

# 초음파 센서를 사용한 사용자 식별 및 출입 감지 시스템

이선우<sup>1</sup>, 김종완<sup>2</sup>

한림대학교, 정보통신공학부<sup>1 2</sup>  
senu@hallym.ac.kr<sup>1</sup>, kaki-jw@hanmail.net<sup>2</sup>

## User Identification and Entrance/Exit Detection System Using Ultrasonic Sensors

Seon-Woo Lee<sup>1</sup>, Jong-Wan Kim<sup>2</sup>

Div. of Info. Eng. and Telecomm., Hallym University

### 요약

본 논문에서는 유비쿼터스 컴퓨팅 구현에 있어서 중요 핵심 요소 기술인 실내에서의 사용자의 위치를 인식하면서 동시에 사용자를 식별하는 방법에 대해 제안하고자 한다. 제안된 사용자 식별 방법은 초음파 센서의 물체까지의 거리를 측정할 수 있는 특성에 기초하여 구성원의 키 높이의 차이를 주요한 식별 특성으로 이용하는 방법이다. 또한 사용자 식별을 수행하는 것과 동시에 식별된 사용자가 센서가 장착된 문을 통과하여 들어왔는지 나갔는지를 감지하는 출입 감지 방법도 제안한다. 기본적인 출입 감지 방법의 아이디어는 2 개 초음파 센서의 물체 감지 순서를 이용하여 개발되었다. 제안된 방법의 성능 검증을 위해 1 단계의 프로토타입을 만들었으며, 개발된 프로토타입을 이용하여 3 명의 가족 구성원으로 이루어진 일반 가정집의 화장실에 장착하여 성능 실험을 실시하였다. 실험 결과 100%의 사용자 식별 성능 및 평균 98%의 출입 감지 성능을 얻었다.

Keyword : User Identification, Location Recognition, Transition Detection, Entering/Exiting a room, Ultrasonic Sensors

## 1. 서론

실내에서의 사용자 위치 인식 혹은 추적은 상황 인식 컴퓨팅(context-aware computing) 응용에서 필수 핵심 요소 기술이다. 실외의 경우 GPS(Global Positioning Systems)를 이용한 많은 서비스가 이미 개발 운영되고 있으나 실내의 경우 위치 인식의 기술적, 경제적 문제로 인해 뚜렷하게 주도하는 방법이나 기술 없이 서비스에 따른 적절한 방법들이 혼합되어 이용되고 있는 형편이다. 그러나 실내에서의 사용자 위치 추적/인식 기술의 중요성으로 인해 현재까지 많은 방법들[1]이 연구 개발되어 왔다.

특히 우리나라를 비롯한 대부분의 선진국들에서 출산율 저하와 평균 수명 증대에 따른 고령

화 문제는 향후 도래할 가장 큰 국가적 어려움의 하나로 인식되어 현재 많은 부분에서 이의 해결을 위해 많은 연구가 진행되고 있는 실정이다. 더욱이 우리나라는 세계 최저 수준의 출산율로 인해 고령화 사회로의 변화 속도가 가장 빠르기에 정치, 경제, 사회를 포함하는 모든 면에서 가장 어려운 문제가 될 것으로 예상된다. 향후 도래할 고령 사회에서 독거 노인의 수는 기하급수적으로 증가할 것이고 따라서 이들에 대한 여러 형태의 재택 건강 시스템- 고령자 활동 모니터링 시스템 등-에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다[2,3]. 이처럼 실내 환경에서의 위치 추적 기술은 여러 시스템에서 핵심 요소 기술로 활용되므로 그 중요성이 매우 높다.

현재까지 연구된 대부분의 방법들에 대해 간략하게 소개하면 먼저 삼각측량 원리를 이용한 것으로 크게 초음파를 매질로 사용하는 방법들[4,5]과 RF 신호를 이용하는 방법[6] 등으로 구별되어 제안되었다. 또한 위치를 알고 있는 곳과 가까이 있는지 여부를 판단하여 위치를 파악하는 근접법(Proximity)에 기초한 방법[7]들도 제안되었다. 최근에는 환경에 이미 설치되어 다른 용도로 이용하는 무선 통신 인프라를 활용하여 현재 위치의 신호 특성을 지문처럼 이용하는 환경 분석법(Scene analysis) 기법에 기초한 여러 방법들[8,9,10]도 활발하게 연구 개발되고 있다.

