



## **Natural Interaction for Immersive Tiled Displays**

**Sungmin Im<sup>1</sup>, Dong-Soo Choi<sup>2</sup>, Sang-Youn Kim<sup>2</sup>, Jae-Hyub Lee<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*School of Education, Sookmyung Women's University*

<sup>2</sup>*Department of Computer Science & Engineering, ATRC, Korea University of Technology and Education*

### **ABSTRACT**

One of the most important factors for constructing virtual reality systems is to create realistic visual information and to convey it to users. A tiled display is one of virtual reality platforms which generate high-quality images and guarantee wide view angle using multiple projectors. The tiled display can fill a user's field of view with high resolution images so that the user is provided increased the sense of the reality. For increasing immersion in tiled display, it is necessary to consider a natural interaction system, where a user not only intuitively manipulates graphic contents with his/her gesture or motion input but also senses haptic feedback to the user according to his/her gesture and motion input. Thus, in this paper, we propose an interaction device which naturally interacts with graphic objects expressed on a tiled display. The proposed interaction device not only detects a user's gesture with an inertia measurement unit (an IMU), an infrared camera, and an infrared LED but also creates haptic feedback with a vibrotactile actuator. Furthermore, this paper suggests a new haptic model which allows a user to experience the same sensation as if he/she touches or manipulates a real object. If the proposed interaction device is used for constructing virtual reality application, a user can naturally interact with virtual objects and can be provided realistic sensation.

© 2014 KKITS All rights reserved

**KEYWORDS** : Haptics, Simulators, Motion Feedbacks, Natural Interactions, Ski

**ARTICLE INFO** : Received 2 July 2014, Revised 13 August 2014, Accepted 18 August 2014.

\*Corresponding author is with the Department of Computer Science & Engineering, Korea University of Technology and Education.

E-mail addresses : [jae@kut.ac.kr](mailto:jae@kut.ac.kr), Tel : +82 41 560 1461, Fax : +82 41 560 1462

### **1. 서론**

최근 현실세계에서 체험할 수 있는 다양한 상황들이 마이크로프로세서와 컴퓨터 그래픽 기술의 발전으로 인해 가상공간에서도 간접적으로 체험할

수 있게 되었다. 이로 인해 컴퓨터로 제어되는 가상공간에서 사용자가 현실세계와 유사한 체험을 하게 하는 가상현실 기술이 각광받고 있다. 이와 같은 가상현실 기술은 그 쓰임새를 디자인, 시뮬레이션, 오락뿐만 아니라 의료 분야나 공학 분야의 학습 도구로도 넓혀가고 있다.

초기의 가상현실 시스템은 2D 모니터나 제한된 크기를 갖는 스크린에서 물체의 형상을 시각화 하는데 초점을 맞추었다. 가상현실 시스템에서 가장 중요한 것 중의 하나는 마치 사용자가 실제세계에서 물체를 탐험하는 것과 같은 현실감을 생성하여 사용자에게 전달하는 것이다.

최근 들어 현실감을 생성하기 위하여 사용자의 시야(Field of view, FOV)를 고해상도의 이미지를 이용하여 채워주는 타일드 디스플레이 방식에 대한 연구가 많이 시도되고 있다[1-8]. 이와 같은 타일드 디스플레이들은 여러 대의 모니터를 연결하거나 여러 대의 프로젝터를 연결하여 하나의 큰 고해상도의 이미지를 생성하였다. 그러므로 이러한 타일드 디스플레이방식은 비교적 저렴한 가격으로 높은 해상도를 구현할 수 있고, 필요에 따라 프로젝터를 추가하면 그 해상도 및 전체 스크린의 크기를 원하는 대로 확장할 수 있다는 장점이 있다.

일반적으로 사람은 정면을 응시하고 있을 때 시야각(forward-facing FOV)는 약 180도 정도 되지만 유효 FOV는 약 120도 정도 된다[9]. 그러므로 타일드 디스플레이방식에서 가장 중요한 것 중 하나는 유효 FOV를 채우면서도 영상의 왜곡 없이 연속적인 이미지가 생성될 수 있도록 하는 스크린 형태를 개발하는 것이다.

