

◆특집◆ 스마트 홈의 기술 동향

PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템의 센서 배치를 위한 성능 지수

김현희*, 하경남*, 이경창**, 이석***

Performance Index for Sensor Arrangement of PIR Sensor-based Indoor Location Aware System

Hyun Hee Kim*, Kyoung Nam Ha*, Kyung Chang Lee** and Suk Lee***

Key Words: smart home(스마트 홈), pyroelectric infrared sensor(PIR 센서, 초전형 적외선 센서), indoor location detection system(위치 인식 시스템), sensor arrangement(센서 배치), performance index(성능 지수), resident detection(거주자 인식)

1. 서 론

최근 들어, 거주자에게 편리하고 안전하고 쾌적한 거주 환경을 제공하기 위하여, 스마트 홈(smart home)에 대한 요구가 증대되고 있다.^{1,2} 스마트 홈이란 유무선 네트워크를 이용하여 가정 내 가전 기기 및 장치를 연결하여 시간과 장소에 제약 없이 가정의 보안, 장치 제어, 에너지 관리, 방문자 관리, 건강 모니터링 등의 기능을 제공함으로써 거주자에게 안전한 삶, 편리한 삶, 건강한 삶을 보장하는 생활 공간이라 할 수 있다.

특히, 거주자의 존재 여부나 생활 패턴, 건강 상태, 감정 상태 등과 같은 다양한 정보를 바탕으로 보다 질 높은 지능형 서비스를 제공하기 위한 위치 기반 서비스(location based service)에 관한 연구가 활발히 진행 중이다.^{3,4} 즉, 스마트 홈에서 거

주자의 존재 여부나 생활 패턴을 파악할 수 있다면, 가전 기기들이 보다 능동적으로 서비스를 수행할 수 있을 뿐만 아니라, 거주자의 요구에 미리 대처할 수 있는 능력을 가지게 될 것이다. 한 예로, 현재의 냉난방기기는 거주자의 조작에 따라 수동적으로 동작하지만, 향후 냉난방기기는 거주자의 위치를 파악하여 보다 효율적으로 거주자에게 가장 적합한 환경을 제공해 줄 수 있을 것이다.

거주자의 위치를 인식하기 위한 방법으로 비단말기 방식의 PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템(PILAS: Pyroelectric infrared sensor-based Indoor Location Aware System)이 제안된 바 있다.⁵ PIR 센서는 인체에서 방출되는 적외선 파장을 이용하여 거주자를 인식한다. 그렇기 때문에, PILAS는 센서의 배치 방법이나 인식 영역의 크기에 따라 거주자의 인식과 위치 추적 정확도가 크게 달라진다.

본 논문에서는 이러한 PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템의 인식 정밀도를 높이기 위하여, 센서 배치, 인식 영역의 크기와 인식 정밀도 사이의 관계를 분석하고자 한다. 또한, 시스템의 성능을 평가할 수 있는 성능 지수를 개발하여 센서 배치에 따른 시스템의 위치 정밀도를 향상시키고자 한다.

* 부산대학교 지능기계공학과 대학원

** 부경대학교 전기제어공학부

*** 부산대학교 기계공학부

Tel. 051-510-2320, Fax. 051-514-0685

Email: slee@pusan.ac.kr

홈 네트워크(LnCP, LonWork), 산업용 필드버스(Profibus, Device-Net, BACnet) 및 차량용 네트워크(CAN, TTP, FlexRay, MOST) 분야에 관심을 두고 연구활동을 하고 있다.

본 논문은 서론을 포함하여 5 장으로 구성되어 있다. 2 장에서는 PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템에 대하여 설명하였다. 3 장에서는 PILAS의 센서 배치 평가를 위한 성능 지수를 제안하였으며, 4 장에서는 성능 지수를 이용한 센서 배치 평가를 수행하였다. 마지막으로 5 장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대하여 서술하였다.

2. PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템

본 논문에서 제안된 PILAS는 방을 하나의 셀로 간주하며, 각 셀에는 거주자의 위치를 인식하기 위한 다수의 PIR 센서가 천정에 설치된다. 그리고, 각 PIR 센서 모듈은 거주자 감지 알고리즘을 이용하여 PIR 센서의 센싱 영역(sensing area) 내에 거주자가 위치하는지를 판단하게 되고, 홈네트워크를 이용하여 각 셀의 룸 터미널로 거주자 감지 정보를 전송하게 된다. 룸 터미널에서는 각 PIR 센서들로부터 수신된 거주자 감지 정보를 융합하여 거주자가 위치해 있는 영역을 설정하고, 그 결과를 스마트 홈 서버로 전송하게 된다.