위에서 열거한 여러 방법들의 경우 각각 장단점이 존재하나 대개 사용자가 배지 형태의 신호 발신기 혹은 수신기를 착용해야 한다는 제한 사항이 있다. 카메라를 이용한 비전시스템 등의 경우는 이와 같은 요구 사항은 없으나 가려짐과 같은 문제점이 있다. 특정 장치 장착 요구 사항을 완화하고 사용자의 위치뿐만 아니라 그룹 내의 어떤 사람인지를 구별하는 사용자 식별도 동시에 진행되는 방법[11]이 제안되었는데, 이 방법은 무게를 측정하는 센서(load cell)를 사용하여 얻어지는 지면 반발 특성이 사용자마다 다르다는 점에 착안하여 사용자를 식별하고 복수 개의 센서를 사용하여 위치를 추적한다.

본 연구는 일반 가정 환경에서 가족 구성원 그룹을 대상으로 참고 문헌 [11]에서와 같이 위치 추적과 함께 사용자를 식별할 수 있는 저가형 인식 시스템을 개발하고자 하는 시도에서 시작되었고, 일반 가정의 생활 환경을 고려하여 어떤 형태의 수/발신기 등의 장치의 장착 필요성이 없도록 하는데 연구의 주안점을 두었다. 이러한 요구 사항을 만족시키기 위해 본 연구에서는 저가의 초음파 센서를 이용하는 인식 시스템을 제안한다.

본문에서 상세하게 설명하는 바와 같이 사용자 식별을 위한 특성으로 사용자의 키를 선정하였고 이의 감지를 위해 초음파 센서를 사용하였다. 위치 추적의 경우는 직접적인 방법 대신에 위치의 변동(즉 방과 방 사이의 이동)만을 감지해도 상당히 유용한 위치 추적이 가능하다는 사실에 기초하

여 간접적인 접근을 시도하였다. 이를 위해 2 개의 초음파 센서를 사용하여 문을 통해 방에 들어오거나 나가는 것을 감지하는 방법을 제안하였다. 제안된 방법의 검증을 위해 1 단계의 프로토타입을 PC 기반으로 제작하였고 일반 가정집의 화장실에 센싱 시스템을 설치하여 3 명 구성원에 대한 실험을 실시하였다.

## 2. 시스템 구성

제안된 방법은 개발 시간을 최소화하도록 개별 제품을 최대한 활용하여 구현하였다. 그림 1에 나타낸 바와 같이 개발된 프로토타입은 2 개의 초음파 센서 모듈(로봇 전자사의 SRF04 모듈<sup>1)</sup> 및 초음파 센서 모듈을 제어하는 8 비트 마이크로컨트롤러(마이크로칩 사의 PIC16F874, 4MHz), 그리고 변환된 신호를 RS232 포트로 입력 받아 실제 감지 알고리즘을 수행하는 노트북 PC로 구성되어 있다.

