

스마트 홈을 위한 PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템 개발

Development of PIR Sensor Based Indoor Location Detection System for Smart Home

하 경 남, 이 경 창, 이 석*
(Kyoung Nam Ha, Kyung Chang Lee, and Suk Lee)

Abstract : Smart homes are expected to offer various intelligent services by recognizing the residents' life pattern, health, and feeling. One of the key issues for realizing the smart home is how to detect the locations of residents. Currently, the research effort is focused on two approaches: terminal-based and non-terminal-based method. The terminal-based method employs a type of device that should be carried by the resident while the non-terminal-based method has no such device. This paper presents a novel non-terminal-based approach using an array of pyroelectric infrared sensors (PIRs) that can detect residents. The feasibility of the system is evaluated experimentally on a test bed.

Keywords : smart home, home network, location based service, indoor location detection system, PIR(Pyroelectric Infrared) sensor

1. 서론

최근 들어, 거주자에게 편리하고 안전하고 쾌적한 거주 환경을 제공하기 위하여, 스마트 홈(smart home)에 대한 요구가 증대되고 있다[1,2]. 일반적으로, 스마트 홈은 가전 기기나 멀티미디어 기기, 인터넷 기기가 가사 활동뿐만 아니라, 생산, 연구, 오락 활동 등과 같은 모든 분야에서 거주자의 행동에 능동적으로 반응하고, 거주자가 원하는 상황에 가장 적합한 지능형 서비스를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다. 이를 위하여, 스마트 홈에서는 그림 1과 같이 가전 기기나 멀티미디어 기기, 인터넷 기기들이 홈 네트워크 시스템(home network system)을 통하여 연결되어 있으며, TV나 PDA를 이용하여 원격으로 제어되거나 감시됨으로써, 거주자의 편의성과 안전성을 향상시키는 기능을 수행하고 있다[3,4].

특히, 최근에는 거주자의 존재 여부나 생활 패턴, 건강 상태, 감정 상태 등과 같은 다양한 정보를 바탕으로 보다 질 높은 지능형 서비스를 제공하기 위하여 위치 기반 서비스(location based service)에 관한 관심이 증대되고 있다[5,6]. 즉, 스마트 홈에서 거주자의 존재 여부나 생활 패턴을 파악할 수 있다면, 가전 기기들이 보다 더 능동적으로 서비스를 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 거주자의 요구에 미리 대처할 수 있는 능력을 가지게 될 것이다. 예로, 과거의 냉난방기들이 거주자의 조작에 의하여 수동적으로 동작하였지만, 향후 가전 기기들은 거주자의 거주 위치와 건강상태 등을 파악하여 능동적으로 거주자에게 가장 적합한 환경을 제공해 줄 수 있을 것이다.

최근까지 실내(indoor)에서 거주자의 위치 정보를 파악하기 위하여, 다양한 실내 위치 인식 시스템(indoor location detection system)들이 개발되어 왔다[7]. 일반적으로, 실내 위치 인식

시스템은 사용되는 방법에 따라 3가지로 분류될 수 있다. 첫째, 삼각 측량(triangulation) 방식은 미리 정의되어 있는 기준 점들로부터 거리를 측정하여 물체의 위치를 계산하는 방식으로써, 적외선(infrared)을 사용하는 Active Badges, 초음파(ultrasound)를 사용하는 Active Bats, 비전을 사용하는 Easy Living 등과 같은 시스템이 있다. 둘째, 장면 분석(scene analysis) 방식은 관측하려는 물체의 특징 점의 움직임을 파악하여 위치를 결정하는 방식으로써, DC magnetic tracker를 사용하는 MotionStar, IEEE 802.11을 이용한 RADAR 등이 있다. 마지막으로, 근접(proximity) 방식은 알려져 있는 기준점과의 근접성(nearness)을 이용하여 위치를 결정하는 방식으로써, 압력 센서를 이용한 Smart Floor, RFID를 이용한 Automatic ID systems 등이 있다.

또한, 실내 위치 인식 시스템은 거주자의 단말기 소유 여부에 따라 Active Bats과 같은 단말기 기반 방법과 비전 센서나 압력 센서 등을 사용한 비단말기 기반 방법으로 나누어 볼 수 있다. 적외선이나 초음파를 사용하는 단말기 기반 방식의 경우 거주자의 위치를 찾는 것이 아니라 거주자가 소지한 단말기의 위치를 찾는 것이다. 이로 인하여, 실내에서 거주자가 항상 단말기를 소지하고 있어야만 위치 인식이 가능

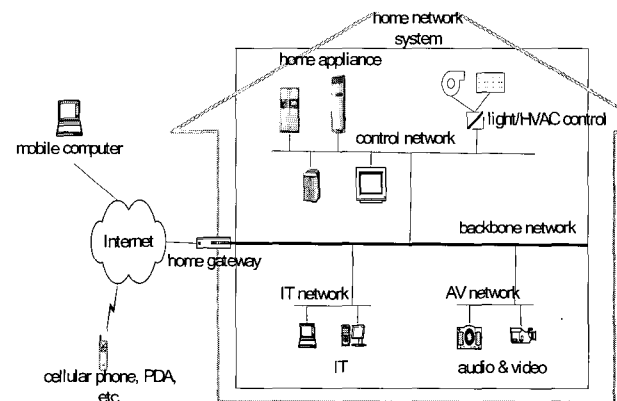


그림 1. 스마트 홈을 위한 홈 네트워크 구조.
Fig. 1. Architecture of home network system for smart home.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 5. 2., 채택확정 : 2006. 6. 10.

