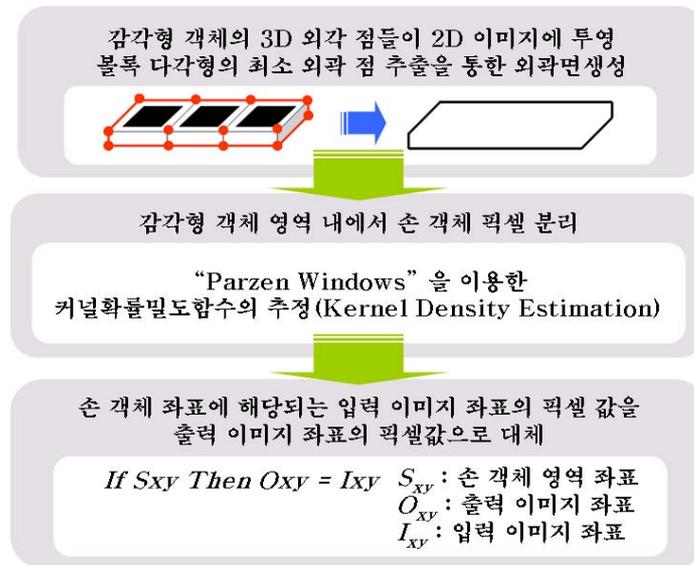


그림 3. 손 가림 현상 감소를 위한 세 단계  
 Fig. 3. Three steps for reducing the hands occlusion phenomenon.

를 생성하는데, 이는 몰입감이나 자연스러움을 감소시킨다<sup>[7]</sup>. 특히, 가상객체에 의한 손 가림 문제는 사용자가 손으로 증강된 가상 객체와 상호작용을 할 경우에 매우 중요한 문제가 된다.

손 가림 문제를 감소시키기 위해, W. Lee. et al. 은 [3]에서는 피부색 픽셀들을 적응적 임계처리 (Adaptive threshold)를 통해 추출하였다. 그러나 몇몇의 파라미터들이 사용자에게 의해 설정 되어야 하고, 만약 컬러 밸런스가 일정하지 않다면 피부색 픽셀들은 정확하게 추출될 수 없다. 또한 [8]에서는, 마커의 패턴 정보를 이미 알고 있고 마커의 크기가 손보다 크다는 가정 하에서 손 객체를 분리하였다. 그러나 만약 마커가 작거나 마커의 패턴이 복잡하거나 또는 마커의 회전각이 증가된다면, 영상으로부터 분리된 손 객체 주변의 노이즈도 역시 증가하게 된다.

위와 같은 문제점을 보완하기 위해 본 논문에서는 변화하는 조명 조건과 상대적으로 작은 마커 영역 하에서도 실시간으로 손가림 현상을 줄일 수 있는 방법을 제안한다.

이미지 상의 오직 감각형 객체 영역에서만 손 영역을 처리함으로써, 전체 이미지를 처리하는데 소비되는 불필요한 시간을 감소시킬 수 있다. 이를 위해 감각형 객체의 3D 외각 점들이 2D 이미지에 투영된 후, 블록 다각형의 최소 외곽 점 (Hull point)들이 3 coins algorithm<sup>[9]</sup>에 의해 추출이 된다. 이들 점들로부터 외곽면 (상단 면, 하단 면)을 생성하고, 오직 이 영역에서만

손 영역을 추출한다.

통계적인 접근 방법을 통해 감각형 객체 영역에서 손 객체를 분리한다. 조명에 대한 영향을 감소시키기 위해 HSV 컬러 공간에서 Hue 와 Saturation 컴포넌트를 사용한다. 본 논문에서 사용하는 방법은 비모수추정법으로 어떤 함수에 대한 사전적인 가정에서 벗어나 관찰된 데이터로부터 함수를 추정하는 방법으로, 사전에 가하는 가정으로부터 발생할 수 있는 모형 설정의 오류를 피할 수 있다. 실시간 처리가 가능한 “Parzen Windows [10]”을 사용하는 커널확률밀도함수의 추정 (Kernel density estimation)을 통해서 미지의 잠재적인 확률 밀도 함수를 예측할 수 있다. 관찰된 데이터를 통해 얻은 히스토그램에서, x 축은 계급 (Bins)의 수로 나누어진다. 각 계급에서 샘플 x의 확률은 다음과 같이 예측된다.

