

스마트 홈에서 위치 기반 인간 적응형 냉난방기를 위한 신체 활동량 추정

Estimation of Metabolic Rate Estimation for Location-based Human Adaptive Air-conditioner in Smart Home

김 현 희, 이 석, 이 경 창*
(Hyun-Hee Kim, Suk Lee, and Kyung-Chang Lee)

Abstract: If an appliance perceives the location or health condition of a resident in the smart home, it can provide more intelligent service actively. That is, while the conventional appliance is operated by manual input of a resident, the location-based human adaptive appliance detects the resident's information such as location, activity pattern, or health condition by itself and provides the most suitable living condition for the resident autonomously. This paper presents the real-time location-based metabolic rate estimation method that measures the amount of physical activity (metabolic rate) for location-based human adaptive air-conditioner. And, the feasibility of the algorithm is evaluated experimentally on a test bed using the pyroelectric infrared sensor-based indoor location aware system (PILAS) that is a non-terminal-based location-aware system.

Keywords: human adaptive appliance, indoor location awareness system, location-based service, metabolic rate, physical activity

I. 서론

가전기기가 디지털화됨에 따라, 스마트 홈(smart home) 기술은 홈 오토메이션이나 홈 시큐리티, 홈 엔터테인먼트 등과 같은 다양한 분야에 광범위하게 적용되고 있다[1,2]. 일반적으로, 스마트 홈은 가전기구나 멀티미디어 기기, 인터넷 기기가 가사 활동뿐만 아니라 생산이나 오락 활동 등과 같은 모든 분야에서 거주자의 행동에 능동적으로 반응하고 거주자가 원하는 상황에 가장 적합한 지능형 서비스를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다[3,4].

특히, 최근에는 거주자의 존재 여부나 생활 패턴, 건강 상태 등과 같은 다양한 정보를 바탕으로 보다 질 높은 지능형 서비스를 제공해 줄 수 있는 위치 기반 서비스(location-based service)에 대한 관심이 증대되고 있다[5-7]. 즉, 스마트 홈에서 가전기기가 거주자의 존재 여부나 건강 상태를 자동으로 파악할 수 있다면, 가전기기가 보다 더 능동적으로 서비스를 수행할 뿐만 아니라, 거주자의 요구에 미리 대처할 수 있는 능력을 가지게 될 것이다. 예로 거주자가 가정 내에서 가사 일을 하거나 독서를 할 때, 냉방 시스템이 거주자의 활동 상태나 건강 상태를 파악할 수 있다면, 거주자에게 보다 더 최적화된 온도나 환기 조건을 제공해 줄 수 있을 것이다. 즉, 전통적인 가전기기는 거주자의 조작에 의하여 수동적으로 동작되지만 위치 기반 인간 적응형 가전기기(location-based human adaptive appliance)들은 거주자의 위치와 생활 패턴, 건강 상태 등을 스스로 파악하여 능동적으로 거주자에게 가장 적합한 생활 환경을 제공해 줄 수 있을 것이다.

이러한 이유로 1990년대 이후부터 실내(indoor)에서 거주자

의 위치를 파악하기 위한 실내 위치 인식 시스템(indoor location awareness system)에 대한 연구가 진행되어 왔다[5]. 일반적으로, 거주자의 위치는 단말기 기반 방법과 비단말기 기반 방법에 의하여 수 mm에서 수십 cm 이내로 상당히 정확하게 파악될 수 있다고 알려져 있다. 뿐만 아니라 거주자의 위치를 이용한 가전기기의 지능형 서비스에 대한 연구도 다수 진행되어 왔다. 그러나 거주자의 생활 패턴이나 건강 상태를 포함하는 인간 적응형 가전기기(human adaptive appliance)에 대해서는 연구가 많이 진행되지 못하고 있다. 현재, 거주자의 건강 상태를 파악하여 지능형 서비스를 제공하는 것으로는 헬스 케어 시스템(health care system)[8]이 주를 이루고 있으며 이를 가전기기의 지능화에 적용하려는 연구는 많이 부족한 상태이다.

본 논문에서는 위치 기반 인간 적응형 냉난방기(location-based human adaptive air-conditioner)를 개발하기 위하여 거주자의 위치 정보를 이용하여 신체 활동량(amount of physical activity or metabolic rate)[9]을 실시간으로 추정할 수 있는 알고리즘을 제안한다. 여기에서 신체 활동량은 음식물의 소화나 근육 운동에 의하여 소비되는 에너지량으로 정의된다. 즉, 신체 활동(physical activity)은 수면 동안의 활동, 작업 활동, 스포츠 활동, 청소나 세탁 등과 같은 가사 활동, 독서와 같은 여가 활동 등으로 구분될 수 있다. 전통적인 냉난방기는 거주자의 신체 활동과는 무관하게 미리 설정된 온도에 맞춰 실내 온도를 제어하는 시스템이다. 그러나 거주자는 실내에서 수면, 운동, 청소, 독서 등과 같은 여러 가지 신체 활동을 하게 됨으로써 거주자가 느끼는 실제 체감 온도와 실내 온도는 차이가 발생한다. 예로, 거주자가 휴식을 취하고 있을 때 쾌적하였던 실내 온도를 23℃라고 할 때 동일한 실내 환경에서 거주자가 청소나 운동을 하게 되면 신체 활동량이 높아져 거주자는 더위를 느끼게 된다. 이는 청소 혹은 운동 활동이 휴식 활동 보다 신체 활동량이 높기 때문이다.

그러나 스마트 홈에서 신체 활동량을 실시간으로 측정하

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2009. 11. 5., 수정: 2009. 11. 27., 채택확정: 2009. 12. 1.

