

## 전자 기기 조종을 위한 인간 동작 인식 기술 분석

최민석\*, 장백철\*

# An Analysis of Human Gesture Recognition Technologies for Electronic Device Control

Min-Seok Choi\*, Beakcheol Jang\*

### 요약

본 논문에서 우리는 인간 동작 인식 기술을 카메라 기반, 추가적인 하드웨어 기반, 그리고 주파수 기반 기술들로 분류한다. 각 기술 항목에 대한 대표적인 기술사례들을 설명하고, 그들의 장점과 단점을 기술한다. 인간 동작 인식 기술에 대한 중요한 성능 이슈 항목을 정의하고, 소개된 인간 동작 인식 기술들을 정의된 성능 이슈 항목에 따라 분석한다. 분석 결과 카메라 기반 인간 동작 인식 기술들은 공통적으로 손쉽게 사용할 수 있고, 높은 정확도로 동작을 인식할 수 있지만, 비용적, 인지 범위 등의 단점이 있다. 이에 비해 추가 하드웨어 기반 동작 인식 기술들은 공간의 제약, 빛이나 소음 등의 영향을 받지 않거나 최소화하였지만, 사용자가 직접 착용을 해야 하는 단점을 가진다. 최근에는 이러한 문제점을 보완하고자 주파수 기반 동작 인식 기술들이 연구 및 개발 중에 있다. 이들은 공간의 제약을 줄이고, 추가적 장비 없이 쉽게 동작인식을 할 수 있지만 아직 상용화 되지 않은 초기 연구 단계이며, 다른 신호나 주파수가 정확도에 영향을 줄 수 있다는 단점이 있다.

▶ Keywords : 인간 동작 인식 기술, 인간과 컴퓨터 사이의 상호작용, 카메라 기반, 추가 하드웨어 기반, 주파수 기반

### Abstract

In this paper, we categorize existing human gesture recognition technologies to camera-based, additional hardware-based and frequency-based technologies. Then we describe several representative techniques for each of them, emphasizing their strengths and weaknesses. We define important performance issues for human gesture recognition technologies and analyze recent technologies according to the performance issues. Our analyses show that camera-based technologies are easy to use and have

•제1저자 : 최민석 •교신저자 : 장백철

•투고일 : 2014. 8. 26, 심사일 : 2014. 9. 27, 게재확정일 : 2014. 11. 5.

\*상명대학교 미디어소프트웨어학과 (Dept. of Media Software, Sangmyung University)

※ 본 연구는 2013년도 상명대학교 교내연구비를 지원받아 수행하였음.

high accuracy, but they have limitations on recognition ranges and need additional costs for their devices. Additional hardware-based technologies are not limited by recognition ranges and not affected by light or noise, but they have the disadvantage that human must wear or carry additional devices and need additional costs for their devices. Finally, frequency-based technologies are not limited by recognition ranges, and they do not need additional devices. However, they have not commercialized yet, and their accuracies can be deteriorated by other frequencies and signals.

▶ Keywords : Human Gesture Recognition, Human Computer Interaction, Camera, Frequency

## I. 서 론

1946년 최초의 컴퓨터 에니악이 출현한 이래로 개인용 컴퓨터, 메인 프레임, 스마트폰에 이르기까지, 컴퓨터는 눈부신 발전을 이룩해왔다. 오늘날 거의 모든 사람들이 스마트폰, 태블릿과 같은 스마트 디바이스를 사용하고 있으며, 가정에서는 냉장고, TV, 전자 렌지, 전등, 에어컨 등 수많은 전기 기기에 둘러싸여있고, 심지어는 자동차에도 IT와 computing 기술이 접목되어, smart car 시대가 도래 하고 있다. 세상에 존재하는 인류의 여러 기기들을 쉽게 조종할 수 있는 기술 개발은 다가오는 사물 인터넷 시대, 머신 투 머신 컴퓨팅 시대, 그리고 유비쿼터스 시대에 꼭 필요한 기술로 인식되고 있다 [1].

전기 기기들에 대한 쉬운 조작의 필요성과 함께, 최근 인간의 동작 인식을 위한 다양한 기술들이 개발 되고 있다. MS사에서 개발된 키넥트 (Kinect) [4] 는 카메라를 기반으로 하는 대표적인 동작인식 기술이다. 키넥트는 먼저 적외선 반사를 통하여 사용자를 스캔하고, 센서를 통해 사용자와의 거리를 인식하여, 실시간으로 사용자의 동작 정보를 인식한다. 키넥트는 60일 만에 800만대가 팔리며 역대 가전제품 가운데 가장 빠르게 확산된 단말로 평가 받고 있다. Eye-Tracking기술은 눈동자의 움직임을 감지하여 시선의 위치를 추적한다. Naver는 Eye-Tracking기술을 도입하여 사용성 분석을 통해 직관적이고 편리한 제어장치 및 화면 위치를 결정하여 사용자가 홈페이지를 보다 쉽게 사용할 수 있게 개편하였다 [5]. Leap Motion 기술은 정교한 손동작 인식 센서를 지닌 사용자 인터페이스를 제공하는 장치이다.

Nintendo사의 Wii [6] 는 리모컨 형태의 컨트롤러로 가속도계와 광학 센서를 탑재하여, Wii 리모컨이 어디를 가리키

고 있는지를 감지할 수 있다. 2010년Toronto 대학의 Jeremy Scott은 동작인식 센서를 주머니 속에 넣고 발의 움직임을 인식하는 연구를 발표하기도 했다 [19]. 이외에도 주파수를 기반으로 사람의 동작을 인식하는 SoundWave [7] 와 WiSee [8] 와 같은 기술들도 소개 되었다. 이러한 기술들은 인간의 동작에 의한 주파수 세기의 변화를 감지하여 인간의 동작을 인식 한다.