$$p \approx K_N / N \tag{1}$$

해당되는 확률은 빈도수에 의해 예측이 되며, 여기서 N 은 샘플들의 총 개수이고  $k_N$ 은 계급 내에서 샘플의 개수이다. 이 예측은 N이 증가함에 따라 실제 (True) P 에 근사화 된다. 해당되는 확률 밀도 함수 값은 계급 전체에 대해 상수로 가정되고, 다음과 같이 예측된다.

$$\hat{P}(x) \equiv \hat{P}(\hat{x}) \approx \frac{1}{h} \frac{K_N}{N}, |x - \hat{x}| \leq \frac{h}{2} \tag{2}$$

여기서  $\hat{x}$ 는 계급의 중간점이고  $\hat{p}(\hat{x})$ 는 히스토그램 곡

선 (Curve)의 진폭 (Amplitude)이다. x축은 폭  $h$ 의 계급들로 나뉜다.  $i = 1, 2, \dots, N$ 에 대해서,  $x_i$ 을 특징 벡터로 놓고 함수  $\phi(x)$ 를 식 (4)와 같이 정의한다. 이 함수는 중앙에 위치한 윈도우 내부에 속한 모든 포인트들의 값은 1로 할당하고, 그 밖은 0으로 설정한다. 식 (4)을 이용해 식(2)은 식(3)으로 다시 쓸 수 있다.  $x$ 의 중앙에 위치한 길이  $h$ 인 윈도우내에 있는 점들은 평균이 되고, 합계는  $k_N$ 과 같게 된다.

$$\hat{P}(x) = \frac{1}{h} \left( \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \phi \left( \frac{x_i - x}{h} \right) \right) \quad (3)$$

$$\phi(x_i) = \begin{cases} 1 & \text{for } |x_i| \leq 1/2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

확률 밀도 함수로부터 두 분포의 임계값을 선택하기 위해, 각 분포의 최대 (Peak)와 최저 (Valley)가 검출되어야 한다. 첫 번째 최대는 가장 큰 값을 가지는 계급을 찾음으로써 쉽게 발견될 수 있다. 두 번째 최대는 식 (5)와 같이 히스토그램 값과 첫 번째 최대의 거리 제곱 값의 곱의 최대화함으로써 검출될 수 있다<sup>[11]</sup>. 이것은 첫 번째 최대와 가깝지 않은 최대로 예상될 수 있다. 분포간의 최저 (Valley)는 식 (6)에 의해 계산된다. 이로부터 감각형 객체로부터 손 객체의 임계값이 동적으로 결정된다.

$$\operatorname{argmax}_{0 \leq k \leq 255} ((k - j)^2 \text{histogram}[k]) \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & \text{if } (j > k) \text{ then } \operatorname{argmin}_{k \leq i \leq j} (\text{histogram}[i]) \\ & \text{else } \operatorname{argmin}_{j \leq i \leq k} (\text{histogram}[i]) \end{aligned} \quad (6)$$

마지막 단계로써, 추출된 손 객체는 증강된 가상객체 위로 오버레이 된다. 이것을 수행하기 위해서, 기존의 ARToolKik 파이프라인에 별도의 과정이 추가된다. 손 객체 실루엣 좌표에 해당되는 입력 이미지 좌표의 픽셀 값을 출력 이미지 좌표의 픽셀 값으로 대체하는 것이다. 결국, 사용자는 손을 이용하여 증강된 가상 객체와 상호작용하는 경우, 가상객체에 의해 손이 가려지지 않은 자연스러운 이미지를 볼 수 있다.

$$\text{if } S_{xy} \text{ exists then } A_{xy} = R_{xy} \quad (7)$$

여기서  $S_{xy}$ 은 손 객체 실루엣 이미지의 좌표이고,  $A_{xy}$ 은 증강된 이미지의 좌표이며  $R_{xy}$ 은 입력 이미지의 좌표이다.

