

증강현실에 사용되는 상호작용 방법의 종류 및 분석

황재인 (한국과학기술연구원)

목 차	1. 서 론
	2. Browsing Interface
	3. Tangible Interaction
	4. Bare-hand Interaction
	5. Haptic Interface
	6. AR 인터랙션의 향후 전망

1. 서 론

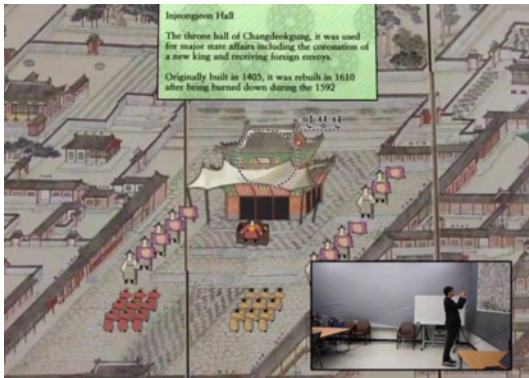
증강현실에서 증강된 객체와 자연스럽게 인터랙션을 하는 것은 중요한 문제인데 사용자가 가상의 객체와 실제의 객체가 혼재된 환경에서 현실에서 사용가능한 인터랙션 방법과 가상적인 인터랙션 방법사이에 차이(seam)를 크게 느끼지 않는 방향으로 설계해야 하기 때문이다. 이는 사용자가 증강현실에서 증강(augmentation)을 시키려면 크게 세가지 측면, 즉 인터랙션(interaction), 행동(action), 인지(perception), 에서 증강을 시켜야 하는 것과도 일치한다^[1]. 인터랙션을 증강시킨다는 의미는 사용자가 컴퓨터를 가능하면 투명(transparent)하게 느끼게 만들어야 하는데 예를 들어서 tangible interface 같은 경우에는 사용자가 실제 물체를 만질 수 있으므로 인터페이스를 자연스럽게 느끼게 된다. 특히나 증강현실에

서는 인터랙션을 실시간(real-time)으로 가능해야 한다는 것이 일반적인 영상 합성 기법과 결정적인 차이이기 때문에 인터랙션은 중요하다^[1].

AR 인터랙션의 종류는 다양하게 분류가 되는데 Browsing Interface, Tangible Interaction, Bare hand Interaction (맨손 인터랙션), 햅틱 인터랙션 등이 있다. 이 논문에서는 이러한 분류들의 여러 연구 사례들을 살펴보고자 한다.

2. Browsing Interface

Browsing interface는 단순히 데이터를 들여다보는 방법으로 가상의 정보를 실제 영상에 정합을 시켜서 보는 방법들을 통칭한다. 예를 들어 State는 Video See Through HMD를 개발하여 다양한 정보를 볼 수 있게 하였는데 환자의 수술 부위를 볼 수 있도록 하는 예를 제시하였다^[2].



(그림 1) Browsing Interface의 예 (KIST: 문화재 정보를 browsing하는 interface)

일반적으로 이러한 방법들은 사용자가 인터랙션을 적극적으로 하기 보다는 시점을 변경함으로 정보를 다양한 관점에서 바라보기 때문에 사용하기가 쉽고 단순한 측면이 있다.

Navicam은 이러한 Browsing Interaction의 대표적인 예로 매우 이른 시기에 개발된 핸드헬드 디스플레이를 이용한 증강현실 기법이다^[3]. 여기에서 사용되는 방법은 최근에 사용되는 스마트폰 기반의 증강현실에도 같은 원리로 적용이 되고 있다. 즉 사용자가 대상물을 핸드헬드 디바이스의 카메라로 바라보면 대상물에 대한 정보를 보여주는 방식이다.

Navicam의 구조는 일반적으로 통용되는 많은 AR Browsing 시스템의 기본적인 구조라고 할 수 있다. 모바일 디스플레이나 혹은 헤드업 디스플레이에 카메라를 장착하여 카메라가 본 영상을 분석하여 적절한 메시지를 생성하고 그 메시지를 카메라의 영상에 합성해서 모바일 디스플레이 혹은 헤드업 디스플레이에 투영해주는 방식이다. Navicam에서는 color code를 인식해서 해당되는 정보를 보여주는 방식을 사용하였으나 최근에는 카메라의 위치를 추적(tracking)하거나 물체를 영상을 통해 인식(recognition)하는 등의

방식으로 해당되는 정보를 보여주는 방식을 주로 사용한다.