일반적으로 가상환경을 구축하기 위하여 평평한 타입(wall type), 실린더 타입(cylindrical type), 돔 타입(dome type), 그리고 케이브 타입(CAVE type)의 네 가지의 스크린 타입이 가장 많이 사용된다. 타일드 디스플레이의 장점 (사용자들 사이에 가상

환경을 공유하게 해줌)을 극대화하기 위해서는, FOV를 모두 채워줄 수 있는 실린더 타입이 유용하다. 그러나 가상의 이미지를 실린더 타입의 스크린으로 프로젝션 할 때 두 가지의 문제점이 존재한다. 첫 번째로는 연속적이고 부드러운 이미지를 생성하기 위해 복잡한 캘리브레이션 기법을 개발하여 적용해야 한다는 점이다. 또 다른 문제는 대상 물체를 실린더 타입의 스크린 위에 정확히 표현하기 위해 많은 계산이 필요하다는 점이다.

이러한 문제점을 보완하기 위해 이전연구에서는 실린더 타입의 단점을 보완하고 장점을 그대로 살릴 수 있는 꺾인 면 타입의 스크린을 개발하였다[10]. 꺾인 면 타입의 스크린은 좌우 대칭으로 총 8개의 평평한 부 스크린(sub screen)으로 구성되어 있고 각 작은 면은 평평한 타입 스크린(flat type screen)과 같이 구성되어 있으므로 개발 및 유지보수가 용이 하며 쉽게 캘리브레이션 과정을 수행할 수 있다. 또한 왼쪽 부 스크린부분과 중앙 부 스크린 부분 사이의 각도는 120도이고 사용자가 스크린의 1m 앞에서 있을 때 사용자의 FOV는 160도가 되어 사용자의 유효 시야각을 모두 채워 사용자에게 현실감을 전달해 줄 수 있다.

이전 연구에서 개발한 타일드 디스플레이에서는 사용자는 저작도구를 이용하여 타일드 디스플레이 시스템의 콘텐츠들을 조작한다. 그러나 저작도구는 제어 PC와 연결된 모니터 상에 존재하고, 콘텐츠는 타일드 디스플레이에서 표현되므로 타일드 디스플레이와 상호작용이 매우 불편하다는 단점을 가지고 있었다.

이와 같은 단점을 극복하기 위해 본 연구에서는 햅틱 피드백이 가능한 사용자 모션인식 기능을 갖는 인터랙션 장치를 개발하고 타일드 디스플레이에 적용한다. 개발한 장치를 이용하여 사용자는 타일드 디스플레이의 스크린 위에서 마치 터치스크린을 조작하는 것과 같이 물체를 누르거나 문질러

콘텐츠를 조작하며, 콘텐츠의 정보에 따른 햅틱 감각을 전달받을 수 있다.

## 2. 꺾인 면 스크린을 가진 타일드 디스플레이 시스템 구성

본 연구의 목적은 사용자가 타일드 디스플레이에서 표현되는 그래픽 콘텐츠와 현실감 있게 상호작용을 가능하게 하는 자연스러운 인터랙션 장치를 개발하는 것이다. 이를 위하여 본 장에서는 기 개발된 꺾인 면 스크린 타입의 타일드 디스플레이 시스템에 대하여 설명한다.

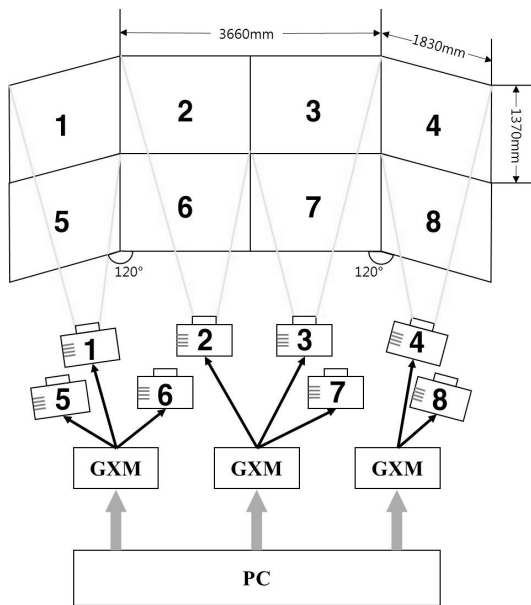


그림 1. 타일드 디스플레이시스템의 하드웨어 구성도  
Figure 1. Hardware architecture of the tiled display system