이 논문에서 우리는 인간과 컴퓨터의 상호 작용을 위해 중요한 기술인 인간 동작 인식 기술들을 소개 한다. 먼저 이러한 동작 인식 기술을 세 가지 종류, “카메라를 기반으로 하는 인간 동작 인식 기술”, “추가 하드웨어를 필요로 하는 동작 인식 기술”, 그리고 “주파수를 기반으로 하는 동작 인식 기술”로 나눈다. 그리고 각각의 기술에 대한 대표적인 기술 사례들을 소개하고 그 기술의 알고리즘과 장점 그리고 단점을 기술 한다. 인간 동작 인식 기술을 위한 중요한 성능 이슈에는 추가적인 하드웨어 필요, 공간의 제약, 인식범위, 빛 또는 소음 등의 영향이 있다. 이러한 성능 이슈를 기반으로, 최근 중요한 인간 동작 인식 기술들을 평가 한다.

이 논문의 나머지는 다음과 같이 구성 된다. 2장에서 우리는 카메라를 기반으로 하는 동작 인간 동작 인식 기술들을 소개 한다. 3장에서는 추가적인 기기를 필요로 하는 인간 동작 인식 기술들을 기술 한다. 4장에서 우리는 주파수를 기반으로 하는 인간 동작 인식 기술에 대해 소개 한다. 5장에서는 인간 동작 인식 기술이 가져야할 중요한 성능 이슈 항목을 정의하



그림 1. 마이크로소프트사 X-box 키넥트 외형 [2]  
Fig. 1. Microsoft's X-box Kinect appearance

고, 이러한 이슈 항목에 따라 인간 동작 인식 기술들을 평가한다. 마지막으로 6장에서 논문의 결론을 맺는다.

## II. 카메라 기반 동작 인식

카메라 기반 동작 인식은 신체에 장비를 착용하지 않고 카메라를 통해 습득되는 영상을 이용하여 동작을 인식하는 기술로 다양한 영상처리 기술을 기반으로 한다 [9]. 본 장에서는 인간 동작 인식 기술 중 카메라를 기반으로 하는 동작 인식 기술에 대하여 대표적인 사례의 동작 원리 및 알고리즘, 장점, 그리고 단점을 기술한다. 카메라 기반 동작 인식 기술의 대표적인 사례로 MS사의 X-box Kinect [4], Eye-Tracking [5], 그리고 Leap Motion [10]을 살펴본다.

### 2.1 Microsoft X-box Kinect

동작인식 기술의 혁신을 가져온 MS사의 키넥트(Kinect)는 카메라 기반을 사용한 대표적인 동작인식 장치이다 [11]. 이는 3개의 카메라와 마이크가 내장되어 사용자의 동작과 음성을 인식한다. 그림 1은 키넥트의 외관을 보여준다. 키넥트는 3개의 카메라로 구성된다. 가장 왼쪽에 있는 카메라는 적외선을 픽셀단위로 송출하는 적외선 프로젝터이고, 오른쪽 두 개의 카메라는 송출된 적외선이 사람 등에 반사되어 오는 적외선을 인식하는 깊이인식 적외선 카메라이다. 이 카메라들로 48개의 관절 포인트의 움직임을 입체적으로 인식하여 XYZ 3차원의 신체 움직임을 감지하게 된다.

그림 2는 키넥트의 작동원리를 설명해주는 그림이다. 키넥트는 먼저 적외선 반사를 통하여 사용자를 스캔하고, 그 다음 센서를 통해 사용자와의 거리를 인식한다. 거리 인식이 된 후 실시간으로 사용자의 동작 정보를 인식한다.

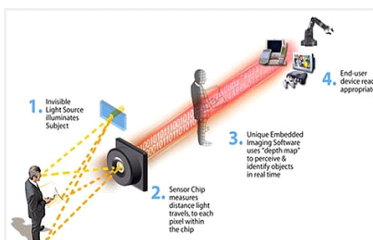


그림 2. 마이크로소프트사의 X-box 키넥트 원리 (3)  
Fig. 2. Microsoft's X-box Kinect performance property

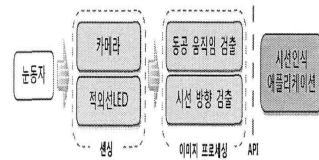


그림 3. Eye-Tracking 기술의 계층 모델 (13)  
Fig. 3. Eye-Tracking technology's Layer model

**장점:** 키넥트는 컨트롤러 없이 몸으로 게임을 조작할 수 있으므로, 누구나 쉽게 게임 조작할 수 있다는 장점이 있다. 또한 관련 SDK 공개 [12]로 인하여 의료, 상업, 교육 등 많은 분야에서 활발히 활용되고 있다. 그 결과 출시 60일 만에 800만대가 팔리며 역대 가전제품 가운데 가장 빠르게 확산된 단말로 평가받고 있다.

**단점:** 키넥트의 가장 큰 약점은 공간 확보의 필요성이다. 센서까지의 거리가 2m 이상, 좌우 폭도 2m 이상이 확보되어야 한다. 이로 인해 작은 집이나, 좁은 공간에서는 인식률이 떨어지는 단점이 있다. 또한 카메라 기반 동작인식 기술이기 때문에, 카메라의 범위 안에서만 인식되는 문제가 있다. 또한 사용자가 카메라에서 거리가 멀어질수록 인식률은 떨어진다.

### 2.2 Eye-Tracking

인간의 동작은 사용자의 손 및 목의 움직임, 또는 눈의 깜빡임, 머리의 움직임 등과 같은 물리적인 동작들에 의해서 만들어진다. 그 중에서 높은 의사전달력이 있는 동작 중 하나는 눈의 움직임이다. 이에 Eye-Tracking 기술은 사용자의 시선을 추적하는 기술로서 Human Computer Interaction (HCI) 분야뿐만 아니라 마케팅 등 폭넓은 분야에서 높은 활용 가치를 보유하고 있다.