하경남 : 부산대학교 지능기계공학과 대학원(ovincen@pusan.ac.kr)

이경창 : 부경대학교 전기제어공학부(gclee@pknu.ac.kr)

이 석 : 부산대학교 기계공학부(slee@pusan.ac.kr)

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

하다는 문제점을 가지고 있다. 반면, 단말기가 필요하지 않는 비전을 이용한 easy living의 경우 가정 내에서 사생활 침해 논란을 야기할 수 있으며, 압력 센서를 이용한 smart floor의 경우 낮은 확장성과 관리의 어려움이 존재한다.

따라서, 본 논문에서는 스마트 홈에서 적용이 가능하도록, 최소한의 거주자 정보만을 이용하면서 비단말기 방식으로 대략적인 위치 인식을 할 수 있는 PIR 센서(Pyroelectric Infrared sensor)[8] 기반 실내 위치 인식 시스템을 제안한다. 본 논문에서는 거주자를 인식하기 위하여 PIR 센서를 사용하였으며, 다수의 PIR 센서로부터 출력된 정보를 센서 융합(sensor integration)하여 거주자의 위치를 인식할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 또한, 실험 모델을 이용하여 제안된 실내 위치 인식 시스템의 정밀도를 측정하였으며, 스마트 홈을 위한 실내 위치 인식 시스템으로서의 가능성을 확인하였다.

본 논문은 서론을 포함하여 5장으로 구성되어 있다. 2장에서는 PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템의 구조에 대하여 설명하였으며, 3장에서는 거주자의 위치를 파악하기 위하여 PIR 센서를 위한 거주자 감지 알고리즘과 PIR 센서들의 센서 융합(sensor integration)을 통한 거주자 위치 결정 알고리즘에 대하여 서술하였다. 4장에서는 가정 내부에서의 적용 가능성을 확인하기 위하여 실내 위치 인식 시스템 실험 모델에서의 성능 평가를 수행하였다. 마지막으로, 5장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대하여 서술하였다.

II. PIR 기반 실내 위치 인식 시스템의 구조

스마트 홈에서 사용되는 위치 인식 시스템은 실내라는 특수성으로 인하여 다음과 같은 조건이 만족되도록 설계되어야 한다. 첫째, 스마트 홈에는 다양한 크기의 방들이 여러 개 존재하고, 각 방에는 위치 인식을 위하여 다수의 센서가 설치되기 때문에, 최대한 저가격(low cost)으로 위치 인식 시스템이 구현될 수 있어야 한다. 둘째, 각 방의 기능에 따라 고정밀도(high precision)의 위치 인식과 저 정밀도(low precision)의 위치 인식이 필요할 수 있기 때문에, 각 방의 특성에 맞추어 정밀도 조절이 가능하여야 한다. 셋째, 스마트 홈의 경우 각 방들의 구조가 매우 다양하고, 가전 기기, 가구 등과 같은 가정 내의 장애물이 존재할 수 있다. 따라서, 어떠한 조건에서도 위치 인식이 가능하도록 센서 설치의 유연성(flexibility)이 보장되어야 한다. 넷째, 스마트 홈에는 다양한 조명과 무선 랜이나 RF 등과 같은 네트워크가 사용되고 있다. 따라서, 적용되는 센서는 이러한 주변 환경에 영향을 받지 않도록 잡음에 대하여 강인(robustness)해야 한다.

본 논문에서는 이러한 조건을 만족하기 위하여 PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템을 제안한다. 일반적으로, PIR 센서는 현관등이나 방범 장치에서 널리 사용되고 있는 적외선 센서로서, 인체에서 방출되는 9.4 μ m~10.4 μ m 파장의 적외선을 검출하기 때문에 가정 내에서 사용되는 다양한 무선 기기들로부터 발생하는 전자파 노이즈와 온도, 습도 등과 같은 외부 환경에 대하여 상대적으로 강인한 특성을 가지고 있다. 또한, PIR 센서의 센싱 영역을 제한함으로써, 정밀도 조절이 가능할 뿐 아니라, 방의 천정에 설치하기 때문에 방의 구조나 장애물의 유무에 관계없이 손쉽게 설치가 가능하다.

본 논문에서는 PIR 센서의 센싱 영역(sensing area)을 일정

한 지름을 가지는 원형으로 제한하고, 위치 인식을 하려는 공간을 일정한 영역으로 나누어서 대상물의 대략적인 위치를 파악할 수 있도록 실내 위치 인식 시스템을 구성하였다. 이를 위하여, 본 논문에서는 그림 2와 같이 다수의 PIR 센서를 센싱 영역이 중복되도록 천정에 설치하였다. 그리고 나서, 거주자가 특정 영역에 위치할 때 PIR 센서들의 감지 정보를 이용하여 거주자가 어떠한 영역에 속해 있는지를 결정하게 함으로써, 거주자의 위치가 파악될 수 있도록 하였다. 예로, 그림에서 거주자가 B 영역에 있는 경우 센서 a와 b는 on 신호를 출력하고, 센서 c는 off 신호를 출력하므로, 본 시스템은 거주자가 B 영역에 있다고 판단을 한다. 여기에서, 본 시스템에서 거주자의 위치는 on 신호를 출력하는 센서들의 개수와 배치 형태에 따라 결정되도록 하였다. 즉, 영역 A와 같이 하나의 센서(센서 a)만이 on이 되는 영역의 경우, 거주자 위치는 해당 센서의 위치(포인트 1)로 결정된다. 그리고, 영역 B와 같이 두 개의 센서(센서 a와 b)가 동시에 on되는 영역의 경우, 두 개의 센서에 의하여 만들어지는 직선의 중점(포인트 2)에 거주자가 위치해 있다고 결정한다. 마지막으로, 3개 이상의 센서가 on되는 영역의 경우, 3개 이상의 센서의 위치에 의하여 만들어지는 도형의 중심(centroid)이 거주자의 위치로 결정한다.

