

착용형 컴퓨터를 위한 햅틱 기술 동향

Trends of Haptic Interface for Wearable Computers

손미숙 (M.S. Sohn)	스마트인터페이스연구팀 연구원
신희숙 (H.S. Shin)	스마트인터페이스연구팀 연구원
박준석 (J.S. Park)	스마트인터페이스연구팀 팀장
한동원 (D.W. Han)	차세대PC연구그룹 그룹장

목 차

-
- I. 서론
 - II. 햅틱 기술
 - III. 착용형 컴퓨터를 위한 햅틱 기술
 - IV. 결론

착용형 컴퓨터를 위한 햅틱 기술은 착용형 컴퓨터가 신체와 밀접하게 접촉되어 있다는 점을 이용해 피부를 통해 정보를 인지하고 표현하는 상호작용 기술을 의미한다. 피부는 신체 중 가장 표면적이 넓은 기관이면서 정보 전송을 위한 잠재적인 가능성을 가지는 통신 매개체이나 착용형 혹은 모바일 컴퓨터를 위한 사용자 인터페이스(user interface) 분야로 활용된 사례는 드물었다. 최근 시각, 청각에 이어 피부 감각을 UI 분야로 활용하고자 하는 노력이 시도되고 있다. 본 고에서는 피부 감각을 이용한 햅틱 기술에 대한 전반적인 소개와 이를 착용형 컴퓨터를 위한 인터페이스로 활용 시 고려할 점과 향후 기술 동향에 대해 논의하고자 한다.

I. 서론

가트너의 2005년 HCI 보고서에서는 착용형 컴퓨터와 햅틱 분야를 서서히 오름세에 있는 기술 분야로 전망하고 있다[1]. 착용형 컴퓨터와 햅틱 기술은 별도의 HCI 기술 분야로 각기 다른 개발 트렌드를 갖고 발전되어 왔으나, 착용형 컴퓨터를 위한 사용자 인터페이스로 최근 시각, 청각에 이어 피부를 통한 정보 인지와 표현에 대한 관심이 증가하면서 햅틱 기술을 착용형 컴퓨터를 위한 상호작용의 방법으로 이용하고자 하는 연구가 시도되고 있다.

착용형 컴퓨터(wearable computer)는 특정 제품, 기술을 지원하기 위한 환경으로서 폭넓게 사람의 신체를 이용하는 것을 통칭하며, 햅틱 기술은 컴퓨터 인간 상호작용에 있어 사람의 피부나 근 감각을 이용하는 기술을 의미한다.

사람의 피부 면적은 약 2m^2 로 신체 기관 중 가장 큰 조직이면서 정보의 인지와 표현을 위한 잠재적인 가능성을 가진 통신 채널로 여겨지고 있다. 또한 피부를 통한 자극의 전달 속도는 20ms로 시각에 비해 5배나 빠른 정보 전달이 가능하다. 그러나 시각, 청각과 달리 피부 감각에 대한 정보는 체계화되고 표준화된 형태의 정보 표현 방법이 없다는 점 때문에 사용자 인터페이스로의 활용이 다소 부진한 것이 사실이다.

사람은 실생활에서 시각, 청각, 촉각, 미각, 후각 등 다양한 정보 채널을 통해 외부로부터 정보를 인지하는데, 최근 이러한 인간의 오감 능력을 컴퓨터와 인간의 상호작용에 활용하고자 하는 노력들이 많이 시도되고 있으며 이 중 햅틱 기술은 사람이 피부를 통해 정보를 인지하고 또한 피부를 통해 정보를 표현할 수 있다는 양방향성을 가짐으로써 HCI 분야의 활용 가능성이 높다고 할 수 있다. 미국 MIT의 2002년 3월자 “Technology Review”지는 “앞으로 모든 컴퓨터 인터페이스 장치에서 햅틱 기능은 기본 장치가 될 것이며, 5~10년 후에는 햅틱 기능이 없는 컴퓨터에서 작업을 한다면 허전한 느낌을 받게 될 것이다”라고 전망하고 있다.