3. Tangible Interaction

AR은 실제 세계와 가상 세계를 연결하기 때문에 현실 세계의 객체를 AR 인터페이스 요소로 사용할 수 있으며 물리적인 조작으로 가상 콘텐츠와 상호 작용할 수 있는 매우 직관적인 방법을 제공할 수 있다. 이전에 Ishii는 사용자가 물리적인 물체로 디지털 정보를 조작 할 수 있는 인터페이스인 Tangible User Interface (TUI)의 개념을 개발했다^[4]. TUI는 친숙한 속성, 물리적인 제약(constraint) 및 적합성(affordance)을 가지고 있어 사용하기 쉽기 때문에 실제 인터페이스는 강력하다. (적합성(Affordance)은 객체가 어떻게 사용되어야 하는지를 제시하는 실행 가능한 속성을 말한다^[5,6].)

Tangible UI의 좋은 예로 I/O Brush가 있다^[7]. 여기에서는 사용자가 붓형태의 인터페이스를 사용해서 색칠을 하거나 그림을 그리게 된다. 이 붓형태의 인터페이스에는 카메라가 달려 있어서 특정 색 및 매질을 취득하고 그 스타일로 그림을 그릴 수가 있다. 사용자는 붓형태의 인터페이스를 사용하면서 실제로 만져지는 도구를 통한 직관적인 체험을 할 수가 있다. 이와 같이 Tangible UI는 사용자가 기존에 사용하는 일상 도구와 유사한 방식을 차용할 때 그 효과를 극대화할 수가 있다.

이러한 Tangible UI의 다른 예로 Triangles^[8]와 ActiveCube^[9]가 있다. Triangles에서는 삼각형의 물체를 사용해서 사용자가 스토리텔링을 이어 갈 수 있도록 되어 있고 ActiveCube에서는 센서가 장착된 정육면체를 연결하고 해지하면서

다양한 형태로 조합을 해볼 수 있다. 이러한 형태는 최근의 영유아용 교구에도 활용되고 있다.

이러한 Tangible UI를 증강현실과 결합한 것을 Tangible AR이라고 부르는데 ISAR 2000에서 이 개념이 소개되었다^[10]. 이 방법은 AR 입력 방식에서 흔하게 사용되는 방식으로 종종 이용이 된다. Tangible AR의 좋은 예로 많이 언급되는 예제가 Kato가 개발한 VOMAR라는 것이다^[10]. VOMAR의 경우에는 실제 물리적인 패드를 사용해서 가상의 가구를 배치하고 위치를 바꾸는 일을 할 수 있다. 사용자는 HMD를 착용한 채로 카메라로 들어오는 영상과 합성된 가상의 가구들을 보면서 패드를 이용하여 조작을 한다. 패드의 움직임은 제스처 기반의 명령과 대응이 되어 있는데 예를 들어 패드를 기울이는 동작은 가상 물체를 그 장면에 놓는 명령이고 모델을 치는 동작은 삭제하는 동작이다. 이러한 직관적인(intuitive) 명령의 매핑은 물리적인 적합성(affordance)를 높여 줘서 경험이 없는 사용자도 쉽게 3차원 가상 장면을 생성할 수 있게 한다.

이외에도 다양한 Tangible AR 기법들이 시도되었다. Reitmayr는 실제 지도와 디지털로 가능한 다양하고 다이내믹한 정보를 결합함으로써 기존 지도에서 제공할 수 없는 서비스를 제공하였다^[11]. 이 방법에서는 사각형의 영상 브라우저 인터페이스를 사용해서 특정 장소에서 촬영된 이미지를 보여준다. 그리고 두 번째 인터랙션 기기는 지도상의 위치와 관련된 정보의 제어를 할 수 있도록 도와준다. 사용자는 PDA와 사각형의 영상 브라우저 인터페이스를 사용하여 지도상의 특정 영역 및 내용을 PDA를 사용하여 선택 및 지정하고 그 결과의 이미지를 영상 브라우저에서 보여주게 된다.