본 시스템에서 위치 정밀도는 결정된 거주자의 위치를 중심으로 하여 해당 센싱 영역을 모두 포함할 수 있는 외접원의 반지름들 중에서 최대값으로 볼 수 있다. 예로, 센싱 영역 A에 거주자가 위치하는 경우, 거주자는 포인트 1에 위치하고 있다고 판단하기 때문에, 위치 정밀도는 포인트 1을 중심으로 하여 센싱 영역 A를 포함할 수 있는 외접원의 반지름이 된다. 즉, 센싱 영역의 반지름이 1m라고 가정한다면, 센싱 영역 A에서의 위치 정밀도는 1m가 된다. 반면, 센싱 영역 B의 경우 거주자는 포인트 2에 있다고 결정되기 때문에, 위치 정

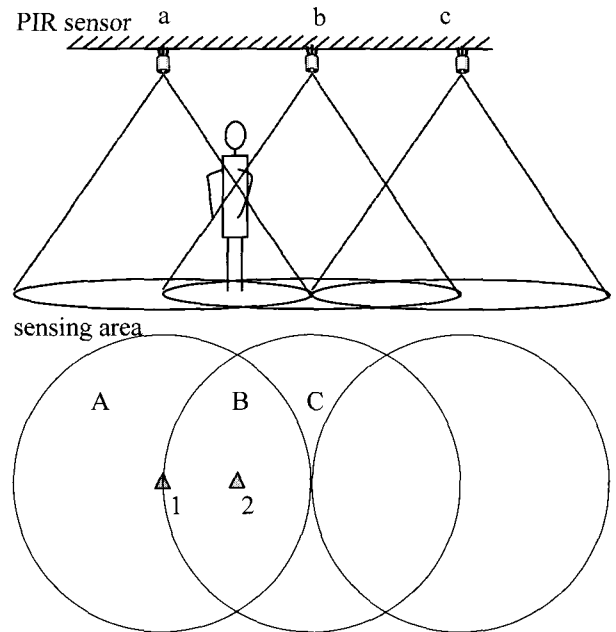


그림 2. 거주자 인식을 위한 PIR 센서 배치. Fig. 2. Arrangement of PIR sensors for resident detection.

밀도는 센싱 영역 B를 포함하는 외접원의 반지름인 $\sqrt{3}/2 m$ 가 된다. 따라서, 그림 2와 같은 배치의 경우, 위치 정밀도는 센서의 위치를 중심으로 한 외접원의 반지름들 중 가장 큰 1m라고 볼 수 있다. 특히, PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템에서는 인식 공간에 설치되는 센서의 수와 각 센서의 센싱 영역에 따라 위치 정밀도가 큰 차이를 보일 수 있다. 따라서, 가장 작은 수의 PIR 센서를 이용하여 가장 높은 위치 정밀도가 보장될 수 있도록 적절한 형태의 센서 배치가 필요하다.

그림 3은 거주자에게 위치 기반 지능형 서비스를 제공하기 위하여, PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템을 이용한 스마트 홈의 전체적인 구조를 보여준다. 스마트 홈에는 실내 위치 인식 시스템과 위치 기반 서비스를 위하여 다수의 PIR 센서, 룸 터미널(room terminal), 스마트 홈 서버(smart home server)와 제어 대상이 되는 가전 기기 등이 홈 네트워크를 통하여 연결되어 있다. 먼저, 본 시스템에서는 방을 하나의 셀로 간주하며, 각 셀에는 요구되는 위치 정밀도를 만족시키기 위하여 설계된 다수의 PIR 센서가 설치된다. 그리고, 각 PIR 센서 모듈은 거주자 감지 알고리즘을 이용하여 센싱 영역 내에 거주자가 위치하는 지를 판단하게 되고, 홈 네트워크를 이용하여 각 셀마다 하나씩 배치된 룸 터미널로 거주자 감지 정보를 전송하게 된다. 룸 터미널에서는 각 PIR 센서들로부터 수신된 거주자 감지 정보를 융합하여 거주자가 위치해 있는 영역을 결정하고, 그 결과를 스마트 홈 서버로 전송하게 된다.

스마트 홈 서버에서는 거주자의 위치 인식에 따른 지능형 서비스를 제공하는 기능을 수행한다. 먼저, 스마트 홈 서버의 가상 맵 생성기(virtual map generator)는 주거 환경의 설계도를 바탕으로 가상 맵을 만들고(generating virtual map), 가상 맵에 룸 터미널에서 결정된 거주자의 위치 정보를 기록한다(writing resident location). 그리고 나서, 수신되는 일련의 거주자 위치 정보를 이용하여 거주자의 이동 궤적을 계산한다

(tracking resident movement). 다음으로, 가상 맵 생성기에서 거주자의 위치가 결정되고 나면, 홈 가전 기기 제어기(home appliance controller)는 거주자에게 지능형 서비스를 제공하기 위하여 해당되는 가전 기기를 제어하는 명령을 홈 네트워크를 통하여 전송하게 된다. 특히, 본 시스템에서는 일정 기간 동안 거주자의 이동 궤적을 데이터베이스에 저장한 후 이동 패턴 예측기(moving pattern predictor)를 이용하여 거주자의 이동 패턴을 예측함으로써, 거주자의 행동에 능동적으로 대처할 수 있는 지능형 서비스를 수행할 수도 있다. 예를 들어, 거주자가 평소 오전 7시에 기상하여 샤워를 하는 패턴이 생성되면, 그 시간에 맞게 미리 창문을 열어 환기를 시키고, 욕실의 온수를 거주자에게 가장 적당하게 조절하는 것과 같은 인간 중심적인 지능형 서비스(human adaptive intelligent service)를 수행할 수 있을 것이다.