Eye-Tracking 기술 [13]은 눈동자의 움직임을 감지하여 시선의 위치를 추적하는 기술로서 센서부착 방식, 콘택트렌즈 방식, Video분석 방식의 3가지 방식이 사용되고 있다. 센서부착 방식은 눈 주위에 센서를 부착하여 눈의 움직임에 따른 전기장을 이용하여 눈의 움직임을 검출한다. 콘택트렌즈 방식은 거울 내장 콘택트렌즈의 반사된 빛이나, 코일 내장 콘택트렌즈의 자기장을 이용한다. 마지막으로 가장 많이 사용되고 있는 Video분석 방식은 실시간 카메라 이미지의 분석을 통해 동공의 움직임을 검출하고, 각막에 반사된 고정 위치를 기준으로 시선의 방향을 계산한다. 사람들이 볼 수 없는 적외선을 안구 표면의 각막에 반사하여 이 반사된 것을 카메라가 인지하고 추

적하는 원리로 눈의 움직임을 컴퓨터에 데이터로서 기록한다. 그림 3은 Video분석 방식의 원리를 한 눈에 볼 수 있게 표현하였다. 이는 1초에 약 60회의 눈의 움직임을 기록하며 순간적인 이동을 탐지할 수 있고 이를 이용하면 특정 영역에 눈의 움직임이 고정되는 시간도 동시에 측정할 수 있다.

Eye-Tracking 하드웨어의 발전으로 적용 대상 기기가 넓어지고 있으며, 정확한 시선 검출을 위한 기술 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 최근 국내에서도 Eye-Tracking 기술을 도입한 많은 변화가 일어나고 있는데, Eye-Tracking을 사용한 대표적 사례인 Naver의 홈페이지 개편이다 [5]. Naver는 Eye-Tracking 기술을 도입하여 사용성 분석을 통해 직관적이고 편리한 제어장치 및 화면 위치를 결정하여 홈페이지를 사용자가 보다 쉽게 사용할 수 있게 개편하였다. 또 하나의 사례로 LG전자는 세계 최초로 Eye-Tracking 기술을 적용한 "무안경 시네마 3D 모니터"를 출시하였다. 제품 상단에 장착된 Web Cam이 사용자의 눈 위치 변화를 실시간으로 추적, 눈 위치가 상하좌우로 이동한 만큼 3D 영상의 시청 각도와 시청 거리를 자동으로 계산하여 최적으로 맞춰준다. 삼성전자는 Samsung GALAXY S4라는 안드로이드 스마트폰에 Eye-Tracking 기술을 도입 [14] 하여 사용자가 동영상 보다 시선을 다른 곳으로 옮기면 동영상이 멈추고, 다시 화면을 보면 별도의 조작 없이 비디오가 멈춘 구간부터 다시 재생되는 스마트 포즈, 사용자의 시선을 카메라가 먼저 인식한 뒤 스마트폰 기술기에 따라 화면을 위아래로 이동하는 스마트 스크롤이라는 기능을 탑재하였다.

**장점:** Eye-Tracking 기술은 기존에 제시되지 않았던 새로운 인터페이스로 이를 활용하여 다양한 분야에서 사용되기 시작하고 있다. 적용 분야로는 장애인들의 의사소통 및 기기제어를 위한 수단으로 눈을 통한 글씨 입력을 출력하고, TV 및 휠체어의 방향등을 제어하거나, 의학 진단 및 수술 분야에도 활용되어 눈의 상처 혹은 뇌 손상 환자의 기능 진단 및 안과 수술 시 정확한 안구의 움직임에 따라 정밀도가 높은 수술을 위해 활용되고 있다.

**단점:** Eye-Tracking 기술은 눈에 의존한 기술이므로 눈을 제외한 동작은 인식을 하지 못하는 약점이 있다. 이는 눈을 못 움직이는 사용자 또는 눈을 뜰 수 없는 상황에 대한 제약이 있다. 또한 Video 방식이 아닌 다른 방식을 사용할 경우 콘택트렌즈를 사용하거나 속눈썹이 긴 사람들에게는 오류가 일어날 확률이 높다.

### 2.3 Leap Motion

2012년 MIT's Technology Review에서 "스마트폰 이래 가장 중요한 새로운 기술"로 소개한 Leap Motion은 샌프란시스코에 있는 벤처회사에서 만든 매우 정교한 손동작 인식 센서를 지닌 사용자 인터페이스를 제공하는 장치이다 [10]. 이것은 2012년 5월 21일 YouTube에 공개하면서 단 이틀 만에 조회 수 230만이라는 엄청난 조회 수를 기록했다.

Leap Motion은 2대의 카메라와 3대의 적외선 LED가 내장된 단말을 USB에 연결해 사용하여 사용자 주위 8큐빅피트(60x60x60cm) 공간에서 컴퓨터와 입체적으로 상호작용할 수 있다. 사용자의 손 또는 손가락의 움직임을 초당 290프레임으로 인지하며, 시차 없이 0.01mm의 움직임까지 입력을 할 수 있고, Kinect보다 200배 높은 감도를 가진다. 키넥트와 같이 Leap Motion은 전용 앱 스토어를 가지고 있어 Leap Motion용 애플리케이션을 받아 사용할 수 있다.

**장점:** 키넥트는 손이나 발 등의 움직임이 큰 동작을 인식할 수 있지만, Leap Motion은 손가락 하나하나의 움직임까지도 세밀하게 인식할 수 있으며 짧은 거리에서 동작인식을 하는데 쓰일 수 있다. 사용방법 또한 컴퓨터에 소프트웨어를 설치한 뒤 USB로 연결만 하면 바로 사용할 수 있는 편리함이 있다. 최근에는 스마트폰과 게임분야에도 Leap Motion이 적용되고 있다.

**단점:** 하지만 Leap Motion은 윈도우나 Mac에서 사용하지 못하고 Leap Motion 애플리케이션에서만 쓸 수 있는 전용 컨트롤러라는 약점이 있다. Leap Motion이 출시된 이후 부정적인 반응과 긍정적인 반응이 양립하고 있는데 이는 사용자들이 데모동영상과, 홍보영상과는 전혀 다른 모습을 보이고 러닝 커브가 완만하지만은 않은 것이 이유이다.