PILAS에서 거주자 인식은 거주자가 특정 영역에 위치할 때, PIR 센서들의 감지 정보를 이용하여 거주자가 어떠한 영역에 속해 있는지를 결정하게 함으로써, 거주자의 위치가 파악된다. 예로, Fig. 1에서 거주자가 B 영역에 있는 경우 센서 a와 b는 on 신호를 출력하고, 센서 c는 off 신호를 출

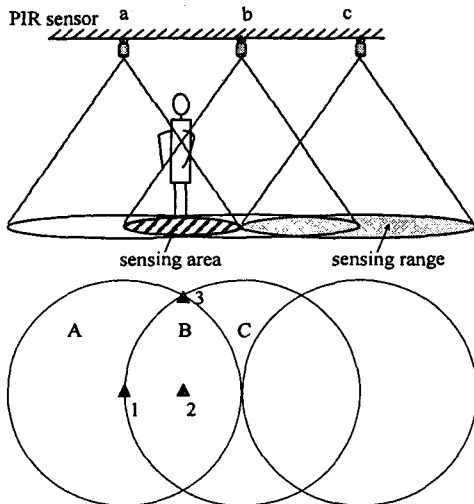


Fig. 1 The location-recognition algorithm for PIR sensors

력하므로, 본 시스템은 거주자가 B 영역에 있다고 판단을 한다. 여기에서, 거주자의 위치는 on 신호를 출력하는 센서들의 개수와 배치 형태에 따라 결정된다. 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, 3 개 이상의 센서가 on되는 영역의 경우, 3 개 이상의 센서의 위치에 의하여 만들어지는 도형의 도심(centroid)이 거주자의 위치로 결정한다.

본 시스템에서의 거주자 위치는 센서의 배치 방법에 따라 위치 정밀도(precision)가 달라진다. 즉, PILAS에서 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 정밀도는 센싱 영역 B를 포함하는 외접원의 반지름인 $\sqrt{3}/2m$ 가 된다. 따라서, Fig. 1과 같은 배치의 경우, 위치 정밀도는 센서의 위치를 중심으로 한 외접원의 반지름들 중 가장 큰 1m라고 볼 수 있다.

그러므로, PILAS에서는 인식 공간에 설치되어 있는 센서의 수와 각 센서의 센싱 영역(sensing area)에 따라 위치 정밀도가 큰 차이를 나타낼 수 있다. 따라서, 적은 수의 PIR 센서를 이용하여 높은 위치 정밀도가 보장될 수 있도록 적절한 형태의 센서 배치가 필요하다.

3. PILAS의 센서 배치 평가를 위한 성능 지수

3.1 PILAS의 정밀도와 비용

PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템에서의 인식 정밀도는 센서 인식 영역의 기하학적 형상과

그 배치에 따라 달라진다. 또한, 초기 시스템 구축 비용이 동일하다는 전제 하에서 추가적인 비용은 시스템에 사용된 센서의 개수에 따라 달라질 수 있다.

Fig. 2(a)는 센서의 센싱 범위(sensing range)가 좁고 센싱 영역(sensing area)이 겹치지 않는 경우, 적은 비용과 단순한 거주자 인식 알고리즘으로 거주자를 인식할 수 있다. 그러나, 거주자 인식 분할 영역(divided area)이 적기 때문에 거주자의 인식 위치 오차가 커져 신뢰성 있는 위치 인식이 어렵다. 센서의 센싱 범위가 좁고 센싱 영역이 겹쳐지는 Fig. 2(b)는 센서 수의 증가로 인하여 시스템 구축 비용 증가와 거주자 인식을 위한 복잡한 알고리즘 연산이 필요하다. 그럼에도, 중첩된 센서 배치로 인하여 인식 분할 영역이 늘어나 거주자 위치 인식의 오차는 줄일 수 있다. Fig. 2(c)와 2(d)는 센서의 센싱 범위가 넓고 센싱 영역이 겹쳐지는 경우로 Fig. 2(b)와 비교했을 때, 시스템 구축 비용은 감소하지만, 센싱 범위가 커서 거주자의 위치에 따라 오차 범위 또한 커져 정밀한 위치 인식이 어렵다.

