

# 지능형 주택을 위한 구성원 식별 및 위치 이동 감지 센서 네트워크 시스템

(A Wireless Sensor Network Systems to Identify User and Detect Location Transition for Smart Home)

이 선 우 <sup>†</sup> 양 승 용 <sup>\*\*</sup>  
(Seon-Woo Lee) (Seung-Yong Yang)

**요약** 지능형 주택의 상황인지 서비스를 위해서는 거주자의 현재 위치를 파악하는 것이 필수적이다. 이를 위해 본 논문에서는 사용자에게 별도의 장치 소지를 요구하지 않으며 특정 문에 대한 출입 행동과 같은 위치 이동과 그 사람이 누구인지를 식별하는 센서 네트워크 시스템을 제안한다. 새롭게 개발된 센서 노드는 선행 연구 결과[1]의 짧은 동작 수명 문제를 해결한 것으로 2개의 초전형(PIR) 센서와 초음파 센서, 그리고 2.4 GHz 무선 통신 모듈로 구성된다. 제안된 구성원의 식별 방법은 초음파 센서를 이용한 구성원의 키 차이를 이용한다. 거주자의 위치 이동의 감지는 출입 행동의 감지에 기초하며 이와 같은 출입 행동 감지는 2개의 PIR 센서의 감지 순서에 기초하여 이루어진다. 전체 센서 네트워크의 구성은 각 센서 노드가 수신 노드와 1대1로 연결되는 별 형태로 이루어져 있다. 제안된 시스템은 본보기주택에 설치되어 3명의 사용자를 대상으로 실험되었고, 그 결과 완벽한 출입 행동 감지와 평균 81.3%의 구성원 식별 성능을 얻었다.

**키워드** : 지능형 주택, 위치 이동 인식, 출입 감지, 초전형(PIR) 센서, 초음파 센서, 무선 센서 네트워크

**Abstract** The tracking of current location of residents is an essential requirement for context-aware service of smart houses. This paper presents a wireless sensor network system which could detect location transition such as entrance and exit to a room and also identify the user who passed the room, without duty of wearing any sort of tag. We designed new sensor node to solve the problem of short operation lifetime of previous work[1] which has two pyroelectric infrared (PIR) sensors and an ultrasonic sensor, as well as a 2.4 GHz radio frequency wireless transceiver. The proposed user identification method is to discriminate a person based on his/her height by using an ultrasonic sensor. The detection idea of entering/exiting behavior is based on order of triggering of two PIR sensors. The topology of the developed wireless sensor network system is simple star structure in which each sensor node is connected to one sink node directly. We evaluated the proposed sensing system with a set of experiments for three subjects in a model house. The experimental result shows that the averaged recognition rate of user identification is 81.3% for three persons, and perfect entering/exiting behavior detection performance.

**Key words** : smart home, location transition recognition, entrance/exit detection, pyroelectric infrared (PIR) sensor, ultrasonic sensor, wireless sensor network

\* 이 논문은 2009년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0077248).

<sup>†</sup> 정 회 원 : 한림대학교 전자공학과 교수  
정보전자공학연구소 연구원  
senu@hallym.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 비 회 원 : (주)에스테크윈 기술연구소 연구원  
windragon@hallym.ac.kr

논문접수 : 2010년 1월 19일  
심사완료 : 2010년 7월 7일

Copyright©2010 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제37권 제5호(2010.10)