### 3. 다차원 피드백

본 논문에서는 다차원 피드백으로써 시각/청각/촉각을 다룬다.

시각 피드백으로써, 3D 가상객체의 렌더링 영상과 손 가림이 감소된 이미지가 제공이 된다. 또한 사용자는 감각형 객체에 증강된 게임폰에서 실행중인 레이싱 게임 화면을 볼 수 있다. 사용자는 감각형 객체를 x, z 축 방향으로 기울이는 행위에 따라 자동차의 방향과 속도가 변하는 모습을 볼 수 있다.

청각 피드백은 감각형 객체에 증강된 가상객체와의 상호작용을 통해 특정 이벤트가 발생하는 경우에 제공된다. 본 게임폰 재현 시나리오의 경우에 자동차가 벽 또는 다른 자동차와 충돌할 경우 폭발음이 들리게 된다. 또한 배경음악이 기본적으로 재생이 된다.

촉각 피드백을 위해 본 논문에서 사용된 촉감제시장치는 공기촉감제시장치 (Pneumatic tactile display)와 진동촉감제시장치이다. 기존의 가상현실 시스템에서 버튼을 누르거나 가상의 객체를 조작할 때 촉각 피드백을 느끼기 위해 Phantom<sup>TM</sup>, Delta<sup>TM</sup>, Omni<sup>TM</sup> 등과 같은 고가의 역감제시장치가 주로 이용되어왔다. 그러나 본 논문에서 제시한 공기촉감제시장치는 버튼을 누르는 느낌 제공 및 저가의 두 가지 조건을 모두 만족한다. 뿐만 아니라 배열로 구성된 촉감제시장치이기 때문에 다양한 패턴이나 모양을 표현해 줄 수 있는 장점이 있다. 공기촉감제시장치는 공기의 압력을 조절하여 피부에 촉감을 주는 방식으로 기존의 공기 촉감 제시장치들은 대부분 가상환경과 상호작용을 하기 위해 연구되었는데 가상객체의 무게를 느끼기 위한 시스템<sup>[21]</sup>, 원격 수술 시 가상객체의 텍스처나 모양, 컴플라이언스 등을 느낄 수 있게 하는 텔레택션 (Teletaction) [22]을 예로 들 수 있다. 그리고 손가락 끝에 연결되어 가상객체의 정보를 제공하는 장치에 관한 연구도 많은 관심의 대상이 되어왔는데 그 중에서 pneumatic air-jet display는 본 연구와 흡사한 점이 있다. Amemiya and Tanaka<sup>[23]</sup>는 손가락 끝을 두르는 air-jet display를 제시하고 가상객체의 모서리나 면 등을 사용자가 인식할 수 있도록 촉감정보를 제공하였다. 여러 가지 촉감제시장치 중에서 이러한 장치가 역감제시장치와 통합이 용이한 이유는 사용자의 손가락 끝에 접촉하는 기계적인 조립이 필요 없으며, 특히 공기촉감 장치는 유연하고 가벼운 튜브를 사용하는 이점이 있고 힘이 나오는 곳에서 공기 촉감을 제시하여 복합적인 햅틱 디바이스가 될 수 있기 때문이다.

본 논문에서는 공기촉감제시장치는 버튼이 눌러졌을

때의 느낌을 제공하는데 기존에 진행되었던 연구에 의하면<sup>[18]</sup>, 본 논문에서 제시한 공기촉감제시장치가 충분히 강도를 변하시킬 수 있고 사용자가 느끼는 정도도 유사한 것을 알 수 있었다. 이점을 이용하여 가상의 푸쉬버튼 (Push button) 모델<sup>[20]</sup>에 맞는 힘을 제공하여 버튼 누르는 느낌을 재현 하였다. 즉 첫 번째 구간에서 힘이 선형적으로 증가하다 소위 ‘dead band’부분에서 힘이 급격이 떨어지고 마지막으로 ‘hard stop’ 영역에서 큰 힘이 발생되어 버튼이 딸각하는 느낌을 제공할 수 있다.