결과적으로 위치 인식 시스템에 배치되는 센서의 개수(Number), 구분 가능한 인식 영역의 크기(Area), 위치 인식 시스템의 정밀도(Precision)와 그에 따른 비용(Cost)의 관계는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다.

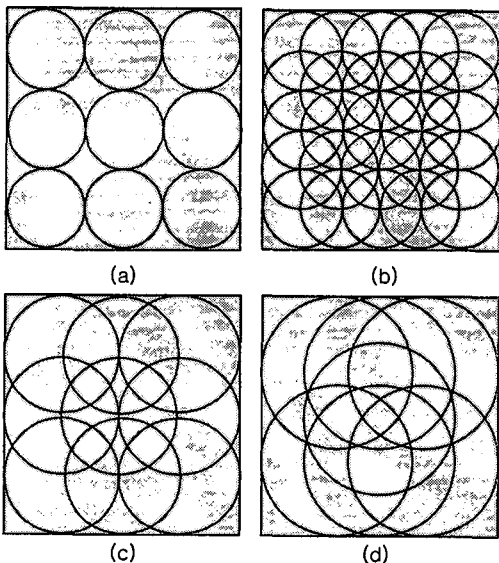


Fig. 2 Example of sensors arrangement

$$\frac{Number}{Area} \propto (Cost, Precision) \quad (1)$$

식 (1)에서 보는 바와 같이 센서의 위치 인식 정밀도와 비용은 센서의 개수에 비례하며, 구분 가능한 인식 영역의 크기에 반비례한다.

그러므로, 고정밀, 저비용의 위치 인식 시스템을 구현하기 위해서는 제한된 숫자의 센서를 적절히 배치하여 구분되는 분할 영역의 개수를 최대화하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 제한된 숫자의 센서 배치를 최적화하기 위한 평가 지수로 몇 가지 성능 지수를 제안한다.

3.2 센서 배치 평가를 위한 성능 지수

본 논문에서는 PILAS의 성능을 평가하기 위해 5 가지 성능 지수를 제안한다. 우선 시스템의 정밀도를 평가하기 위한 척도로써 구분은 인식 영역의 개수(n_{area}), 최대 오차 거리($error_{max}$), 평균 오차 거리($error_{mean}$)를 정의하고 시스템의 비용을 평가하기 위해 단위 면적당 센서의 개수(S/A Ratio)를 정의한다. 또한, 센서의 배치는 주어진 위치 인식 공간을 모두 포함할 수 있도록 배치되어야 하며, 이에 대한 평가 척도로써 인식 가능 영역의 크기 비율(D/A Ratio)를 정의한다.

3.2.1 센서의 인식 영역 개수(n_{area})

센서의 배치에 따라 분할되어 구분되는 인식 가능한 영역의 개수는 시스템의 정밀도를 평가하는 중요한 기준이 된다. Fig. 3은 서로 다른 센싱 범위를 가진 9 개의 센서를 같은 크기의 공간에 배치한 예이다. 중첩 영역을 가지지 않은 Case I의 경우, 단일 센서가 가지는 센싱 범위들로 구분 가능한 9 개의 인식 가능 영역을 가진다. 반면에 Case II에서는 9 개의 센서가 센싱 범위가 서로 중첩적으로 배치되어, Case I 보다 약 4.5 배 많은 인식 영역을 분할하여 구분 가능한 인식 영역의 수는 40 개이다.

3.2.2 최대 오차 거리($error_{max}$)

최대 오차 거리는 시스템에서 인식하는 거주자의 위치와 발생할 수 있는 실제 거주자 위치와의 최대 거리 오차를 수학적으로 계산한 것이다. 구분 가능한 최소 영역에 접근한 거주자에 대하여

시스템 영역 내부에서는 거주자의 위치를 구분할 수 없다. 따라서, 시스템은 구분 가능한 i 영역 내부에 접근한 거주자를 i 영역의 중심(O_i) 위치에 있다고 판단하는 것이 실제 거주자의 위치와 시스템에서 판단한 추정의 위치 오차가 최소가 된다.

