

# 원격 촉감 커뮤니케이션을 위한 시스템 프로토타입

차중은, 이준훈, 류제하  
인간기계컴퓨터 인터페이스 연구실, 기전공학과, 광주과학기술원  
{gaecha,junhun, ryu}@gist.ac.kr

## A System Prototype for Remote Haptic Communication

Jongeun Cha, Junhun Lee, and Jeha Ryu  
Human-Machine-Computer Interface Lab.,  
Department of Mechatronics,  
Gwangju Institute of Science and Technology

### 요약

최근에는 통신기술과 인터넷의 발달로 원격의 사람과 전화, 이메일, 메신저 또는 화상회의 시스템 등을 통해서 쉽게 의사소통 할 수 있다. 이 시스템들은 주로 음성, 그림, 동영상 또는 문자 기반의 시청각 정보를 서로 주고 받으며 자신의 의사 및 감정을 전달하는 통로를 제공한다. 그러나 일상 생활에서 시청각 정보 외에 촉감 정보도 서로 의사소통 하는데 중요한 역할을 한다. 악수, 포옹 등의 촉감 상호작용은 사람 사이에서 친근감을 표시하는데 가장 직접적인 방법으로 자신의 감정을 전달하거나 느낌을 표현하는데 사용된다. 그럼에도 불구하고 촉감 상호작용을 가능케 하는 의사소통 시스템의 연구는 아직 폭넓게 진행되고 있지 않다. 본 논문에서는 일상에서와 같이 원격에서도 상대를 바라 볼 수 있고 자연스럽게 접촉할 수 있는 원격 촉감 커뮤니케이션 시스템을 제안한다. 이 시스템에서는 로컬 사용자가 손가락으로 상대의 몸 특정 부위를 만질 수 있고 서로 그 촉감을 실시간으로 느낄 수 있다. 이 시스템은 크게 AR 시스템, 그래픽 시스템, 햅틱 시스템, 택타일 시스템의 부 시스템들로 나눌 수 있다. AR 시스템에서는 몸의 한 부위에 사각형의 AR 마커를 부착한 원격 사용자를 웹카메라로 촬영하고 ARToolKit 을 사용하여 마커의 위치를 측정한다. AR 마커의 바로 밑에는 택타일 장치가 장착되어 있으며 이 부위를 통하여 원격의 사용자는 로컬사용자가 자신의 팔을 만지는 느낌을 받게된다. 그래픽 시스템은 로컬사용자에게 촬영된 원격 사용자와 측정된 마커의 위치가 대표하는 원격 사용자의 가상 피부, 그리고 자신의 가상 손가락을 보여준다. 햅틱 시스템에서는 촉감 장치를 사용하여 로컬 사용자의 손가락 위치를 구하여 원격 사용자의 가상 피부와 접촉했을 때 그 충동을 감지하고 접촉력을 계산하여 촉감 장치에 반영함으로써 그 접촉력을 느낄 수 있도록 한다. 택타일 시스템에서는 원격 사용자의 AR 마커 밑에 장착된 배열 타입의 진동 촉감 장치에 접촉 정보를 주어 로컬 사용자와 접촉 했을 때 접촉 부위에 진동을 줌으로써 촉감을 느끼도록 한다.

Keyword :AR, Vibrotactile

## 1. 서론

인간의 삶에서 상호간 의사소통은 매우 기본적인 것이다. 인간은 의사소통을 통해 자신의 생각, 감정, 의지를 남에게 전달하며, 대부분의 정보는 시각 또는 음성의 언어를 통해 전달된다. 여기에

악수, 또는 포옹과 같은 신체적 접촉, 즉 촉각을 통해 보다 감성적인 교류를 가진다. 하지만, 이러한 촉각정보는 상대방이 공간상으로 가까운 곳에 있어 상대방과 물리적으로 직접 촉각 상호작용할 때 전달이 가능하다.