## 1. 서론

지능형 주택이란 거주자의 상황을 감지하고 이에 따라 적절하고 능동적으로 현재의 상황에 가장 적합한 서비스를 제공할 수 있는 주택으로 정의될 수 있다. 이런 지능형 주택에서의 상황 인지 서비스를 제공하기 위해 요구되는 정보들 중에서 개별 거주자의 식별 및 주택 내에서의 현재 위치는 가장 기본적이며 필수적이다. 따라서 최근 10여 년 동안 여러 가지 아이디어를 이용하는 다양한 실내 위치 인식 방법들이 활발하게 연구, 개발되었다[2]. 이와 같은 여러 가지 방법들은 성능 지표에 따라 각각 장/단점을 가지지만 가장 중요한 특징으로 어느 정도의 크기로 위치를 인식할 수 있는지(위치 정밀도)와 얼마나 쉽고 싸게 시스템을 구축(혹은 배치), 확장할 수 있는가(구축비용 및 확장성)를 꼽을 수 있다[3]. 구축과 사전 설정에 많은 비용이 드나 높은 위치 정밀도를 얻을 수 있는 삼각 측량법의 경우는 사용하는 신호에 따라 초음파[4] 및 UWB(Ultra Wideband)[5] 이용 방법 등이 개발, 상용화 되었다. 기존에 이미 구축되어 있는 통신 인프라를 이용하여 위치를 인식하는 지문인식(fingerprinting) 방법들은 DB 구축에 시간과 인력 소모가 요구되는 단점을 가지지만 시각 비동기로 수신신호세기(Received Signal Strength; RSS) 정보만을 사용하는 시스템에서는 RSS 기반 삼각 측량법 보다 비교적 정확도가 높고 별도 비용이 필요 없다는 경제적 장점 때문에 최근 더욱 큰 관심을 받으며 연구와 개발이 이루어지고 있다. 대표적으로 Wi-Fi 망[6], GSM[7]/CDMA[8] 통신망을 이용하는 방법들이 있으며, 독특하게 주택 내의 전기 배선 망을 이용하는 방법[9]까지 개발되었다. 마지막으로 위치가 정해진 센서에서의 감지를 통해 위치를 인식하는 방법들로는 PIR 센서[10], 무게 센서[11], 초음파 센서[12]를 사용하는 방법들이 제안되었고 이 방법들은 사용하는 센서의 기능에 따라 다양한 정밀도를 가진다.

이와 같은 다양한 방법들을 사용자가 특정 장치를 소지하는지의 여부에 따라 다시 구분할 수 있는데 대개의 방법들은 이를 요구하며 몇몇 방법들[1,10-12]은 요구하지 않는다. 이런 휴대 장치의 소지 요구 여부도 주택 환경에서는 중요한 성능 지표가 되는데 대부분의 사무실 환경과 달리 주택에서는 많은 사용자가 휴대 장치의 착용을 불편하게 느끼기 때문이다. 이런 방법들 중 다수의 PIR 센서를 천정에 설치하고 최적의 중첩 감지 영역을 통해 거주자의 위치를 파악하는 [10]의 방법의 경우 저가의 PIR 센서를 사용하는 점, 적절한 중첩 영역 설정을 통해 위치 정밀도를 조정할 수 있다는 점은 장점이거나 한명의 거주자만을 대상으로 한다는 단점이 있다. 무

게 센서를 사용한 [11]의 방법은 사용자를 구별하고 동시에 실시간 위치 추적이 가능하다는 장점이 있으나 고가의 센서를 사용하며 구축비용이 매우 비싸다는 단점이 있다. 다수 초음파 센서를 천정에 설치하는 [12]의 방법은 [10]과 비슷한 특성을 가지나 초음파 센서의 거리 측정 능력으로 인해 보다 다양한 정보를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 이처럼 휴대 장치 소지를 요구하지 않으면서도 구성원 개인의 위치를 파악할 수 있는 방법을 제안한다. 개발한 방법은 [1]에 기술된 선행 연구의 후속 작업 결과로서 선행 방법의 가장 큰 문제점이었던 짧은 동작 수명(약 21시간)을 연장하기 위해 기존의 2개 초음파 센서 모듈을 사용하는 대신 2개의 PIR 센서와 초음파 센서 하나를 사용한다. PIR 센서 도입으로 인해 기존의 연속 운전을 sleep-and-wakeup 방식 동작으로 변경할 수 있었고 이를 통해 동작 수명을 50일 이상으로 연장하였다. 제안 방법도 선행 연구와 동일하게 주택의 공간을 구분하는 문에 무선 센서 노드를 설치하여 문을 통과하는 거주자가 누구인지, 방에 들어오는 것인지 나가는 것인지를 판별하여 이를 기초로 모든 거주자의 위치를 추적하는 것이다. 출/입 행동 감지는 2개 PIR 센서의 감지 순서를 이용하며 거주 구성원의 구별은 구성원의 키 차이와 초음파 센서의 거리 측정 기능을 이용한다. 본문에서 자세히 살펴보겠지만 키만을 이용한 거주자의 구별은 여러 문제점을 가진다. 그러나 제안하는 방법의 경우 저가의 2가지 종류 센서만을 사용하여 태내 거주 구성원 개인의 위치를 실시간으로 추적할 수 있다는 것은 가능성이 있다고 생각한다. 더욱이 개발한 센서 노드를 태내 주요 이동 경로에 다수 설치한다면 위치 정밀도도 높일 수 있다. 개발된 센서 네트워크 시스템의 성능 검증에 대해 본보기 주택에 3개 센서 노드를 가지는 시스템을 구현하였고 3명의 실험자에 대해 실험을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 본 논문에서 제안하는 센싱 시스템의 전체 구조와 하드웨어, 구성원 식별 방법, 출/입 감지 방법을 설명한다. 3장에서는 제안된 센서 네트워크 시스템의 성능을 검증하기 위한 실험 방법 및 결과를 기술하고, 마지막 4장에서 결론 및 향후 과제를 기술한다.