김현희: 부산대학교 지능기계공학과(cjssus48@pnu.edu)

이 석: 부산대학교 기계공학부(slee@pnu.edu)

이경창: 부경대학교 전기제어공학부(gclee@pknu.ac.kr)

※ 이 논문은 2006년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2006-D00328).

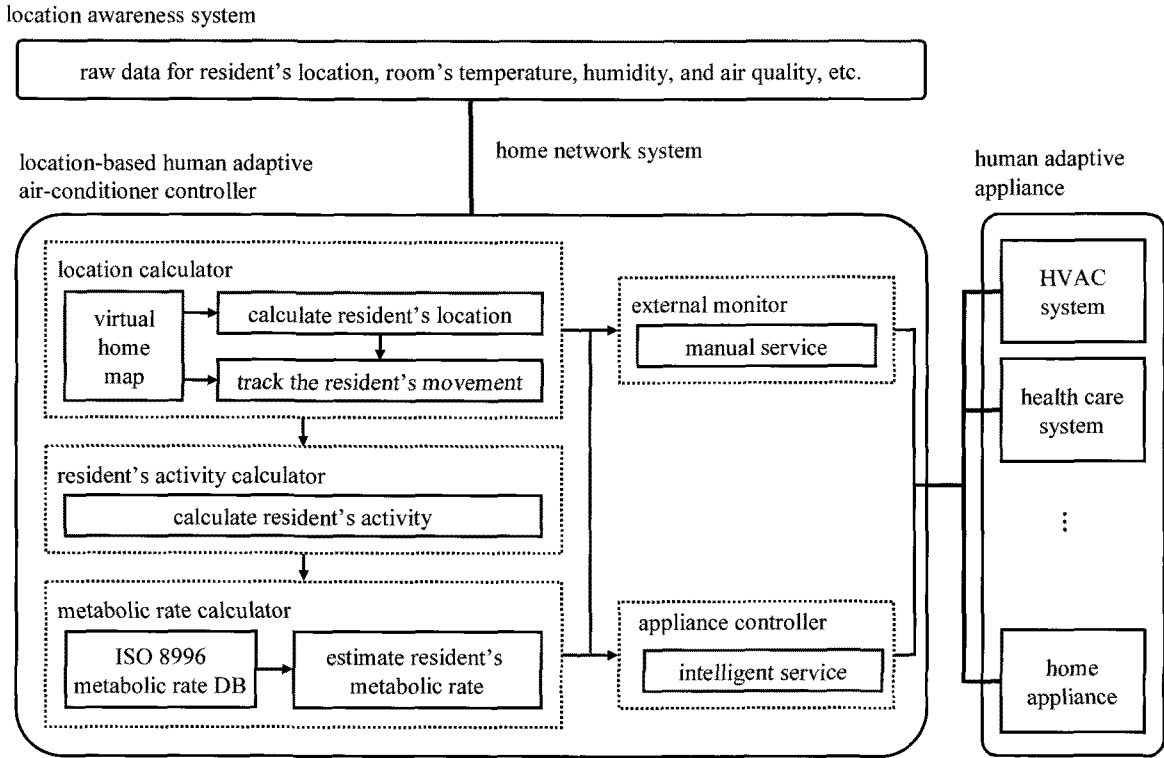


그림 1. 실내 위치 인식 시스템을 이용한 위치 기반 인간 적응형 냉난방기의 구조.
 Fig. 1. General framework of location-based human adaptive air conditioner using indoor location awareness system.

는 것은 쉽지 않다. 신체 활동량을 측정하는 방법으로는 심박동기를 이용하여 거주자의 심박동(heart rate)을 측정하는 방법[10], 가속도 센서를 이용하여 거주자의 보행 횟수로 신체 활동량을 측정하는 방법[11], 거주자의 산소 소비를 측정하는 방법[12] 등이 있다. 그러나 이러한 방법들은 거주자의 신체에 특정 장치를 부착하여 신체 활동량을 측정하는 방식으로서 실시간으로 거주자의 활동 변화를 즉각적으로 반영할 수 있다는 장점이 있지만 거주자로 하여금 불편을 느끼게 할 수 있고 거주자가 장치를 지닐 때만 측정이 가능하다는 단점이 있다. 또 다른 방법으로는 각 개인 또는 설문 응답자가 본인 또는 대상자의 신체 활동량을 설문 작성을 통해 추정하는 설문지 방법[13]이 있다. 그러나 설문지 방법은 설문자의 활동을 기억에 의존하여 추정하는 방식으로서 설문 작성이 번거롭고 실시간성이 반영되기 어렵다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 거주자가 불편을 느끼지 않도록 아무런 장치를 부착하지 않는 비단말기 기반 위치 인식 시스템을 이용하여 거주자의 신체 활동량을 추정하는 위치 기반 신체 활동량 추정(location-based metabolic rate estimation)을 제안한다. 즉, 본 논문에서는 비단말기 기반 실내 위치 인식 시스템에서 거주자의 위치를 추정하고, 이를 이용하여 거주자의 신체 활동량을 추정하는 방법을 제안한다.

본 논문은 서론을 포함하여 V 장으로 구성되어 있다. II 장에서는 실내 위치 인식 시스템을 이용한 위치 기반 인간 적응형 냉난방기의 일반적인 구조에 대하여 설명하고 III 장에서는 위치 기반 인간 적응형 냉난방기를 위하여 거주자의 위치 정보를 이용한 위치 기반 신체 활동량 추정 방법에 대하여 설명한다. IV 장에서는 실내 실험 장치를 이용하여 제안된

위치 기반 신체 활동량 추정 방법의 성능을 평가하고, 위치 기반 인간 적응형 냉난방기에서의 적용 가능성을 평가한다. 마지막으로 V 장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대하여 서술한다.