Telephonic Arm Wrestling[1] 시스템은 전화선을

통해서 상대방과 팔씨름을 할 수 있는 원시적인 장치로써, 상당한 시간 지연과 노이즈로 인해 실제와 같은 느낌을 주지는 못하지만 인간 대 인간의 원격 촉감 상호작용을 구현한 첫 번째 시도중의 하나로 의미가 있다. 이와 유사하게 이후에도 InTouch[2], Handive[3], PSyBench[4], RobotPHONE[5] 등이 연구되었고 최근에는 인터넷을 통하여 실시간으로 악수를 할 수 있는 시스템도 개발되었다[6]. 이 시스템들은 로컬 사용자와 원격 사용자가 각각 가지고 있는 동일한 장치의 움직임을 네트워크를 통해서 동기화 시킨 것으로써 서로의 움직임을 공유할 수 있다. 즉, 로컬 사용자가 손으로 자신의 장치를 움직이면 그 움직임이 장치를 쥐고 있는 원격 사용자에게 전달되고 다시 원격 사용자는 장치에 힘을 주어 움직임을 로컬 사용자에게 전달 할 수 있다. 이 시스템들에서는 장치를 안정적으로 동작하기 위해 약 1000Hz 로 움직임 데이터를 네트워크를 통해서 주고받아야 하기 때문에 고속의 네트워크 채널이 요구되고 시간 지연을 보상할 수 있는 복잡한 제어 알고리즘이 필요하다. 뿐만 아니라 두 사용자가 움직임을 힘으로 공유하기 때문에 사용자들이 커뮤니케이션을 목적으로 하지 않고 상대방과 힘 대결을 펼치는 경우가 많다.

Feather, Scent, and Shaker[7], ComTouch[8], Connexus[9]와 같은 시스템들에서는 로컬 사용자 손의 움직임이나 장치에 가해지는 손의 압력을 원격의 사용자가 진동장치로 실시간으로 느끼게 함으로써 촉각 상호작용이 가능케 하였다.

앞서 연구된 시스템들은 시각적인 측면은 고려하지 않고 촉각 상호작용만을 제공한다. 그러나 인간은 시각과 더불어 촉각 상호작용을 동시에 할 경우에 보다 강력한 경험을 하고 상대방에 대한 존재감을 증가시킨다[10].

본 논문에서는 일상에서와 같이 원격에서도 상대를 바라 볼 수 있고 자연스럽게 접촉할 수 있는 원격 촉감 커뮤니케이션 시스템을 제안한다. 이 시스템에서는 로컬 사용자가 손가락으로 상대의 몸 특정 부위를 만질 수 있고 서로 그 촉감을 실시간으로 느낄 수 있다. 즉, 로컬의 사용자는 원격

상대방의 피부로부터의 반력을 느끼며 동시에 원격 사용자는 로컬의 사용자가 만지는 느낌을 피부에 느끼게 된다. 마찬가지로 원격의 사용자 역시 로컬의 사용자에게 쓰인 장치를 동시에 쓰게 되면 두 사람은 서로를 만지면서, 동시에 상대방이 자신을 만지는 느낌을 받을 수 있게 된다.

이 시스템에서는 로컬 사용자가 손가락으로 상대의 몸 특정 부위를 만질 수 있고 서로 그 촉감을 실시간으로 느낄 수 있다. 이 시스템은 크게 AR 시스템, 그래픽 시스템, 햅틱 시스템, 택타일 시스템의 부 시스템들로 나눌 수 있다. AR 시스템에서는 몸의 한 부위에 사각형의 AR 마커를 부착한 원격 사용자를 웹카메라로 촬영하고 ARToolKit을 사용하여 마커의 위치를 측정한다. AR 마커의 바로 밑에는 택타일 장치가 장착되어 있으며 이 부위를 로컬 사용자가 만질 수 있다. 그래픽 시스템은 로컬사용자에게 촬영된 원격 사용자와 측정된 마커의 위치가 대표하는 원격 사용자의 가상 피부, 그리고 자신의 가상 손가락을 보여준다. 햅틱 시스템에서는 촉감 장치를 사용하여 로컬 사용자의 손가락 위치를 구하여 원격 사용자의 가상 피부와 접촉했을 때 그 충동을 감지하고 접촉력을 계산하여 촉감 장치에 반영함으로써 그 접촉력을 느낄 수 있도록 한다. 택타일 시스템에서는 원격 사용자의 AR 마커 밑에 장착된 배열 타입의 진동 촉감 장치에 접촉 정보를 주어 로컬 사용자와 접촉 했을 때 접촉 부위에 진동을 줌으로써 촉감을 느끼도록 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2 장에서는 시스템 설계에 대한 개념을 소개한다. 3 장에서는 전체 시스템 구조를 소개하고 각각의 서브시스템을 기술한다. 마지막으로 4 장에서는 결론 및 향후 연구계획을 기술한다.