## 2. 제안 방법

### 2.1 시스템 구조 및 무선 센서 노드

제안하는 시스템의 구조는 선행 연구[1]와 동일하며 그림 1에 나타난 바와 같이 전형적인 무선 센서 네트워크 시스템이다. 즉 시스템은 복수의 무선 센서 노드들과 수신 노드, PC로 구성된다. 전체 네트워크는 각각의 센서 노드들이 1:1로 수신 노드와 연결되는 별(star)형

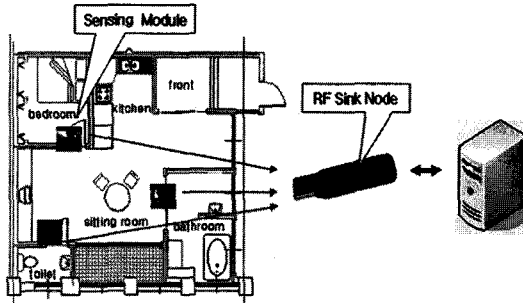


그림 1 무선 센서 네트워크 시스템 구조

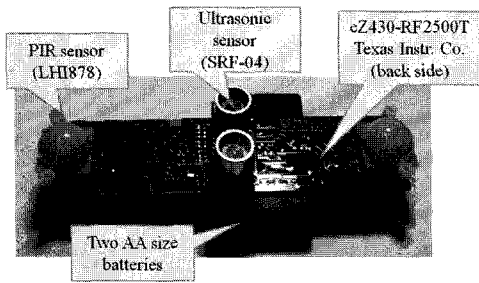


그림 2 무선 센서 노드 사진

토볼로지로 구성된다. 수신 노드는 PC와 USB로 연결되어 있어 수신된 감지 결과를 PC로 전달한다(이하 수신 노드와 PC를 액세스 포인트로 지칭). 최종 전달된 감지 결과는 파일 형태로 기록된다.

그림 2에 개발된 무선 센서 노드의 사진을 나타냈다. 각 센서 노드의 하드웨어는 주 컨트롤러 모듈, 2개 PIR 센서, 1개 초음파 센서 모듈, 배터리 및 관련 회로로 구성된다. 중앙 제어 장치로는 Texas Instruments Inc.의 eZ430-RF2500T 모듈(MSP430F2274 MCU와 CC2500 2.4 GHz ISM band multi-channel transceiver chip 장착)을 사용하였다. PIR 센서는 PerkinElmer Inc.사의 LHI878 센서 2개를 사용하였고 이 센서들은 출입 행동 감지를 위해 그림에 나타낸 것처럼 회로기판의 양 쪽 끝에 장착된다. 거리 측정을 위해 사용된 초음파 센서 모듈은 Robot electronic사의 SRF04 모듈을 사용하였고 회로기판의 중앙 부분에 장착된다. 2개의 AA형 배터리가 주 전원으로 이용되고 전력 소비 절감을 위해 초음파 센서 모듈의 전원을 ON/OFF 할 수 있다. 3개 센서 모듈의 장착 위치는 성능에 영향을 주는 설계 인자 중 하나로 중요하다.

이와 같은 무선 센서 노드는 그림 3에 나타낸 것처럼 3개 센서가 모두 바닥을 향하도록 주택의 각 방의 출입 문틀의 상단 중앙에 설치된다. 무선 센서 노드가 동작을 시작하면 초기화 후 sleep 상태가 되며, PIR 센서의 일정한 감지 영역에 거주자가 들어올 경우 sleep 상태의

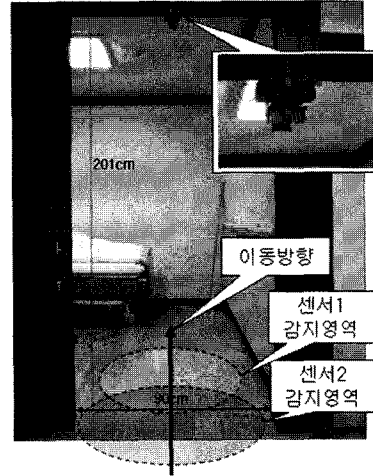


그림 3 센서 장착 위치 및 감지 영역

MCU를 정상 동작으로 바꾸어 다음 절에서 설명하는 구성원 식별 및 출입 행동 감지 동작을 수행한다. 만약 올바른 출입 행동이 감지되면 CC2500 통신 모듈을 이용하여 결과를 액세스 포인트로 전송한다. 무선 통신은 Texas Instruments 사에게 공개, 배포한 'SimpliciTI' library[13]를 이용하였다. SimpliciTI 라이브러리는 간단한 저전력 통신 프로토콜 스택을 제공한다. 본 연구에서는 노드:액세스 포인트 통신 방법을 이용하였다. 감지 결과는 3byte로 구성된 패킷으로 만들어 송신된다.