II. 위치 기반 인간 적응형 냉난방기의 구조

본 논문에서는 실내에서 거주자의 불편함을 최소화하면서 거주자의 신체 활동량을 측정하여 지능형 서비스를 제공할 수 있는 그림 1과 같은 실내 위치 인식 시스템을 이용한 위치 기반 인간 적응형 냉난방기의 구조를 제안한다. 그림에서, 전체 시스템은 실내 위치 인식 시스템과 위치 기반 인간 적응형 냉난방기 제어기, 다양한 형태의 인간 적응형 가전기기 로 구성되어 있다.

먼저 거주자에게 지능형 서비스를 제공하기 위해서는 거주자의 위치 정보(resident's location)나 방의 온도(temperature), 습도(humidity), 공기 질(air quality) 등과 같은 정보가 수집되어야 한다. 일반적으로, 이러한 정보는 실내 위치 인식 시스템으로부터 얻을 수 있으며 홈 네트워크 시스템(home network system)을 통하여 위치 기반 인간 적응형 가전기기 제어기로 전송된다. 인간 적응형 가전기기 제어기는 거주자의 위치와 생활 패턴, 건강 상태 등을 스스로 파악하여 거주자에게 가장 적합한 생활 환경을 결정하고 이러한 환경을 만들기 위하여 냉난방기나 HVAC (Heat Ventilation Air Conditioning) 기기 등과 같은 다양한 인간 적응형 가전기기를 능동적으로 제어하게 된다.

위치 기반 인간 적응형 냉난방기 제어기에서는 거주자의 위치에 따른 지능형 서비스를 제공하기 위하여 다음과 같은

4가지 기능을 제공한다. 첫째, 거주자 위치 계산기(resident's location calculator)는 주거 환경에 대한 설계도가 저장되어 있는 가상 홈 맵(virtual home map)과 실내 위치 인식 시스템으로부터 수신된 거주자 정보를 이용하여 거주자의 위치 정보를 계산한다. 그리고 나서, 일련의 거주자 위치 정보를 이용하여 거주자의 이동 궤적을 계산한다. 둘째, 거주자 행동 계산기(resident's activity calculator)는 거주자의 이동 궤적과 위치 등을 고려하여 현재 거주자가 어떤 활동을 하고 있는지를 추정한다. 셋째, 거주자 활동량 계산기(metabolic rate calculator)는 거주자 위치 계산기로부터 계산된 위치와 거주자 행동 계산기에 의하여 추정된 이동 속도나 행위 등과 같은 정보를 이용하여 ISO 8996 신체 활동량 데이터베이스(metabolic rate DB)[14]로부터 거주자의 신체 활동량을 추정한다. 넷째, 거주자의 위치와 행위, 신체 활동량 등이 결정되고 나면, 가전기기 제어기는 거주자에게 인간 친화적(human friendly)인 서비스를 제공하기 위하여 냉난방기나 HVAC 기기 등을 위한 적절한 제어 값을 결정하게 된다. 이렇게 결정된 제어 값은 홈 네트워크 시스템을 통하여 인간 적응형 가전기기로 전달된다. 마지막으로 실내 위치 인식 시스템은 인간 적응형 가전기기의 제어에 따라 변화되는 온도나 습도, 조명 등과 같은 실내 생활 환경 변화를 실시간으로 감지하여 위치 기반 인간 적응형 냉난방기 제어기로 전송하게 되고, 가전기기 제어기는 이를 실시간으로 반영하여 보다 더 거주자에게 적합한 제어 값을 결정하게 된다.

III. 거주자의 위치 기반 신체 활동량 추정 알고리즘

1. PIR 센서 기반 거주자 위치 인식 시스템의 구조

위치 기반 인간 적응형 냉난방기에서 자율적인 온도 제어를 위해서는 거주자의 신체 활동량이 추정되어야 한다. 본 논문에서는 PIR (Pyroelectric Infrared) 센서 기반 실내 위치 인식 시스템 (PIR sensor based indoor location-aware system, PILAS)[15,16]을 이용하여 거주자의 위치와 이동 패턴을 파악하고, 이를 이용하여 신체 활동량을 추정하였다.

본 논문에서 사용된 PILAS에서는 방을 하나의 셀로 간주하며 각 셀에는 거주자 위치 인식을 위한 다수의 PIR 센서들과 실내 환경 정보를 위한 온-습도 센서, 그리고 기류 센서 등이 설치되어 있다. 각 PIR 센서 모듈은 거주자 위치 인식 알고리즘을 이용하여 센싱 영역 내에 거주자가 위치하는지를 판단하게 되고, 홈 네트워크를 이용하여 각 셀마다 하나씩 배치된 룸 터미널(room terminal)로 거주자 감지 정보를 전송하게 된다. 룸 터미널에서는 각 PIR 센서들로부터 수신된 거주자 감지 정보를 융합하여 거주자가 위치해 있는 영역을 결정한다.