그림 4. 닌텐도 Wii 리모트 외형 (15)  
Fig. 4. Nintendo Wii Remote

### III. 추가 하드웨어 기반 동작 인식

추가 하드웨어 기반 동작 인식 기술은 사용자가 직접 신체에 착용하여 동작을 인식하거나 사용자가 직접 기기 [16]를 다루므로, 높은 동작 인식률을 가지는 특징이 있다. 이러한 기술들은 사용자의 신체 어느 부위에 착용하는지에 따라 방법이 다양하다. 본 장에서는 이러한 추가 하드웨어 기반 동작 인식 기술의 대표적인 사례로 Nintendo 사의 Wii Remote [6], Humantenna [17], Sens-ing foot gestures from the pocket [18]의 특징 및 장점과 단점을 기술한다.

#### 3.1 Nintendo Wii Remote

Nintendo사는 2006년 4월 27일에 정식으로 Wii라는 지극의 이름을 발표하였다. 정식 발표 전의 게임기 개발 코드네임은 “레볼루션”이었다. 이는, “비디오 게임의 혁명”이 되는 게임기라는 뜻으로 붙인 것이다.

Wii의 기본 컨트롤러는 Wii 리모컨이라 불리는 리모콘 형태의 컨트롤러이다.

그림 5는 Wii Remote의 외형으로 이 컨트롤러는 3축의 가속도와 기울기를 인식할 수 있는 ADXL330 가속도계를 탑재하고 있다. PixArt 광학 센서를 탑재하고 있어, Wii 리모컨이 어디를 가리키고 있는지를 감지할 수 있다. Wii 콘솔의 센서바로부터 빛을 감지하는데 양 끝에 각각 5개의 적외선 LED가 붙어 있다. Wii Remote로 센서 바를 포인트할 때 지원되는 최대 거리는 센서 바로부터 5미터이다. Wii Remote의 이미지 센서는 센서 바의 적외선을 찾아 위치를 계산하는데 사용된다 [19]. Wii Remote를 수평인 상태에서 회전시키더라도 센서 바의 두 개의 클러스터의 각도를 계산하여 회전 또한 인식이 가능하다.

**장점:** Wii Remote는 근거리 통신 프로토콜인 블루투스 및 적외선 센서기술을 탑재한 무선 게임컨트롤러이다. 또한 원-핸드 리모컨 방식으로 디자인되어 사용자의 동작을 더 직관적으로 취하고, 포인팅 동작을 취하기 쉽게 하였다. 이러한 장점들 때문에 Wii Remote의 등장 이후 이를 사용한 연구들이 급속도로 증가하게 되었다. Wii Remote를 사용한 연구들이 증가하게 된 가장 큰 계기는 Johnny Lee라는 Carnegie Mellon University의 박사과정을 이수하고 있던 학생이 2007년 12월 자신이 연구한

Wii Remote 관련 내용을 동영상으로 촬영하여 YouTube에 올렸다. 약 1주일 만에 100만 명 이상의 사람이 이 동영상을 보게 되었고, 사람들은 Wii Remote를 이용한 다양한 활용처가 있을 수 있다는 것을 깨닫게 되었다. 국내에서는 Wii Remote를 활용하여 멀티디스플레이와의 상호작용 [20]을 위한 방법을 제안하여 적외선 LED의 위치 정보를 저비용에 안정적이고 다양한 형태와 크기의 멀티 디스플레이에 적용하여 안정적인 실시간 트래킹이 가능하게 한 연구 사례 등 Wii Remote를 사용하여 PC에서 마우스와 키보드 대신 사용할 수 있고, 전자책판을 만들고, 다양한 게임을 즐길 수 있게 되었다.

**단점:** Wii Remote는 센서 바의 인식거리 내에서만 작동할 수 있고, 인식거리 밖에서 조작할 경우 인식을 못하거나, 인식률이 현저하게 낮아진다. 또한 적외선 센서로 위치를 감지하기 때문에 태양광과 같은 적외선을 발산하는 물체가 있는 경우 제대로 인식하지 못하는 문제를 일으키게 된다.

#### 3.2 Humantenna sense

Microsoft사는 Xbox Kinect 이후 Washington 대학과 함께 연구를 하여 Xbox Kinect의 장비 설치비용과 한정적인 공간에서의 동작 인식 범위를 해결하고자 Humantenna [17]라는 새로운 센서를 개발하였다. Humantenna는 추가 장비들이 설치되지 않은 환경에서 오직 최소의 장비만 사용자가 착용한 채 사람의 몸 전체의 동작을 인식할 수 있는 센서 시스템이다. 사용자의 몸에 착용한 Humantenna의 장비에 있는 수신기는 주변에 존재하고 있는 전자기기들, 송전선에서 나오는 전자 노이즈를 수신한다. 각기 다른 동작에 따라 신호의 변화를 감지하고, 실시간으로 몸 전체 동작을 인식한다. Humantenna는 휴대전화보다는 크고 노트북보다는 작은 National Instruments의 WLS-9206를 사용하여 무선 데이터를 수집할 수 있다. 이것은 1000mAh의 3-cell Lithium ion 중합체 배터리를 사용하는데 몇 시간동안 계속 데이터를 수집할 수 있게 해준다.

Humantenna는 우선적으로 사용할 동작을 분류하여 똑같은 공간의 window로 나누어 놓는다. 이 window는 시간 영역과 주

파수 영역으로 되어 있다. 그런 다음 DC waveform을 분할 알고리즘으로 계산하게 되는데, 계산된 DC waveform을 관찰하여 분류해 놓은 동작 중 가장 비슷한 동작을 찾아 인식하게 된다. 이 때 주파수 영역의 주파수들을 Fast Fourier

Transform(FFT)를 사용하여 변환을 한다. 변환된 FFT의 규모는 window의 규모와 동등하게 된다. 이를 window에 모든 샘플을 사용하기 위해, 인접한 FFT는 겹쳐서 같은 샘플을 사용할 수 있도록 계산하는 과정을 거치고 분류해놓은 동작들과 연결시켜 동작을 취했을 때 가장 비슷한 결과를 갖는 것을 인식하여 동작되게 된다.