이 시스템은 상부에 설치된 카메라로 테이블의 지도 및 PDA를 인식하고 PDA로 지정한 명

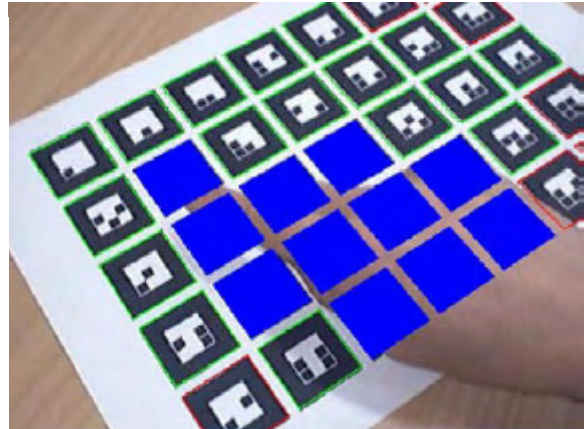
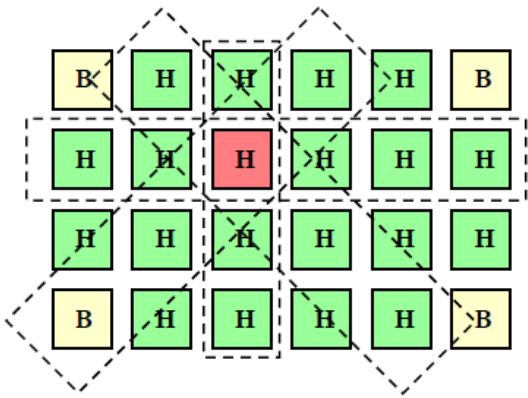
령 등을 해석하여 상부의 프로젝터로 적절한 위치에 정보를 프로젝션해주는 구조를 가진다. PDA는 wifi를 통해서 PC와 통신하여 생성된 영상을 반영하는 구조이다.

영상에서 지도 및 PDA를 인식하는 것은 다음과 같은 과정을 거친다. 비디오 영상에서 rectified image에서 특징점 추출을 하고 영상 매칭을 하는 과정과 threshold image를 생성하고 선과 사각형을 추출하는 과정이 수행된다. 이를 통해서 지도의 위치, 영상 브라우저의 위치, PDA의 위치 등이 파악되게 된다. 이와 같이 Tangible AR에서 인터랙션 도구의 위치 및 자세의 추적은 매우 중요한데 이를 위해서 특징이 되는 마커를 사용하거나 혹은 영상처리 방법을 사용하는 것이 일반적이다.

4. 맨손 인터페이스(Bare-hand Interface)

맨손으로 인터랙션을 하는 것은 AR 환경에서 가장 직관적이고 자연스러운 방법 중에 하나이다^[12]. 맨손을 써서 인터랙션 하는 것은 다양한 기술을 써서 구현이 가능한데 가림 기반 인터랙션, 깊이 카메라를 이용한 인식, 컬러 영상을 사용한 인식 등의 방법이 있다.

가림 기반 인터랙션(Occlusion based interaction)은 맨손을 이용하는 인터랙션 중에서 쉽고 직관적이면서도 정확도가 높아서 자주 사용되는 방법이다^[13]. 이 방법은 바닥면에 작은 마커를 가로 세로로 배치하여 사용자가 손으로 특정 부분을 선택하면 가려진 부분의 모습으로 손 끝이 어디에 있는지 계산하여 그 부분을 선택하도록 한다. 가려진 부분의 principal axis를 계산하는 방식이나 혹은 단순하게 특정 코너(예. 왼쪽위)를 선택하는 부분으로 지정하는 등의 방법을 사용