각 무선 센서 노드의 전체 동작을 다음과 같이 정리한다:

- 초기화 후 저전력(Sleep) 상태 유지
- 거주자가 PIR 센서의 감지 영역에 들어오면 검출 신호가 인터럽트를 발생시키고 이는 MCU를 깨운다. 정상 상태에서 일정한 시간(이를 탐색기간이라 함) 동안 초음파 센서 모듈과 무선 통신 모듈에 전원을 공급하며 동작시킴
- 탐색기간 동안 일정 시간 간격으로 초음파 센서로부터 거리 측정 신호를 읽어 사용자를 구별한다. 만약 출력 신호로부터 특정 사용자를 식별한다면 감지 결과(식별된 사용자와 출입 행동)를 무선 통신 모듈을 통해 송신함
- 식별된 거주자의 출입 행동을 감지하여 송신 완료하거나 혹은 탐색기간 동안 사용자를 식별하지 못한 채 탐색기간이 종료되면 다시 sleep상태로 돌아감

**2.2 출입 행동 감지 방법**

개발한 출입 행동 감지 방법의 기본 아이디어는 선행 연구와 동일하다. 즉 그림 3에 나타낸 바와 같이 2개 센서가 거주자의 이동 방향과 평행하게 장착되므로 2개 센서의 감지 영역의 중첩되지 않은 부분의 방향도 이동

방향과 평행하다. 이 경우 거주자의 이동 방향에 따라 2개 센서의 감지 순서가 다르다는 사실을 이용한다. 일례로 그림 3과 같이 방으로 들어가는 경우 센서2가 먼저 감지하고 다음에 센서1이 감지되며 나올 때는 반대 순서로 감지된다. 선행 연구에서는 2개의 초음파 센서 모듈을 이용하여 출입 행동에 따라 달라지는 센서 출력 신호를 처리하여 판별하였으나 본 논문에서는 초음파 센서 대신에 2개의 PIR 센서를 사용하였다. 제안하는 2개 PIR 센서를 이용하는 방법은 앞서 말한 sleep-and-wakeup 방식으로 전체 센서 노드를 동작시켜 동작 수명을 연장시키며 동시에 별도의 신호 처리 없이 단순 센서 출력의 순서만을 이용하여 출입 행동을 구분할 수 있는 장점이 있다.

정확한 감지 영역을 알기 위해 사용한 PIR 센서의 감지 영역을 조사하였다. 그림 4에 프레넬(Fresnel) 렌즈가 없을 때, 렌즈 사용할 때, 그리고 가리개가 있는 렌즈를 사용할 때의 감지 영역을 나타냈다. 가리개의 모양은 그림 5에 나타난 것처럼 안쪽과 바깥쪽의 높이를 다르게 만들었다. 감지 영역 조사 실험은 2.5m 높이의 천장에 센서를 설치하고 8개의 방향에서 센서 중심으로 접근하면서 감지되는 위치를 기록하였고 이를 그림처럼 x, y 두 축에 표시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 렌즈가 없을 때는 수 cm 정도의 작은 감지 영역을, 렌즈가 있는 경우는 약 3m 지름의 마름모꼴 영역을 가지는 것을 알 수 있다. 가리개가 있는 경우는 가리개의 비대칭성에 의해 감지 영역도 긴 쪽은 약 80cm, 짧은 쪽은 45cm 정도로 비대칭적이다.