<그림 1>은 이전연구에서 구축한 타일드 디스플레이의 구성 도를 보여준다. 이전 연구에서 개발한 타일드 디스플레이는 꺾인 면 스크린, 프로젝터들, 영상분배기(GXM), 그리고 Main PC로 구축되었다. 영상은 총 8개의 평평한 부 스크린으로 구성된 꺾

인 면 타입의 스크린에 투사된다. 좌측과 중앙 그리고 중앙과 우측 스크린은 대칭이며 꺾인 각도는 120도로 제작되어 사용자가 스크린의 1m 앞에 서 있을 때 사용자의 FOV는 160도가 되어 유효 시야각을 모두 채울 수 있다. 또한 개발한 타일드 디스플레이는 하나의 PC에서 해상도가 1024 x 768 인 저가의 DLP 프로젝터들을 사용하여 영상을 생성하였다. PC의 그래픽 가속기와 프로젝터들은 영상분배기로 연결하여 하나의 PC에서 고 해상도를 생성할 수 있도록 개발하였다[10].

## 3. 인터랙티브 타일드 디스플레이

본 장에서는 인터랙션장치의 개발에 대하여 기술하며 인터랙션장치를 타일드 디스플레이에 적용하여 구축한 현실감 있는 상호작용 타일드 디스플레이에 대하여 설명한다.

### 3.1 인터랙션 장치

타일드 디스플레이와 같이 큰 사이즈를 갖는 영상정보와 충돌을 검사할 때 계산에 필요한 면의 수가 너무 많기 때문에 일반적으로 AABB 나 OBB 와 같은 프락시(proxy)를 이용한다. 그러나 이와 같은 방법을 이용하였을 경우 실제물체와 사용자의 인터랙션 포인트 사이에 충돌되지 않았는데도 충돌되었다고 검출되는 상황이 존재한다. 그러므로 본 연구에서는 프락시를 설정하고 상황에 따라서 프락시의 크기를 상황에 맞게 실시간으로 변화시켜 충돌을 검출하는 I-collide 방법을 이용하였다[12].

충돌 이후 사용자가 가상의 환경 내에 존재하는 물체와 자연스럽게 상호작용 하기 위해, 본 연구에서는 마치 사용자가 터치스크린 화면을 누르거나 문질러 물체를 제어하듯이 각각의 컨

트를 화면상에서 직접 조작할 수 있는 인터랙션 장치를 개발하였다(〈그림 2〉). 개발한 인터랙션 장치는 적외선 발광부, 관성측정 유닛(IMU : Inertia Measurement Unit), 적외선 카메라, 그리고 진동모터로 구성하였으며 펜형 목업에 탑재하였다. 관성측정 유닛은 사용자의 손끝의 회전을 측정하는데 사용하였으며 적외선 센서는 사용자의 손끝의 위치를 측정하는데 사용하였다.

사용자는 손으로 펜 타입의 인터랙션 장치(VR 펜)를 잡고 화면에 접촉시키고 글을 쓰면, 글을 쓰는 움직임이 적외선 발광 부를 통해 적외선 카메라로 전달이 된다. 또한 VR 펜에는 두 개의 버튼이 있어서 마치 마우스를 이용하는 방식과 동일하게 화면을 조작할 수 있다. 이 모든 데이터는 무선 블루투스를 이용해 Main PC에 전달된다.