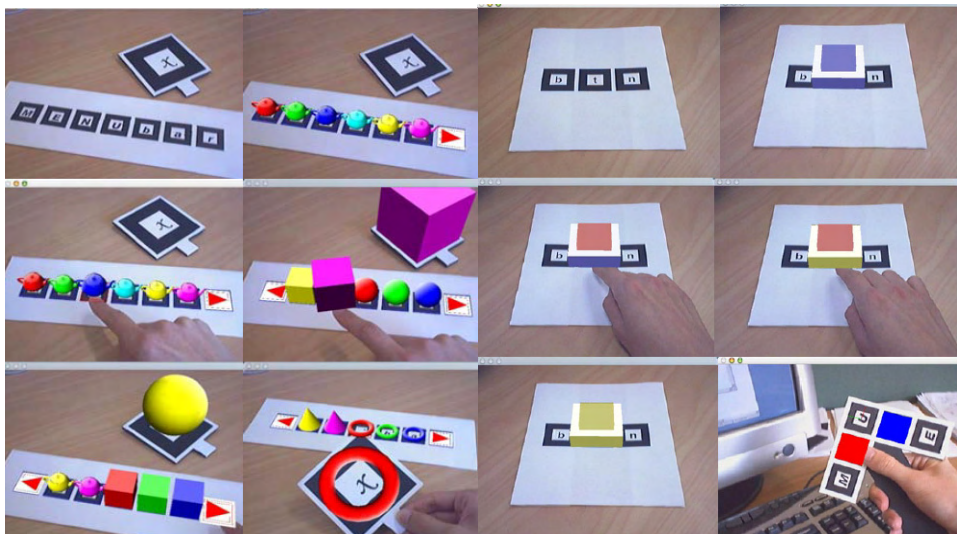
(그림 2) OBI에서 마커 배치 및 손끝 위치^[13]

할 수도 있다.

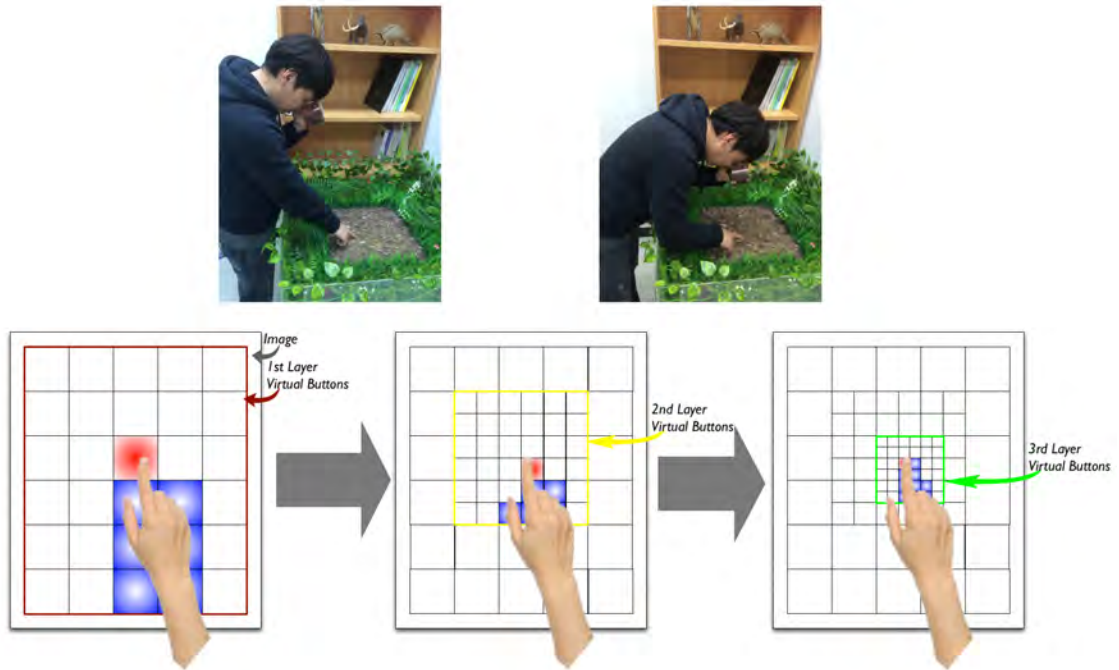
이러한 OBI는 다양한 곳에 이용이 가능한데 메뉴를 선택한다든지 버튼을 선택하는 인터페이스로 사용한다든지 3D 마우스를 생성하고 그 버튼 누름으로 이용한다든지 하는 용도가 있다. Lee가 제안한 OBI는 마커의 배치로 사용하는 방식을 제안하였으나 최근에는 자연 특징점의 검출을 이용한 OBI가 상용 수준에서도 사용이 되고 있다. 이 중에 대표적인 것으로 Vuforia의

virtual button 등이 있다. 이런 자연 특징점 기반 OBI는 특징점이 많은 배경에서 가리는 부분을 선택한 것으로 지정하는 방식으로 진행이 된다.