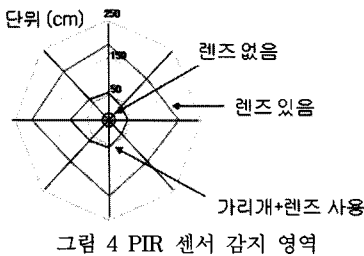


그림 4 PIR 센서 감지 영역

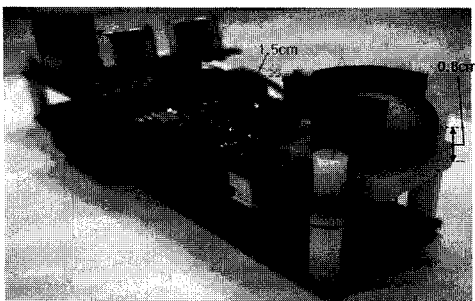


그림 5 가리개를 장착한 프레넬 렌즈

이처럼 가리개를 사용하여 감지 영역의 크기와 모양을 바꾼 이유는 2가지 이유 때문이다. 첫째는 보통 렌즈를 사용하여 얻는 큰 감지 영역은 실제 문을 통과하지 않고 그 앞을 지나가는 경우에도 sleep상태의 센서 노드를 깨워 탐색기간 동안 다른 모듈들에 전원을 공급하여 불필요한 전력을 낭비한다. 따라서 적절하게 감지 영역을 줄일 필요가 있다. 두 번째로 비대칭 모양으로 만든 이유는 출입 행동 감지 정확도를 높이기 위함이다. 2개 센서는 회로기판에 약 14cm정도만 떨어져 있기에 두 감지 영역의 대부분이 겹치며 이로 인해 출입을 반대로 인식하기도 한다. 따라서 이를 방지하기 위해 중첩되는 영역을 줄이고자 조정하였다.

### 2.3 구성원 식별 방법

센서가 장착된 문을 통과하는 거주자가 누구인지를 식별하는 방법은 간단한 아이디어에 기초한다. 만약 거주자 구성원의 키가 일정 크기 이상 다르다면 센서 노드에 장착된 초음파 센서를 이용하여 문을 통과할 때 센서에서 거주자 머리까지의 거리를 측정하면 이 값은 통과자의 키와 반비례하고 이를 이용하여 그 사람이 누구인지를 식별할 수 있다. 즉 구별의 척도로 키(신장)를 이용하는 것이다. 그러나 이처럼 구성원의 키 정보만을 이용하여 누구인지를 구별하는 방법은 초음파 센서 자체의 거리 측정 정확도와는 별개로 다음과 같은 여러 한계점을 가진다.

- 가장 대표적이며 태생적인 단점이 키가 같거나 일정 크기 이하의 키 차이를 가지는 구성원들은 구별할 수 없다는 것이다.
- 또한 일반적인 사람의 걷기 동작은 구조 역학적 머리의 높이가 주기적으로 일정한 크기를 가지고 변한다[14]. 따라서 문을 통과할 때 걷기 동작 주기의 어디에서 측정되는 지에 따라 동일한 사람도 측정 결과가 다르다. 측정 순간에 고개를 숙이거나 하는 여러 행동들도 측정 오차를 크게 한다.
- 서양과 같이 주택 내에서 신발을 착용하는 문화라면 동일 거주자가 높이가 다른 신발을 신었거나 혹은 다양한 높이의 모자 등을 착용할 경우도 측정 오차를 크게 한다.
- 대부분의 일반 주택에서의 출입문의 높이는 90cm 이내이며 이 경우 제안된 방법처럼 문 틀 중앙에 센서 노드를 설치할 경우 문 통과 움직임에 대해 많은 경우 통과자의 올바른 키의 측정(즉 센서에서 머리 위까지의 거리)이 가능하다. 그러나 간혹 머리 위가 아니라 어깨 등에 음파가 반사되어 큰 오차가 발생한다.

이와 같이 한 개 초음파 센서만을 이용하여 걷는 사람의 키를 측정하는 것은 정확도면에서 분명 태생적 한계가 있다. 그러나 이런 한계에도 불구하고 사무실 공간이 아니라 주택이라는 공간의 특수성으로 인해 신발이나 모

자 등을 착용하는 경우가 많지 않고 또 대개의 한 가족의 경우 구성원 간에 키 차이가 나는 경우가 많다고 생각되어 제안하는 방법의 가능성이 있다고 판단한다.

구체적인 키 측정 방법은 다음과 같다. PIR 센서 신호에 의해 MCU가 깨어나면 탐색 시간인 2초 동안 초음파 센서 모듈을 켜고 20Hz(즉 0.05초)의 샘플링 주기로 초음파 발신기로 펄스 신호를 발생시키고 반사되어 돌아오는 시간(비행시간)을 측정하여 거리 신호를 얻는다. 이렇게 얻어지는 거리 신호열(data stream)을 처리하여 최소 피크 값(특징 값)을 찾고 이 값을 미리 저장된 각 구성원들의 평균 특징 값과의 차이로 오차를 계산하고 이 값이 일정한 문턱 값 이하가 되면 어떤 거주자인지를 결정한다.