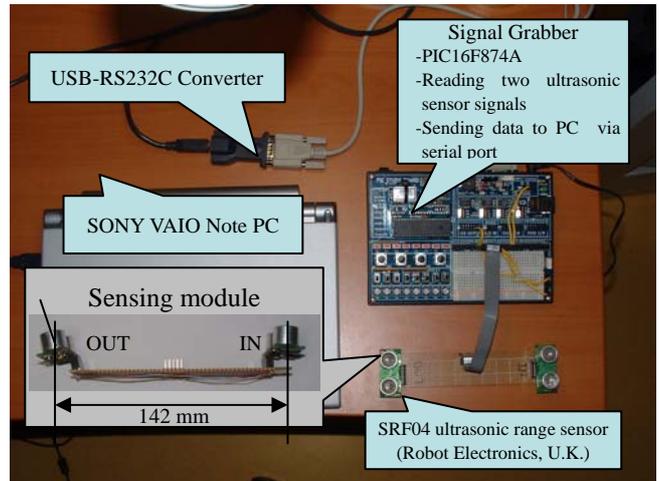


그림 1. 프로토타입 시스템

사용한 초음파 센서 모듈은 일반적인 마이크로컨트롤러의 구동 전압과 동일한 5V 로 구동되며, 8 비트 마이크로컨트롤러를 내장하여 간단하게 다른 컨트롤러와 연결되어 사용될 수 있다는 장점이 있다. 성능 면에서는 저가이면서도 비교적 넓은 동작 범위(사양서에 의하면 3m 이나, 실제 실험을 통한 결과는 2m 이내임)에서 1cm 이내의 정확도를 가진다. 이러한 초음파 모듈 2 개(이하 IN/OUT 센서라 칭함)를 그림 1에 나타낸 바와

<sup>1</sup> <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/srf04tech.htm>

같이 142mm 의 간격을 가지도록 떨어트려 기관에 고정시켰으며, 2 개중 OUT 모듈은 약 10 도 정도 바깥쪽으로 기울여 장착되었다.

8 비트 마이크로컨트롤러는 매 50msec 마다 (즉, 샘플링 주파수는 20Hz 임) 2 개 초음파 모듈에 트리거 신호를 인가하여 음파 펄스를 방출하게 하고 반사파의 검출에 의해 발생하는 에코 펄스의 시간 간격을 측정하여 실제 물체까지의 거리를 측정한다. 시스템에서 마이크로컨트롤러는 측정된 거리 정보를 RS232 포트를 통해 PC 로 전송한다. 측정된 2 개의 거리 신호를 입력 받은 PC 는 이 신호에 대해 다음 절에서 설명하는 신호 처리 기법을 적용하여 사용자를 구분하고 출입을 감지한다.

### 3. 사용자 식별 방법

서론에서 소개한 바와 같이 여러 사용자에 대해 신원을 파악하는 여러 가지 방법들의 주요한 아이디어는 각 사람들이 가지는 서로 다른 특성- 예를 들어 지문, 홍채 및 얼굴 모양, 몸무게 등-에 기초한다. 실제 Smart Floor 시스템[11]의 경우는 각 사람들의 독특한 걸음걸이에서 비롯된 지면 반발력(ground reaction force) 특성을 이용하여 신원을 파악하는 방법을 제안하고 있다.

본 연구에서는 같은 맥락으로 초음파 센서의 거리 측정 능력에 기초하여 얻을 수 있는 사용자의 키를 구별 특성 신호로 이용하는 것이 주요한 기본 아이디어이다. 즉, 신원을 파악하고자 하는 대상 집단의 구성원의 키가 일정 크기 이상의 차이가 있다면 이를 초음파 센서의 거리 측정 능력을 이용하여 검출하고 이를 기초로 분류하고자 하는 것이다.

이를 실현하기 위해 그림 2 에 나타낸 바와 같이 센싱 모듈을 문 틀의 천장부분에 설치한다. 이런 설치 구성에 따라 2 개 초음파 센서는 아래쪽으로 음파 펄스를 방출할 것이며 실제 사용자가 문을 통해 출입할 경우 사용자의 머리 위 부분이 주로 반사되어 쉽게 사용자의 키 정보를 검출할 수 있다. 사용자 키를 직접 측정하는 것도 가능하나 결국 일정한 얻어진 센서에서 사용자 머리 위

부분까지의 거리가 바로 사용자의 키와 반비례의 관계를 가지므로 본 논문에서는 이 값을 직접 이용한다.