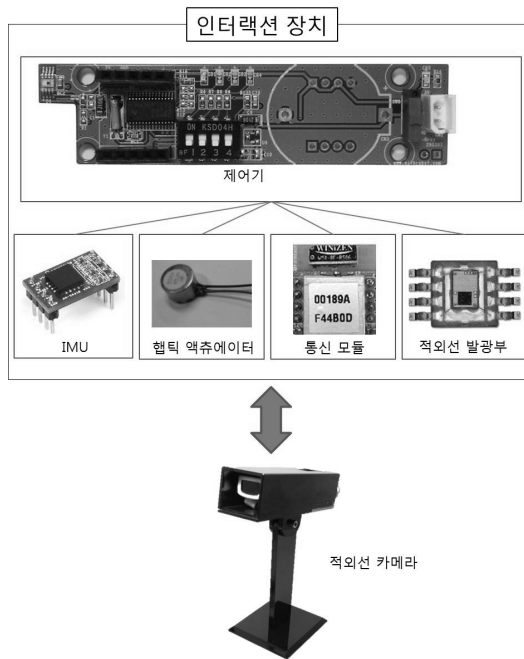


그림 2. 개발한 인터랙션 장치의 상세 구조  
Figure 2. The detailed structure of the developed interaction device.

본 연구에서는 또한 사용자에게 화면에 글을 쓸 때 촉감정보를 생성하여 사용자에게 전달하기 위해 햅틱 액추에이터를 VR 펜에 탑재하였다. 햅틱 정보를 추출하기 위해 그래픽 물체의 역 그레이값(inverse gray value)을 이용하여 height map을 작성하였다. 역 그레이 값은 검정색을 255으로 하고 흰색을 0로 하여 설정하였다. 그리고 이 값을 물체의 높이 값으로 설정하고 햅틱 모델을 구축하였다. 〈그림 3〉과 수식 1은 제안하는 햅틱 모델을 보여주고 있다. 〈그림 3(a)〉에서 각각의 블록은 하나의 픽셀일수도 있고 여러 픽셀들로 이루어진 영역일수도 있다. 각 영역은 그레이 값이 같은 곳으로 구분되어져 있다. 〈그림 3(a)〉에서 각 블록에 쓰여 있는 숫자는 역 그레이 값을 보여준다. 본 연구에서는 햅틱 감각을 표현하기 위해 ‘가상영역’의 개념을 제안하였다. 가상영역은 아주 작은 면적을 갖는 곳으로 〈그림 3(b)〉와 같이 두 개의 블록이 접하는 곳에 존재한다고 가정하였다. 가상영역은 스크린 상에 보이지 않으며 진동을 발생시키기 위해서만 사용된다.

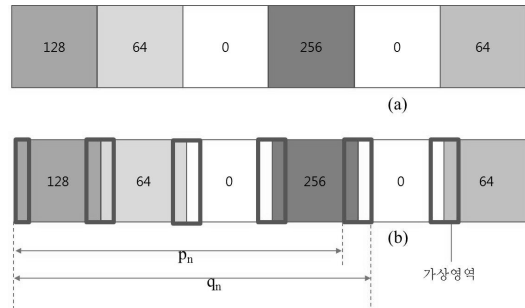


그림 3. 역 그레이 값을 이용한 햅틱 모델  
Figure 3. The proposed haptic model using inverse gray value

본 연구에서 제안하는 진동기반 햅틱 렌더링의 기본 개념은 사용자가 화면을 VR 펜을 이용하여 문지를 때 펄스형태를 가진 제어 입력신호를 햅

틱 액추에이터에 가하는 것이다. 제어신호를 생성하기 위해 사용자가 화면에 VR 펜을 대는 바로 그 시작점( $O_o$ )과  $n$ 번째 가상영역의 시작부분 사이의 거리를  $p_n$ 이라고 가정하고,  $O_o$ 와  $n$ 번째 가상영역의 끝부분 사이의 거리를  $p_n$ 이라고 가정하였다. VR 펜에 탑재된 햅틱 액추에이터의 제어 입력신호의 크기는 현재 가상영역과 이전의 가상영역사이의 역 그레이 값의 차이( $h_n$ )에 비례한다. 그러므로 햅틱 액추에이터로의 제어 입력신호 ( $V_i$ )는 수식 (1)과 같이 계산될 수 있다.

$$V_i(l) = \sum_{n=1} h_n(u(l-p_n) - u(l-q_n)) \quad (1)$$

수식 (1)에서  $l$ 은  $O_o$  점에서부터 현재 VR 펜을 얼마나 이동시켰는지에 대한 거리이며  $u(l-p_n)$ 과  $u(l-q_n)$ 은 단위 계단함수 (unit step function)이다.