## 2. 시스템 개념

그림 1(a)는 일상에서 마주하고 있는 두 사람간의 촉각 상호작용을 보여준다. 좌측에 있는 능동 사용자는 자신의 손가락을 이용하여 우측에 있는 수동사용자를 쓰다듬거나 문지르며 수동사용자는

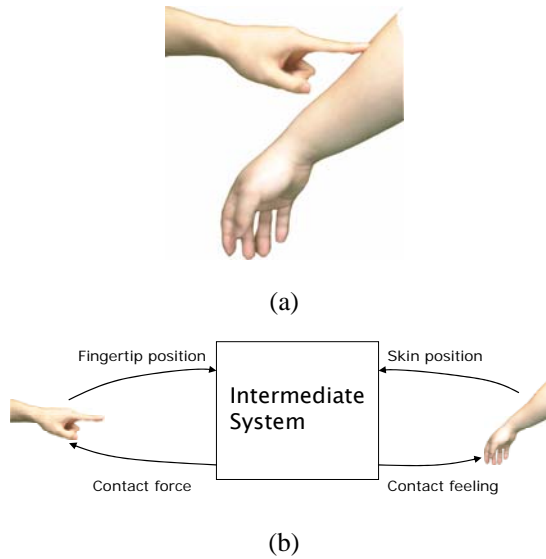


그림 1. (a) 근접한 두 사람간의 상호작용 (b) 상호 작용의 대상이 먼 곳에 떨어져 있는 경우

누군가가 만지는 것을 느끼고 상대방의 존재감을 인식하게 된다. 이러한 형태의 촉각 상호작용을 모사하기 위해 우리는 매개 시스템을 그림 1(b)에 제안하였다. 본 논문에서는 상호작용의 특성에 맞추어 로컬사용자를 능동사용자로 원격사용자를 수동사용자로 부른다.

본 논문에서는 가능한 촉각 상호작용을 어느 한 사람이 자신의 손가락 끝으로 다른 사람의 피부를 접촉하는 것으로 가정한다. Intermediate System 은 능동사용자의 손가락 끝의 위치와 수동사용자의 피부의 위치를 추적하여 둘 간의 접촉 여부를 판별하고 떨어져 있는 이 둘을 하나의 가상 공간상에 동시에 위치 시킨다. 이러한 상호작용을 현실감 있게 구현하기 위해서는 피드백이 필수 불가결하다. 즉, 능동사용자의 손가락이 상대방의 피부에

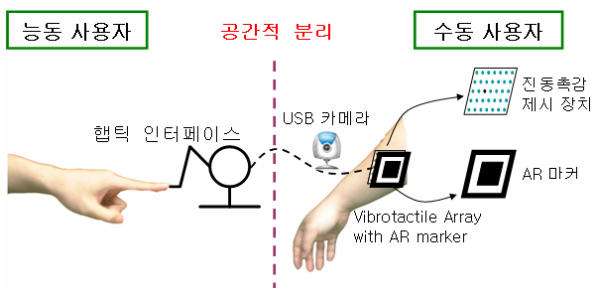


그림 2. 전체 시스템 개요도

닿았을 때 반력을 느낄 수 있어야 하며 또한, 수동사용자의 만져지는 부위에 자극이 있어야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해 우리는 3 자유도 햅틱 인터페이스 장치(PHANTom) [11]를 사용하여 능동사용자의 손가락 끝의 위치를 측정하고 그 위치에 따라 힘을 손가락에 다시 전달하였다. 수동 사용자 측의 팔의 위치에 대한 정보를 얻기 위해 우리는 ARToolkit API [12]와 수동사용자의 팔에 부착된 마커를 사용하였으며 이는 그림 2 에 나타나 있다. 이처럼 본 시스템이 AR(Augmented Reality) 환경에서 구현되었기 때문에 본 시스템은 시각적으로 현실감 있다는 장점을 지니며 이는 햅틱 피드백과 함께 보다 현실감 있는 상호작용이 가능하도록 해준다. 능동사용자가 수동사용자를 만지기 위해서는 화면 속 가상공간 안에서 팔을 뻗어 그 속에서 자신의 손가락 끝이 수동사용자의 팔에 닿도록 하여야 한다.