그림 2. 실험 장치: 센싱 모듈 장착 실시 예

사용자 키의 검출은 다음 방법으로 얻어진다. 먼저 그림 3 에 전형적인 IN/OUT 초음파 센서에서 얻어진 2 개 신호를 나타냈다. 가장 위 부분의 그래프는 신호 처리 전의 센서 신호를 나타내는데 앞 부분은 사용자가 문을 통해 화장실로 들어갈 때의 파형을, 뒤 부분은 나올 때의 파형을 나타낸다. 보다 안정적인 사용자 키를 검출하기 위해 1Hz 의 cutoff 주파수를 가지는 2 차의 Butterworth 디지털 IIR 필터를 이용하여 그림 3 의 두 번째 그래프와 같은 부드러운 신호 파형을 얻는다. 실제 사용자 키는 2 개 센서 신호의 최저점(negative peak)을 찾아 이 값의 평균값을 사용한다.

사용자 분류 방법은 기본적인 최근접 이웃(Nearest neighborhood) 방법을 이용한다. 즉, 미리 구해진 클러스터의 중심값과 현재 얻어진 값을 비교하여 가장 작은 거리(distance)를 가지는 사용자로 구분하는 방법을 사용한다. 따라서 본 시스템에서는 대상 집단의 각 구성원에 대한 키 정보로 이루어진 중심값을 사전에 결정해야 한다.

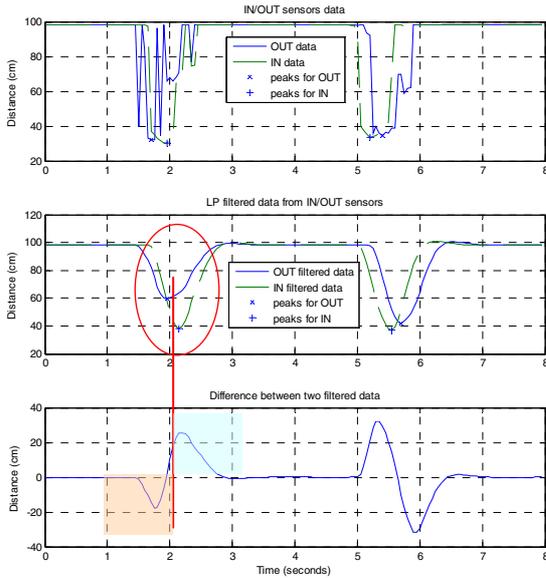


그림 3. IN/OUT 초음파 센서 신호 파형: 원 신호, 필터링된 신호, 두 신호의 차

#### 4. 출입 감지 방법

본 절에서는 3 절에서 설명한 방법에 의해 인식된 사용자가 현재의 문을 통과해서 들어왔는지 혹은 나갔는지를 검출하는 방법에 대해 설명한다. 실제 서론에서 언급한 바와 같이 문을 기준으로 사용자가 들어오고 나갔는지를 시스템이 정확하게 감지할 수 있다면 이 정보를 기초로 기본적인 사용자의 위치를 추적할 수 있다. 비록 문으로 구별된 두 공간의 위치 변동(location transition)만을 감지하는 것이지만 실제 대부분의 일반적인 실내 환경에서 각 개별 공간의 위치 이동을 감지하는 것만으로도 여러 가지 상황 인식 컴퓨팅에서 요구하는 정보를 충분히 제공할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다른 실내 위치 인식 및 추적 방법의 직접적인 위치 인식이 아닌 위치 변동 감지에 의한 위치 추적 방식을 채택하였다.

제안하는 출입 감지 방법은 2 개 초음파 센서의 장착 위치가 그림 2 에 나타낸 바와 같이 사용자의 출입 방향과 동일한 방향으로 설치되어 있으므로, 사용자가 들어갈 경우 OUT 초음파 센서가 IN 센서보다 먼저 물체를 감지할 것이고 나올 경우에는 이와 반대로 동작한다는 사실에 착안하여 개발되었다.

실제 이런 사실은 실험을 통해 얻어진 초음파 센서 신호를 통해서도 나타난다. 그림 3 의 두번째 그래프는 필터링된 IN/OUT 초음파 센서의 신호를 나타내는데 두 개의 검출 부분 중 앞 부분을 예로 들어 설명한다. 실제 앞 부분 신호는 사용자가 들어가는 경우인데 이 경우 문 바깥쪽으로 설치된 OUT 센서가 IN 센서에 비해 먼저 물체를 검출하게 되며 이 결과가 그래프에 나타나 있다. 즉, 실선(청색)으로 표시된 OUT 센서 신호가 점선(녹색)으로 표시된 IN 센서 신호보다 앞서서 작아지는 것을 보여준다.