**3. 실험 결과**

개발된 센서 노드의 소비 전력을 조사하기 위해 sleep 상태 및 정상 동작 상태에서의 소비 전류를 측정하였다. 결과는 sleep 상태에서 3.8mA, 정상 상태에서는 26mA로 나타났다. 이를 기초로 2500mAh 용량의 배터리를 사용하고 1시간에 4번의 탐색 동작(즉 4번 PIR 센서에 의해 MCU wakeup)이 발생한다고 가정하면 약 50일정도 동작하는 것으로 판단된다.

제한된 센서 네트워크 시스템의 위치 추적 성능을 검증하기 위하여 본보기 주택에 3개 센서 노드를 설치하여 일련의 실험을 진행하였다. 실험이 진행된 장소는 HuET(Hallym u-health Educational Testbed)라는 이름으로 고령자 및 장애인의 안전하고 편리한 생활을 위해 설계된 본보기주택이다. 그림 1의 평면도에 나타난 것처럼 전체 면적은 72.9 m<sup>2</sup> (9.0m × 8.1m)으로 침실 하나, 화장실 하나, 욕실 하나, 넓은 현관 및 부엌 기능을 가지는 거실로 구성되어 있다. 이 본보기 주택에 그림에 표시된 것처럼 침실, 욕실, 화장실 문 틀의 중앙에 센서 노드를 설치하였다. 실험은 3명의 실험자를 대상으로 진행하였고 표 1에 이들의 키와 특징 값의 최소/최대/평균 값을 나타냈다. 표 1의 결과는 보통 속도(약 4.5km/h)로 자연스럽게 걸어서 센서를 10번 통과하는 실험을 통해 얻었다. 표 1에 나타난 것처럼 같은 실험자에 대해서도 2.8cm에서 3.7cm의 최대-최소값 차이가 있음을 보여준다. 이는 앞서 말한 걷기 동작의 주기적 머리 높이 변화에서 기인하며 걷는 중의 키 측정 어려움을 보여준다.

표 1 세 실험자의 실제 키 및 특징 값

	실험자A	실험자B	실험자C
실제 키	190 cm	184cm	178cm
평균 특징 값	13.2cm	20.5cm	24.0cm
최소값	12.0cm	19.3cm	22.3cm
최대값	14.8cm	22. 2cm	26.0cm

**3.1 구성원 식별 성능**

먼저 걷기 속도에 따른 사용자 식별 성능을 조사하였다. 이를 위해 실험자는 2개의 속도: 보통(4.5km/h) 및 빠른(8km/h) 속도로 걸었다. 표 2에 결과를 나타냈다. 여기서 'Miss'의 의미는 계산된 오차가 문턱 값 이상이 되어 구성원을 식별할 수 없음을 의미한다. 실험 결과 빠른 걸음에 대해 2명 실험자는 인식 정확도가 조금 떨어졌으나 실험자A의 경우는 반대로 높아졌다. 평균 인식률은 93.3%에서 92%로 조금 감소하였으나 결론적으로 걸음 속도에 대해서는 강인한 특성을 가짐을 알 수 있다.

다음으로 거주자가 문을 통과할 때 센서가 위치한 정중앙에서 좌나 우로 벗어나는 경우 그 영향이 얼마인지를 조사하였다. 실험자가 정중앙에서 좌와 우로 10cm 벗어나게 표시한 선을 따라 반복 출입하는 실험을 수행하였다. 쉽게 예상되듯이 이 경우 센서는 통과자의 머리 위가 아니라 어깨나 다른 부분까지의 거리를 측정하여 더 큰 특징 값을 얻으며 따라서 보다 키가 작은 사람으로 식별하게 된다. 표 3에 나타낸 결과가 보여주듯이 사용자B를 키가 더 작은 사용자C로 식별하고, 사용자C의 경우는 많은 경우 Miss로 처리되는 것을 알 수 있다. 결론적으로 초음파 센서 바로 아래로 통과하지 않을 경우 사용자 식별 성능에 큰 영향을 준다는 것을 알 수 있다. 그러나 많은 경우 일반 주택의 출입문의 폭이 그다지 크지 않고 또 자연스럽게 문을 통과하는 경우 대개 중앙 경로로 통과하는 것이 일반적이므로 실제 적용할 경우 전체 성능에 치명적인 문제를 일으키지는 않을 것으로 판단된다.