Fig. 4 는 3 개의 센서를 배치에 따라 7 개의 구분 가능한 인식 영역으로 나뉘어진 그림을 보여주

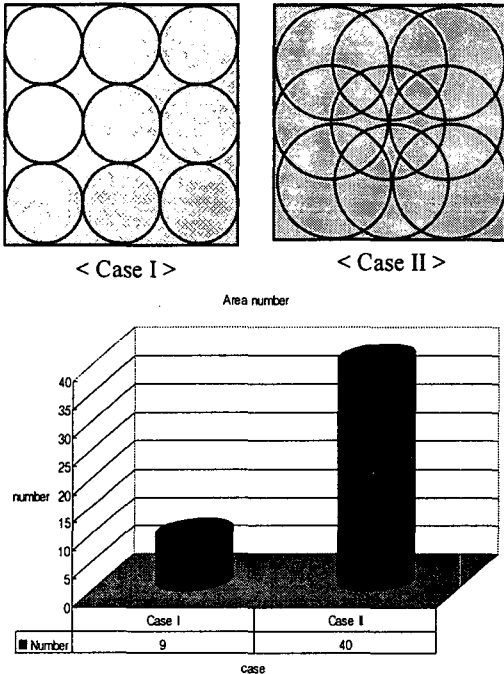


Fig. 3 Comparison of nine sensor arrangement

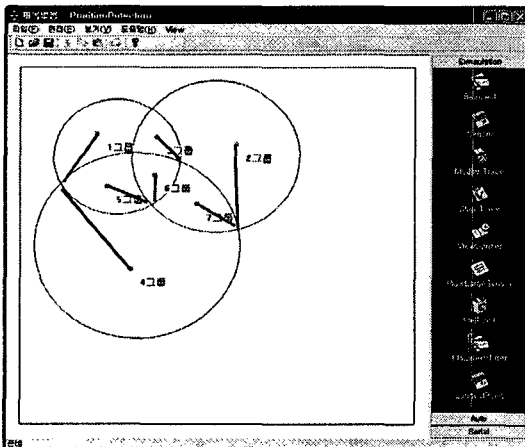


Fig. 4 Maximum error distance of divided area

고 있다. 구분 가능한 각각의 인식 영역에 대하여 시스템이 인식하는 거주자의 위치는 각 영역의 중심(O_i)이며, 최대 오차는 영역을 둘러싸고 있는 원호($contour_i$)와 영역의 중심(O_i)간의 거리를 식 (2)로 정의할 때, 식 (3)으로 정의할 수 있다.

$$error_i = distance(O_i, Contour_i) \quad (2)$$

$$error_{max} = MAX(error_i) \quad (3)$$

Fig. 4 에 대한 각 영역의 최대 오차 거리 $error_{max}$ 는 Table 1 과 같고, 전체 시스템의 최대 오차 거리는 4 그룹 영역에서 나타난다.

3.2.3 평균 오차 거리($error_{mean}$)

평균 오차 거리는 시스템에서 인식하는 거주자의 위치와 실제 거주자의 위치 오차에 대한 평균이다. 구분 가능한 영역 i 에 대한 평균 오차 거리는 식 (4)와 같이 정의한다.

$$error_{mean(i)} = \frac{1}{n} \left(\sum_{k=1}^n error_k \right) \quad (4)$$

평균 오차 거리를 얻기 위해서는 영역 i 를 매우 작은 요소(element)들로 균등하게 분할해야 하는데, 식 (4)에서 n 은 분할된 요소의 개수이다. Fig. 5 에서는 7 개의 구분 가능한 영역으로 나뉘어진 센서 배치에서 각 영역의 평균 오차 거리를 보여주고 있으며, 그 결과는 Table 2 에 정리된 바와 같다. 분할된 각 영역 i 의 평균 오차거리 $error_{mean(i)}$ 를 이용하면 식 (5)를 이용해 전체 시스템의 평균 오차 거리 $error_{mean}$ 을 얻을 수 있다.