PILAS에서 거주자의 위치 인식을 위한 방법은 그림 2와 같다. 그림 2(a)와 같이 PILAS에는 다수의 PIR 센서들이 센싱 영역이 중복되도록 천정에 설치되어 있다. 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, 그림 2(b)에서 거주자가 B 영역에 있는 경우 센서 a와 b는 on 신호를 출력하고 센서 c는 off 신호를 출력하므로, PILAS는 거주자가 B 영역에 있다고 판단을 한다. 여기에서, 거

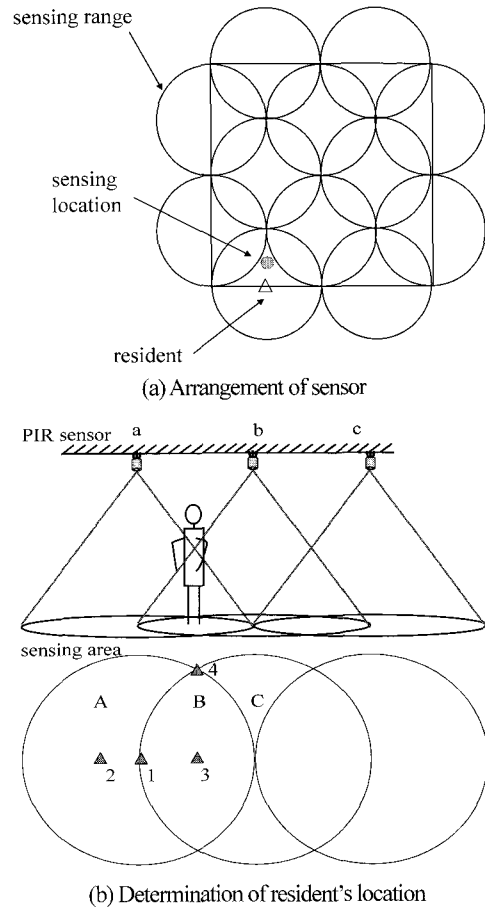


그림 2. 거주자 인식을 위한 센서 배치.

Fig. 2. Arrangement of PIR sensors for resident detection.

주자의 위치는 on 신호를 출력하는 센서들의 개수와 배치 형태에 따라 결정된다. 만약, 영역 A와 같이 하나의 센서(센서 a)만이 on이 되는 경우(센서 b, c는 없다고 가정한다면), 거주자 위치는 해당 센서의 중심 위치(포인트 1)로 결정된다. 그리고 센서 a, b가 존재하고 센서 a만이 on 되는 경우에는 영역 A의 도심(centroid)(포인트 2)이 거주자의 위치로 결정된다. 영역 B와 같이 두 개의 센서(센서 a와 b)가 동시에 on 되는 영역의 경우, 두 개의 센서에 의하여 만들어지는 영역의 도심(포인트 3)에 거주자가 위치해 있다고 결정된다. 마지막으로, 3개 이상의 센서가 on 되는 영역의 경우, 3개 이상의 센서의 위치에 의하여 만들어지는 도형의 도심이 거주자의 위치로 결정된다.

2. 거주자 신체 활동량 추정

본 논문에서는 거주자의 신체 활동량을 추정하기 위하여 다음과 같은 두 가지 방법을 병행하여 사용한다. 첫 번째는 거주자의 활동이 이루어지는 특정 위치를 이용한 신체 활동량 추정 방법이다. 일반적으로 거주자가 생활하는 공간은 집의 구조와 가구 등을 이용하여 특정 구역으로 구분될 수 있으며, 각 구역에서 행해지는 활동은 대표 활동으로 지정될 수 있다. 예로, 거주자가 침대에서 일정 시간 이상 움직임이 없다면 취침을 한다고 추정될 수 있다. 또한 책상에서 일정 시간 위치한다면 독서나 학습을 한다고 추정될 수 있다. 이러한 방법으로, 실내 특정 위치에서의 대표 활동이 적절하게

표 1. 행위별 신체 활동량 (ISO 8996).

Table 1. Metabolic rates of different activities (ISO 8996).

| Physical activity | Metabolic rate | |
|--|------------------|-----|
| | W/m ² | met |
| Reclining | 46 | 0.8 |
| Seated, relaxed | 58 | 1.0 |
| Sedentary activity (office, dwelling, school, laboratory) | 70 | 1.2 |
| Standing, light activity (shopping, laboratory, light industry) | 95 | 1.6 |
| Standing, medium activity (shop assistant, domestic work, machine work) | 115 | 2.0 |
| Walking on level ground: | | |
| 2 km/h | 110 | 1.9 |
| 3 km/h | 140 | 2.4 |
| 4 km/h | 165 | 2.8 |
| 5 km/h | 200 | 3.4 |

설정되고 이러한 설정이 가상 홈 맵(virtual home map)에 기록된다면, 거주자가 실내 특정 위치에 지속적으로 머물 때 거주자의 활동이 추정될 수 있고 거주자의 활동에 맞는 신체 활동량이 추정될 수 있을 것이다. 이 때, 거주자의 활동에 따른 신체 활동량 추정은 표 1과 같이 ISO 8996에서 제안하고 있는 신체 활동에 근거하여 이루어진다. 예로, 거주자가 소파에서 일정 시간 움직임이 없는 경우 휴식(seated, relaxed)으로 간주하고 신체 활동량을 58W/m²로 추정한다. 반대로, 책상에서 일정 시간 움직임이 없는 경우 앉은 자세의 활동(sedentary activity)으로 간주하고, 신체 활동량을 70W/m²로 추정한다.

두번째는 거주자의 이동 속도를 이용한 신체 활동량 추정 방법이다. 위치 인식 시스템을 이용하여 거주자가 현재 위치에서 얼마 동안 어느 정도의 속도를 가지고 이동했는지를 계산하고 계산된 이동 속도에 따라 거주자의 신체 활동량을 추정한다. 이 때, 이동 속도에 따른 신체 활동량은 표 1의 이동 속도에 의한 신체 활동량 구간에 따라 선형(linear) 근사화시킨 식(1)에 의하여 추정된다.

$$M = \begin{cases} 30v + 50, & v \leq 3km/h \\ 25v + 65, & 3km/h < v \leq 4km/h \\ 35v + 25, & 4km/h < v \end{cases} \quad (1)$$

여기에서, v 는 거주자의 추정된 속도, M 은 추정된 신체 활동량이다. 즉, 이동 속도가 3.5km/h인 경우 153.75W/m²로 추정된다.