### 3. 시스템 구조

그림 3 은 전체 시스템에서의 데이터 흐름을 보여준다. 능동 측과 수동 측의 두 부분은 물리적으로 떨어져 있다. 능동 측에서 사용자는 수동 측을 웹카메라에서 얻어진 영상을 통해 볼 수 있으며 PHANTom 을 사용하여 이 영상 안의 수동사용자의 팔에 자신을 손가락을 가져다 댈 수 있다. 수동 측에서는 사용자의 영상이 캡처 되고 마커의 위치가 분석되어 그 위치 데이터가 능동 측으로 전송된다. 능동사용자의 손가락이 이 마커와 접촉했을 때 그 접촉 위치는 다시 수동 측으로 전송되어 대응되는 위치의 진동모터를 작동시켜 수동 측 사용자가 능동 측 사용자에게 의해 자신의 팔이 만져지고 있다는 느낌을 받도록 한다. 그림 4 는 접촉된 위치가 어떻게 결정되는지를 보여준다. 이어지는 섹션에서는 각 부 시스템을 상세히 설명하겠다.

#### 3-1. ARToolKit 을 이용한 비전 기반의 트래킹

사람의 몸 전 영역의 위치 정보를 실시간으로 얻

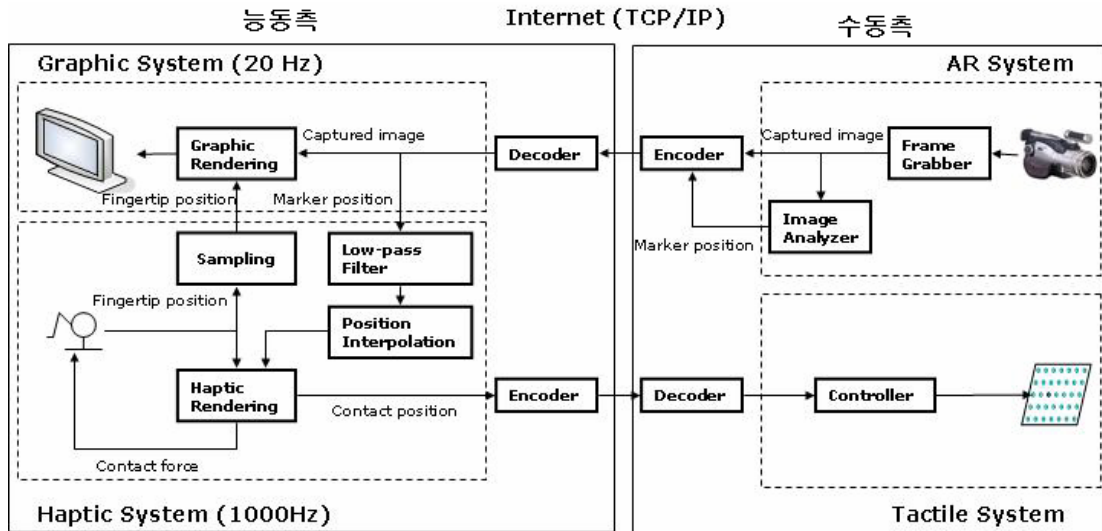


그림 3. 전체 시스템의 데이터 흐름도

는 것은 쉽지 않기 때문에, 본 시스템의 개념을 테스트하기 위한 구성에서 우리는 만질 수 있는 피부 영역을 팔의 좁은 영역으로 제한하였다. 본 시스템에서 AR system 은 수동 측에 사용된다. 수동 측에서는 AR system 의 웹카메라를 통해 마커가 붙어 있는 택타일 장치를 착용하고 있는 수동 측 사용자의 영상을 캡처 하고 캡처 된 영상에서 마커의 위치를 계산한다. 여기서 얻어진 마커의 위치는 영상과 함께 Encoding 되어 능동 측으로 전송된다. 그러면 능동사용자는 수동사용자의 화상을 보는 것과 동시에 마커의 위치 데이터는 Haptic System 에 전송되어 접촉 힘을 구현하는데 사용된다. 본 시스템에는 기준 마커의 손쉽게 캡처 하고 마커의 위치를 계산할 수 있는 API 인 ARToolkit 을 사용하였다. ARToolkit 을 사용하여 캡처 된 수동사용자의 팔 위의 진동촉감 제시장치는 피부와 같은 이미지를 덧씌울 수 있으며, 이로 인해 능동사용자는 수동사용자의 팔을 만질 때 수동

사용자의 팔 위에 부착되어있는 촉감제시장치를 만지고 있다는 생각이 들지 않고 직접 상대방의 피부를 만지고 있다는 생각이 들도록 할 수 있다.