Table 1 Max. error distance of divided area in figure 4

Area	$error_{max}$
Group 1	16.64
Group 2	23.84
Group 3	9.05
Group 4	29.83
Group 5	12.44
Group 6	8.57
Group 7	12.67

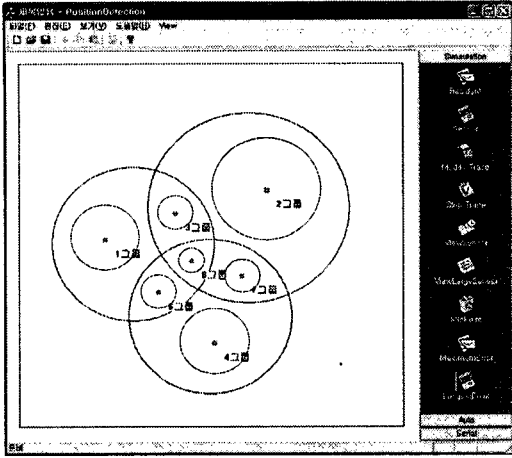


Fig. 5 Mean error distance in divided area

Table 2 Mean error distance of divided area in figure 5

Area	error _{mean}
Group 1	11.50
Group 2	15.26
Group 3	6.36
Group 4	11.50
Group 5	5.38
Group 6	4.30
Group 7	6.37

며, Fig. 5의 예에 대한 전체 시스템 평균 오차 거리는 8.67이다.

$$error_{mean} = \frac{1}{n_{area}} \left(\sum_{i=0}^k error_{mean(i)} \right) \quad (5)$$

3.2.4 단위 면적당 센서의 개수(S/A Ratio)

식 (1)에서 정의된 바와 같이, 센서의 개수가 많아질수록 시스템의 위치 정밀도는 향상될 수 있으나 시스템 구축 비용은 증가한다. 따라서, 최소한의 센서로 높은 정밀도를 얻는 것이 중요하다. 본 논문에서는 위치 인식 시스템의 비용에 대한 평가 척도로 식 (6)과 같이 단위 면적당 센서의 개수를 정의한다.

$$S/A \text{ Ratio} = \frac{\text{Number of Sensors}}{\text{System Area}} \quad (6)$$

Fig. 6의 예에서, S/A Ratio는 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Number of Sensor} &= 5 \\ \text{Total Area} &= L^2 \\ S/A \text{ Ratio} &= \frac{5}{L^2} \end{aligned} \quad (7)$$

3.2.5 인식 가능 영역 비율

PILAS에서 PIR 센서 배치는 전체 시스템 공간을 최대한 포함할 수 있어야 한다. 이에 대한 평가 척도로 인식 영역 비율 D/A Ratio를 식 (8)과 같이 정의하였고, 전체 공간에 대하여 인식 가능한 센싱 영역의 크기를 비교하여 얻을 수 있다.

$$D/A \text{ Ratio} = \frac{\text{Detectable Area}}{\text{System Area}} \quad (8)$$

Table 3에서는 Fig. 6의 센서 배치에 대한 단위 면적당 센서 개수 S/A Ratio와 인식 영역 비율 D/A Ratio를 보여주고 있다.

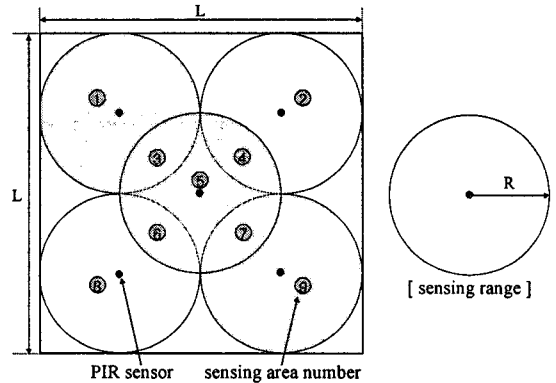


Fig. 6 Example of five sensor arrangement

Table 3 Performance of the five sensor arrangement

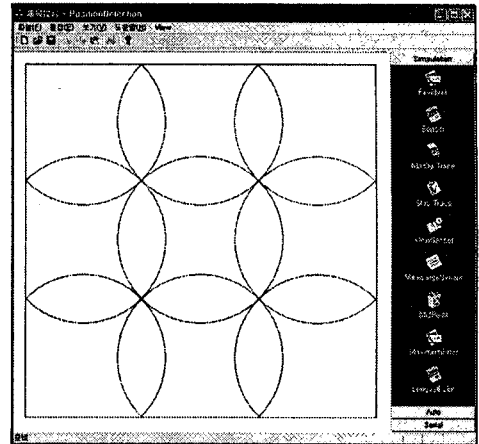
Parameter	Performance
S/A Ratio (number/m ²)	5/L ²
D/A Ratio (%)	83.8