이를 보다 쉽게 감지하기 위해 제안된 방법은 필터링된 두 신호의 차(difference)와 이 신호의 부분합을 이용한다. 두 신호의 차이 신호,  $\Delta(k)$ 를 다음 수식과 같이 정의한다.

$$\Delta(k) = fx_o(k) - fx_i(k) \quad (1)$$

여기서  $fx_o(k)$ ,  $fx_i(k)$ 는 각각 OUT 센서, IN 센서의 필터링된 신호를 나타낸다. 이 차이 신호를 그림 3 의 마지막 그래프에 나타냈다. 그림에 나타낸 바와 같이 사용자가 들어갈 때와 나갈 때 차이 신호의 패턴이 다를 수 있다. 이와 같은 결과에 기초하여 본 논문에서는 보다 안정적으로 이 특성을 감지하기 위해 다음 식으로 표현되는 부분적인 신호의 합산값 (아날로그의 경우 적분값)을 도입하였다.

$$S_L = \sum_{k=-N}^t (fx_o(k) - fx_i(k)), \quad S_R = \sum_{k=t}^{t+N} (fx_o(k) - fx_i(k)) \quad (2)$$

여기서  $S_{LR}$  은 수식에서  $t$ 로 표현된 특정 위치를 기준으로 하여 왼쪽과 오른쪽의 일정한 영역에 속한 신호를 더한 값을 나타낸다. 여기서 일정한 영역에 속한 신호란 기준 위치에서 좌우로 고정된 개수( $N$ ) 만큼의 신호를 의미하는 것이다. 왼쪽 및 오른쪽 영역을 그림 3 의 마지막 그래프에서 오렌지색 및 옥색의 사각형으로 표시하였다. 이러한 부분합  $S_{LR}$ 을 계산할 때 사용하는 기준 위치는 앞 절에서 설명한 사용자 식별에 사용되는 2 개 최저점의 시간 축 인덱스 (즉 그림 3 의 두번째 그래프에서 x와 + 기호로 표시된 부분의 시간 축 값)의 중간값 (그림에서는 빨간색 수직선으로 표시)을 사용했다.

실제 사용자의 출입을 결정하는 방법은 이렇게 계산된 부분합의 다음과 같이 특성을 이용하여 결정한다.

- IF  $S_L < 0$  &  $S_R > 0$ , THEN Entering
- IF  $S_L > 0$  &  $S_R < 0$ , THEN Exitng

## 5. 실험 결과

제안한 사용자 식별 및 출입 감지 성능을 검증하기 위해 3 명의 구성원으로 이루어진 소규모 그룹을 대상으로 실험을 실시하였다. 일반 가정집에서 모든 사람이 가장 많이 이용하는 화장실을 대상 공간으로 결정하였으며 그림 2 에 나타낸 바와 같이 화장실 문 틀의 중심부에 센싱 모듈을 설치하였다. 아빠, 엄마 그리고 아이로 구성된 가족 구성원의 키 사전 정보를 얻기 위해 각각 10 번씩 자연스러운 방식-다소의 차이가 있는 걸음 속도 및 출입시의 방향의 차이 등-으로 화장실을 드나드는 실험을 실시하여 데이터를 수집하였고 이를 기초로 다음과 같은 중심 값(단위는 cm)을 얻었다.

$$\text{중심 값} = \{31.2, 41.7, 63.0\} \quad (3)$$

제안한 센싱 방법의 성능을 검증하기 위해 3 명의 사용자에게 대해 총 220 번의 화장실 문을 들고 나감을 수행했다. 실제 실험은 3 일에 걸쳐 수행되었고 문을 통과하여 들어가거나 나오는 과정에서 가능한 한 자연스럽게 행동하였다. 실제 비교적 넓은 범위의 걸음 속도로 실험이 수행되었으며 더 나아가 목욕탕과 마루의 바닥 높이의 차이도 존재한다.