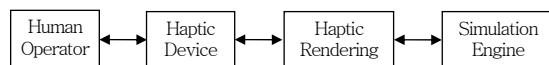
II. 햅틱 기술

1. 햅틱 기술

햅틱(Haptic)은 그리스어로 만지다(touch)라는 뜻을 가진 “Haptesthai”에서 유래하는데, 햅틱 기술은 터치(touch)를 기반으로 한 정보의 인지와 장치 조작에 관한 연구 분야를 일컫는다. 일반적으로 피부가 물체 표면에 닿았을 때 느끼는 촉감(tactile feedback)과 관절과 근육의 움직임이 방해될 때 느껴지는 근 감각적인 힘(kinesthetic force)의 두 가지 힘을 합쳐서 햅틱이라고 지칭한다.

햅틱 기술은 초창기 1970~1980년대에는 주로 로봇틱스 분야에서 많이 활용되었으며 그 후 1990년에 들어서는 컴퓨터 그래픽스, 가상 현실 분야로 연구분야가 확대되고 있다. (그림 1)은 가상현실(VR)에서의 햅틱 피드백의 구조를 보여주는데 사용자가 햅틱 장치를 쥐거나 입고 가상의 물체를 인지, 조작하는 데 있어 햅틱 렌더링(haptic rendering) 기술은 가상의 물체와 물리적인 장치 사이에서 사실적인 힘(realistic force)을 느끼게 하는 데 필요한 일련의 계산적인 모든 과정을 말한다[2]. 가장 간단한 레벨에서는 물체의 형태, 탄성, 질감, 무게 등 가상 오브젝트의 물리적인 특성 정보를 계산하는데, 이처럼 렌더링 기술은 물체의 성질과 상태 그리고 사람의 상호작용에 따라 힘을 계산하고 생성한다.

햅틱 기술은 크게 사람이 직접 손에 쥐거나 착용하는 햅틱 장치를 만드는 연구, 햅틱 렌더링 기술, 사람의 촉감 인지에 대한 연구, 그리고 햅틱 장치를 활용하는 애플리케이션 영역으로 구분된다. 초창기에는 주로 햅틱 장치 자체를 개발하는 데 중점을 두었으나 최근 실감 있는 햅틱 렌더링 기술, 사람의 촉감 인지 능력에 대한 심리적, 생리적, 정신 물리학적 연구, 그리고 햅틱 기술을 다양한 산업 분야로 응



(그림 1) 가상 현실에서 햅틱 피드백의 구조도

용하기 위한 노력들이 시도되고 있다.

2. 햅틱 기술의 국내외 동향

햅틱 장치는 크게 근육이나 관절에 물리적인 힘을 전달해 주는 역감 장치(force feedback device)와 피부에 있는 기계 수용체(mechano receptor)를 통해 온도, 압력, 질감, 진동, 아픔 등과 같은 피부 자극을 전달하는 촉감 장치(tactile feedback device)가 있다. 이 중 역감 장치는 주로 가상현실, 원격조



(1) Force-reflecting Gripper



(2) Logitech Wingman Force-feedback Mouse



(3) Force Dimension's Omega Haptic Device



(4) SensAble's Phantom Haptic Device



(5) Hand Force Feedback Exoskeleton



(6) Immersion's Haptic Workstation



(7) Immersion's CyberTouch



(8) FCS Robotics's Haptic Master



(9) Immersion's Impulse Engine



(10) Haption's Virtuouse

(그림 2) 다양한 형태의 햅틱 장비들

작, 게임, 시뮬레이션 등에 사용되는데, 근감각 자극을 줌으로써 물체의 기하학적인 특성을 파악하는 데 사용되며, 촉감 장치는 주로 진동 모터나 핀 배열 등의 액추에이터(actuator)를 이용해 질감을 표현하거나 특정 피부 감각을 피드백 해준다.

햅틱 관련 연구를 수행중인 대표적인 연구소로는 미국 MIT의 Touch Lab을 들 수 있는데, 가상현실, 로봇틱스, 의료용 등 햅틱의 전 분야에 걸쳐 연구를 수행하고 있다. 미국 하버드 대학의 BioRobotics 연구실, 캐나다 맥길 대학의 Haptics Laboratory도 햅틱 관련 많은 연구를 수행중이며, KAIST, 강원대, 고려대, 한양대, 성균관대, 광주과학기술원, KIST 등 국내 대학, 연구소에서도 햅틱 관련 분야를 연구 중이다.