### 3-2. PHANTOM 을 이용한 촉각 상호작용

그림 5 는 능동사용자 측의 시스템 구성을 보여 준다. 본 햅틱 하위시스템에서는 촉감장치로부터 측정된 능동사용자의 손가락 끝의 위치와 AR system 으로부터 전송된 수동사용자의 피부간의 접촉이 일어나는 위치와 접촉된 위치에 가해지는 힘을 계산한다. 이를 위해 우리는 능동사용자의 손 끝과 수동사용자의 피부에 해당하는 가상의 손 끝과 가상 피부를 포함하는 가상환경을 설정하였고 이

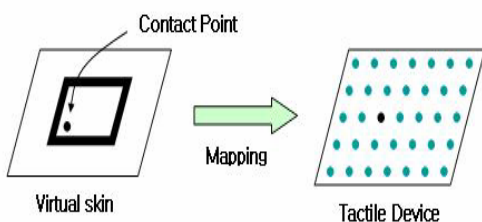


그림 4. 택타일 장치의 접촉 위치의 맵핑



그림 5. 능동사용자 측의 시스템 구성



그림 6. 수동사용자 측의 시스템 구성

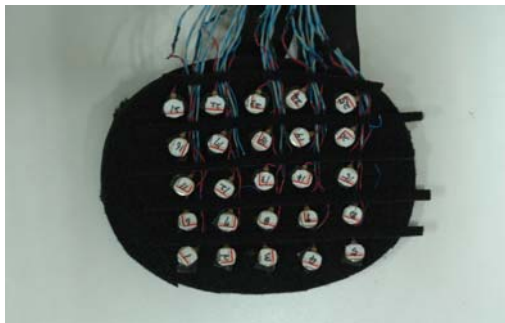
들 간의 접촉위치와 접촉힘은 햅틱 렌더링 API의 하나인 CHAI3D [13]를 이용하여 계산하였고, 계산된 결과 중 접촉힘 정보는 능동사용자의 촉감 장치에 전달되어 힘을 느낄 수 있게 하고, 접촉 위치의 정보는 수동사용자 측에 전달되어 수동사용자가 팔에 착용하고 있는 택타일 장치를 동작시키는데 사용된다. 택타일 장치에 대해서는 다음장에서 자세히 다루었다.

능동사용자의 손에 전해지는 힘을 부드럽게 표현하기 위해서 햅틱 렌더링은 1000Hz 로 업데이트 되고 있으나 ARToolkit 에서 계산된 수동사용자의

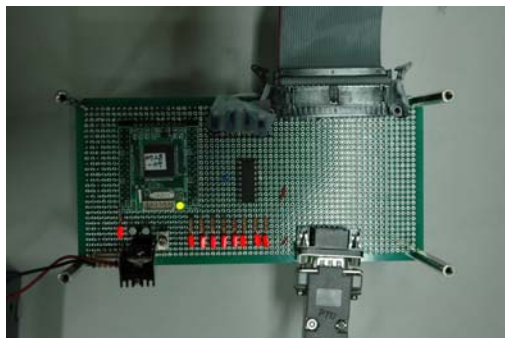
피부 위치는 대략 20Hz 로 업데이트 된다. 인간의 300Hz 이하의 진동은 팔에서 손에서 느낄 수 있기 때문에 능동사용자가 손 끝으로 수동사용자의 피부를 접촉하고 있는 상태에서 수동사용자가 팔을 움직일 경우 20Hz 로 업데이트 되는 움직임이 불연속적인 힘으로 느껴진다. 본 논문에서는 이러한 힘의 불연속적인 상태를 보간법을 사용하여 해결하였다[14].

### 3-3. 진동촉감 제시장치를 통한 촉감 느낌

그림 6 은 수동사용자 측의 시스템 구성을 보여준다. 수동사용자는 팔에 기준 마커가 붙어있는 택타일 장치를 착용하고 있으며 그 앞에서 웹카메라가 기준 마커가 붙어있는 사용자 팔의 영상을 캡처 하고 있다. 여기서 캡처 된 영상은 TCP/IP 통신 프로토콜을 통해 능동사용자 측으로 전송된다. 수동사용자 측의 택타일 장치에 사용된 진동자로는 피부에 타인으로부터 만져지는 느낌을 표현하기 위해 핸드폰에 널리 사용되는 동전형의 소형진동 모터를 사용하였다. 본 진동 모터는 두께 3mm 지름 12mm 의 소형으로 동작전압 3V 의 특성을 가진다. 이 진동 모터 25 개를 5x5 의 격자형식으로 배열하였으며 이는 그림 7 (a)에 나타나 있다. 이렇게 배열된 각각의 진동 모터들은 AT-Mega128 마이크로프로세서에 의해 독립적으로 동작된다. 그림 7 (b)은 실험에 쓰인 ATMega128 마이크로 프로세서를 포함하는 컨트롤러를 보여준다. 동작 명령은 앞서 계산된 접촉 위치와 접촉 힘의 데이터가 PC 로부터 RS232 통신을 통해 내려지며 이렇게 내려진 명령으로 진동할 모터와 진동의 세기가 결정된다. 진동의 세기는 마이크로 컨트롤러의 PWM 신호로 각 진동모터가 독립적으로 제어된다. 본 진동촉감 제시 장치를 사용하여 수동사용자 팔의 약 10cm x 10cm 의 영역을 촉감 표현 영역으로 사용하였다. 본 실험을 직접 수행하여 우리는 진동촉감 제시장치를 통해 수동사용자 측에 전달되는 촉감이 가벼운 접촉의 느낌과 유사함을 확인했다.