또 다른 증강된 객체의 촉각 피드백을 제공하기 장치로써 진동촉감제시장치가 사용된다. 진동자는 회로구성이 간단하여 작은 크기로 구성할 수 있고 컨트롤이 비교적 쉽다.

### III. 구현 및 결과

#### 1. 실험 환경

본 논문에서 제안된 시스템에서, 영상 입출력 장치로 VRmagic<sup>[15]</sup>사의 3D video see-through HMD를 사용하였다. 카메라는 각각의 눈 앞 위치에 장착이 되어있다. 초당 영상입력은 30(f/s)번이고 영상의 해상도는 640\*480픽셀이다. 카메라로부터의 얻어진 두 개의 이미지는 워크스테이션에 입력되어 처리된다. 디스플레이를 위한 이미지는 HMD의 LCD 해상도 일치를 위해서 800\*600으로 재조정된다. 사용된 라이브러리로는 OpenCV<sup>[16]</sup>와 ARToolKit<sup>[17]</sup>을 참조하였다. 실험환경은 그림 4와 같이 실내의 복잡한 환경이다. 사용자는 HMD를 머리에 착용하고 감각형 객체를 이용하여 가상 개체와 상호작용한다. 이 감각형 객체는 게임폰의 목업 모델이며 3D 정보를 얻기 위한 특징 (Fiducial) 마커가 부착되어있다.

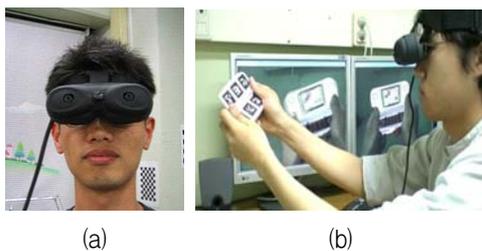


그림 4. (a) HMD를 착용한 사용자 (b) 사용자는 감각형 객체를 이용하여 상호작용 할 수 있음  
Fig. 4. (a) The user wearing the HMD (b) The user can interact with a tangible object (e.g. virtual game-phone).

#### 2. 감각형 객체 구현

본 논문에서 제작된 감각형 객체는 3D 스캐너를 이용하여 실제 게임폰의 목업 모델을 스캐닝한 모델을 기반으로, CNC 가공을 통해 실제 크기와 유사하게 제작되었다. 추가적으로 3D 모델과 감각형 객체의 스케일을 동일하게 하기 위한 후처리 과정이 필요하다.

감각형 객체의 배경 색상은 마커의 색상이 검정색이기 때문에, 검정색의 인식률을 높이기 위해 검정색과 대비가 가장 큰 흰색으로 제작을 하였다. 윗면과 아랫면에 접합부에서 접이식이 되도록 철심을 삽입하였다. 감각형 객체에 부착이 가능한 적절한 크기의 마커의 개수를 고려하여, 한 면당 3개의 마커를 부착하였다. 마커의 크기는 3x3cm 이며 간격은 1cm 이다.

#### 3. 손 가림 현상 감소

그림 5 (a-c)은 입력 이미지를 나타내고 그림 5 (a'-c')은 외곽 면( 상단 면, 하단 면)을 보여준다. 오직 이 영역 내에서만 손 객체를 분리를 함으로써, 전체 이미지를 처리하는데 소비되는 불필요한 시간을 줄일 수 있다.

“Parzen Windows”를 사용하는 커널확률밀도함수의 추정을 통해서, 관측된 데이터를 기반으로 미지의 잠재적인 확률 밀도 함수를 예측한다. 그림 6 (a-c)은 그림 5 (a'-c') 실루엣 영역 내에서의 입력영상 (Hue 공간)의 히스토그램을 보여 주며, 배경과 손 객체 영역의 분포를 관찰 할 수 있다. 그림 6 (a'-c') 은 커널확률밀도함수의 추정, 각 분포의 최대(peak)와 두 분포 사이의 최저 (Valley) 검출의 결과를 보여준다.