그림 3은 위치 기반 신체 활동량 추정 알고리즘의 흐름도를 나타내고 있다. 먼저, PILAS로부터 수신된 센싱 정보를 이용하여 거주자의 위치를 계산한다. 그리고 나서 주기적으로 위치 정보와 시간 정보를 이용하여 이동 시간, 이동 거리, 이동 속도를 계산한다. 이렇게 추정된 이동 속도는 위치 인식 시스템의 위치 인식 오차가 포함되어 있기 때문에, 거주자가 일정한 속도를 유지한다 하더라도 추정된 이동 속도는 편차를 가지게 된다. 따라서 직전 k 개의 이동 속도를 이동 평균(moving average)하여 평균 이동 속도를 계산함으로써 위치 인식 오차를 줄일 필요가 있다. 거주자의 위치와 이동성이

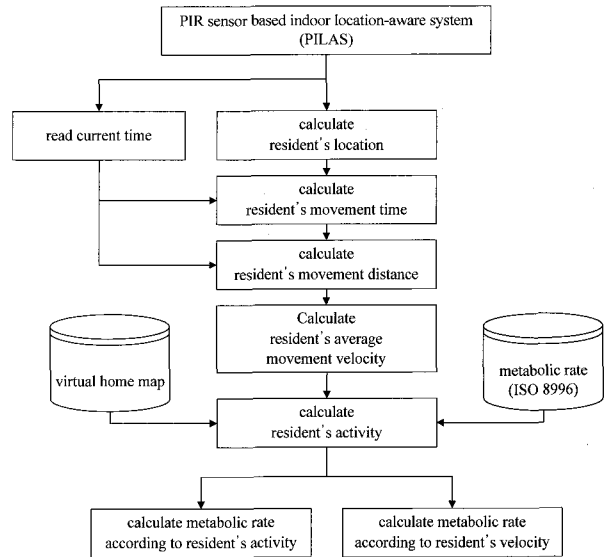


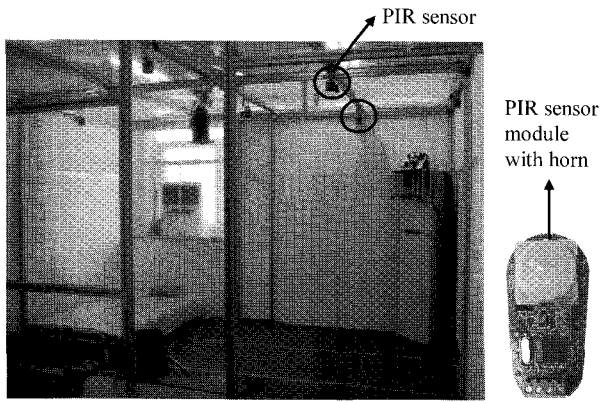
그림 3. 거주자 위치 인식 기반 신체활동량 추정 알고리즘.

Fig. 3. Flowchart of location-based metabolic rate estimation algorithm.

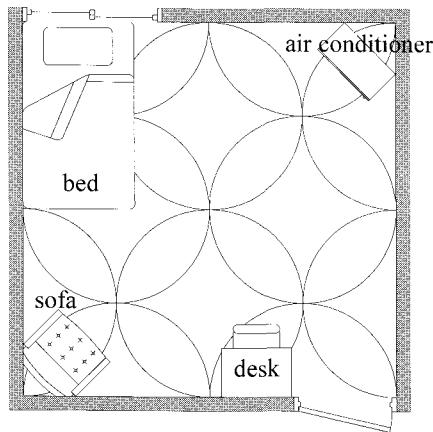
추정되고 나면, 가상 홈 맵을 이용하여 거주자의 행동이 수면이나 휴식과 같은 특정 활동인지 아니면 특정 활동으로 판단하지 못하고 단지 이동 속도만을 고려해야 되는지를 판단한다. 마지막으로 ISO 8996에 기반한 신체 활동량 추정 방법을 이용하여 거주자의 특정 활동이나 이동 속도에 따라 신체 활동량이 결정된다.

IV. 위치 기반 신체 활동량 추정 방법의 성능 평가

본 절에서는 위치 기반 인간 적응형 냉난방기에서 거주자 위치 인식 기반 신체 활동량 추정 방법의 적용 가능성을 확인하기 위하여 실내 실험 장치를 구현하고 거주자 행위에 따른 신체 활동량 변화를 실시간으로 관찰하였다. 먼저, 본 논문에서는 그림 4(a)와 같은 스마트 홈 실험 장치를 구축하였다. 스마트 홈의 크기는 4 m × 4 m × 2.5 m (width × length × height)로서 하나의 방으로 간주될 수 있다. 실험 장치의 천장에는 실내 거주자의 위치를 파악하기 위하여 12개의 PIR 센서를 설치하였다. PIR 센서 모듈에는 신호 처리 및 센서 on/off 판단을 위하여 마이크로컨트롤러로 AT89C51CC001이 사용되었으며, PIR 센서로는 Nippon Ceramic사의 RE431B, Fresnel 렌즈로는 NL-11이 사용되었다. 또한 PIR 센서에 혼(horn)을 부착하여 센싱 영역을 2m로 조정하였으며, 원하는 센싱 영역 내에 존재하는 거주자만 인식할 수 있도록 하였다. 그리고 PIR 센서모듈로부터 측정된 PIR 출력 값은 CAN 네트워크를 통해 중앙 컨트롤러인 가전기기 제어기로 전송되어 거주자의 위치를 추적하고 신체활동량을 추정 계산한다. 마지막으로 실내 실험 장치에서 집의 구조와 가구 등의 위치가 기록된 가상 홈 맵은 1인 거주자의 실내 주거 환경과 유사하게 그림 4(b)와 같이 구성하였다. 그림 4(b)와 같이 설정함에 따라 해당 영역에서 거주자가 일정 시간 이상 움직임이 없다면, 침대에 누워 있거나, 소파에 앉아 있거나, 책상에 앉아 있는 것으로 간주하였다. 또한 본 실험 장치에서 거주자의 위치 인식은 약 500ms 주기로 갱신되며, 신체활동량 추정