III. 거주자 감지 및 위치 결정

본 논문에서 제안하는 PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템에서는 셀에 설치된 센서들의 측정값을 융합하여 위치 판단을 하기 때문에, 각 센서에서 거주자의 감지 여부와 감지 시간 간격을 얼마나 정확하게 획득하느냐에 따라 전체 시스템의 위치 정밀도가 결정된다. 예로, 근접 방식의 대표적인 위치 인식 시스템인 Smart Floor에서는 각 압력 센서 위에 거주자가 위치할 때 일정한 전압 이상을 출력하고 출력된 전압 레벨에 따라서 압력을 정확하게 측정할 수 있기 때문에, 정확한 거주자 감지가 가능할 뿐만 아니라 특정 지점에서 머무른 시간 간격을 측정할 수 있다. 그러나, PIR 센서는 센서에 사용되는 초전체를 이용하여 인체 적외선의 변화량을 감지하는 방식이기 때문에, 거주자의 움직임에 따라 그림 4와 같은 아날로그 출력을 보인다. 즉, 거주자가 센싱 영역에 들어 오게 되면 인체 적외선의 변화량이 증가하므로, PIR 센서는 +출력을 나타내고, 센싱 영역을 벗어나게 되면 인체 적외선의 변화량이 감소하므로, PIR 센서는 - 출력을 나타낸다. 또한, 거주자가 움직이지 않을 때에는 적외선의 변화가 없으므로, PIR 센서는 0 출력을 나타낸다. 이로 인하여, PIR 센서에서 전압 혹은 전류 임계치(threshold)만으로는 거주자가 센싱 영역에 위치해 있는가를 결정하기 어렵다. 따라서, PIR 센서를 이용하여 위치 인식 시스템을 구성하려는 경우, 센싱 영역에 거주자가 위치해 있는 시간 간격을 계산할 수 있는 알고리즘이 필요하다.

센서의 출력값은 거주자의 움직임에 따라 그림 4와 같은 패턴으로 변동하기 때문에, 센서의 출력 값으로부터 거주자 감지와 시간 간격을 판단하기 위한 거주자 감지 알고리즘이 필요하다. 정확한 거주자 감지를 위하여 다음과 같은 사항들이 고려되어야 한다. 첫째, 센싱 영역 내부로 거주자가 들어 가지 않았을 때, 센서의 On신호가 발생되지 말아야 한다. 예를 들자면, 가정 내에서 강아지와 같은 애완동물이 지나가거나, 태양광이나 난방기구와 같은 외부의 온도 변화에 의한 오동작이 발생되지 않도록 거주자 감지 알고리즘이 설계되어야 한다. 둘째, 거주자가 센싱 영역을 지나가는 경우 거주자가 센싱 영역으로 들어오는 시점과 나가는 시점을 판단할 수 있어야 한다. 예로, 거주자의 신장이나 체중 등과 같은 신체적 조건과 이동 속도, 이동 방향에 따라 PIR 센서는 상이

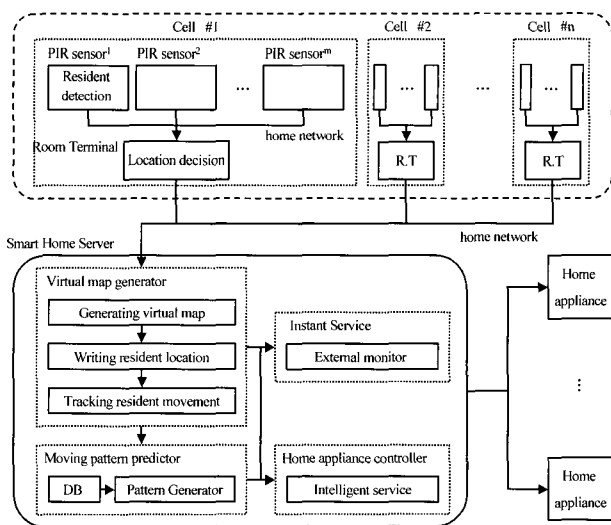


그림 3. PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템을 위한 smart home 프레임워크.

Fig. 3. Framework of smart home for PIR sensor based indoor location detection system.

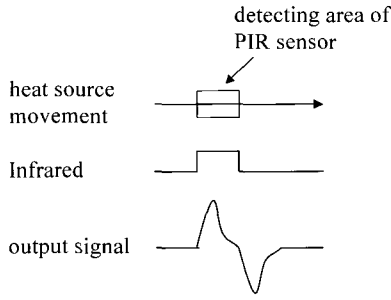


그림 4. PIR 센서의 신호 출력.
Fig. 4. Signal output of PIR sensor.

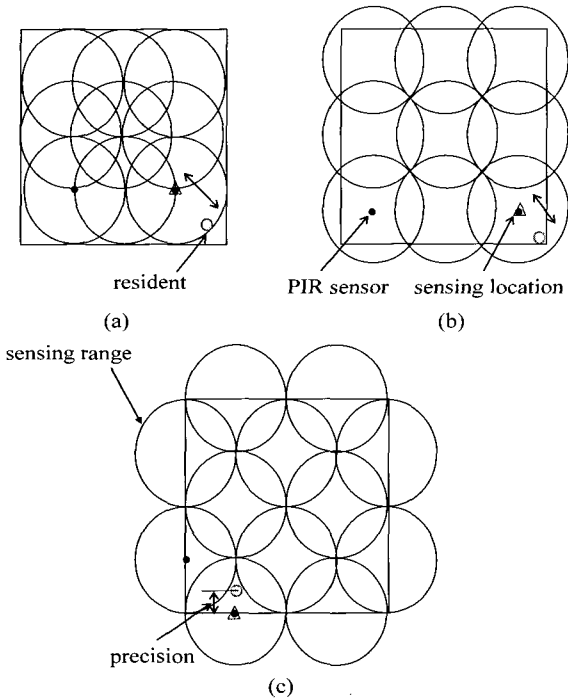


그림 5. PIR 센서의 배치 형태에 따른 센싱 영역.
Fig. 5. Sensing range due to sensor arrangement of PIR sensors.