4. 성능 지수를 이용한 센서 배치 성능 평가

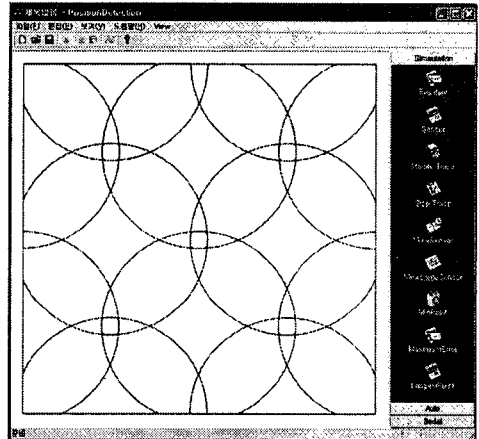
본 논문에서는 PIR 센서 기반 거주자 위치 인식 시스템의 센서 배치 성능 평가를 위하여 시뮬레이터를 개발하였다. 센서 배치 평가 시뮬레이터는 Visual C++을 사용하여 개발하였고, 센서의 수, 센서의 센싱 범위 크기, 거주자의 크기, 센서의 위치 등의 시뮬레이션 조건을 변경할 수 있도록 하였다. 또한, 본 시뮬레이터는 위의 시뮬레이션 조건에 따라 구분 가능한 분할 영역의 개수(n_{area}), 최대 오차 거리($error_{max}$), 평균 오차 거리($error_{mean}$)를 계산하여 나타낸다. 본 시스템은 구분 가능한 영역의 개수는 많을수록, 최대 오차 거리, 평균 오차 거리, 단위면적당 센서의 개수(S/A Ratio)는 작을수록 PILAS의 센서 배치 성능이 좋은 것으로 평가된다

본 절에서는 성능 지수를 이용한 센서 배치 평가를 위하여, Fig. 7과 같이 3가지 패턴의 센서 배치를 성능 지수 값을 이용해 평가하고자 한다. 전체 시스템 공간은 $4m \times 4m$ 의 정사각형 공간으로 가정하고, PIR 센서의 센싱 범위는 직경 2m인 원으로 설정한다. 또한, PIR 센서는 서로 다른 패턴으로 규칙적으로 배열하며, 테스트 공간을 모두 커버할 수 있도록 배치한다.

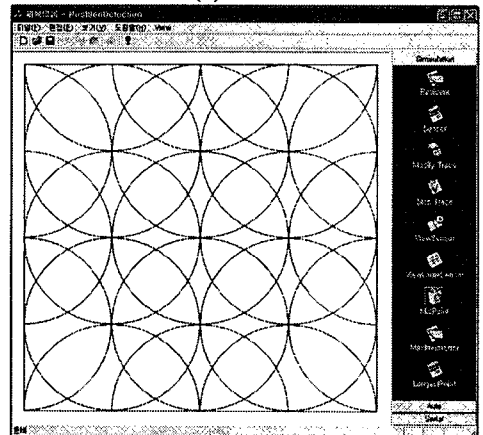
Case I은 Fig. 8에서와 같이, 9개의 PIR 센서를 사용하고 21개의 구분 가능한 인식 영역으로 분할된다. 동시에 최대 2개의 센서가 반응할 수 있으며, 인식 영역 패턴은 4종류이다. 인식 영역의 패턴 별 최대 오차 거리와 평균 오차 거리는 Table 4와 같으며, 최대 오차 거리는 A 영역에서 1.03m임을 알 수 있다. Case II는 Fig. 9에서와 같이, 12개의 PIR 센서를 사용하고 57개의 인식 영역으로 분할된다. 최대 4개의 센서가 동시에 거주자를 인식할 수 있으며, 인식 영역 패턴은 6종류이다. 인식 영역의 패턴 별 최대 오차 거리와 평균 오차거리는 Table 5와 같다. 최대 오차 거리는 D 영역에서 0.67m이다. Case III는 Fig. 10에서와 같이, 21개의 PIR 센서를 사용하고 108개의 인식 영역을 갖는다. 최대 4개의 센서가 동시에 거주자를 인식할 수 있으면, 인식 영역 패턴은 7종류이다. 인식 영역의 패턴 별 최대 오차 거리와 평균 오차거리는 Table 6에 나타나며, 최대 오차 거리는 C 영역에서 0.61m이다.