마지막으로 실제 현장에서의 전체 성능을 검증하기 위해 다음 표 4에 정리한 시나리오에 따라 본보기주택에서 3명의 실험자가 움직이는 실험을 진행하였다. 실제 3명은 가능한 자연스럽게 걸으며 이동하였다. 이 실험 결과는 표 5에 나타냈다. 평균 구성원 식별 인식률은 사용자별로 출/입 행동의 횟수가 다르지만 총 52회의 출/

표 2 걸음 속도에 따른 구성원 식별 성능

사용자	보통 속도					빠른 속도				
	A	B	C	Miss	Rate	A	B	C	Miss	Rate
A	46	0	0	4	92%	47	0	0	3	94%
B	0	46	0	4	92%	4	45	0	1	90%
C	0	0	48	2	96%	1	1	46	2	92%
합계					93.3%					92%

표 3 초음파센서 위치와의 벗어남에 따른 식별 성능

사용자	실험횟수	A	B	C	Miss	Rate
B	110	1	74	28	7	67%
C	143	0	0	100	43	70%

표 4 본보기주택에서의 움직임 시나리오

시간표 (hh:mm)	행동
00:05	실험자A 방#1로 들어감, 실험자B 방#2로 들어감
00:06	실험자B 방#2에서 나옴
00:07	실험자C 방#3로 들어감, 실험자A 방#1에서 나옴
00:10	실험자C 방#3에서 나옴, 실험자A 방#2로 들어감
00:13	실험자A 방#2에서 나옴
00:20	실험자B 방#1로 들어감, 실험자C 방#2로 들어감
00:21	실험자B 방#1에서 나옴, 실험자C 방#2에서 나옴, 실험자A 방#3로 들어감
00:22	실험자A 방#3에서 나옴
00:25	실험자B 방#2로 들어감, 실험자A 방#1로 들어감
00:26	실험자B 방#2에서 나옴

표 5 본보기주택에서의 구성원 식별 성능

실험자	출/입 횟수	A	B	C	Miss	Rate
A	18	15	0	0	3	83%
B	20	1	15	2	2	75%
C	14	0	0	12	2	86%
합계	52				5	81.3%

입 행동에 대해 81.3%로 나타났다. 이는 앞의 표 2에 나타난 결과 보다는 나쁜 결과이며 자연스러운 움직임에 의해 측정 오차가 증가했기 때문으로 판단된다.

**3.2 출/입 행동 감지 성능**

선행 연구[1]에서의 출/입 행동 감지 성능은 3명의 실험자를 대상으로 200번의 출/입 행동에 대해 평균 87.7%의 인식 성능을 얻었다. 합계 12.3%의 에러에서 오인식(들어감을 나감으로 인식, 반대도 마찬가지로)에 의한 에러가 무려 7.9%나 차지하였다. 그러나 본 논문에서 제안한 PIR 센서를 사용한 방법의 경우 출/입 행동 감지는 표 6에 나타난 것처럼 100%의 완벽한 감지 성능을 보여주었다. 이는 PIR 센서의 강인한 감지 성능과 별도로 설계하여 도입한 가리개에 의한 효과로 판단된다.

마지막으로 표 4의 시나리오에 의해 3명 실험자가 움직일 때 가리개가 있을 때와 없을 때의 센서 노드의 오동작(즉 불필요한 wakeup에 의한 전력 낭비 동작) 및 출/입 행동 감지 성능을 조사하였다. 결과는 표 7에 나

표 6 본보기주택 실험의 출/입 행동 감지 성능

실험자	횟수	들어감		나옴	
		감지횟수/비율	감지횟수/비율	감지횟수/비율	감지횟수/비율
A	18	들어감	9/100	나옴	0/0
		나옴	0/0	들어감	9/100
B	20	들어감	10/100	나옴	0/0
		나옴	0/0	들어감	10/100
C	14	들어감	7/100	나옴	0/0
		나옴	0/0	들어감	7/100

표 7 가리개(horn) 사용에 따른 성능

	가리개 없을 때	가리개 사용
오동작	16	6
출/입 행동 오인식	2	0

타낸 것처럼 가리개를 도입하여 오동작은 약 1/3으로 줄었고 출/입 행동 오인식도 0으로 만들 수 있었다.

**4. 결론 및 향후 과제**

본 논문에서는 지능형 주택의 상황 인지 서비스에 필수 정보인 태내 거주자의 현재 위치를 출입문에 의해 구별되는 공간 단위로 이동을 감지하고 동시에 그 사람이 누구인지를 식별하는 무선 센서 네트워크 시스템을 제안하였다. 제안된 방법은 2개 PIR 센서를 사용하여 센서 노드를 sleep-and-wakeup 형식으로 동작시켜 동작 수명을 연장시켰고 적절한 감지 영역 조정에 의해 100%의 출/입 행동 감지 성능을 얻을 수 있었다. 또한 거주자의 키 정보에 기초한 구성원 식별 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 3명의 키가 다른 실험자를 대상으로 4개의 공간으로 구별되는 본보기주택에서 다양한 실험을 통해 검증되었다. 실험 결과 평균적으로 81.3%의 비율로 3명 실험자를 식별하고 이들의 각 출입문에서의 출/입 행동을 감지할 수 있었다.