### 3.2 상호작용 타일드 디스플레이

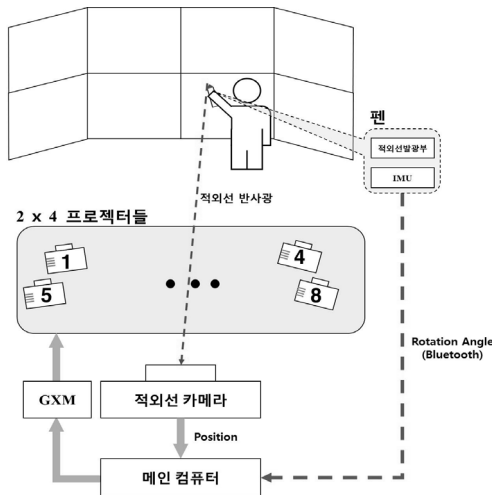


그림 4 개발한 타일드 디스플레이의 상세 구조  
Figure 4. The detailed structure of the developed tiled display

<그림 4>는 3.1 장에서 설명한 펜 타입의 인터랙션 장치를 적용한 현실감 있는 상호작용 타일드 디스플레이의 상세구조를 보여준다.

전체적인 시스템은 인터랙션 장치, 프로젝터들, 적외선 카메라, 무선통신 모듈, 그리고 Main PC 로 구성되어 있다. 적외선 카메라와 블루투스 동글이 PC와 연결되어 있으며 프로젝터들은 PC내의 그래픽가속기와 영상분배장치를 통해 연결되어 있다. 그리고 적외선 발광부와 IMU는 인터랙션 장치에 탑재되어 있으며 사용자의 손끝의 위치는 적외선을 통해 PC와 통신하며 손끝의 각도는 IMU에서 계산되어 블루투스를 통해 Main PC로 전달된다.

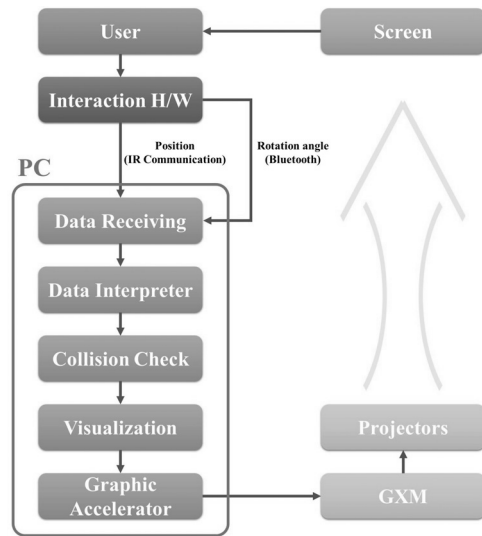


그림 5. 전체 시스템의 신호 흐름도  
Figure 5. The signal flow of the proposed system

또한 <그림 5>는 전체 시스템의 신호 흐름 도를 보여주고 있다. 사용자가 인터랙션 장치를 잡고 움직이면 사용자 모션의 궤적이 적외선 센서를 통해 파악되며, 사용자 모션의 각도는 인터랙션 장치 내에 탑재된 IMU를 통해 측정된 후 블루투스를 통해 Main PC 의 데이터 획득 부분(Data receiving part)로 전달된다. 이렇게 획득된 사용자의 모션 정보는

데이터 분석 부(data interpreter)를 통해 해석되어 전역좌표계로 변환된다. 그 후 전역좌표계로 변환된 사용자 손끝의 위치는 가상환경 내의 물체와의 충돌을 검사하는데 사용되고 충돌이 발생하면 사용자의 움직임에 따라 물체의 회전, 이동 등이 계산되어 가시화 부(visualization part)로 전달되어 그래픽 적으로 표현된다. 이렇게 표현된 그래픽 정보들은 그래픽 가속기와 영상분배기(GXM)을 통해 대응되는 프로젝터들로 전달되어 꺾인 면 스크린에 가시화 되어 사용자가 시각적으로 볼 수 있게 된다. <그림 6>은 사용자가 인터랙션 장치를 이용하여 타일드 디스플레이의 물체를 조정하여 회전 및 확대 또는 축소시킨 결과를 보여준다. 이렇게 물체를 제어할 때 3.1장에서 설명한 것과 같이 물체 표면의 특징과 사용자의 인터랙션 정도에 따라 사용자는 물체표면의 거칠기를 촉각적으로 파악할 수 있다.