그림 7 (a'-c')과 같이 다양한 조명 환경 하에서 가상

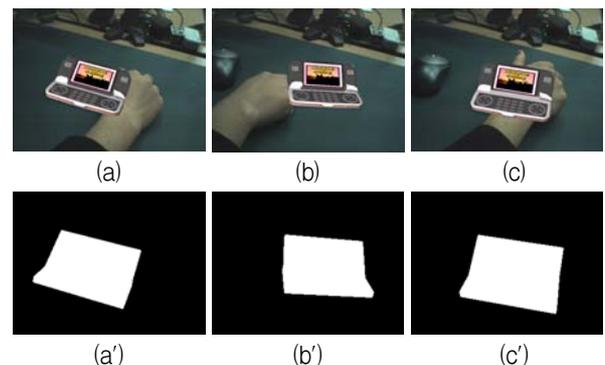


그림 5. (a-c) 손이 가려진 이미지들 (a'-b') 외곽 면(상단 면, 하단 면) 추출  
Fig. 5. (a-c) Hand occluded images (a'-b') Extracted convexes (e.g. the upper side and bottom side of a convex).

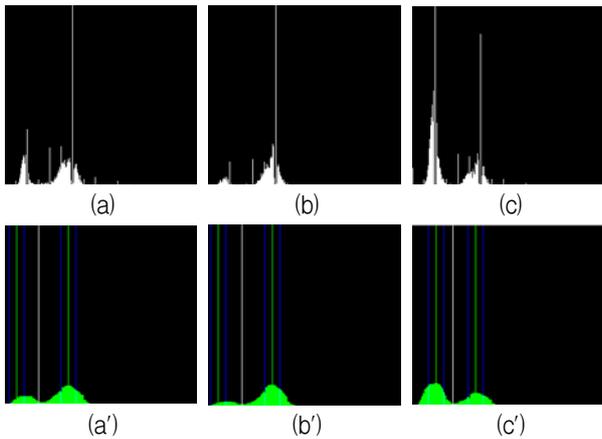


그림 6. (a-c) 그림 6에 해당되는 히스토그램 (a'-c') “Kernel density estimation”의 결과  
 Fig. 6. (a-c) Histograms corresponding the Figure 6. (a'-c') Results of “Kernel density estimation”.

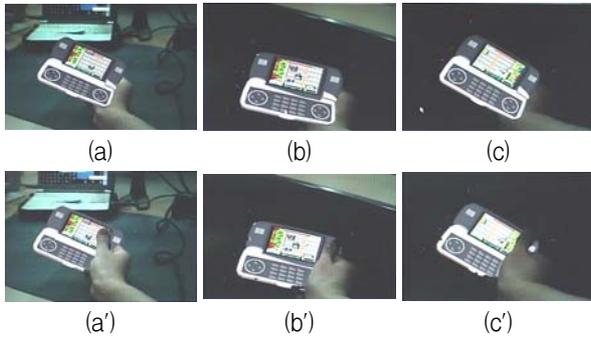


그림 7. 다양한 조명 환경 하에서의 손 객체 분리  
 Fig. 7. Hands object segmentation under various lighting conditions.

객체에 의해 손이 가려지는 문제를 부분적으로 해결함으로써, 자연스런 이미지를 사용자에게 제공할 수 있다.

#### 4. 다차원 피드백

시각 피드백으로써, 사용자는 감각형 객체에 증강된 게임폰에서 실행중인 레이싱 게임 화면을 볼 수 있다. 사용자는 감각형 객체를 x, z 축 방향으로 기울이며 자동차의 방향과 속도가 변하는 모습을 볼 수 있다. 감각형 객체의 기울기는 마커로부터 얻어진 카메라 포즈의 기울기를 계산함으로써 얻을 수 있다.

청각 피드백으로써, 게임 시작 할 때의 기본적으로 재생되는 배경음악과 자동차가 벽 또는 다른 자동차와 충돌할 경우에 재생되는 폭발음은 윈도우 API에서 제공하는 wav 파일 재생 함수를 비동기 방식으로 설정하여 구현되었다.