실제 동일 사용자가 자연스럽게 걸어가는 경우에 머리 위 부분의 높이가 변화하는 것이 일반적인 사실이며, 실험 환경과 같이 공간 사이에 바닥 높이의 차이가 있는 경우는 보행 행위에 따라 더 큰 차이를 보일 수 있다. 따라서 초음파 센서의 거리 측정 정확도가 높다 하더라도 실제 이를 통해 움직이는 사용자의 키 정보를 일정 수준 이상 검출하는 데는 많은 어려움과 제한 점이 있음에 주목해야 할 것이다. 실제 실험 결과 동일 사용자의 검출된 키 정보가 최대 5cm 이상 차이가 나기도 하였다.

이와 같은 여러 어려움이 있음에도 불구하고 제안된 사용자 식별 방법은 100%의 인식 성능을 보였다. 이런 높은 인식률은 먼저 구성원의 키 차이가 현격한 차이를 보이기 때문이다. 식 (3)에 나타낸 바와 같이 적게는 10cm 정도에서 크게는 30cm 정도까지 차이를 보이므로 중심값과의 거리에 따른 구분 방법에서 오류가 발생하지 않았다.

이와 더불어 실험 대상에 사용된 문의 폭 크기 (610mm)가 일반적으로 많이 사용되는 문의 폭 (900mm) 보다 작아 문을 통과하여 이동할 때 그 중심에 설치된 초음파 센서가 비교적 정확하게 사용자의 머리 위 부분을 감지했기 때문으로 판단된다. 900mm 폭의 문을 사용했을 경우 좁은 폭의 문 보다는 키 감지 오차가 약간 증가함을 실제 실험을 통해 알 수 있었다.

앞서 기술한 키 감지에 따른 여러 가지 원인 때문에 개별 초음파 센서의 정확도와 관계없이 일정 수준의 감지 오차가 발생한다. 따라서 제안하는 방법의 한계를 고려한다면 대개의 상황 인식 서비스에서 요구하는 수준의 현실적인 사용자 식별 성능을 갖기 위해서는 적용 대상 그룹 구성원 간의 키 차이가 4cm 이상이어야 할 것으로 판단된다. 이러한 사용자 대상의 제한은 제안한 사용자 식별 방법의 태생적인 가장 큰 약점으로 생각된다.

제안된 출입 감지 방법의 인식 성능은 다음 표 1 에 정리하여 나타냈다. 표에 나타낸 바와 같이 평균 98.0%의 높은 인식 성능을 얻을 수 있었다. 이는 제한한 방법이 다양한 속도 및 방향에도 불구하고 비교적 정확하게 출입을 감지한다는 것을 보여준다.

표 1. 출입 감지 방법의 성능

사용자		IN	OUT	인식률 (%)
아빠	IN	29	0	100
	OUT	1	28	95.0
엄마	IN	40	0	100.0
	OUT	0	40	100.0
아이	IN	41	0	100.0
	OUT	1	40	97.6

실제 퇴실을 입실로 오인하는 에러는 IN 센서 신호 검출보다 OUT 센서의 검출이 먼저 발생했기 때문인데 이는 IN 센서에서 방출된 음파 펄스가

사용자의 동작이나 의복 등에 의해 IN 수신기가 수신을 못하고 OUT 센서 수신기가 이 신호를 먼저 수신하기 때문인 것으로 판단된다.

실제 앞 절에서 설명한 바와 같이 2 개 초음파 센서의 장착 시 OUT 센서를 바깥 쪽으로 기울여 장착한 이유도 이와 같은 오류 신호를 최소화 하기 위한 조치였다. 그러나 2 개 초음파 센서의 각도가 큰 차이를 보이면 사용자 키를 정확하게 검출하기 어려워지는 trade off 가 존재한다.

일상 생활에서 나타나는 자연스러운 출입 행동에 대해 제안한 시스템은 여러가지 오인 요인에도 불구하고 비교적 정확하게 감지하는 사실을 검증하였다.