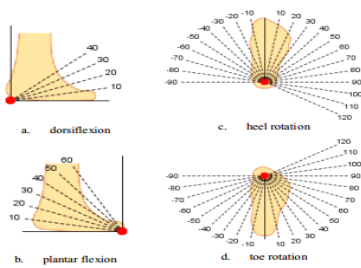


그림 5. 회전축에 따른 목표 위치 (18)

Fig. 5. Target placement along the axis of rotation for (a) dorsiflexion, (b) plantar flexion, (c) heel rotation, and (d) toe rotation

**장점:** 키넥트의 공간적 제약과 추가 장비의 비용적 단점을 보완하고자 만든 Humantenna는 키넥트의 공간적 제약을 극복한 동작 인식 기술로 평가받는다. 이는 주변 전자기기들로부터 나오는 전자 노이즈를 수신하여 동작하므로 사용자가 장비만 착용하고 있으면 어디서든 동작 인식을 할 수 있다.

**단점:** 하지만 Humantenna는 사용자가 추가 장비 직접 착용해야하므로, 사용자의 불편함, 상황에 따른 제약이 있다. 센서 앞에서만 인식할 수 있는 공간적 제약을 해결하고자 하였지만 Humantenna 역시 방이나 어느 한 공간 안에서만 인식이 되기 때문에 공간적 제약을 완벽히 해결하지는 못했다. 또한 전자파를 사용하기 때문에 건강상의 문제점도 지니고 있다.

### 3.3 Sens-ing foot gestures from the pocket

2010년 Jeremy Scott 외 Toronto 대학 연구진들은 동작인식 센서를 주머니 속에 넣고 발의 움직임을 인식하는 연구를 발표하였다 [18]. 이 연구의 목적은 휴대폰이 대중화된 현대 시대에 모든 사용자들이 겪는 불편한 상황인 휴대폰을 조작하지 못하는 경우 즉, 사용자가 두 손에 물건을 쥐고 있거나 사용자 손에 무엇이 묻었을 경우 발의 움직임을 통한 동작 인식으로 휴대폰을 조작하는 내용이다.

이들은 먼저 사람이 발로 취할 수 있는 동작의 한계와 어떤 동작을 취할 수 있는지에 대해 실험을 하였다. 이는 발목과, 뒤꿈치, 발가락들이 움직일 수 있는 범위를 측정하여 사람이 평균적으로 잘 움직일 수 있는 범위의 결과 값을 얻고자 실험을 하였다.

실험결과 그림 6 과 같이 (a) Dorsiflexion에서는 10 ~40 , (b) plantar flexion에서는 10 ~60 , (c) heel rotation 과 (d) toe rotation에서는 각각 -10 ~-90, 10 ~120 와 같은 결과 값을 얻었다. 측정된 값들과 6대의 M-Series Vicon Motion Capture 카메라를 사용하여 사람들의 발의 움직임을 포착한다. 각각의 동작 시 가속 데이터를 시간 영역과 주파수 영역의 그래프로 표현하는데 이것의 시간 영역은 평균, 최소, 최대 포인트를 보여준다. 주파수 영역은 각각의 실험 데이터를 64-포인트 FFT로 계산하여 window 샘플들과 계산을 한다. 계산된 최대 DFT 값과 스펙트럼들을 각각의 동작에 연결시켜 명령을 완성한다. 이와 같은 방법으로 사람의 발동작을 취하게 되면 해당 명령어를 작동하게 된다.

**장점:** 휴대폰을 사용해야하지만 손이 자유롭지 못하여 사용하지 못하는 경우에 대한 불편함을 동작인식을 활용하여 해결한 연구로 활용도가 높은 연구로 평가받고 있다. Thalmic Lab에서는 Myo [21] 라는 손목에 밴드형식을 착용하는 동작인식 장비를 개발하기도 했다. 또한 MS에서도 동작인식 센서 기기를 손목에 착용하여 외부 기기와 인터페이스 할 수 있는 기술의 프로토타입을 발표했다.

**단점:** 착용형의 가장 큰 문제점은 착용장비를 착용하지 못

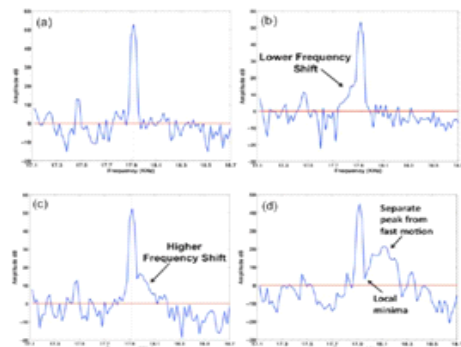


그림 6. 신호의 주파수 도식화 (7)

Fig. 6. Shows the frequency of the signal (a) Pilot tone with no motion, (b)(c) Increase in bandwidth on left and right due to motion away from and towards the laptop respectively, (d) Shift in frequency large enough for a separate peak

하는 상황에 따른 제약이 따른 다는 것이다. 또한 이것은 장비를 착용하여도 동작의 범위에 따라 오차율이 있고, 사람이 걷거나 움직일 때의 인식률이 높지 않은 등 아직까지 보완해야할 점이 많다.

### IV. 주파수 기반 동작 인식

주파수 기반 동작 인식은 아직까지 실용화가 되지 않았지만, 활발한 연구가 진행 중인 기술이고, 위 2장과 3장에서 살펴본 동작 인식 기술들의 추가 비용, 인식거리, 상황에 따른 제약이라는 단점을 보완하는 동작 인식 기술이다. 대표적인 사례로 SoundWave [7], WiSee [8]의 원리 및 알고리즘, 장점과 단점 소개한다.