증강된 객체의 촉각효과를 주기위해 본 논문에서 사용된 촉각제시장치는 공기촉각제시장치와 진동촉각제

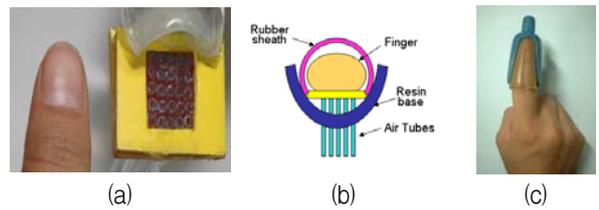


그림 8. 검지 손가락 끝에 부착된 5 X5 배열의 공기 촉각제시장치  
 Fig. 8. 5 X 5 array of pneumatic tactile display.

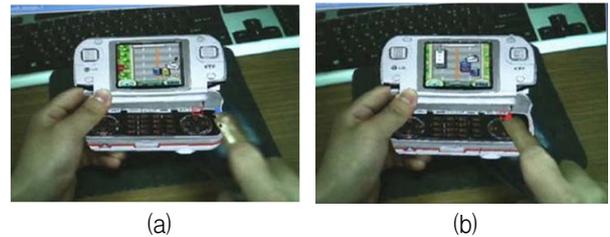


그림 9. (a) 손가락 끝 점 추출 (b) 공기촉각제시  
 Fig. 9. (a) The extracted fingertip point (b) The push effect of air-jet buttons.

시장치이다. 두 가지 촉각제시장치 모두 마이크로컨트롤러인 ATmega 128에 의해 구동되고 제어되고, 블루투스 무선통신 모듈 (ADCODE-30)을 통해 PC와 직렬 통신을 하여 신호를 전송받게 된다. 5X5의 배열로 구성된 공기 촉각제시 장치는 더욱 자연스러운 상호작용을 위해 검지 끝 (Fingertip)에 부착이 되어있다. 공기촉각제시장치에 사용되는 밸브는 연유뉴메틱사의 YSV10s 이고 공기촉각장치는 5 x 5의 배열로 구성되고 사용된 튜브의 외경은 2.44, 내경은 1.5mm이다. 그림 8 (b)는 구현된 디스플레이의 단면을 보여주는 그림이다. 5\*5 배열의 튜브 끝이 손가락의 평평한 면에 접촉을 하게 하고, 사용자가 디스플레이에 손가락을 끼웠을 때 잘 맞게 하기 위해 고무 밴드로 손가락 형태를 만들었으며 (c)에서와 같이 검지 끝을 감싸는 형태의 공기촉각장치를 구성하였다.

그림 9 에서와 같이 본 논문에서 제안한 공기촉각제시장치를 이용하여 사용자가 감각형 객체의 버튼을 누를 때 버튼 느낌을 피드백 받을 수 있다. 감각형 객체내의 손 분리 결과를 통해, 손가락 부분을 제외한 나머지 공기촉각 디스플레이 부분은 게임폰 렌더링 부분에서 제외된다.

그림 10 (b)에서 보는 바와 같이 진동촉각제시장치는 제작된 감각형 객체 안에 좌우 내부에 장착을 하였다. 본 게임폰 시나리오의 경우, 진동자는 7단계로 진동의 강도를 제어하도록 하였고, 게임 시작 될 때 기본적으로 2단계의 진동의 강도를 제공하도록 하였다. 만약에



그림 10. (a) 감각형 객체 (b) 감각형 객체의 내부 부품  
Fig. 10. (a) The tangible object (b) The inner parts of a tangible object.

자동차가 벽 또는 다른 자동차와 충돌하는 경우에는 진동의 강도를 7단계로 높였다.

#### 5. 게임 시나리오 및 데모 시연 관찰

그림 11은 감각형 객체에 증강된 게임폰에서 실행 중인 레이싱 게임을 보여준다. 사용자는 감각형 객체를 x, z 축 방향으로 기울이며 자동차의 방향과 속도를 조정할 수 있다. 만약 플레이어가 벽과 충돌한다면, 진동 피드백이 생성되고, 폭발음이 재생되게 된다. 이와 같은 시/청/촉감의 다차원 피드백을 사용자에게 실시간으로 제공한다.