Lee^[13]가 제안한 마커 기반 OBI와 Vuforia의 한계점으로 지적되는 것 중에 하나가 마커나 버튼의 크기를 작게 할수록 인식이 어려워지며 속도가 느려진다는 것이다. 이는 상식적으로 생각했을 때 당연한 것으로 바닥면 전체를 세분화하여 손가락과 충돌 검사를 했을 때 많은 시간이



(그림 3) (좌) OBI를 이용한 메뉴의 선택 (우) OBI AR button 및 3D mouse

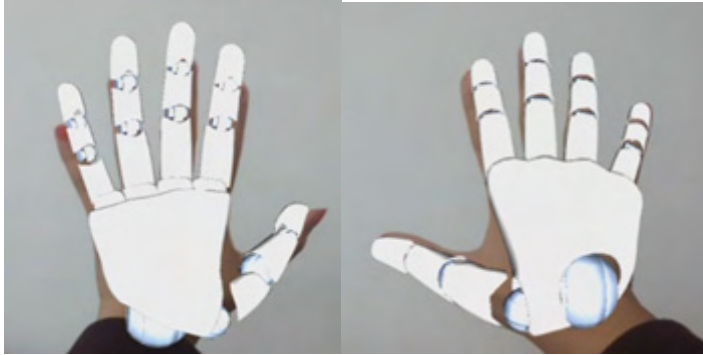


(그림 4) 계층적 가림기반 인터랙션 기법^[14]

들게 된다. 이를 해결하기 위해서 Kim은 계층적 가림기반 인터페이스를 제안하였다^[14]. 이 방식은 1단계에서는 바닥을 등성하게 블록으로 나누어 손가락의 위치를 파악하고 손가락의 위치가 파악되면 그 블록을 다시 세분화해서 더 작은 블록 중 손가락의 위치를 좀 더 세분화해서 알아낸다. 그리고 나서 한번 더 블록을 쪼개어 손가락의 위치를 알아낸다. 이런 방법을 사용하면 기존의 가림 기반 인터랙션 방법보다 수십배 정밀하게 선택이 가능하면서 실제 계산량은 두세배 정도만 증가하는 효과를 보게 된다. 결과적으로 같은 정밀도를 가지는 경우에 기존 방법을 사용했을 때보다 계층적 방법을 사용하는 경우에 3배 정도의 속도 향상이 발생하는 것으로 나타났다.

위의 맨손 인터랙션 방법들은 마커 혹은 배경의 특징점들을 이용해서 특수한 상황에서 작동이 가능한 한계가 있다면 최근에 사용되는 방법

들은 맨손 자체를 인식해서 사용하는 방법이다. 맨손을 인식하는 방법 중에 하나는 깊이 카메라를 이용하는 방법으로 Leap Motion이나 Kinect 등과 같은 깊이 인식 카메라를 사용하는 방법이다. 깊이 카메라를 사용하는 경우에는 손의 깊이 정보를 이용하기 때문에 보다 정확하게 손의 제스처 등을 인식할 수 있다. 그러나 깊이 카메라가 존재하는 스마트폰은 제한되기 때문에 모바일 상황에서 사용하기에는 아직 쉽지 않은 기술이다. 이에 Hammer^[15]나 Mueller^[16] 등이 컬러 영상만을 사용해서 손을 인식하는 연구를 제시하였다. UC Santa Barbara에서는 HandyAR^[17] 연구를 통해 일반적인 웹카메라를 사용해서 AR 환경에서 손을 사용한 인터랙션을 제시하였다. 이 연구에서는 손을 오므리거나 펴거나 함으로 물체를 선택하고 손을 회전하면서 물체를 돌리는 정도의 인터랙션을 보여주었다.