(a) Experimental test bed



(b) Placement of furniture

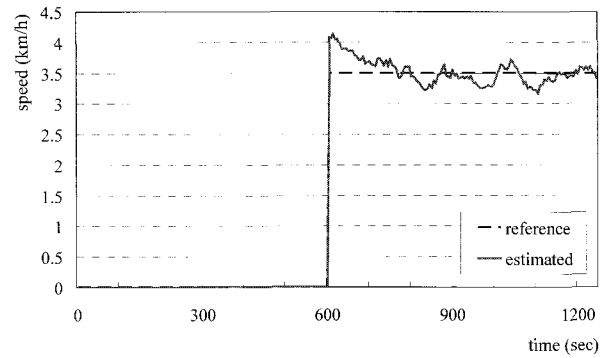
그림 4. 위치 기반 인간적응형 냉난방기 실험 장치.

Fig. 4. Experimental test bed of location-based human adaptive air-conditioner.

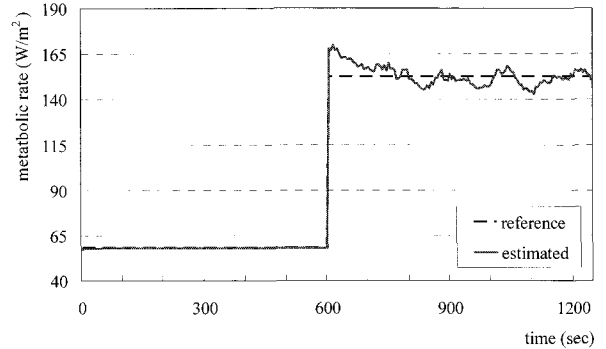
을 위하여 초기 100 샘플(약 50초)의 관찰 시간 후부터 측정을 시작하였다.

본 논문에서는 거주자 위치 인식 기반 신체 활동량 추정 방법의 성능을 확인하기 위하여 다음과 같은 두 가지 실험을 수행하였다. 첫째, 거주자가 특정 위치에서 일정 시간 휴식 후 집 안에서 활동을 하였을 때, 신체 활동량이 거주자의 움직임에 맞춰 실시간으로 변화되는 지를 관찰하였다. 두번째, 거주자가 일정 시간 이동과 휴식을 반복할 때, 거주자 위치 인식 기반 신체 활동량 추정 방법에 의한 거주자의 이동 속도와 신체 활동량의 변화를 관찰하였다.

그림 5는 거주자가 소파에서 10분(600초) 동안 휴식을 취한 후, 실내에서 평균 3.5km/h(3-4km/h)의 속도로 이동할 때의 거주자의 속도와 신체 활동량 변화를 나타내고 있다. 그림에서 점선은 ISO 8996의 거주자 이동에 따른 기준 값(reference value)으로서, 거주자가 평균 3.5km/h로 움직인다고 가정하였을 때의 신체 활동량을 표시한 것이다. 즉, 거주자가 소파에서 휴식을 취한다고 가정할 때(seated, relaxed) 이동 속도는 0km/h이고 신체 활동량은 58W/m²로 설정되며, 방안에서 평균 3.5km/h 속도로 이동한다고 가정할 때(walking) 신체 활동량은 152.5W/m²로 설정된다. 반면 실선은 거주자 위치 인식 기반 신체 활동량 추정 방법에 의하여 추정된 신체 활동량을 나타내고 있다. 그림 5(a)는 거주자 위치 인식 시스



(a) Speed of resident



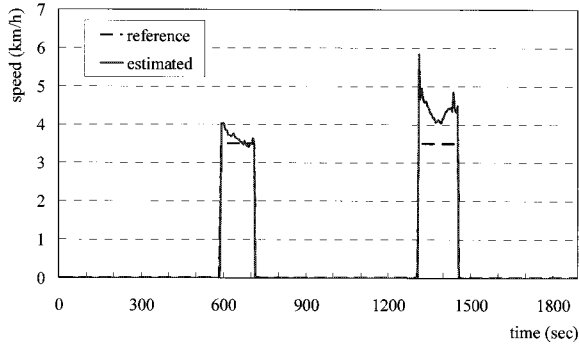
(b) Metabolic rate of resident

그림 5. 거주자가 휴식-이동할 때의 속도와 신체활동량.

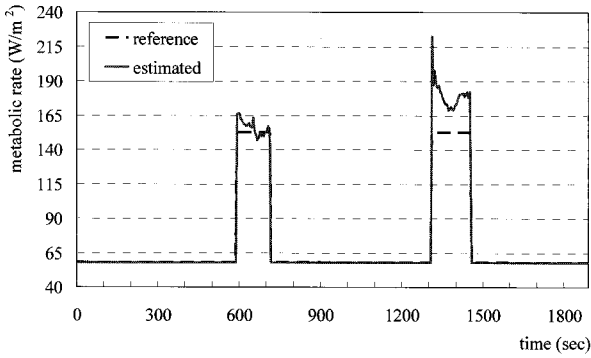
Fig. 5. Resident's velocity and metabolic rate on walking after seated, released.