구현된 시스템을 이용하여 초등, 중등, 고등학생과 일반인을 대상으로 시연하였다. 데모 참가자들은 현실과 가상이 혼합되어 있는 증강현실을 경험하였을 때 신기한 반응을 보였으며 본 논문에서 제안된 몰입감 향상 방법들의 유용성에 대해서 긍정적인 평가를 보였다. 하지만 참가자들은 HMD의 LCD를 통해 보이는 낮은 화질 영상과 어지러움에 대해서 불만을 표현하였다.



그림 11. 감각형 객체를 기울임으로써 게임 조작  
Fig. 11. Game control by tilting the tangible object.

#### IV. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는, AR 기반 제품 디자인에서의 가상객체의 실감 있는 재현을 위한 몰입감 향상 기법들을 제안하였다. 감각형 객체를 도입함으로써 사용자에게 촉감을 제공할 수 있었고, 가상객체에 의한 손가림 문제

를 부분적으로 해결함으로써 자연스러운 이미지를 얻을 수 있었다. 또한, 촉각 피드백에 초점을 맞춘 다차원 피드백으로 사용자와 가상객체간의 상호작용성을 개선시켰다.

제안된 방법론들을 기반으로 하여 구현된 게임폰 모델을 위한 실감모델 테스트베드에서, 사용자는 감각형 객체에 증강된 게임폰을 손에 쥐고 기울여서 특정 이벤트를 발생시킬 수 있었고, 그에 따른 다차원 피드백을 제공받았다. 제안된 방법론들은 기존의 AR 시스템의 실감 있는 재현에 공헌을 할 수 있을 것이다.

향후 연구로써 손끝의 3D 깊이 정보 추출을 통한 가상객체와의 3D 상호작용과 모든 특징 마커가 검출되지 않았을 경우에도 가상객체가 증강이 될 수 있도록, 감각형 객체의 포인트 트래킹을 통한 증강을 고려하고 있다. 또한, 몰입감 평가 측면에서 정량/정성적인 사용성 평가가 수행하여야 한다.

#### 참고 문헌

- [1] G. Klinker, AH. Dutoit, M. Bauer, Bayer, J. Novak, DV. Matzke, "Fata Morgana - a presentation system for product design," International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 76-85, 2002.
- [2] M. Fiorentino, R. de Amicis, G. Monno, A. Stork, "Spacedesign : A Mixed Reality Workspace for Aesthetic Industrial Design," International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 86 - 318, 2002.
- [3] W. Lee, J. Park "Augmented Foam: A Tangible Augmented Reality for Product Design," International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 106 - 109, 2005.
- [4] Phantom device, [http://www.sensable.com/products/phantom\\_ghost/phantom.asp](http://www.sensable.com/products/phantom_ghost/phantom.asp)
- [5] "An introduction to kernel density estimation," <http://www.maths.uwa.edu.au/~duongt/seminars/intro2kde/>
- [6] LG-KV 3600, [http://www.cyon.co.kr/good/product/product\\_view1.jsp?product\\_id=165](http://www.cyon.co.kr/good/product/product_view1.jsp?product_id=165)
- [7] G. Lee, C. Nelles, M. Billinghamurst, GJ Kim, "Immersive Authoring of Tangible Augmented Reality Application," International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 172-181, 2004.
- [8] S. Malik, C. McDonald, G. Roth, "Hand Tracking