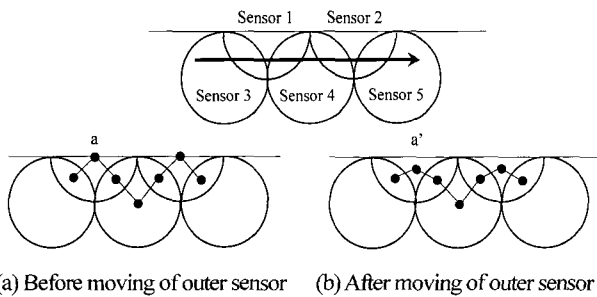


그림 6. 외각센서의 중심 재설정시 효과.
Fig. 6. The effect of moving outer sensor's center point.

한 패턴의 출력을 보일 수 있으나, 어떠한 경우에도 정확한 시점이 판단되도록 알고리즘이 설계되어야 한다. 마지막으로, 거주자가 센싱 영역 내부에서 움직이지 않는 경우 PIR 센서는 그 특성상 기준 출력 값으로 안정화된다. 이러한 경우에도 거주자가 센싱 영역 내에 위치하고 있음을 인식할 수 있

도록 알고리즘이 설계되어야 한다.

위와 같은 요구 조건을 만족시키기 위하여, 본 논문에서는 다음과 같이 PIR 센서의 거주자 감지 알고리즘을 구성하였다. 첫째, 외부 온도 변화와 애완 동물에 의한 오동작을 방지하기 위하여 인체에서 발생하는 파장만 통과시키고 외부 환경 변화에 의한 파장을 차단할 수 있는 Fresnel 렌즈를 PIR 센서에 설치하였다. 둘째, 센싱 영역으로 진입하는 시점을 판단하기 위한 방법으로 기준 출력보다 +임계치 이상을 벗어나는 경우 거주자가 센싱 영역으로 진입하는 것으로 간주하였다. 이 때, 임계치는 외부 환경 변화나 애완 동물과 거주자를 확실하게 구분할 수 있는 값으로 설정되어야 한다. 또한, 센싱 영역을 벗어나는 시점을 판단하기 위한 방법으로 -임계값 이상을 관측하고 나서 일정 시간 이상 -임계값 이내의 값이 유지되면, 거주자가 센싱 영역을 벗어난 것으로 간주하였다. 셋째, 거주자가 센싱 영역 내부에서 움직이지 않는 경우, 해당 영역을 감지하는 PIR 센서의 출력값들은 \pm 임계값 이내의 값을 가지기 때문에, PIR 센서는 Off 상태를 유지하게 된다. 이러한 문제는 주변 센서들의 출력값들의 변화를 이용하여 거주자의 위치를 감지하도록 하였다. 즉, 특정 영역에 들어온 거주자가 움직이지 않을 때, 주위에 있는 다른 센서들의 출력값이 On으로 감지되지 않는 한 거주자는 현재 영역에 위치해 있는 것으로 간주하도록 하였다.

각 센서에서 거주자 감지가 완료되고 나면, 거주자 감지 정보는 홈 네트워크를 통하여 룸 터미널로 전송된다. 룸 터미널은 자기 셀에 소속된 센서들로부터 거주자 감지 정보를 받아 II장에서 설명된 PIR 센서를 이용한 위치 결정 방법을 이용하여 거주자의 위치를 결정하게 된다. 특히, 본 시스템에서는 주기적으로 수집되는 PIR 센서들의 감지 정보를 융합하여 거주자의 위치를 결정하기 때문에, 거주자 감지 단계에서 일시적으로 센서의 오작동이 발생되더라도 위치 결정 단계에서 오류를 제거할 수 있도록 하였다. 즉, 거주자의 위치가 특정 센싱 영역으로 인식되었다면 다음 거주자의 위치는 주위의 센싱 영역이어야 하므로, 다른 센싱 영역에 소속된 센서가 거주자를 감지하거나, 다른 센싱 영역으로 거주자의 위치가 결정된다면, 이를 오류로 판단하도록 하였다.

거주자의 위치를 정확히 결정하고, 위치 오차를 낮추기 위해서는 가능한 한 많은 수의 센서를 이용하여 면적이 일정한 센싱 영역의 수를 늘려야 한다. 그림 5는 센서의 배치 방법에 따른 위치 정밀도를 나타내고 있다. 그림 5(a)와 5(b)는 9개의 센서를 이용한 배치로서, 각각 40개와 21개의 구분 가능한 영역이 만들어진다. 그림 5(c)의 경우 12개의 센서를 이용한 배치로서, 28개의 센싱 영역이 만들어진다. 그림 5(a)의 경우 그림 5(b)보다 센싱 영역은 많으나, 외곽 센싱 영역의 면적이 내부 센싱 영역의 면적보다 상대적으로 크기 때문에, 그림 5(a)의 외곽 센싱 영역에서의 위치 오차가 그림 5(b)의 위치 오차보다 크게 된다. 반면, 그림 5(b)와 그림 5(c)의 경우, 면적의 표준 편차는 거의 비슷하지만, 외곽 센싱 영역에서의 위치 오차는 그림 5(c)가 그림 5(b)보다 상대적으로 적게 된다.

특히, 그림 5(c)와 같이 센서가 방의 외곽에 설치된 배치 방법에서는 위치 오차가 가장 큰 외곽의 센싱 영역에서 거주자의 위치를 센서의 위치가 아니라 무게 중심으로 이동시킴

으로써, 위치 정밀도를 향상시킬 수 있다. 즉, 그림 6(a)의 경우 거주자의 위치는 센서의 위치인 a 점이 된다. 이를 그림 6(b)에서와 같이 해당 센싱 영역의 중점인 a'점으로 이동시키면, 최대 위치 오차를 가지는 외각 센싱 영역의 정밀도가 현저히 향상됨을 알 수 있다.