상용 햅틱 장비를 생산하는 대표적인 업체로는 Immersion사와 SensAble사가 있다. Immersion사에서는 자동차용, 게임용, 산업용, 의료용, 3D용의 다양한 햅틱 장치를 개발하고 있으며, SensAble사에서는 대표적인 햅틱 장치인 Phantom 시리즈를 판매하고 있다. 이 외에 EXOS inc, Nissho, Force Dimension, FCS Robotics, Haption 등에서 다양한 용도의 햅틱 장비를 판매하고 있으며(그림 2) 참조), 현재 대부분의 장비들의 가격은 상당히 고가이다.

III. 착용형 컴퓨터를 위한 햅틱 기술

1. 착용형 컴퓨터를 위한 햅틱 기술

착용형 컴퓨터 혹은 모바일 컴퓨터의 경우 컴퓨팅 성능은 향상되는 반면 크기는 점점 작아지고 있는 추세이다. 작아진 크기로 인해 휴대하기가 용이해진 반면 HCI 측면에서는 기존의 데스크톱 컴퓨터와는 다른 입, 출력 방법이 요구되고 있다. 사용자가 걷거나 움직이고 있는 상황에서도 끊임 없이 컴퓨터와 상호작용 할 수 있도록 이동성을 보장하는 사용자 인터페이스 기술이 필요하다. 예로, 사용자가 움직이고 있을 때는 계속 화면을 쳐다보고 있지 않으

므로 시각적 정보를 대신 할 수 있는 다른 출력 장치가 필요하다. 청각 신호, 즉 소리를 이용해 시각 정보를 보완하는 경우 시끄러운 야외 환경에서는 잘 듣기 힘들 뿐만 아니라 다른 사람에게 방해로 준다는 단점이 있다. 대안으로 촉각 장치를 이용해 정보를 전달할 수 있는데, 촉각 신호는 착용형 컴퓨터의 특성상 신체와 밀접하게 접촉되어 있다는 점에서 피부를 통해 쉽게 정보를 인지하고 표현할 수 있으며 또한 시, 청각 정보와는 달리 본인에게만 전달된다는 점에서 사적인 정보 전달 채널로 활용 가능성이 높다고 할 수 있다.

2. 착용형 컴퓨터를 위한 햅틱 기술 동향

휴대용 컴퓨터 사용자 인터페이스 분야에서 가장 널리 사용되고 있으며 단순한 햅틱 기술은 휴대폰의 진동 모터를 이용한 알람 기능을 들 수 있다. 사용자의 주의를 환기시키기 위한 단순한 진동에서부터 최근에는 발신자를 구분하여 다양한 패턴의 진동을 낼 수 있는 진동 모터도 소개되고 있다. 아직까지 햅틱 UI에 대한 연구는 초창기라 휴대용, 착용형 컴퓨터에 햅틱 기술을 적용한 사례는 그리 많지는 않으므로 본 장에서는 현재 시도되고 있는 전반적인 햅틱 UI의 연구 사례를 살펴보고 착용형 컴퓨터 분야로의 응용가능성에 대해 알아본다.

미국 MIT MediaLab Europe에서는 PDA에 소형 트랜스듀서(transducer)를 부착하여 기울여서 화면을 스크롤링 할 때 기울임 정도를 진동으로 표현해 주었고[3], (그림 3)에서 보듯이 소니 CSL 연



(1) 소니의 TouchEngine



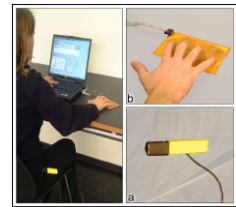
(2) 카네기 멜론 대학의 Outdoor Navigator

(그림 3) 휴대용, 착용형 컴퓨터의 햅틱 기술 응용 사례

구소에서는 PDA에 작은 액추에이터를 달아서 손가락으로 디스플레이를 만질 때 햅틱 피드백(tactile feedback)을 주고 리듬, 주파수, 진폭으로 다른 햅틱 패턴을 만드는 TouchEngine을 개발하였으며 [4], 미국 카네기 멜론 대학에서는 진동으로 방향 정보를 제공하는 조끼형태의 착용형 컴퓨터를 소개한 바 있다[5].

(그림 4)는 네덜란드 아인트호벤 대학에서 터치패드와 진동소자를 이용해 만든 햅틱 이모티콘(haptic emoticon)을 보여주는데, 몇 가지 대표적인 감정 상태를 특정 패턴의 햅틱 신호로 전달한다[6].