#### 4.1 SoundWave

지금까지 추가 하드웨어 기반 동작인식에 대한 연구는 활발히 되고 있지만, 사용자의 몸에 어떠한 기기도 착용하지 않고 동작 인식을 할 수 있는 기술들에 대해서는 미비하다. 하지만 사용자의 몸에 장비를 착용하지 않고 동작인식을 하기 위해 기존의 장비들을 이용하는 것도 한 가지 방법이다. 이런 방법 중 대표적인 것이 SoundWave [7] 이다. 이것은 대부분의 상품화된 장치들에 내장된 스피커와 마이크를 활용하여 공기 중 제스처를 감지하는 기술이다. 내장된 스피커에서는 손과 같이 움직이는 물체에 반사된 주파수를 얻기 위해 사용자의 귀에는 들리지 않는 톤을 생성하고, 마이크로 이러한 다양한 변화의 제스처를 측정한다.

또한 이 기술은 주파수 변화 특징으로 잘 알려진 “Doppler shift” 현상을 사용하여 동작 감지 속성인 속도, 방향성, 진폭을 사용하여 장치 앞쪽, 장치 주변의 모션들을 감지하여 풍부한 제스처 집합을 인지한다.

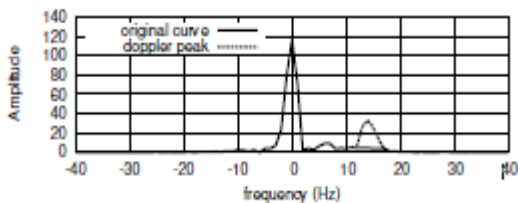


그림 7. Doppler Shift 추출 [22]  
Fig. 7. Extracting Doppler Shift

그림 6 은 신호의 주파수를 보여주고 있다. (a)는 어떠한

움직임도 존재하지 않을 때, (b)(c)는 손이 랩탑으로부터 멀어질 때, 가까이 이동할 때, (d)는 빠른 동작을 취했을 때의 각각 신호의 주파수를 보여주고 있다. 이러한 신호의 주파수 변화들을 측정하여 사용자의 동작에 연결시켜 Scrolling, Single-Tap, Double-Tap, Two-Handed Seesaw 그리고 Sustained Motion을 가능하게 한다.

**장점:** SoundWave는 지금까지 카메라 기반이나, 추가적인 하드웨어 기반 동작 인식과는 달리 추가적인 동작인식 장비 없이 인간의 동작을 인식할 수 있는 기술이다. 추가적인 동작인식 장비가 없다는 것은 동작 인식을 하기 위해 사용되는 비용이 적다는 말이기도 하다. SoundWave는 지금까지 시도되지 않았던 음파를 동작 인식 기술에 사용할 수 있음을 보였다.

**단점:** SoundWave는 음파를 이용하기 때문에 주변의 소음에 영향을 받을 수 있다는 단점이 있다. 또한 스피커와 마이크가 모두가 내장되어 있는 랩탑이나 PC 앞에서만 사용이 가능하며, 스피커와 마이크 사이에서라는 인식 범위의 문제가 있다.

#### 4.2 WiSee

최근 SoundWave를 발표한 Washington 대학의 Qifan Pu, Sidhant Gupta 외 연구진이 아주 흥미로운 연구를 또 발표하였다. 이것의 이름은 WiSee [8] 로 동작인식을 위한 장비를 착용하지 않고, 일반 가정에 널리 보급된 Wi-Fi 장비를 기반으로 사람의 동작을 파악하는 원리이다. 예를 들어 사람이 손짓을 한다면 실내의 Wi-Fi 전자기파는 손이 움직이는 방향에 따라 조금씩 다르게 영향을 받는다. 이 같은 파장의 미세한 변화를 해석하여 카메라와 다른 장비 없이 사용자의 동작을 인식하는 것이다.

WiSee는 SoundWave에서 사용한 Doppler Shift현상을 활용하기 위하여 OFDM 기반의 시스템으로 설계하였다. 그림 7 과 같이 협대역 신호로부터 Doppler Shift를 계산하여 Doppler를 추출하고, WiSee가 미리 분류해 놓은 동작에 해당하는 세그먼트 집합을 식별하여 분할한다. 그리고 동작의 집합 중 가장 유사한 동작으로 결정하여 분류한다. 또한 WiSee는 MIMO를 활용하여 여러 사람들이 존재하는 곳에서도 작동할 수 있다. 사용자를 인식하기 위해 분류해 놓은 동작들 중 반복적인 동작을 통해 프리앰블을 설정하여 사용한다. 이 프리앰블을 통해 사용자가 수신기로부터 앞에 있는 뒤에 있는지 기준이 되는 방향을 설정할 수 있게 되어있다.

WiSee의 수신기는 다섯 개의 안테나까지 사용하기 때문에 사용할 수 있는 공간이 증가한다.

**장점:** WiSee는 기존의 동작인식 기술들과 달리 카메라나 장비를 착용하지 않고, 사용자가 집안에서 편안하게 손동작으로 집안 모든 가전기기를 조작할 수 있는 기술로 혁신을 불러일으키고 있다. WiSee는 약 94%의 인식률을 보인다.

**단점:** 하지만 WiSee역시 Wi-Fi를 사용하기 때문에 Wi-Fi가 설치되어 있는 건물이나 집에서는 사용이 가능하지만 건물 밖, 도로 등과 같이 Wi-Fi가 설치되지 않은 곳에서는 사용할 수 없는 공간적 제약을 가지고 있다.

### V. 분석

본 장에서는 먼저 인간 동작 인식 기술에 대한 중요한 성능 이슈들을 정의하고, 앞서 소개한 기술들을 제시된 성능 이슈에 따라 분석 한다. 중요하게 고려되는 성능 이슈에는 추가 장치의 유/무, 손쉬운 사용, 공간의 제약, 인식범위, 빛 또는 소음의 영향 등이 있다.

- **추가 장치의 유/무:** 추가 장치가 있는 경우와 추가 장치가 없는 경우는 중요한 고려사항이다. 추가 장치의 유/무는 비용과 사용자의 편리성 등에 영향을 준다.
- **손쉬운 사용:** 손쉬운 사용(user-friendly)는 연령의 제한 없이 남녀노소 누구나 손쉽게 조작하여 사용할 수 있는지를 판단하는 사항이다.
- **공간의 제약:** 동작 인식 기술을 사용하였을 경우, 어느

정도 공간까지 허용할만한 인식률이 나오는지, 인식 범위에 제한이 있는지를 보여준다.