(a)



(b)

그림 7. (a) 진동 택타일 배열 (b) ATMega128

#### 4. 결론 및 향후 연구계획

본 논문에서는 일상에서와 같이 원격에서도 상대를 바라 볼 수 있고 자연스럽게 접촉할 수 있는 원격 촉감 커뮤니케이션 시스템을 제안하였다. 본 시스템은 아직 실질적이기 보다는 그 가능성을 평가해 보는 단계에 있기 때문에 본 논문에서는 이러한 햅틱 커뮤니케이션이 성공적으로 이루어지기 위해 본 시스템이 극복해야 할 주요 기술적 과제들이 제시되었다. 앞으로 연구를 진행해 나가면서 기술적 발전을 위해 노력할 뿐만 아니라, 이러한 커뮤니케이션이 어떠한 상황에서 그 가치를 발휘할 수 있는지를 연구, 조사할 계획이다.

#### 감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 실감방송연구센터(RBRC) 및 차세대 PC 산업 지원에 의해 수행되었음.

#### 참고문헌

- [1] N. White, and D. Back, "Telephonic Arm Wrestling," The Strategic Arts Initiative Symposium, 1986
- [2] S. Brave, and A. Dahley, "inTouch: A Medium for Haptic Interpersonal Communication," Proc. CHI'97, ACM Press, pp. 363-364, 1997
- [3] B. Fogg, L. Cutler, P. Arnold, C. Eisbach, "Hand-Jive: A Device for Interpersonal Haptic Entertainment," Proc. CHI'98, ACM Press, 1998
- [4] H. Ishii and B. Ullmer, "Tangible bits: towards seamless interfaces between people, its and atoms," Proc. CHI'97, ACM Press, pp. 234-241, 1997
- [5] D. Sekiguchi, M. Inami, and S. Tachi, "ROBOTPHONE: RUI for interpersonal communication," Proc. CHI '01, ACM Press, pp. 277-278, 2001
- [6] D. Wang, K. Tuer, L. Ni and P. Porciello, "Conducting a Real-Time Remote Handshake with Haptics," Proc. 12th Int. Symp. Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 291, 2004
- [7] R. Strong and B. Gaver, "Feather, Scent and Shaker: Supporting Simple Intimacy," Proc. Conf. Computer Supported Cooperative Work (CSCW 96), ACM Press, pp. 29-30, 1996
- [8] A. Chang, S. O'Modhrain, R. Jacob, E. Gunther and H. Ishii, "ComTouch: design of a vibrotactile communication device," Proc. Conf. Designing interactive systems: processes, practices, methods, and techniques, pp. 312 – 320, 2002
- [9] E. Paulos, "Connexus: a communal interface," Proc. Conf. Designing for user experiences, ACM Press, pp. 1-4, 2003
- [10] W. Wu, C. Basdogan, M. Srinivasan, "Visual, Haptic, and Bimodal Perception of Size and Stiffness In Virtual Environments," Proc. ASME Dynamic Systems and Control Division, (DSC-Vol.67). 1999
- [11] PHANTOM, SensAble Tech, [www.sensable.com](http://www.sensable.com)
- [12] ARToolKit, [www.hitl.washington.edu/artoolkit](http://www.hitl.washington.edu/artoolkit)
- [13] CHAI3D, [www.chai3d.org](http://www.chai3d.org)
- [14] J. Cha, B-C. Lee, J-P Kim, S. Kim, J. Ryu, "Smooth Haptic Interaction in Broadcasted Augmented Reality," Int. Conf. on Human Computer Interaction (INTERACT'05), pp. 1046-1049, 2005