

초전형 적외선 센서를 이용한 위치 인식 시스템의 센서 배치 평가

*박희웅¹, 하경남¹, 이경창², 이 석³

¹ 부산대학교 지능기계공학과, ² 부경대학교 제어계측공학과, ³ 부산대학교 기계공학부

Evaluation of pyroelectric infrared arrangement for indoor resident location awareness system

*H. W. Park¹, K. N. Ha¹, G. C. Lee², S. Lee³

¹ Dept. of Intelligent Mech. Eng., Pusan National Univ., ² Dept. of electrical and control Eng., Pukyung National Univ., ³ School of Mech. Eng., Pusan National Univ.

Key words : indoor location awareness, pyroelectric infrared sensor network, optimal arrangement

1. 서론

초전형 적외선 센서는 인체에서 방출되는 적외선 양의 변화에 따라 초전체의 온도 변화가 일어나고 초전체의 표면 전하의 분포 변화가 일어나 사람을 감지할 수 있는 특성을 가지고 있으며, 이러한 성질을 이용하여 실내 거주자의 위치를 추적하는 시스템이 제안된 바 있다[1][2]. 본 논문에서는 이러한 초전형 적외선 센서를 이용한 위치 인식 시스템에서 위치 인식 정밀도와 시스템의 비용을 결정하는 요인을 분석하고 그 성능을 정량화하는 성능 지수를 개발하여 센서 배치에 따른 지수를 비교한다.

2. 위치 인식 시스템의 성능 지수

2.1 센서 배치에 따른 위치 인식 시스템의 성능

초전형 적외선 센서를 이용한 실내 위치 인식 시스템에서의 위치 인식 정밀도는 센싱 영역의 기하학적 형상과 그 배치에 따라 정의된다. 시스템에 배치되는 센서의 개수(Num), 구분 가능한 센싱 영역의 크기(Area), 위치 인식 시스템의 정밀도(Precision)와 그에 따른 비용(Cost)의 관계는 식 (1)과 같다.

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

고정밀 저비용의 초전형 적외선 센서를 이용한 실내 위치 인식 시스템을 구현하기 위해서는 제한된 숫자의 센서를 적절히 배치하여 구분되어지는 분할 영역의 개수를 최대화하는 것이 필요하다. 따라서, 제한된 숫자의 센서 배치를 최적화하기 위한 정의가 필요하다. 다음 절에서는 초전형 적외선 센서의 센싱 영역, 센서 배치를 통해 정의되는 정밀도와 센서의 수를 통해 정의되는 비용을 고려한 위치 인식 시스템의 성능 지수를 정의한다.

2.2 성능 지수

본 논문에서는 초전형 적외선 센서를 이용한 실내 위치 인식 시스템의 성능을 평가하기 위하여 5가지의 성능 지수를 정의한다. 우선 실내 위치 인식 시스템의 정밀도를 평가하기 위해 분할 영역의 개수(n_{area}), 최대 오차 거리($error_{max}$)와 평균 오차 거리($error_{mean}$)를 정의하고 시스템의 비용을 평가하기 위해 단위 면적당 센서의 개수($S/A Ratio_{system}$)를 정의한다. 또한, 인식 가능 영역 크기 비율($D/A Ratio_{system}$)을 정의한다.

2.2.1 분할 영역의 개수(n_{area})

센서의 배치에 따라 분할되는 인식 가능한 영역의 개수는 시스템의 정밀도를 평가하는 중요한 기준이 된다.

2.2.2 최대 오차 거리($error_{max}$)

최대 오차 거리 $error_{max}$ 는 시스템에서 인식하는 거주자의 위치와 실제 거주자 위치의 최대 오차를 나타낸다. 그림 1.a에서 보는 바와 같이 3개의 센서(S_1, S_2, S_3)가 중첩되어 있을 때, 그림 1.b와 같이 7개의 영역으로 구분된다. 구분되는 영역은 $A_{100}, A_{200}, A_{300}, A_{120}, A_{230}, A_{130}, A_{123}$ 등으로 정의하고, 각 알파벳의 첨자는 영역을 분할하는 센서의 번호이며, '0'이외의 번호를 가진 센서로 분할된 영역을 나타낸다.