(a) Case I



(b) Case II



(c) Case III

Fig. 7 Sensor arrangement type

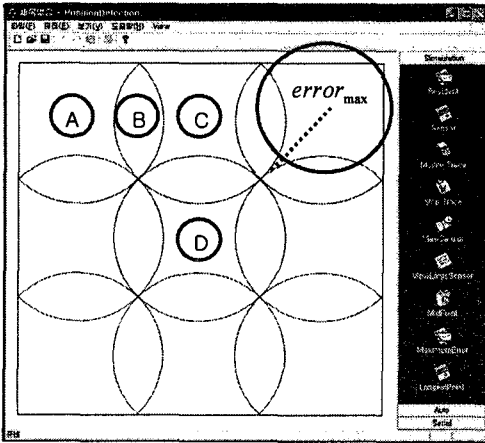


Fig. 8 Maximum error and area type in case I

Table 4 Maximum error and mean error in case I

Area Type	$error_{max}(m)$	$error_{mean}(m)$
A	1.03	0.41
B	0.66	0.3
C	1	0.44
D	0.92	0.36

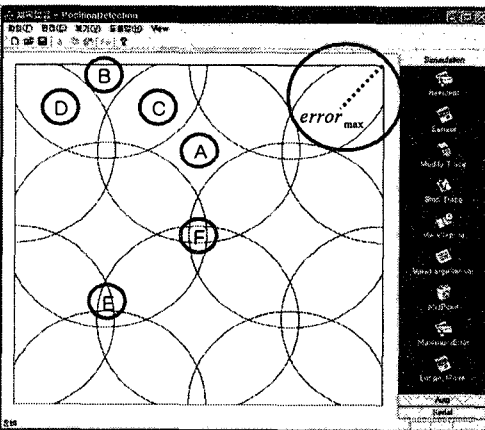


Fig. 9 Maximum error and area type in case II

Table 5 Maximum error and mean error in case II

Area Type	$error_{max}(m)$	$error_{mean}(m)$
A	0.54	0.21
B	0.54	0.21
C	0.57	0.32
D	0.67	0.33
E	0.25	0.11
F	0.13	0.07

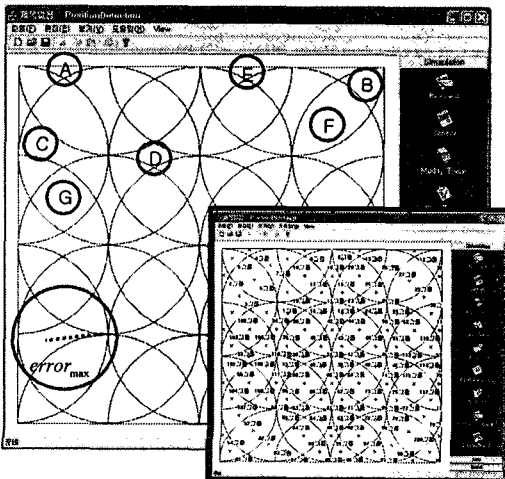


Fig. 10 Maximum error and area type in case III

Table 6 Maximum error and mean error in case III

Area Type	$error_{max}(m)$	$error_{mean}(m)$
A	0.5	0.14
B	0.3	0.14
C	0.61	0.21
D	0.49	0.14
E	0.5	0.14
F	0.57	0.27
G	0.36	0.23

이상의 3 가지 센서 배치 패턴에 대한 성능 지수 값은 Table 7 에 나타나며, Fig. 11 에서는 3 가지 패턴의 배치에 대해 가장 높은 성능 지수 값을 나타내는 배치를 기준으로 백분율 비교를 수행하였다. Case III 의 경우 시스템 정밀도에 대한 평가 척도인 최대 오차 거리 $error_{max}$ 와 평균 오차 거리 $error_{mean}$ 이 가장 작은 배치로 나왔으며, 이에 비해 Case I 와 Case II 는 각각 최대 오차 거리에서 Case III 에 비해 69%, 10% 정도 크게 나왔고, 평균 오차 거리에서도 Case III 에 비하여 Case I 은 2 배 정도, Case II 의 경우는 19% 정도 크게 나왔다. 반면에, 시스템의 비용을 평가하는 단위 면적당 센서 개수 S/A Ratio 는 Case I 가 가장 낮았으며, Case II, III 는 34%, 134% 높게 나타났다.