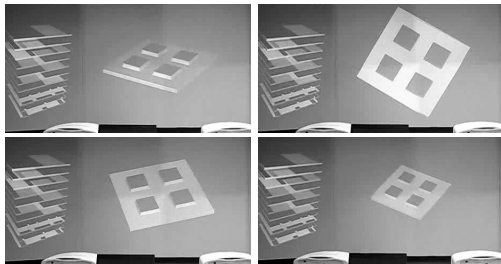


그림 6. 인터랙션장치를 이용하여 물체를 회전/축소시킨 결과  
Figure 6. Rotated and scaled result when the proposed device is applied to the tiled display

실시간으로 타일드 디스플레이에서 가상의 물체들을 실시간으로 로딩 하고 시각화하기 위해 메쉬 단순화 알고리즘을 사용하여 3D 메쉬 모델의 꼭짓점 개수를 축소하였다. 메쉬 간략화를 수행하기 위해 에지축약 우선순위를 결정하고, 에지축약 이후 새로운 정점 위치를 선정하였다. 정점의 수를 최소화하기 위해 삼각 메쉬 축소법(Triangular Mesh Simplification Method)[11]을 이

용하였다.

본 연구는 기존의 연구와는 달리 타일드 디스플레이와 같은 커다란 화면과 사용자의 모션 정보를 전달하고 전달한 정보와 그래픽 물체의 속성에 따라 햅틱 감각을 전달해 준다. 그러므로 기존의 모션 인터랙션 시스템보다 좀 더 현실감을 사용자에게 전달할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 사용자의 자연스러운 모션 정보를 측정하고 이를 기반으로 타일드 디스플레이에 표현되는 그래픽물체를 직관적으로 조작할 수 있는 인터랙션 장치를 개발하였다. 또한 햅틱 모델을 제시하고 햅틱 액추에이터를 구동하여 사용자에게 촉감을 제시하여 타일드 디스플레이와 인터랙션할 때 현실감을 전달해 주었다. 본 연구결과를 다양한 가상환경 구축에 이용한다면 가상환경에서 사용자에게 현실세계에서 발생하는 상황들을 더욱 사실적으로 표현하는 데에 도움이 될 것으로 판단된다.

#### References

- [1] M. Hereld, I. R. Judson, and R. L. Stevens, *Introduction to building projection-based tiled display systems*, IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 20(4), pp. 22-28, 2000.
- [2] R. Yang, D. Gotz, J. Hensley, H. Towles, and M. Brown, *PixelFlex: A reconfigurable multi-projector display system*, The Proceedings of IEEE Visualization, 2001.
- [3] Y. Chen, H. Chen, D. Clark, Z. Liu, G. Wallace, and K. Li, *Software environments for cluster-based display systems*, The

- Proceedings of IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid, pp. 202-210, 2001.
- [4] F. Guimbretire, M. Stone, and T. Winograd, *Fluid interaction with high-resolution wall-size displays*, Proceedings of UIST 2001, pp. 21-30, 2001.
- [5] S. Yamaoka, K.U. Doerr, and F. Kuester, *Visualization of high resolution image collections on large tiled display walls*, Future Generation Computer Systems, Vol. 27, No. 5, pp. 498-505, 2011.
- [6] Z. Seldess, S. Yamaoka, and F. Kuester, *Sonnotile: Audio annotation and sonification for large tiled audio/visual display environments*, Proceeding of the 17th International Conference on (ICAD-2011), 2011.
- [7] J. Kimball, K. Ponto, T. Wypych, and F. Kuester, *RSVP: Ridiculously scalable video playback on clustered tiled displays*, Proceedings of the 15th IEEE International Symposium on Multimedia, 2013.
- [8] J Mangan, D Srour, F Kuester, *MediaCommons: A scalable abstraction for tiled display environments media commons: A scalable abstraction for tiled display environments*, Proceedings of VISTech'13, 2013.
- [9] K. W. Arthur, *Effects of field of view on performance with head-mounted displays*, Master Thesis, Univ. of North Carolina, 2000.
- [10] S.Y. Kim, H.K. Park, D.Y. Kim, *A tiled display system for immersive education*, Proceedings of the International Conference on Computer Supported Education, pp. 394-397, 2009.
- [11] S. Ning, L. Han, Y. Zhu, *Triangular mesh simplification method based on vertex classification and vertex importance*, Journal of Information & Computational Science, Vol. 10, No. 15, pp. 4911-4916, 2013.
- [12] D. C. Jonathan, C. Ming, D. Manocha, and K. P. Madhav, *I-collide: An interactive and exact collision detection system for large-scaled environments*, the Proceedings of Symposium on Interactive 3D Graphics, pp. 189-196, 1995.