초전형 적외선 센서를 이용한 위치 인식 시스템에서는 구분되는 영역 A 내부에 거주자가 접근함으로써 위치를 인식하게 되며, 이에 따라 시스템의 위치 인식 정밀도는 구분되는 영역 A 와 직접적으로 관계하게 된다. 영역 A 내부에 거주자가 접근할 때 시스템은 영역 A 내부에서는 거주자의 위치를 구분할 수 없으므로 영역의 중심(O_A)으로 거주자의 위치를 판단하는 것이 거주자에 대한 실제 위치와 시스템에서 판단한 추정 위치의 오차가 최소화된다. 따라서, 센서 S_1, S_2, S_3 에 의해 구분된 영역 A 의 중심이 인식 위치가 된다. 각 영역에 대한 오차 거리는 중심(O_A)과 영역을 둘러싸고 있는 원호($Contour_A$) 간 거리의 차이로 정의할 수 있으며, 식 (2)와 같이 표현한다.

$$error_A = distance(O_A, Contour_A) \quad (2)$$

따라서, 임의의 센싱 영역과 배치를 가지는 초전형 적외선 센서를 이용한 위치 인식 시스템에서 최대 오차 거리는 식 (3)과 같이 정의할 수 있다.

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

그림 1.b에서 최대 오차 거리는 식 (4)과 같다.

$$error_{max} = MAX(error_{A_{ijk=100,200,300,120,230,310,123}}) \quad (4)$$

2.2.3 평균 오차 거리($error_{mean}$)

평균 오차 거리 $error_{mean}$ 는 시스템에서 인식하는 거주자의 위치와 실제 거주자 위치의 오차에 대한 평균이다. 분할된 인식 영역에서 발생하는 평균 오차 거리는 식 (5)와 같이 정의한다. n 은 분할된 인식 영역 내부에서 중심과의 오차 거리를 계산하기 위해 참조한 모든 점(i)들의 개수이다. 참조하는 점은 그림 2와 같이 영역을 균등하게 분할하여 생성된 각각의 $element(i)$ 의 중점에 해당한다.

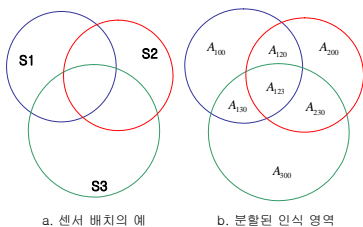


Fig. 1 센서 배치의 예

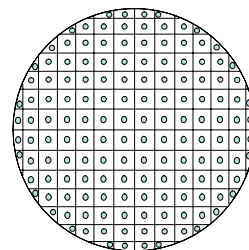


Fig. 2 영역 내부의 $element(i)$ 와 $element(i)$ 중점

$$error_{mean(A)} = \frac{1}{n} \left(\sum_{i=0}^n error_i \right) \quad (5)$$

분할된 인식 영역에 대한 평균 오차 거리를 이용하여 전체 시스템에 대한 평균 오차 거리는 식 (6)과 같이 정의할 수 있다.

$$error_{mean} = \frac{1}{n_{area}} \left(\sum_{i=0}^{n_{area}} error_{mean(A_i)} \right) \quad (6)$$

2.2.4 단위 면적당 센서의 개수(S/A Ratio)

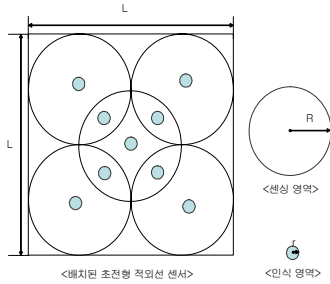


Fig. 3 초전형 적외선 센서 배치의 예

센서의 개수가 많아질수록 정밀도는 향상될 수 있으나 비용이 증가한다. 따라서, 제한된 숫자의 센서로 높은 정밀도를 얻는 것은 중요하다. 이에 대한 평가 척도로 단위 면적당 센서의 개수를 정의한다. 식 (7)과 같이 단위 면적당 센서의 개수는 전체 면적을 센서의 개수로 나누어 정규화 한다.

$$S/A Ratio_{system} = \frac{Number\ of\ Sensors}{System\ Area} \quad (7)$$

그림 3의 예에서 S/A Ratio는 식 (8)과 같다.

$$Number\ of\ Sensors = 5, Total\ Area = L^2 = 16R^2$$

$$S/A Ratio = \frac{5}{16R^2} \quad (8)$$

2.2.5 인식 가능 영역 비율(D/A Ratio)

센서 배치에 따른 전체 인식 영역은 시스템의 전체 공간을 포함할 수 있어야 한다. 인식 가능 영역 비율은 이에 대한 평가 척도로서 식 (9)와 같이 정의하며, 전체 공간에 대하여 센서 배치에 의해 인식 가능한 영역의 크기를 비교하여 얻을 수 있다.

$$D/A Ratio_{system} = \frac{Detectable\ Area}{System\ Area} \quad (9)$$

3. 성능 지수 평가 및 비교

본 논문에서는 2가지 패턴의 센서 배열을 통해 나타난 성능 지수를 비교해 평가한다. 그림 4에서의 센서 배치는 모두 4m×4m 공간상에 센서의 센싱 영역이 모두 직경 2m일 때이며, 거주자의 상대적 크기는 직경 0.4m인 원으로 설정하였다. 또한, 두 배치 모두 테스트 공간 전체를 커버할 수 있도록 배치하였다.