(그림 5) Leap Motion 으로 인식된 손의 정합 (KIST)

Piumsomboon^[18] 증강현실에서 사용될 수 있는 사용자 정의형 제스처들에 대해서 정리하였다. 20명의 피실험자들에게 40개의 선택된 태스크를 수행하기 위해서 800개의 제스처들을 제시하고 이 중에 태스크와 맞는 제스처들이 선정되었다. 이 연구를 통해서 증강현실에서 사용될 수 있는 제스처들의 수많은 종류 중에서 어떤 제스처들이 일반적인 증강현실 명령들과 잘 매핑이 되는지 정리가 되었다. 이 연구보다도 더 이전에 있었던 연구로 Wobbrock의 연구가 있는데 여기에서는 인간의 대화에 기초한 손동작의 분류가 이루어졌다^[19].

멀티모달 AR 인터페이스에서 맨손 인터페이스는 주로 음성인식과 함께 쓰이는 것으로 출발하였다^[20,21]. Heidemann은 테이블탑 위의 물체들을 음성과 제스처로 선택하는 인터랙션을 선보였다^[20]. 여기에서 사용자의 검지를 파악하기 위해서 피부색을 이용하였고 사용자는 손가락과 음성 명령을 통해서 가상물체를 선택하거나 메뉴를 선택할 수가 있도록 제공되었다.

Kolsch는 웨어러블 증강현실 시스템에서 사용이 가능한 멀티모달 인터랙션을 제시하였다^[21]. Kolsch의 연구에서는 네가지 모달리티를 결합하여 인터랙션을 수행하였다. 여기에서 사용된 모달리티는 음성, 제스처, 트랙볼, 머리 움직임이었

다. 이렇게 다양한 멀티모달을 사용하여 인터랙션을 수행할 경우에는 보다 상황에 맞는 인터랙션을 수행할 수가 있고 손과 머리 방향 및 음성을 사용해서 다양한 조합으로 명령 생성이 가능한 장점이 있다.

5. Haptic Interface

햅틱 인터페이스는 증강현실에서 존재하지 않은 물체를 만졌을 시에 마치 실제로 만져지는 듯한 느낌을 줘서 존재하는 듯이 사용자가 착각하게 할 수 있는 방법이다. 햅틱 인터페이스 장치들은 기계적인 신호를 렌더링하여 사용자가 터치와 운동감을 느낄 수 있게 하는 것을 일컫는다.

증강현실에서 햅틱 인터페이스를 사용하는 것은 다양한 방법으로 접근이 가능하다. 크게 두가지로 분류하면 cutaneous/tactile(피부/촉각)과 kinesthetic(운동)으로 분류가 가능하다^[22]. Cutaneous/tactile 방식은 cutaneous, active surfaces, mid-air 등의 방법이 있다. Cutaneous한 방법은 피부에 작용하는 햅틱으로 예를 들어 손 끝에 자극을 주는 경우가 있다. Active surfaces는 상대적으로 넓은 면적에서 모양과 tactile 정보를 준다. Mid-air 방식은 접촉이 없이 tactile 한 느낌을 주는 것으로 예를 들어 초음파 방식으로 자극을 주는 방법 등이 있다.

Kinesthetic 방법은 manipulandum, grasp, exoskeleton 방식이 있다. Manipulandum 방식은 땅에 고정된 3에서 6 자유도를 가지고 움직이는 기기를 사용하는 방식이다. 예를 들어 햅틱 장치 중 Phantom 등을 사용하는 것을 의미한다. Grasp 방식은 사용자의 손이 쥐는(grasp) 인터랙션을 시뮬레이션 해서 손끝이나 손에 자극을 주는 방식이다. Exoskeleton 방식은 몸에 부착하거나 해서 자연스럽게 몸의 자유도를 활용하여 자극을 주는 방식이다.

6. AR 인터랙션의 향후 전망

AR 인터랙션은 그 중요성에도 불구하고 큰 기술적인 변화가 없이 진행이 되어 왔다. 최근에 들어 AR 기기의 성능 향상과 딥러닝 기법의 개발 등으로 이전에는 불가능하거나 비실용적이었던 맨손 인식도 점차 가능해지고 있어서 맨손 인터랙션 방법이 향후에 일반적으로 보편화 될 것으로 보인다^[15,16]. 또한 손 끝에 부착하는 가볍고 간단한 방식의 햅틱 장치들이 점차 개발되면서 허공이라 할지라도 실제 물체가 있는 듯한 느낌을 전달하게 됨으로 보다 실감나는 인터랙션이 가능해질 것으로 보인다. 또한 점차 음성 인식 등 관련 기술이 발달함으로 여러 모달리티를 같이 사용하는 멀티모달 인터랙션 방식이 보편화 될 것이며 지능이 있는 가상 아바타를 현실에서 만나는 방식으로 진행이 될 것으로 고려된다.