현재 액세스 포인트는 수신된 정보를 파일 형태로만 기록한다. 그러나 이를 잘 설계된 데이터베이스에 기록하면 상위 상황인지 서비스를 위한 여러 응용 프로그램들이 보다 편리하게 이용할 수 있다. 따라서 이를 위한 후속 작업이 필요하다. 초음파 센서를 이용한 키 측정 기반 거주자 식별 방법이 가지는 한계점과 비교적 낮은 인식률을 높이기 위한 여러 가지 방법을 시도할 것이다. 물론 제안된 방법처럼 저가 구현 및 쉬운 설치라는 장점을 유지하는 방법이어야 할 것이다.

**참 고 문 헌**

[1] Seon-Woo Lee, "User Identification and Entrance/Exit Detection system for Smart Home," *Journal of Institute of Control, Robotics, and Systems*, vol.14, no.3, pp.248-253, March 2008. (in Korean)

[2] Jeffrey Hightower and Gaetano Borriello, "Location Systems for Ubiquitous Computing," *Computer*, vol.34, no.8, pp.57-66, IEEE Computer Society Press, Aug. 2001.

[3] M. Hazas, J. Scott, J. Krumm, "Location-aware computing comes of age," *Computer*, vol.37, no.2, pp.95-97, IEEE Computer Society Press, Feb. 2004.

[4] Andy Ward, Alan Jones, Andy Hopper, "A New Location Technique for the Active Office," *IEEE*

*Personal Communications*, vol.4, no.5, pp.42-47, October 1997.

- [5] The Ubisense system, <http://www.ubisense.net/>
- [6] 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.
- [7] V. Otasason, A/ Varshavsky, A. LaMarca, and E. Lara, "Accurate GSM Indoor Localization," *The 7th Int'l Conf., Ubiquitous Computing (UbiComp'05)*, pp.141-158, Sep., 2005.
- [8] W. Rehman, E. Lara, S. Saroiu, "CILoS: A CDMA Indoor Localization System," *The 10th Int'l Conf., Ubiquitous Computing (UbiComp:08)*, pp.104-113, Sep. 2008.
- [9] S. Patel, K. Truong, G. Abowd, "Powerline positioning: A practical sub-room-level indoor location system for domestic use," *The 8th Int'l Conf., Ubiquitous Computing (UbiComp'06)*, 2006.
- [10] S. Lee, K.N. Ha, K. C. Lee, "A Pyroelectric Infrared Sensor-based Indoor Location-Aware System for the Smart Home," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol.52, no.4, pp.1311-1317, Nov. 2006.
- [11] R. J. Orr and G. D. Abowd, "The Smart Floor: A Mechanism for Natural User Identification and Tracking," *Proceedings of the 2000 Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2000)*, The Hague, Netherlands, April 1-6, 2000.
- [12] V. T. Pham, Q. Qiu, A. A. P. Wai, J. Biswas, "Application of ultrasonic sensors in a smart environment," *Pervasive and Mobile computing*, vol.3, pp.180-207, 2007.
- [13] SimpliciTI Compliant Protocol stack, Texas Instruments Inc., <http://focus.ti.com/docs/toolsw/folders/print/simpliciti.html>
- [14] M. W. Whittle, "Gait Analysis: an introduction," 3rd Ed. Elsevier Science Lim. 2003.



양 승 용

한림대학교 전자공학과(학사: 2007년, 석사: 2009년) 졸업. 2009년~현재 (주)에스테크원 부설연구소 선임연구원, 관심분야는 실내 위치 인식 시스템, 임베디드 시스템, 센서 네트워크 시스템



이 선 우

KAIST 전기 및 전자공학과(학사: 1990년, 석사: 1992년, 박사: 1996년) 졸업. 1996년~2000년 삼성전자(주) 생활시스템 연구소 연구원. 2000년~2002년 일본 ATR Media Information Science Lab. 연구원. 2002년~현재 한림대학교 전자공학과 부교수

관심분야는 실내 위치 인식 및 상황 인식 컴퓨팅, u-healthcare 시스템, 센서 네트워크 시스템 응용 및 임베디드 시스템