그림 4.a에 사용된 센서의 개수는 12개이며 총 57개의 구분 가능한 인식 영역으로 분할되며, 그림 4.b에 사용된 센서의 개수는 21개이고 총 108개의 영역으로 분할된다. 그림 4.c, 4.d는 센서의 배치에 따라 분할된 인식 영역을 보여주고 있다.

그림 4의 센서 배치에 따른 오차 거리에 대한 성능 지수는 표1, 2과 같으며, 표 3에서는 두 배치에 대한 S/A Ratio, D/A Ratio_{system}를 비교한다.

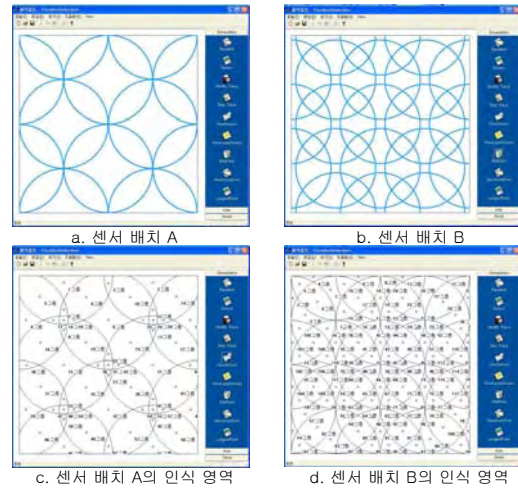


Fig. 4 센서의 배치와 분할된 인식 영역

Table 1 배치 A에 대한 인식 영역 Type과 error_{max, mean}

Type(중첩 센서, 영역 수)	error _{max} (m)	error _{mean} (m)
A (1개, 8개)	0.54	0.21
B (1개, 4개)	0.54	0.21
C (2개, 4개)	0.57	0.32
D (2개, 12개)	0.67	0.33
E (3개, 24개)	0.25	0.11
F (4개, 5개)	0.13	0.07

Table 2 배치 B에 대한 인식 영역 Type과 error_{max, mean}

Type(중첩 센서, 영역 수)	error _{max} (m)	error _{mean} (m)
A (1개, 4개)	0.50	0.14
B (2개, 52개)	0.30	0.14
C (2개, 8개)	0.61	0.21
D (2개, 16개)	0.49	0.14
E (2개, 12개)	0.50	0.14
F (3개, 4개)	0.57	0.27
G (4개, 12개)	0.36	0.23

Table 3 성능 지수

구분	배치 A 성능 지수	배치 B 성능 지수
n _{area}	57개	108개
error _{mean}	0.19(m)	0.16(m)
S/A Ratio _{system}	0.75(개/m ²)	1.31(개/m ²)
D/A Ratio _{system}	1	1

표 1과 2를 통해 최대 오차 거리는 센서가 조밀하게 배치된 B의 경우가 약 10%, 평균 오차 거리에서도 약 16% 향상된 성능을 보여주고 있으나, 시스템의 비용을 나타내는 S/A Ratio에서 배치 A가 43% 낮은 비용을 보이고 있다.

4. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 초전형 적외선 센서의 배치에 따른 성능을 비교할 수 있는 성능 지수를 정의하고, 실제 센서 배치를 통해 성능을 평가하였다. 향후 계획으로는 최적 센서 배치를 얻을 수 있는 알고리즘을 이용하여 최적 배치가 가능한 방법을 찾는 방법을 모색하는 것이 필요할 것이다.

참고문헌

1. 하경남, 이경창, 이석, "스마트 홈을 위한 PIR 센서 기반 댁내 위치 인식 시스템 개발," 한국제어자동화시스템공학회지, 905-911, 2006.
2. 박희웅, 하경남, 이경창, 이석, "초전형 적외선 센서를 이용한 거주자 위치 추적 알고리즘 개발," 제어자동화시스템 심포지엄 2006, 148-153, 2006.