- **인식범위:** 동작 인식 기술을 사용하여 인식할 수 있는 신체부위를 확인하는 것으로, 몸 전체를 인식할 수 있는지, 장치에 닿아 있는 특정 부위만 인식이 가능한지, 특정부위는 아니지만 사용자의 몸 전체는 인식 못하는 경우 이렇게 세 가지로 나누어 볼 수 있다.
- **빛, 소음의 영향:** 동작인식 기술의 방해 요소 중 자연적인 방해 요소인 빛, 주변 및 기타 전자 기기에서 나오는 간섭 그리고 소음 등에 대해 동작 인식이 영향을 받는지는 중요한 성능 이슈이다.

표 1 은 각 대표적인 기술들을 성능이슈 항목들에 대해 분석한 표로써 ○, △, X의 기호들은 각각 좋음, 중간, 나쁨을 나타낸다. 먼저 카메라 기반 기술인 Kinect, Eye-Tracking, Leap Motion은 카메라라는 추가 장치를 필요로 한다. 추가 장치는 곧 추가 비용이 필요하다는 것을 의미한다. 또한 카메라를 사용함으로 인하여 카메라 범위 내에서만 올바르게 동작할 수 있다는 공간적 제약을 가지고 있으며, 빛의 영향을 받는 것이 카메라 기반 기술의 공통적인 단점이다. 하지만, 카메라를 사용함으로 인하여 사용자의 신체 전체까지도 쉽게 인식을 할 수 있으며 누구나 쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있다. 추가적인 하드웨어 기반 동작 인식 기술인 Wii Remote, Humantenna, Foot gestures 는 사용자가 직접 착용해야 하는 추가 장치가 필요하므로, 카메라 기반 동작 인식 기술과 마찬가지로 추가적 비용 문제를 포함하고 있다. 사용자가 직접 착용해야 하므로 사용자의 불편함이 증대되며, 사용자 신체 전체를 인식할 수 없고, 장치와 닿아 있는 특정 부위만 인식이 가능하다. 반면에 빛과 소음 등에 영향을 받지 않고, 직접적으로 조작을 하여 동작 인식을 함으로써 높은 인식률을 갖는다. 마지막으로 SoundWave, WiSee에 해당되는 주파

표 1. 인간 동작 인식 기술 분석 표  
Table 1. Analysis Human gesture recognition Table

기반	Camera			Wearable			Frequency	
	Kinect	Eye Tracking	Leap Motion	Wii Remote	Human tenna	Foot gestures	Sound Wave	WiSee
대표 기술								
추가 장치	X	X	X	X	X	X	○	○
손쉬운 사용	○	○	X	△	X	X	○	○
공간의 제약	X	X	X	X	X	X	X	X
인지 범위	X	△	△	○	X	○	△	○
빛의 제약	X	X	X	○	○	○	○	○
소음의 제약	○	○	○	○	○	○	X	○
비용	△	○	△	△	X	X	○	○

○: 좋음, △: 중간, X: 나쁨

수 기반 동작 인식 기술은 기존의 카메라 기반이나 추가적인 하드웨어 기반 기술들과는 달리 Wi-Fi와 음파를 사용하기 때문에, 공간적 제약을 덜 받고, 누구든지 인식되어 있는 동작만 인지하고 있다면 손쉽게 사용할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 소음이나 다른 신호에 영향을 받는다. 또한 Wi-Fi 신호나 소리가 있는 곳에서만 사용가능하므로 공간적 제약을 완벽히 해결하지는 못한다.

이렇듯 각 기반별로 대표적인 기술들을 살펴본 결과 카메라 기반 인간 동작 인식 기술들은 공통적으로 손쉽게 사용할 수 있고, 카메라 범위에서 높은 정확도로 동작을 인식할 수 있지만, 비용적, 인지 범위 등의 단점이 나타난다. 이에 추가 하드웨어 기반 동작 인식 기술들은 공통적으로 카메라 기반 동작 인식 기술들의 단점을 보완하여 공간의 제약, 빛이나 소음 등의 영향을 받지 않거나 최소화하였지만, 이는 사용자의 신체 일부에 직접 착용을 해야 하기 때문에 사용자에게 쉽게 동작 인식을 할 수 없게 만드는 치명적 단점을 가진다. 이러한 기반들을 바탕으로 문제점을 보완하고자 최근 진행 중인 주파수 기반 동작 인식 기술은 공간의 제약을 줄이고, 추가적인 장비가 없어 누구나 손쉽게 절감된 비용으로 동작을 인식할 수 있다. 하지만 아직 상용화 되지 않은 초기 연구 단계이며, 공간의 제약이라는 단점을 완전히 극복하지 못한 상태이고, 다른 신호나 주파수에 영향을 받는 단점이 있다.

## VI. 결론 및 향후과제

수많은 전자 기기들의 개발과 함께, 인간과 전자기기 사이의 상호작용 기술의 중요성이 부각되고 있다. 초기 전자기기의 조작용 키보드, 마우스, 리모컨, 터치패드등과 같은 컨트롤러를 기반으로 하였으나, 최근 인간의 동작을 기반으로 한 인간과 전자기기 사이의 상호작용 기술들이 활발히 개발되고 있다. 키넥트, Eye-tracking, Leap Motion 등은 카메라를 기반으로 인간의 동작을 인식하고, Wii, Humantenna, Sensing foot gestures from the pocket은 추가적인 장비를 사용하여 인간의 동작을 인식한다. 또한 최근 개발된 SoundWave와 Wisee는 주파수를 기반으로 인간의 동작을 인식한다. 이 논문에서 우리는 최근 활발히 연구, 개발, 그리고 상용화 되고 있는 인간 동작 인식 기술들을 카메라 기반, 추가 장비 기반, 주파수 기반으로 나누고, 그들의 알고리즘과 장단점을 기술했다. 또한 이러한 기술을 위한 성능 이슈 항목들을 정의하고, 이를 기반으로 각 기술들을 평가한다. 우리는 이 논문이 인간과 전자 기기 사이의 상호작용을 위한 인간 동작 인식 기술들의 동향을 파악하고, 그들의 성능을 평가하는

데 유용한 정보를 제공했다고 믿는다.