Icon	Emoticon	Meaning	Haptic
😊	;)D	regular smile	~
😄	;)D	big smile	~
😞	:(sad face	
😉	;-)	wink	~
😘	(k)	kiss	~
😳	;D	embarrassed	~



(그림 4) 터치패드 및 진동소자를 활용한 아인트호벤 대학의 Haptic(Haptic Emoticon)

(그림 5)는 VirTouch사의 VT Player로 4×4 핀 배열을 마우스 상단에 부착하여 손가락 끝으로 이미지, 애니메이션, 글자 등의 정보를 햅틱 신호로 표현해주며 현재 게임용, 교육용으로 판매하고 있다[7].

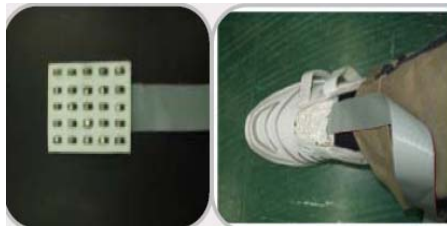


(그림 5) VirTouch사의 VT Player

(그림 6)의 tactaid는 듣지 못하는 청각장애인을 위해 7개의 바이브레이터를 내장하여 진동 리듬, 주기, 강도로 소리를 진동패턴으로 변환하여 주는 장치이며 VBW32 skin transducer는 5ms의 빠른 응답속도와 적은 전력 소모, 250Hz의 피크 주파수를 가지는 피부 자극기이다[8].



(그림 6) Tactaid와 VBW32 Skin Transducer



(그림 7) 광주과학기술원의 Vibrotactile Display



(그림 8) 강원대의 Wearable Vibrotactile Display

국내의 경우 광주과학기술원에서 핀 배열 형태의 구동기를 신발에 내장하여 방향, 문자, 숫자를 표현한 바 있으며, 강원대에서는 손가락에 끼울 수 있는 골무형 소형 구동기를 개발하여 이미지 패턴의 느낌을 전달한 바 있다(그림 7), (그림 8) 참조).

3. 착용형 컴퓨터를 위한 햅틱 기술 고려 사항

착용형 컴퓨터는 데스크톱의 마우스, 키보드, 디스플레이와 같은 규격화되고 표준화된 사용자 인터페이스 기술이 없는 만큼 착용형 컴퓨터의 용도나 형태에 맞게 별도의 다양한 사용자 인터페이스 기술이 개발되고 있는 실정이다. 착용형 컴퓨터에 햅틱 UI 기술을 적용하고자 할 경우 먼저 사용자의 요구 사항을 수렴하고 기술 구현 후 사용자 평가(usability test) 과정을 거치게 되는데 햅틱 UI 디자인 시 고려

할 사항은 다음과 같다.

첫번째는 어떤 용도로 햅틱 신호를 사용할 것인지를 규명한다. 햅틱 신호를 단독 정보 채널로 사용하는 경우와 햅틱 신호를 시, 청각 신호를 보조하여 사용자의 인지, 표현 능력을 증강시키는 수단으로 이용할 것인지 정의하고 그에 맞는 햅틱 UI 기술을 디자인하도록 한다. 햅틱 신호를 단독 정보 채널로 사용하는 예로는 핀 배열을 이용한 점자 표현이나 tactaid와 같은 청각 보조 장치 등을 들 수 있다. 이처럼 단독 정보 채널로 이용하고자 할 때는 정보의 손실을 줄이고 정확한 전달을 위해 정교한 햅틱 정보 표현 방법이 요구되며 사용자는 정보의 인지를 위해 약간의 학습 시간과 주의력이 필요하게 된다. 반면, 다른 정보 채널을 보조하여 사용자의 정보 인지 능력을 돕는 경우는 PDA에 액추에이터나 트랜스듀서와 같은 햅틱 디스플레이를 부착하여 사용자가 조작할 때 텍타일 피드백을 주거나 진동으로 프로세스의 진행 상태를 주는 등의 현실감을 증강시키는 방법으로 사용된다.