Acknowledgement

본 논문은 한국콘텐츠진흥원 문화기술연구개발 과제의 지원을 받았음. 본 논문의 내용에는 한국정보과학회에서 제작한 “AR/MR 세계 기술 동향 및 기술 분석 연구” 보고서의 일부가 포함

되어 있음.

참 고 문 헌

- [1] R. T. Azuma, "A survey of augmented reality," Presence: Teleoper. Virtual Environ., vol. 6, pp. 355-385, 1997.
- [2] A. State, K. P. Keller, and H. Fuchs, "Simulation-based design and rapid prototyping of a parallax-free, orthoscopic video see-through head-mounted display," in Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'05), 2005, pp. 28-31.
- [3] J. Rekimoto and K. Nagao, "The world through the computer: computer augmented interaction with real world environments," presented at the Proceedings of the 8th annual ACM symposium on User interface and software technology, Pittsburgh, Pennsylvania, USA, 1995.
- [4] H. Ishii and B. Ullmer, Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms, 1998.
- [5] D. Norman, The Design of Everyday Things: Doubleday Business 1988.
- [6] J. Gibson, The Theory of Affordance: Houghton Mifflin, 1979.
- [7] K. Ryokai, S. Marti, and H. Ishii, "I/O brush: drawing with everyday objects as ink," presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Vienna, Austria, 2004.
- [8] M. G. Gorbet, M. Orth, and H. Ishii, "Triangles: tangible interface for manipulation and exploration of digital information topography," presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Los Angeles, California, USA, 1998.
- [9] Y. Kitamura, Y. Itoh, T. Masaki, and F. Kishino,

- “ActiveCube: a bi-directional user interface using cubes,” in Knowledge-Based Intelligent Engineering Systems and Allied Technologies, 2000. Proceedings. Fourth International Conference on, 2000, pp. 99-102 vol.1.
- [10] H. Kato, M. Billingham, I. Poupyrev, K. Imamoto, and K. Tachibana, “Virtual object manipulation on a table-top AR environment,” in Proceedings IEEE and ACM International Symposium on Augmented Reality (ISAR 2000), 2000, pp. 111-119.
- [11] G. Reitmayr, E. Eade, and T. Drummond, “Localisation and interaction for augmented maps,” in Fourth IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR'05), 2005, pp. 120-129.
- [12] S. Malik, C. McDonald, and G. Roth, “Hand tracking for interactive pattern-based augmented reality,” in Proceedings. International Symposium on Mixed and Augmented Reality, 2002, pp. 117-126.
- [13] G. A. Lee, M. Billingham, and G. J. Kim, “Occlusion based interaction methods for tangible augmented reality environments,” presented at the Proceedings of the 2004 ACM SIGGRAPH international conference on Virtual Reality continuum and its applications in industry, Singapore, 2004.
- [14] H. Kim, E. A. Widjojo, and J. I. Hwang, “Dynamic hierarchical virtual button-based hand interaction for wearable AR,” in 2015 IEEE Virtual Reality (VR), 2015, pp. 207-208.
- [15] J. H. Hammer and J. Beyerer, “Robust hand tracking in realtime using a single head-mounted RGB camera,” presented at the Proceedings of the 15th international conference on Human-Computer Interaction: interaction modalities and techniques - Volume Part IV, Las Vegas, NV, 2013.
- [16] F. Mueller, F. Bernard, O. Sotnychenko, D. Mehta, S. Sridhar, D. Casas, et al., “GANerated Hands for Real-time 3D Hand Tracking from Monocular RGB,” in Computer Vision and Pattern Recognition (in submission), 2018.
- [17] T. Lee and T. Hollerer, “Handy AR: Markerless Inspection of Augmented Reality Objects Using Fingertip Tracking,” in 2007 11th IEEE International Symposium on Wearable Computers, 2007, pp. 83-90.
- [18] T. Piumsomboon, A. Clark, M. Billingham, and A. Cockburn, “User-Defined Gestures for Augmented Reality.”
- [19] J. O. Wobbrock, M. R. Morris, and A. D. Wilson, “User-defined gestures for surface computing,” presented at the Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, Boston, MA, USA, 2009.
- [20] G. Heidemann, I. Bax, and H. Bekel, “Multimodal interaction in an augmented reality scenario,” presented at the Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces, State College, PA, USA, 2004.
- [21] M. Kolsch, R. Bane, T. Hollerer, and M. Turk, “Multimodal interaction with a wearable augmented reality system,” IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 26, pp. 62-71, 2006.
- [22] C. Bermejo and P. Hui, A survey on haptic technologies for mobile augmented reality, 2017.
- [23] F. Chinello, C. Pacchierotti, N. G. Tsagarakis, and D. Prattichizzo, “Design of a wearable skin stretch cutaneous device for the upper limb,” in 2016 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS), 2016, pp. 14-20.
- [24] H. Culbertson, J. M. Walker, and A. M. Okamura, “Modeling and design of asymmetric vibrations to induce ungrounded pulling sensation through asymmetric skin displacement,” in 2016 IEEE Haptics