- for Interactive Pattern-based Augmented Reality," International Symposium on Mixed and Augmented Reality, pp. 117-126, 2002.
- [9] D. Avis, Toussaint. "An optimal algorithm for determining the visibility of a polygon from an edge," Transactions on Computers, pp. 910-914, 1981.
- [10] S. theodoridis, k. koutroumbas, "Classifiers based on Bayes decision theory," Book of Pattern recognition, Elsevier academic press
- [11] JR. Parker, "Advanced methods in grey-level segmentation," Book of algorithms for image processing and computer vision, Wiley
- [12] D. Feygin, M. Keehner, F. Tendick, "Haptic Guidance: Experimental Evaluation of a Haptic Training Method for a Perceptual Motor Skill," International Symposium in Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 40-47, 2002.
- [13] M. Reiner, "The Role of Haptics in Immersive Telecommunication Environments," Transactions on circuits and systems for video technology, pp. 392-401, 2004.
- [14] Buchmann, S. Violich, M. Billinghamurst, "A. Cockburn. FingARtips: gesture based direct manipulation in Augmented Reality," International conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and SouthEast Asia, pp. 212-221, 2004.
- [15] VRmagic, [http://www.vrmagic.com/index\\_e.html](http://www.vrmagic.com/index_e.html)
- [16] Intel OpenCV Library, <http://www.intel.com/research/mrl/research/opencv/>
- [17] ARToolKit, <http://www.hitl.washington.edu/ARToolKit>
- [18] Y. Kim, I. Oakley, J. Ryu, "Combining Point Force Haptic and Pneumatic Tactile Displays," EuroHaptics, pp. 309-316, 2006.
- [19] G. Hakan, P. Benjamin, J. Sankar, J. Uma, "Design of a Haptic Device for Weight Sensation in Virtual environments," International Mechanical Engineering Congress & Exposition, 2002.
- [20] T. Miller, B. Zeleznik, "The Design of 3D Haptic Widget," Symposium on Interactive 3D Graphics Atlanta, pp. 97-102, 1999.
- [21] G. THakan, P. Benjamin, J. Sankar, J. Uma, "Design of a Haptic Device for Weight Sensation in Virtual environments," American Society Of Mechanical Engineers, pp 1-9, 2002.
- [22] G. Moy, C. Wagner, R.S. Fearing "A Compliant Tactile Display for Teletaction," International Conference on Robotics and Automation, pp.3409-3415, 2000.
- [23] K. Amemiya, Y. Tanaka, "Portable Tactile Display Using Air Jet," International Conference on Artificial Reality and Telexistence, pp.115-122, 1999.

저 자 소 개



하 태 진(학생회원)  
 2005년 동국대학교 정보통신  
 공학과 학사 졸업.  
 2006년~현재 광주과학기술원  
 정보기전학부 정보통신학과  
 석사 과정.

<주관심분야: 혼합/가상현실, 컴퓨터비전기반 사  
 용자 인터페이스, 유비컴퓨팅, HCI>



김 영 미(학생회원)  
 2004년 한국해양 대학교 기계정보  
 공학부 학사 졸업.  
 2006년 광주과학기술원 정보기전  
 학부 기전공학과  
 석사 졸업.  
 2006년~현재 광주과학기술원  
 정보기전학부 기전공학과  
 박사 과정.

<주관심분야: 촉감제시장치 설계, 촉감방송, 정신  
 물리학, 증강환경에서의 역/촉감 기술>



류 제 하(종신회원)  
 1982년 서울대학교 기계공학과  
 학사 졸업.  
 1984년 한국과학기술원  
 기계공학과 석사 졸업.  
 1991년 University of Iowa,  
 기계공학과 박사 졸업.

1992년~1994년 Master Engineer, BMY Combat  
 Systems, York, PA, USA

1994년~현재 광주과학기술원 정보기전학부  
 정교수.

<주관심분야: 촉각기술, 촉각렌더링, 촉각장치  
 설계 및 제어, 촉각방송, 촉각모델링>



우 운 택(종신회원)  
 1989년 경북대학교 전자공학과  
 학사 졸업.  
 1991년 포항공과대학교 전기전자  
 공학과 석사 졸업.  
 1998년 University of Southern  
 California, Electrical  
 Engineering-System 박  
 사 졸업.

1991년~1992년 삼성종합기술연구소 연구원.

1999년~2001년 ATR, Japan, 초빙 연구원.

2001년~현재 광주과학기술원 정보기전학부  
 부교수

2005년~현재 문화기술연구센터장

<주관심분야: 3D computer vision, attentive  
 AR/mediated reality, HCI, affective sensing,  
 context-aware for ubiquitous computing>