IV. PIR 기반 실내 위치 인식 시스템의 성능 평가

본 절에서는 PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템의 실험 모델을 제작하여 성능 평가를 수행하고, 스마트 홈에서의 적용 가능성을 살펴보았다. 특히, 스마트 홈에서 거주자의 위치에 따라 제공할 수 있는 서비스의 경우 고정밀도를 필요로 하지 않기 때문에, 본 논문에서는 최대 50cm의 위치 오차를 만족하도록 시스템을 설계하였다.

그림 7은 실험 모델을 나타내고 있다. 실험 모델은 스마트 홈에서 하나의 방으로 간주될 수 있는 4(가로)×4(세로)×2.5(높이)m 크기로 구성되어 있다. 실험 모델의 천장에는 그림 5(c)와 같은 배치 형태로 PIR 센서가 설치되어 있다. 실험 모델에서 PIR 센서 모듈에는 신호 처리 및 센서 On/Off 판단을 위하여 마이크로 컨트롤러로 AT89C51CC001이 사용되었으며, PIR 센서로는 Nippon Ceramic사의 RE431B, fresnel 렌즈로는 NL-11이 사용되었다. 또한, PIR 센서에 horn을 적용하여 센싱 영역을 2m로 고정하였으며, 그림 8과 같이 원하는 센싱 영역 내에 존재하는 거주자만 인식할 수 있도록 하였다. 그림에서,

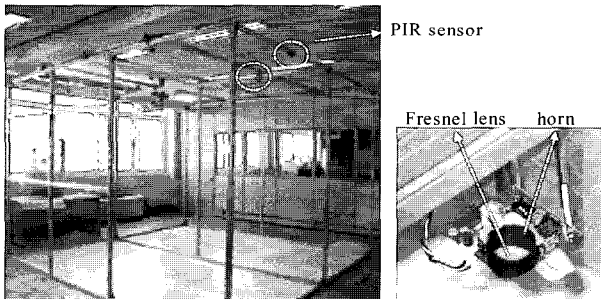


그림 7. PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템의 실험 모델. Fig. 7. Experimental test bed of PIR sensor based indoor location detection system.

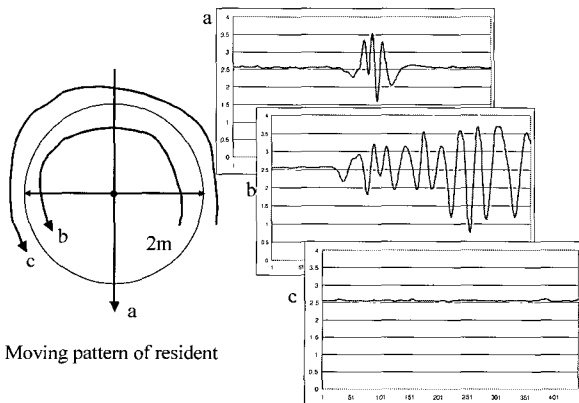


그림 8. Horn 을 적용한 정확한 센싱 영역의 설정. Fig. 8. Ensuring the exact sensing range with Horn.

센싱 영역을 가로지르는 경우 RE431B에서는 a와 같은 출력을 보이며, 센싱 영역 내부의 외각을 회전하는 경우 b와 같이 지속적으로 신호가 불규칙적으로 출력됨을 알 수 있다. 마지막으로, 센싱 영역 외부를 회전하는 경우 c와 같이 출력 신호가 없음을 알 수 있다.

마지막으로, 각 PIR 센서의 출력값을 수집하고 그 값들로부터 거주자의 위치를 결정하기 위하여 그림 10과 같은 PC 기반의 위치 결정 알고리즘을 개발하였다. 그림에서, 왼쪽 화면은 실제 거주자의 이동을 표시하기 위하여 마우스 입력을 받을 수 있도록 하였고, 오른쪽 화면은 위치 결정 알고리즘에서 각 센서들의 정보를 융합하여 계산된 거주자의 위치와 이동 궤적을 표시하도록 하였다. 또한, PC에 설치되어 있는 위치 결정 프로그램은 각 PIR 센서 모듈에서 결정된 거주자 감지 정보를 NI사의 6025E DAQ board를 이용하여 10msec 간격으로 수집하도록 하였다. 여기에서, PIR 센서 모듈은 거주자 감지를 위하여 다양한 외부 환경을 고려하여 임계치를 설정하여야 한다.

임계치 설정을 위해 구성된 실험모델을 이용하여 다양한 환경을 조성하여 다수의 실험을 수행하였다. 먼저, 냉난방기에 의한 주변 온도 변화에 의한 영향이나 외부에서 유입되는 바람의 영향, 태양광에 의한 영향 등 실제 주거 환경에서 일어날 수 있는 환경 변화를 고려하여 거주자 인식 실험을 수행하였다. 이러한 실험 결과, RE431B 센서에서 임계치를 ±0.4V로 설정하는 경우, 외부 환경 변화가 거주자 인식에 큰 영향을 미치지 못함을 확인하였다. 또한, 애완동물이 거주자 인식에 영향을 미치는 지를 실험하였으나, 역시 큰 영향을 미치지 않음을 확인하였다.

마지막으로, 본 논문에서는 신장이 160cm~180cm 범위에 속하는 실험대상자가 이동속도 1.5km/h~2.5km/h로 이동할 때를 고려한 3가지 형태의 거주자 이동에 대하여 실험을 수행하였다.