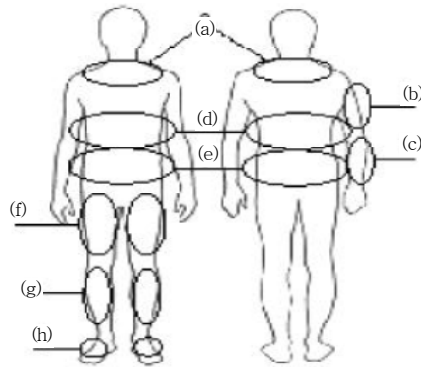
두번째는 착용형 컴퓨터의 용도에 적합한 햅틱 장치를 선택하고 신호 패턴을 생성하는 것이다. 햅틱 장치 중 역감 장치는 다소 크기가 크고 전력 소모가 많다는 점 때문에 착용형 컴퓨터의 사용자 인터페이스로 활용하기에는 다소 무리가 있다. 햅틱 신호 생성을 위한 액추에이터는 기계적 진동(mechanical vibration), 공압(pneumatic), 전기신호(electrotactile)를 이용하는 액추에이터가 있으나 크기가 작고 제어가 용이하다는 점 때문에 기계적 진동을 이용한 액추에이터가 착용형 컴퓨터로의 활용 가능성이 높다고 할 수 있다. 대표적인 사례로 휴대폰의 진동모터나 VBW32를 들 수 있는데, 분해능(resolution)은 핀 배열 형태의 액추에이터에 비해 다소 떨어지나 신체에 분산되어 배치할 경우 다양한 신호 패턴을 생성할 수 있다. 햅틱 UI 기술을 다양한 산업 분야로 적용하기 위해서는 크기가 작고, 분해능이 크면서 다양한 패턴의 신호를 생성 가능하고 저전력의 제어가 용이한 액추에이터가 개발되어야 할 필요성이 있다.

햅틱 신호 패턴을 만드는 기본적인 파라미터에는 주파수, 주기, 진폭, 파형, 리듬, 신체 부위, 시공간적 패턴 등이 있으며 이러한 파라미터를 적절히 이용해 정보를 인코딩하게 된다[9]. 햅틱 정보를 인코딩 할 때는 복잡한 형태의 신호 패턴은 사용자에게 혼란을 줄 수 있으므로 단순하면서도 기억하기 쉬운 패턴으로 만드는 것이 좋다[10]. 사람은 주파수 변화를 감지하는 능력은 다소 떨어지나 강도 변화는 상대적으로 인지하기 쉽다고 알려져 있다.

세번째 고려 사항은 착용형 컴퓨터 측면에서 햅틱 장치를 신체의 어느 부위에 위치시켜야 효과적으로 정보를 인지, 전달할 수 있는지에 대한 이해가 필요하다. 즉 햅틱 신호가 주어졌을 때 직관적으로 정보를 인식할 수 있도록 햅틱 장치를 신체에 전략적으로 배치시키는 것이 중요한데, 신체 부위마다 자극에 대한 민감도가 다르므로 이를 고려하여 햅틱 정보를 전달할 위치를 선정하도록 한다.

사람이 느끼는 감각의 역치(threshold)는 개개인마다 다르지만 사람의 피부는 대략 200~250Hz 사이의 주파수에서 가장 민감하다. 손가락 끝(fingertip)은 가장 분해능이 높은 신체부위로 알려져 있으며 온도 변화에 따라서 민감도가 달라지고 지속적인 압력에는 둔감한 편이다. 동시에 여러 개의 자극이 주어질 때 하나의 자극이 다른 자극의 인지를 방해하는 차폐(masking) 효과가 나타나기 쉬우므로 신호간의 간섭을 줄이기 위해 시간 간격을 두고 자극을 주는 등의 방안이 고려되어야 한다[11].

햅틱 장치가 웨어러블 컴퓨터에 내장된 형태로 사용될 경우 가능한 사용자에게 불편을 주지 않으면서도 피부에 근접하도록 배치하는 것이 중요하다. 카네기 멜론 대학의 웨어러블 그룹[12]에서는 사람의 움직임을 고려하여 웨어러블 오브젝트를 위치시키고자 하는 신체 부위 선정에 대한 연구를 진행한 바 있다. (그림 9)에서 보듯이 신체 부위 중에서 활동중에도 움직임이나 구부러짐의 큰 변화가 없는 부위, 표면적이 넓은 대표적인 신체 부위로 (a) 목 칼라 영역, (b) 상박의 뒷부분, (c) 팔뚝, (d) 흉곽 앞, 옆, 뒤, (e) 허리, 엉덩이, (f) 허벅지, (g) 정강이, (h)



(그림 9) 웨어러블 오브젝트를 배치하기 위한 비 침습적인 (unobtrusive) 신체 부위들

발 등 부위를 선정하였다[13].