본 논문에서 평가한 3 가지 유형의 센서 배치 시뮬레이션 결과는 Case II 가 각각의 성능 지수

값이 기준 값에 고르게 근접함을 알 수 있었다.

5. 결론

본 논문에서는 PIR 센서 기반 실내 위치 인식 시스템의 인식 정밀도를 향상시키기 위하여 PIR 센서 배치 성능 지수를 제안하였다. 이를 위하여, PILAS의 인식 정밀도를 평가하기 위한 척도로써, 구분 되는 인식 영역의 개수(n_{area}), 최대 오차 거리($error_{max}$), 평균 오차 거리($error_{mean}$)를 정의하였다. 또한, 시스템의 비용을 평가하기 위해 단위 면적당 센서의 개수(S/A Ratio)와 인식 가능 영역 비율(D/A Ratio)를 정의하였다.

본 논문에서 제안한 성능 지수를 평가하기 위하여, 3 가지 패턴의 센서 배치를 성능 지수 값을 이용하여 평가하였다. 또한, 센서 배치 시뮬레이션을 위하여 Visual C++을 이용한 센서 배치 평가 시뮬레이터를 개발하였다. 이로 인하여, 본 논문에서 제안한 성능 지표를 이용하여 센서를 효과적으

로 배치할 수 있게 되었으며, 구분 가능한 센싱 영역의 수를 늘려 PIR 센서 기반 거주자 위치 인식 시스템의 성능을 향상시킬 수 있게 되었다.

그러나, 본 논문에서는 시뮬레이터를 이용한 실험을 수행하였기에 실제 시스템의 적용이 필요하다. 향후에는 센서 배치 성능 지수를 이용하여 PILAS을 구축하고, 거주자의 위치 인식 정밀도를 향상시키기 위한 베이지안 분류기(Bayesian classifier)와 같은 확률 이론 등을 이용하여 위치 인식 정밀도를 향상시킬 수 있는 연구가 필요하다. 또한, 보다 다양한 스마트 홈 서비스를 제공하기 위하여 다수의 거주자의 위치와 이동 경로를 판단할 수 있는 멀티 트래킹(multi-tracking) 알고리즘 개발이 필요하다.

참고문헌

1. Choi, J. H. D., Shin, D. K. and Shin, D. I., "Research and implementation of the context-aware middleware for controlling home appliances," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 51, No. 1, pp. 301-306, 2005.
2. Lee, K. C., Kim, J. H. and Lee, H. H., "Implementation of CAN-based Fire Detection System for Smart Home," Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, Vol. 10, No. 8, pp. 734-741, 2004.
3. Rho, K. H., Lee, B. B., Park, A. S. and Kim, D. S., "Development of a LonRF Intelligent Device-based Ubiquitous Home Network Testbed," Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, Vol. 10, No. 6, pp. 566-573, 2004.
4. Hazas, M., Scott, J. and Krumm, J., "Location-aware computing comes of age," Computer, Vol. 37, No. 2, pp. 95-97, 2004.
5. Ha, K. N., Lee, K. C. and Lee, S., "Development of PIR sensor based indoor location detection system for smart home," Journal of Control, Automation, and Systems Engineering, Vol. 12, No. 9, pp. 905-911, 2006.

Table 7 Performance of cases

Parameter	Case I	Case II	Case III
$n_{area}(number)$	21	57	108
$error_{max}(m)$	1.03	0.67	0.61
$error_{mean}(m)$	0.35	0.19	0.16
S/A Ratio	0.56	0.75	1.31
D/A Ratio(%)	100	100	100

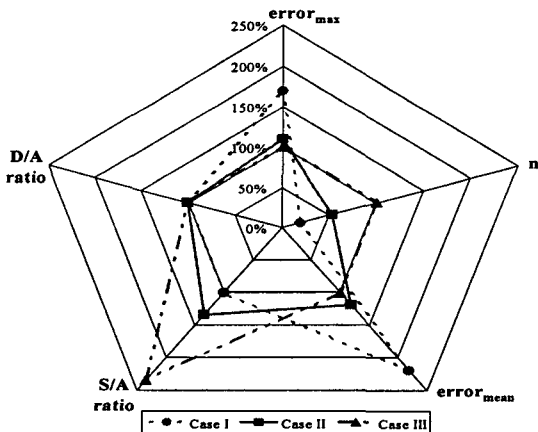


Fig. 11 Comparison of arrangement