전자기기 조종을 위한 인간 동작 인식 기술은 추가 장치 없이, 공간의 제약이 없고, 높은 정확도를 보이며, 장애물의 방해받지 않고, 많은 사람들이 쉽게 사용할 수 있는 동작 인식 기술에 목표를 두고 발전하여 향후 언제, 어디서나, 별다른 추가 장치 없이, 누구나, 편하게 사용할 수 있는 동작 인식 기술로 발전하여야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Korea Application of Next Generation IT Convergence Industry, "Technical Report on Motion Sensing Smart Input Devices", The next generation of PC Standardization Forum, pp.176, 2008.
- [2] Microsoft's X-box Kinect appearance, [www.xbox.com/ko-KR/browse/xbox-360/kinect/Gesture](http://www.xbox.com/ko-KR/browse/xbox-360/kinect/Gesture)
- [3] Microsoft's X-box Kinect performance property, [http://www.intelliansys.co.kr/news/news\\_dsnews\\_view.asp?idx=4](http://www.intelliansys.co.kr/news/news_dsnews_view.asp?idx=4)
- [4] Microsoft, Xbox 360+Kinect, What is Kinect?, <http://www.xbox.com/ko-KR/Kinect>. (accessed Feb. 6, 2014)
- [5] KT Advanced Institute of Technology, Technology Hot Issues, "Eye-Tracking technology trends and utilization", pp.2, Aug. 2010.
- [6] Nintendo, Wii, Wii Remote Plus, c2008 <http://nintendo.co.kr/Wii/wii/controler.php#tabmenu>. (accessed Feb. 6, 2014)
- [7] Sidhant Gupta, Dan Morris, Shwetak N Patel, Desney Tan, "SoundWave: Using the Doppler Effect to Sense Gestures", CHI' 12 Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1911-1914, 2012.
- [8] Qifan Pu, Sidhant Gupta, Shyamnath Gollakota, Shwetak Patel, "Whole-Home Gesture Recognition Using Wireless Signals", MobiCom' 13 Proceedings of the 19th annual international conference on Mobile computing&networking, pp.27-38, 2013.

- [9] Sukju Hong, Chilwoo Lee, "Vision-based gesture recognition technology research trends", Korea Robotics Society, Vol.3, No.3, pp.15-22, 2006.
- [10] Leap Motion, What is the Leap Motion Controller?, Jan. 28, 2013, <https://leapmotion.zendesk.com/entries/39268303-Buying-a-Leap-Motion-Controller>. (accessed Feb. 6, 2014)
- [11] Intellian Systems, "Kinect, Goes beyond the limits of the touch", DIGITAL SIGNAGE NEWS, Vol.4, Aug. 2011.
- [12] KOCCA, "CT INSIGHT : Human-Device Interaction Technology", No27, pp.27, Dec. 2012.
- [13] Youngrim Choi, Saehong Cho, "Eye Tracking system status and utilization", Digital Contents Society, Vol.8, No.1, pp.9-14, 2012.
- [14] Korea Communications Agency, "The largest ICT industry buzzword, 'Smart UI' into the development of technology", Trend Focus: Broadcast · Communicate · Propagate, 65, pp.31, Aug. 2013.
- [15] Nitendo Wii Remote, <http://www.osculator.net/wiki/uploads/Main/p-ry-wiimote.gif>
- [16] Dongpyo Hong, Woontack Woo, "Recent Research Trend of Gesture-based User Interfaces", Telecommunications Review, Vol.18, No.3, pp.4, Jun. 2008.
- [17] Gabe Cohn, Dan Morris, Shwetak N. Patel, Desney S. Tan, "Humantenna: Using the Body as an Antenna for Real-Time Whole-Body Interaction", CHI'12 Proceeding of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.1901-1910, 2012.
- [18] Jeremy Scott, David Dearman, Koji Yatani, Khai N. Truong, "Sensing Foot Gestures from the Pocket", UIST'10 Proceeding of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology, pp.199-208, 2010.
- [19] Chadwick A. Wingrave, Brian Williamson, Paul Varcholik, Jeremy Rose, Andrew Miller, Emiko Charbonneau, Jared Bott, Joseph J.LaViola Jr, "The Wiimote and Beyond: Spatially Convenient Devices for 3D User Interfaces", IEEE Computer Graphics and Applications, pp.27, Apr. 2010.
- [20] Minseok Kim, Jisoo Park, Dongwoo Seo, Jaeyeol Lee, Sangmin Lee, Jaesung Kim, "Utilizing the multi-display interaction with the Wiimote", 2010 KIS KISS, pp.724-726, 2010.
- [21] Thalmic Labs, Introducing Myo, c2013, <https://www.thalmic.com/en/myo/>, (accessed Feb. 6, 2014)
- [22] Qifan Pu, Siyu Jiang, Shyam Gollakota, "Whole-Home Gesture Recognition Using Wireless Signals (Demo)", ACM SIGCOMM'13, 2013.

### 저 자 소 개



최민석

2015: 상명대학교

미디어소프트웨어학과 학사예정.

현재: 상명대학교

미디어소프트웨어학과 학사과정

관심분야: 컴퓨터네트웍스, HCI

Email : cmspizz@hanmail.net



장백철

2001: 연세대학교

컴퓨터과학 학사.

2002: 한국과학기술원

컴퓨터과학 석사.

2009: 노스캐롤라이나주립대학

컴퓨터과학 박사.

현재: 상명대학교

미디어소프트웨어학과 조교수

관심분야: 컴퓨터네트웍스

Email : bjang@smu.ac.kr