---

## 현실감 있는 타일드 디스플레이를 위한 자연스러운 인터랙션에 대한 연구

임성민<sup>1</sup>, 최동수<sup>2</sup>, 김상연<sup>2</sup>, 이재협<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>숙명여자대학교 교육학부

<sup>2</sup>한국기술교육대학교 컴퓨터공학부

---

### 요 약

가상현실 시스템을 구축하는데 있어서 가장 중요한 요소 중 하나는 사실적인 시각정보를 생성하여 사용자에게 전달하는 것이다. 타일드 디스플레이는 여러 프로젝트들을 이용하여 고해상도의 이미지를 생성하며 넓은 시야각을 보장해 주는 가상현실 플랫폼 중 하나이다. 타일드 디스플레이는 사용자의 시야각을 고해상도의 이미지로 채워 사용자에게 현실감을 증가시켜준다. 타일드 디스플레이에서 몰입감을 증폭시키기 위해 사용자의 제스처나 모션에 따라 직관적으로 그래픽 물체들을 조작하고 사용자의 제스처나 모션에 따라 햅틱 감각을 생성하는 자연스러운 상호작용 시스템을 고려해야 한다. 그러므로 본 연구에서는 사용자가 실제 물체를 조작하는 것과 같은 느낌을 전달받는 인터랙션 장치를 개발하고 타일드 디스플레이에 적용한다. 인터랙션 장치는 사용자의 모션을 측정하기 위한 관성측정유닛과 적외선 카메라와 햅틱 감각생성을 위한 햅틱 액츄에이터로 구성되었다. 제안하는 액츄에이터는 가상현실 응용에 사용되어 사용자는 자연스럽게 현실감있게 가상의 물체와 인터랙션할 것이다.



**Sungmim Im** received a B.S. (1993) from the Sookmyung Women's University, Korea and an M.S. (1995) in Division of Education at Sookmyung Women's University. Her current research interests include Educational Technology, Virtual Reality, and Immersive Educational System.

*E-mail address:* [sungminim@naver.com](mailto:sungminim@naver.com)



**Dong-Soo Choi** received the B.S. in the Department of Computer Science and Engineering from the Korea University of Technology and Education in 2013. His current research interests include Haptic Rendering, Embedded System.

*E-mail address:* [mycds88@koreatech.ac.kr](mailto:mycds88@koreatech.ac.kr)



**Sang-Youn Kim** received a B.S. (1994) from the Korea University, Korea and an M.S.E (1996) and a Ph.D. (2004) in mechanical engineering at Korea Advanced institute of Science and Technology (KAIST). From 2004 to 2005, he was a researcher at Human Welfare Robot System Research Center. In 2005, he was a research staff at Samsung Advanced Institute of Technology (SAIT). He is currently a professor of Computer Engineering at Korea University of Technology and Education. His current research interests include Human- Computer Interaction, Virtual Reality, and Haptics.

*E-mail address:* [sykim@kut.ac.kr](mailto:sykim@kut.ac.kr)



**Jae-Hyub Lee** received a B.E. (1984) from the Hongik University, Korea and an M.S. (1987) and a Ph.D. (1992) in computer science at Illinois Institute of Technology, respectively. He is currently a professor of Computer Science and Engineering at Korea University of Technology and Education. His current research interests include Computer Graphics and Virtual Reality.

*E-mail address:* [jae@koreatech.ac.kr](mailto:jae@koreatech.ac.kr)