IV. 결론

본 고에서는 착용형 컴퓨터를 위한 햅틱 기술에 대한 기술 동향과 햅틱 기술을 착용형 컴퓨터의 사용자 인터페이스로 활용할 경우 고려사항에 대해 전반적으로 살펴보았다. 비록 시, 청각 신호에 비해 햅틱 신호에 대한 이해나 분석은 아직 초기 연구 단계에 머물고 있지만 햅틱 UI에 대한 관심이 증가하면서 다양한 산업분야로의 응용과 활용방안이 제시되고 있다. 간단한 예로, 휴대용 컴퓨터의 경우 단순한 진동 외에 사용자가 손을 쥐는 부위에 높은 분해능을 갖는 핀 배열 형태의 구동기를 부착하여 메뉴 탐색을 돕는다면 화면을 쳐다보면서 탐색을 해야 하는 번거로움을 줄일 수 있으며 혹은 힘을 발휘할 수 있는 장치를 단말에 내장하면 게임에서 실감 재현 용도로 사용할 수 있다.

햅틱 신호를 착용형 컴퓨터에 이용하는 가장 간단한 응용으로는 신체의 특정 부위를 진동시켜 방향 정보를 제공하는 것인데, 위치기반서비스(LBS)와 연계하여 햅틱 신호를 좀 더 세밀하게 디자인 할 경우 방향 정보 외에 건물의 형태, 가게 종류, 계단의 개수, 방의 위치 등의 다양한 형태의 정보도 표현할 수 있을 것으로 예상된다.

착용형 컴퓨터뿐만 아니라 다양한 HCI 분야로 햅틱 기술을 적용하기 위해서는 먼저 사람이 느끼는 피부 자극의 인지적, 심리, 생리적, 정신 물리학적 측면에 대한 연구가 선행되어야 하며, 정교하게 햅틱 신호를 생성할 수 있는 햅틱 디스플레이의 개발, 표준화된 형태의 햅틱 정보 표현 방법에 대한 연구, 사용자 평가를 통해 자극에 대한 학습성과 기억성을 평가하는 과정이 뒤따라야 한다.

약어 정리

HCI	Human Computer Interaction
LBS	Location-based Service
UI	User Interface
VR	Virtual Reality

참고 문헌

- [1] Gartner, "Hype Cycle for Human-Computer Interaction," 2005.
- [2] K. Salisbury, F. Conti, and F. Barbagli, "Haptic Rendering: Introductory Concepts," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol.24, 2004, pp.24-32.
- [3] I. Oakely, J. Angeseva, S. Hughes, and S. O'Modhrain, "Tilt and Feel: Scrolling with Vibrotactile Display," EuroHaptics 2004.
- [4] Poupyrev, S. Maruyama, and J. Rekimoto, "Ambient Touch: Designing Tactile Interfaces for Hand-held Devices," UIST 2002.
- [5] F. Gemperal, N. Ota, and D. Siewiorek, "Design of a Wearable Tactile Display," *Fifth Int'l Symp. on Wearable Computers(ISWC'01)*, 2001.
- [6] L. Rovers and H.V. Essen, "Design and Evaluation of Hapticons for Enriched Instant Messaging," EuroHaptics 2004.
- [7] <http://www.virtouch.com>
- [8] <http://www.tactaid.com>
- [9] S. Brewster and L.M. Brown, "Tactons: Structured Tactile Messages for Non-Visual Information Display," *The 5th Australasian User Interface Conference 2004*, 2004.
- [10] Immersion TouchSense Fundamentals.
- [11] Force and Touch Feedback for Virtual Reality, John Wiley and Sons, New York, 1996.
- [12] Carnegie Mellon University Wearable Group, <http://www.wearablegroup.org>.
- [13] F. Gemperle, C. Kasabach, J. Stivoric, M. Bauer, and R. Martin, "Design for Wearability," *2nd Int'l Symp. on Wearable Computers(ISWC'98)*, 1998.