## 6. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 2 개의 초음파 센서를 사용하여 인식 대상 그룹에 속한 사용자를 식별하고 각 사용자의 특정 문의 출입을 감지하는 방법에 대해 기술하였다. 제안한 사용자 식별 방법은 초음파 센서의 거리 측정 능력을 이용하여 각 사용자의 키가 다르다는 가정하에 이루어졌으며, 2 개의 센서를 진행 방향으로 장착하여 검출 순서에 기초한 출입 감지 방법을 제안하였다.

감지 방법은 사용자로 하여금 배지 등과 같은 기타의 장치를 소지하거나 장착할 필요가 없으며 저가의 초음파 센서 2 개를 사용하여 사용자 식별 및 출입 감지를 매우 정확하게 인식하는 결과를 얻을 수 있었다.

향후 과제로는 제안된 시스템은 현재 PC 에 기초하여 구현되어 있으나 실제 알고리즘에서 요구하는 계산 능력이 많지 않으므로 8 비트의 고성능 마이크로컨트롤러에서도 충분히 구현될 것으로 판단되므로 하나의 컨트롤러만을 사용하는 형태로 구현하고자 한다. 또한 이렇게 만들어진 개별 센싱 시스템에 대해 인식 성능뿐만 아니라 배터리에 의한 동작이 기본이므로 소비하는 전력 등에 대해서도 조사하고자 한다.

이와 함께 복수개의 센싱 시스템에서 보내오는 각각의 신호들을 무선으로 수신하여 전체적인 사용자의 활동을 감지하는 모니터링 시스템에 대해서도 연구를 진행할 예정이다. 이와 같은 모니터

링 시스템에서 얻어지는 각 사용자별 활동 데이터는 건강 검진에 활용될 수 있으며, 독거 노인의 경우 사고 등에 의한 실족 등을 자동으로 감지하여 친인척 등에게 알려주는 안전 시스템으로도 활용될 수 있으리라 생각된다.

## Acknowledgement

본 연구는 과학기술부, 한국과학재단 지정 생체계측 신기술 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

## 참고 문헌

- [1] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing," *Computer*, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, IEEE Computer Society Press, Aug. 2001.
- [2] S. Consolvo, et. Al., "Technology for Care Networks of Elders", *IEEE Pervasive Computing*, pp.22-29, April-June, 2004.
- [3] M. Morris et al., "New Perspectives on Ubiquitous Computing from Ethnographic Study of Elders with Cognitive Decline", *Proc. 5th Int'l Conf. Ubiquitous Computing (UbiComp 2003)*, pp. 227-241, 2003.
- [4] Nissanka B. Priyantha, Anit Chakraborty, Hari Balakrishnan, "The Cricket Location-Support system", *Proc. 6th ACM MOBICOM*, Boston, MA, August 2000.
- [5] A. Ward, A. Jones, and A. Hopper, "A new location technique for the active office", *IEEE Personal Communications*, vol.4, no. 5, pp. 42-47, Oct., 1997..
- [6] J. Hightower, R. Want and G. Borriello, "SpotON: an indoor 3D location sensing technology based on RF signal strength", *UW-CSE-00-02-02, Univ. of Washington Tech. Report*, Feb., 2000.
- [7] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, J. Gibbons, "The active badge location system", *ACM Trans. on Information Systems*, 10(1), pp.91-102, Jan. 1992.
- [8] P. Bahl and V. Padmanabhan, "RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system", *Proc. of IEEE INFOCOM*, pp.775-784, March 2000.
- [9] Ekahau, <http://www.ekahau.com>
- [10] V. Otason, A/ Varshavsky, A. LaMarca, and E. Lara, "Accurate GSM Indoor Localization", *The 7th Int'l Conf., Ubiquitous Computing (UbiComp 2005)*, pp. 141-158, Sep., 2005.
- [11] R. J. Orr and G.D. Abowd, "The smart floor: a mechanism for natural user identification and tracking" *Proc. of the 2000 Conf. on Human Factors in Computing Systems (CHI2000)*, April 2000.