그림 9는 거주자가 T자 형태로 이동하는 경우를 나타내고 있다. 오른쪽에 나타난 인식 결과는 왼쪽에 표시된 거주자가 이동하는 경로와 거의 유사하게 나타남을 알 수 있다. 이 결과는 외곽 센서의 중점 보상을 하지 않더라도 최대 위치 오차가 약 30cm 정도로 측정되었다.

그림 10은 거주자가 H자 형태로 이동하는 경우를 나타내

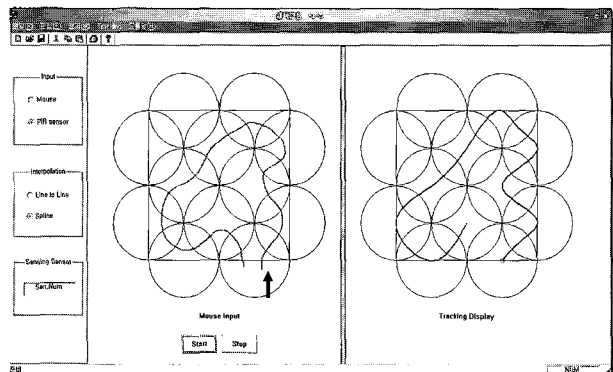


그림 9. T자 형태로 이동 시 거주자 위치. Fig. 9. Location of resident in case of T moving path.

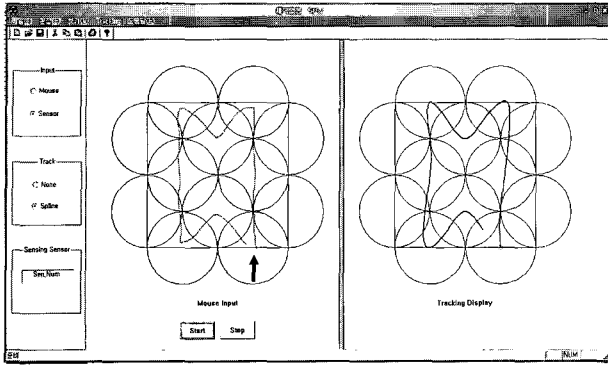


그림 10. H자 형태로 이동 시 거주자 위치.
Fig. 10. Location of resident in case of H moving path.

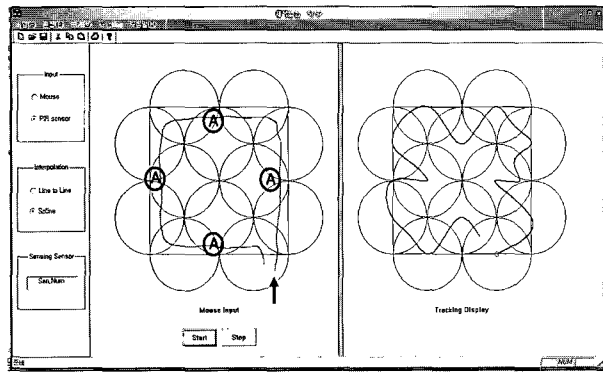


그림 11. 口자 형태로 이동 시 추적 경로.
Fig. 11. Location of resident in case of 口 moving path.

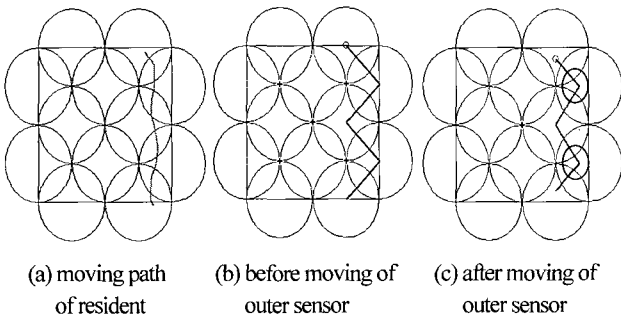


그림 12. 외곽 센서 중점의 이동 결과.
Fig. 12. Experimental result by moving outer sensor's center point.

고 있다. 이 경우에도 그림 10과 같이 인식 결과가 거주자의 이동 경로와 거의 유사하게 나타남을 알 수 있다. 특히, 이 실험에서는 3개 혹은 4개의 센서가 동시에 거주자를 인식하여 on신호를 발생시켜도 정상적으로 센싱 영역의 중점을 연결하여 위치를 인식함을 확인할 수 있었다.

그림 11은 거주자가 口자 형태로 이동하면서, 고의적으로 센서가 배치된 위치와 가장 먼 경로로 이동을 한 경우를 나타내고 있다. 이 경우에는 시스템에서 인식된 거주자의 위치를 연결하는 경우 실제 거주자의 이동 경로와 오차가 큼을 알 수 있다. 특히, 네 군데의 ㉠ 영역에서는 외곽 센서의 중점을 교정하지 않은 문제로 인하여 급격한 이동 경로의 왜곡

이 발생함을 알 수 있다. 그러나, 이러한 경우에도 최대 위치 오차는 50cm 이내임을 알 수 있다.

그림 12는 외곽 센서의 중점을 보정한 알고리즘을 사용하였을 경우의 위치 인식 결과를 나타내고 있다. 그림 12(a)와 같이 거주자가 외곽 영역에서 직선으로 이동하는 경우, 외곽 센서 중점을 보정하지 않은 경우에는 그림 12(b)와 같은 인식 결과를 나타낸다. 이를 외곽 센서를 보정하는 경우 그림 12(c)와 같이 외곽 센서의 중점을 내부 방향으로 반경의 30% 정도 이동시킨 결과로 나타나며, 실제 거주자의 이동 방향을 인식하는 정밀도가 향상됨을 알 수 있다

V. 요약 및 결론

본 논문에서는 스마트 홈에서 지능형 서비스를 제공하기 위하여 거주자의 위치를 파악하기 위한 방법으로서, PIR 센서 기반 태내 위치 인식 시스템을 제안하였다. 이를 위하여, 본 논문에서는 위치 인식 시스템을 이용한 스마트 홈의 프레임워크를 제시하고, PIR 센서를 위한 거주자 감지 알고리즘을 제안하였다. 또한, 각 PIR 센서들의 정보를 융합하여 거주자 위치를 결정할 수 있는 위치 결정 알고리즘을 제안하였다. 마지막으로, 본 논문에서는 PIR 센서 기반 태내 위치 인식 시스템 실험 모델에서의 적용을 통하여 제안된 시스템의 성능을 평가하였다.