- Symposium (HAPTICS), 2016, pp. 27-33.
- [25] C. Pacchierotti, G. Salvietti, I. Hussain, L. Meli, and D. Prattichizzo, "The hRing: A wearable haptic device to avoid occlusions in hand tracking," in 2016 IEEE Haptics Symposium (HAPTICS), 2016, pp. 134-139.
- [26] S. Horvath, J. Galeotti, B. Wu, R. Klatzky, M. Siegel, and G. Stetten, "FingerSight: Fingertip Haptic Sensing of the Visual Environment," IEEE Journal of Translational Engineering in Health and Medicine, vol. 2, pp. 1-9, 2014.
- [27] H. Benko, C. Holz, M. Sinclair, and E. Ofek, "NormalTouch and TextureTouch: High-fidelity 3D Haptic Shape Rendering on Handheld Virtual Reality Controllers," presented at the Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, Tokyo, Japan, 2016.
- [28] D. Spelmezan, D. R. Sahoo, and S. Subramanian, "Sparkle: Towards Haptic Hover-Feedback with Electric Arcs," presented at the Proceedings of the 29th Annual Symposium on User Interface Software and Technology, Tokyo, Japan, 2016.
- [29] R. Sodhi, I. Poupyrev, M. Glisson, and A. Israr, "AIREAL: interactive tactile experiences in free air," ACM Trans. Graph., vol. 32, pp. 1-10, 2013.
- [30] T. H. Massie and J. K. Salisbury, The PHANTOM haptic interface: a device for probing virtual objects vol. 55, 1994.
- [31] J. Aleotti, G. Micconi, and S. Caselli, "Programming manipulation tasks by demonstration in visuo-haptic augmented reality," in 2014 IEEE International Symposium on Haptic, Audio and Visual Environments and Games (HAVE) Proceedings, 2014, pp. 13-18.
- [32] I. Choi, E. W. Hawkes, D. L. Christensen, C. J. Ploch, and S. Follmer, "Wolverine: A wearable haptic interface for grasping in virtual

reality," in 2016 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), 2016, pp. 986-993.

- [33] T. Handa, K. Murase, M. Azuma, T. Shimizu, S. Kondo, and H. Shinoda, "A haptic three-dimensional shape display with three fingers grasping," in 2017 IEEE Virtual Reality (VR), 2017, pp. 325-326
- [34] 한국정보과학회, "AR/MR 세계 기술 동향 및 기술 분석 연구", 2018.3

저 자 약 력



황재민

이메일: hji@kist.re.kr

- 1998년 포항공과대학교 전자계산학과 (학사)
- 2000년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (석사)
- 2007년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (박사)
- 2007년~2008년 고려대학교 연구교수
- 2008년~2009년 한국과학기술연구원 연구원
- 2009년~현재 한국과학기술연구원 선임연구원
- 관심분야: 가상현실, 증강현실, 3차원 인터랙션