템으로부터 계산된 속도를 나타내고 있으며, 그림 5(b)는 추정된 이동 속도에 따라 식 (1)을 이용하여 계산된 신체 활동량을 나타내고 있다. 그림에서 거주자 위치 인식 기반 신체 활동량 추정 방법은 10분 동안 거주자의 움직임이 거의 없고 소파에 위치해 있다고 관측되기 때문에 신체 활동량을 58 W/m²로 추정한다. 10분이 지난 후 거주자가 어느 정도 일정한 속도로 움직이기 시작하자, 거주자 위치 인식 기반 신체 활동량 추정 방법은 거주자의 이동 속도를 실시간으로 측정하고, 측정된 이동 속도에 따라 신체 활동량을 140 ~ 165 W/m²로 추정한다.

그림 6은 거주자가 소파에서 10분(600초) 동안 휴식을 취한 후, 2분(120초) 동안 실내에서 이동하는 것을 두 번 반복할 때의 거주자의 속도와 신체 활동량 변화를 나타내고 있다. 이 때, 첫번째 이동에서는 평균 3.5km/h로 이동하였고, 두 번째 이동에서는 첫번째 이동보다는 조금 더 빠른 평균 4.5km/h로 이동하였다. 그림에서 점선은 그림 5와 같이 평균 3.5km/h로 움직인다고 가정하였을 때의 신체 활동량을 표시한 것이다. 반면 실선은 그림 5와 같이 거주자 위치 인식 기반 신체 활동량 추정 방법에 의하여 추정된 이동 속도와 신체 활동량을 나타내고 있다. 그림에서 거주자가 휴식 중일 때는 58 W/m²로, 거주자가 첫번째 이동할 때는 140 ~ 165 W/m²로, 두 번째 이동할 때는 165 ~ 215 W/m²로 추정된다. 이는 첫 번째 이동할 때 거주자의 이동 속도를 평균 3.5km/h가 되도록 유지하였고 두번째 이동은 첫번째 이동보다 조금 더 빠르게 움직였기 때문이다. 즉, 거주자 위치 인식 기반 신체 활동량 추정 방법은 실시간 측정이 가능하기 때문에, 첫번째



(a) Resident's walk speed



(b) Resident's metabolic rate

그림 6. 거주자가 휴식-이동-휴식할 때 속도와 신체활동량.
Fig. 6. Resident's metabolic rate on seated, released after walking.

이동에서는 거주자의 속도를 3 ~ 4km/h로 측정하였고, 두번째 이동에서는 4 ~ 6km/h로 측정하였기 때문이다. 이러한 결과로 볼 때, 거주자 위치 인식 기반 신체 활동량 추정 방법을 이용한 신체 활동량 추정은 위치 기반 인간 적응형 냉난방기에 정확한 거주자의 정보를 제공함으로써 보다 더 인간 친화적인 서비스를 제공하게 할 수 있을 것이다.

V. 요약 및 결론

본 논문은 거주자의 위치와 생활 패턴, 건강 상태 등을 스스로 파악하여 능동적으로 거주자에게 가장 적합한 생활 환경을 제공해 줄 수 있는 위치 기반 인간 적응형 냉난방기에서 인간 친화적인 서비스를 제공하기 위한 거주자 위치 기반 신체 활동량 추정 방법을 제안하였다. 이를 위하여 본 논문에서는 위치 기반 인간 적응형 냉난방기의 구조에 대하여 제안하였으며, PIR 센서 기반 거주자 위치 인식 시스템을 이용하여 실시간으로 거주자의 신체 활동량을 추정할 수 있는 거주자 위치 기반 신체 활동량 추정 방법을 제안하였다. 마지막으로 본 논문에서는 거주자 위치 기반 신체 활동량 추정 방법의 성능 평가와 위치 기반 인간 적응형 냉난방기에서의 적용 가능성을 평가하기 위하여 실험 장치를 구현하였다. 실험 장치를 이용한 성능 평가로부터 본 논문에서는 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 본 논문에서 제안하는 거주자 위치 기반 신체 활동량 추정 방법은 거주자가 불편을 느끼지 않도록 아무런 장치를 부착하지 않은 상태에서 거주자의 이동 속도를 측정하고 실시간으로 거주자의 신체 활동량을 측정할 수 있음을 확인할 수 있었다.

둘째, 일반적으로 실내에서 거주자의 활동은 규칙적이지 않다. 즉, 거주자의 활동과 이동 속도는 다양한 형태로 변할 수 있다. 거주자 위치 인식 기반 신체 활동량 추정 방법에서는 다양하게 변화하는 거주자의 활동과 이동 속도에 따라 거주자의 활동에 좀 더 일치하는 신체 활동량 추정이 가능하였다. 따라서 거주자 위치 인식 기반 신체활동량 추정 방법을 이용한 신체활동량 추정은 위치 기반 인간 적응형 냉난방기에 정확한 거주자의 정보를 제공함으로써, 보다 더 인간 친화적인 서비스를 제공하게 할 수 있을 것이다.