이상과 같은 실험결과로부터, 본 논문에서 제안된 PIR 센서는 적절한 거주자 감지 알고리즘과 거주자 위치 결정 알고리즘을 이용하는 경우, 스마트 홈에서 거주자를 충분히 인식할 수 있음을 알 수 있었다. 또한, PIR 센서 기반 태내 위치 인식 시스템은 거주자가 단말기를 소지하지 않은 상태에서도 50cm의 위치 정밀도로 위치 인식이 가능하기 때문에, 가정 내에서 충분히 사용될 수 있음을 알 수 있었다. 뿐만 아니라, 센서를 효과적으로 배치하여 구분 가능한 센싱 영역의 수를 늘리고 면적을 일정하게 만들거나, 외곽 센서의 중점 교정과 같은 방법을 이용하여 위치 인식의 정밀도를 향상시킬 수가 있음을 확인하였다.

그러나, 본 시스템은 센서의 배치에 따라 위치 정밀도가 달라질 수 있기 향후 가장 높은 위치 정밀도를 보장할 수 있는 센서 배치 방법에 대한 연구가 필요할 것이다. 또한 보다 정밀한 위치 결정을 위해서 베이지안 네트워크(bayesian network)와 같은 확률 이론등을 이용하여 PIR 센서의 신호 처리 방법을 개선함으로써, 정밀도를 향상시킬 수 있는 연구가 필요하다. 마지막으로 본 논문에서 제안된 PIR 센서 기반 태내 위치 인식 시스템은 하나의 셀에 한 사람이 위치해있는 경우에만 적용이 가능하다. 따라서, 향후에는 보다 다양한 서비스를 제공하기 위하여 여러 명이 위치하는 경우 각 거주자의 위치와 이동 경로를 판단할 수 있는 멀티 트래킹(multi tracking) 알고리즘에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] J. Choi, D. Shin, and D. Shin, "Research and implementation of the context-aware middleware for controlling home appliances," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 51, no. 1, pp. 301-306, Feb. 2005.
[2] 이경창, 김정희, 이흥희, "스마트 홈을 위한 CAN 기반

화재 감지 시스템의 구현,” 제어·자동화·시스템공학회 논문지, 제10권 제8호, pp. 734-741, 2004.

[3] K. S. Lee, K. C. Lee, S. Lee, K. T. Oh, and S. M. Baek, “Network configuration technique for home appliances based on LnCP,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 49, no. 2, pp. 367-374, May. 2003.

[4] B. Rose, “Home networks: A standards perspective,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, no. 12, pp. 78-85, Dec. 2001.

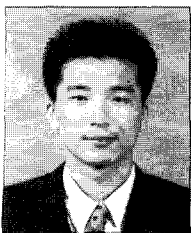
[5] 이병복, 김대식, 노광현, 박애순, “LonRF 지능형 디바이스 기반의 유비쿼터스 홈네트워크 테스트베드 개발,” 제어·자동화·시스템공학논문지, 제10권, 제6호, pp. 566-573, 2004.

[6] M. Hazas, J. Scott, and J. Krumm, “Location-aware computing comes of age,” *Computer*, vol. 37, no. 2, pp. 95-97, Feb. 2004.

[7] M. D. Rodriguez, J. Favela, E. A. Martinez, and M. A. Munoz, “Location-aware access to hospital information and services,” *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 8, no. 4, pp. 448-455, Dec. 2004.

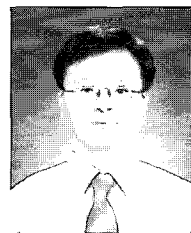
[8] J. Hightower and G. Borriello, “Location systems for ubiquitous computing,” *IEEE Computer*, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, Aug. 2001.

[9] S. Okuda, S. Kaneda, and H. Haga, “Human position/height detection using analog type pyroelectric sensors,” *Lecture Notes in Computer Science*, vol. 3823, pp. 306-315, 2005.



하경남

1974년 9월 10일생. 2001년 부산대학교 기계공학부 졸업. 2001년~2003년 BOSCH 근무. 2003년~현재 부산대학교 지능기계공학과 석박사통합과정 재학중. 관심분야는 산업용 네트워크, 홈 네트워크, 센서 네트워크.



이경창

1971년 5월 1일생. 1996년 부산대학교 생산기계공학과 졸업. 1998년 동 대학원 석사. 2003년 동 대학원 박사. 1998년~2003년 기계공학연구정보센터 전임연구원. 2003년~2005년 울산대학교 네트워크기반 자동화 연구센터 전임연구원. 2005년~현재 부경대학교 전기제어공학부 전임강사. 관심분야는 산업용 네트워크, 차량용 네트워크, 홈 네트워크, 센서 네트워크.



이석

1961년 12월 11일생. 1984년 서울대학교 기계공학과 졸업. 1985년 펜실바니아 주립대학교 석사. 1990년 동 대학원 박사. 1990년~1993년 신시내티 대학교 기계공학과 조교수. 1993년~현재 부산대학교 기계공학부 교수. 관심분야는 산업용 네트워크, 차량용 네트워크, 홈 네트워크, 센서 네트워크.