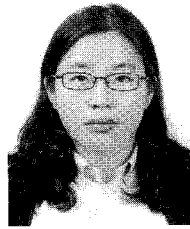
그러나 본 논문에서는 위치 기반 인간 적응형 냉난방기에서의 적용 가능성을 파악하기 위한 기초 연구로서 위치 기반 신체 활동량 추정 방법에 국한하였다. 따라서 향후 인간 친화적인 냉난방 서비스를 위하여 위치 기반 PMV(Predict Mean Vote) 추정 방법과 PMV 기반 지능형 냉난방기 제어 알고리즘을 가진 위치 기반 인간 적응형 냉난방기에 대한 연구가 필요하다. 또한 본 논문에서는 PIR 센서 기반 거주자 위치 인식 시스템을 이용하여 거주자의 이동 속도를 관측하였기 때문에 위치 인식 시스템이 가지는 인식 오차에 의하여 신체 활동량의 추정 오차가 발생하는 문제점이 있었다. 이에 따라, 위치 인식 시스템이 가지는 인식 오차를 최소화시켜 신체 활동량 추정 오차를 최소화시키는 연구가 필요하며 거주자에게 불편함을 야기시키지 않는 상태에서 거주자의 활동을 보다 더 정밀하게 측정할 수 있는 방법에 관한 연구가 필요하다. 또한 제안하는 시스템의 신체활동량 추정이 타당함을 검증하기 위하여 부착형 센서와 기타 실험적 방법을 이용할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 조영조, “스마트 홈의 유비쿼터스 컨트롤 기술-현황과 전망,” 제어 · 자동화 · 시스템학회지, 제9권 제6호, pp. 12-17, 2003.
- [2] M. R. Cabrer, R. P. D. Redondo, A. F. Vilas, A. Arias, and J. Duque, “Controlling the smart home from TV,” *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 52, no. 2, pp. 421-429, 2006.
- [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, 2003.
- [4] B. Rose, “Home networks: A standards perspective,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 39, no. 12, pp. 78-85, 2001.
- [5] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, “Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems,” *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C*, vol. 37, No. 6, pp. 1067-1080, 2007.
- [6] J. Hightower and G. Borriello, “Location systems for ubiquitous computing,” *IEEE Computer*, vol. 34, no. 8, pp. 57-66, 2001.
- [7] 조봉수, 조석빈, 양성오, 백광렬, 이동환, “이중 주파수와 코드를 이용한 초음파 위치 인식 시스템 구현,” 제어 · 로봇 · 시스템학회 논문지, 제14권 제7호, pp. 647-655, 2008.
- [8] T. S. Barger, D. E. Brown, and M. Alwan, “Health-status monitoring through analysis of behavioral patterns,” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part A*, vol. 35,

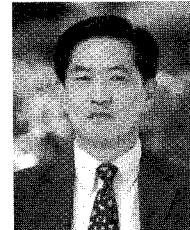
no. 1, pp. 22-27, 2005.

- [9] C. Caspersen, K. Powell, and G. Christenson, "Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research," *Public Health Reports*, vol. 100, no. 2, pp. 126-131, 1985.
- [10] S. M. Ceesay, A. M. Prentice, K. C. Day, P. R. Murgatroyd, G. R. Goldberg, W. Scott, and G. B. Spurr, "The use of heart rate monitoring in the estimation of energy expenditure: a validation study using indirect whole-body calorimetry," *British Journal of Nutrition*, vol. 61, no. 2, pp. 175-786, 1989.
- [11] 유향미, 서재원, 차은중, 배현덕, "3축 가속도 센서를 이용한 보행 횟수 검출 알고리즘과 활동 모니터링," 한국콘텐츠학회논문지, 제8권 제8호, pp. 253-260, 2008.
- [12] Y. Schutz, R. L. Weinsier, and G. R. Hunter, "Assessment of free-living physical activity in humans: An overview of currently available and proposed new measures," *Obesity Research*, vol. 9, no. 6, 368-379, 2001.
- [13] 이대택, 서용석, 손윤신, 문은미, 진유정, "국제신체활동량질문지(IPAQ)를 이용한 과제중 중년 주부들의 신체활동량 추정 및 신뢰도 평가," 한국생활환경학회지, 제14권 제1호, pp. 1-8, 2007.
- [14] ISO 8996:2004, Ergonomics of the thermal environment-Determination of metabolic rate, 2004.
- [15] 하경남, 이경창, 이석, "스마트 홈을 위한 PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템 개발," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제12권 제9호, pp. 905-911, 2006.
- [16] H. H. Kim, K. N. Ha, S. Lee, and K. C. Lee, "Resident location-recognition algorithm using a bayesian classifier in the PIR sensor-based indoor location-aware system," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, vol. 39, no. 2, pp. 240-245, 2009.



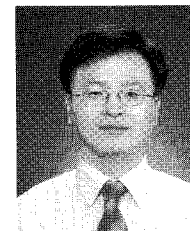
김현희

2000년 동명대학교 로봇시스템공학과(공학사). 2003년 부산대학교 지능기계공학과(공학석사). 2003년~현재 부산대학교 지능기계공학과 박사과정 재학중. 2006년~현재 기계공학연구정보센터 전임연구원. 관심분야는 홈 네트워크, human oriented mechanical system, 산업용 네트워크.



이석

1984년 서울대학교 기계공학과(공학사). 1985년 펜 실바니아 주립대학교(공학석사). 1990년 펜 실바니아 주립대학교(공학박사). 1990년~1993년 신시내티 대학교 기계공학과 조교수. 1993년~현재 부산대학교 기계공학부 교수. 관심분야는 홈 네트워크, 차량용 네트워크, 산업용 네트워크.



이경창

1996년 부산대학교 생산기계공학과(공학사). 1998년 부산대학교 지능기계공학과(공학석사). 2003년 부산대학교 지능기계공학과(공학박사). 1998년~2003년 기계공학연구정보센터 전임 연구원. 2003년~2005년 울산대학교 네트워크기반 자동화 연구센터 전임연구원. 2005년~현재 부경대학교 전기제어공학부 조교수. 관심분야는 필드버스, 산업용 이더넷, 차량용 네트워크, 홈 네트워크.