

적외선 센서의 입사각을 이용한 실내 위치인식 시스템

Indoor Positioning System using Incident Angle Detection of Infrared sensor

김수용, 최주용*, 이만형
(Su Yong Kim¹, Ju Yong Choi², and Man Hyung Lee¹)
¹Pusan National University
²Ulsan Technopark

Abstract: In this paper, a new indoor positioning system based on incident angle measurement of infrared sensor has been suggested. Though there have been various researches on indoor positioning systems using vision sensor or ultrasonic sensor, they have not only advantages, but also disadvantages. In a new positioning system, there are three infrared emitters on fixed known positions. An incident angle sensor measures the angle differences between each two emitters. Mathematical problems to determine the position with angle differences and position information of emitters has been solved. Simulations and experiments have been implemented to show the performance of this new positioning system. The results of simulation were good. Since there existed problems of noise and signal conditioning, the experimented has been implemented in limited area. But the results were acceptable. This new positioning method can be applied to any indoor systems that need absolute position information.

Keywords: GPS, IRPS, mobile robot, absolute position, infrared sensor, incident angle

I. 서론

로봇 및 이송장치의 지능화와 자동화를 위하여 다양한 위치 인식 시스템이 개발되고 있다. 이러한 위치 인식 시스템은 크게 추측 항법(dead-reckoning)/관성 항법(inertial navigation system)과 GPS 등의 절대 위치 인식 시스템으로 구분된다. 추측 항법이나 관성 항법의 위치 인식은 작동을 시작하는 위치로부터 상대 위치를 계산하는 방법으로 항법을 시작하는 순간부터 쉬지 않고 연산을 수행해야 한다. 따라서 오랜 시간 항법을 수행할 경우 오차가 누적되어 위치 오차가 계속 증가하는 단점이 있으나 외부의 영향에 둔감하여 다양한 환경 하에 위치 인식이 가능하다[1]. 절대 위치 인식은 GPS와 같이 외부의 요소를 참조하여 자신의 위치를 계산해 내는 방법으로 외부에 참조하는 기준이 있고 이 기준과 상관관계로부터 위치를 계산하여 오차가 누적되지 않지만 외부의 환경 변화에 민감하며 참조하는 기준을 잃어버리거나 기준이 불분명한 경우 항법이 불가능하다[2].

최근 들어 실내에서 이동 로봇의 지능화 및 무인화 등에 관한 연구가 활발해 지면서 GPS를 사용할 수 없는 실내 공간에서의 위치인식에 관한 연구가 널리 진행되고 있다. 특히 GPS의 개념을 도입하여 삼변측량을 이용한 위치인식 시스템 중에서 초음파를 이용한 위치인식 시스템들이 널리 연구되고 있다[3-6]. 이런 초음파를 이용한 위치인식은 위치 오차가 누적되지 않고 원하는 때에 임의로 자신의 위치를

계산해 낼 수 있다는 장점이 있으나 수발신부가 RF로 동기화되어야 하는 단점이 있다. 기존의 초음파를 이용한 연구에서는 삼변측량으로 위치를 계산하기 때문에 음파 속도에 따른 위치측정 갱신 주기가 일정 범위 이내로 줄이기 힘들며 RF에 의한 동기화가 필요하였다. 이는 RF 신호에 따른 간섭이나 노이즈에 의한 오차가 문제될 수 있다. 본 논문에서는 삼변측량을 이용한 시스템의 문제를 해결하기 위하여 삼각측량을 이용하였으며 적외선 센서를 이용하여 수발신부 사이의 각도를 측정하여 실내에서 2차원의 절대 위치를 인식하는 시스템을 제안한다.

이전의 적외선 입사각 측정을 이용한 위치추정 시스템은 이동체에 발신부가 부착되고 수신부가 천장에 위치하여 여러 대의 이동체 위치인식에 문제가 있다[7]. 또한 전자 나침반을 이용하여 단일 적외선 광원의 입사각 측정에 기반한 위치 인식의 연구[8]는 전자 나침반이 자기장에 의해 각도 오차가 크게 증가하는 단점이 있으며 다수의 PIR (Pyroelectric Infrared) 센서를 이용하여 가정 내 거주자 위치를 파악하는 연구[9]는 사람의 위치추정을 위한 방법에는 적합하나 이동로봇의 정밀한 위치인식에는 오차가 커서 부적합하다. 본 연구에서는 자기장의 영향을 크게 받는 전자 나침반이나 오차가 누적되는 자이로 및 측정 오차가 비교적 큰 적외선 입사각 측정용 센서 등을 이용하지 않고 적외선 입사각을 정확히 측정할 수 있는 시스템을 제안한다. 또한 삼변측량이 아닌 삼각측량을 이용하여 2차원 위치를 계산해 할 수 있는 알고리즘을 제안하고 이를 모의실험을 통해 검증한다. 마지막으로 실제 시스템을 제작하고 실험을 통해 성능을 검증하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 수발신부 사

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수: 2010. 6. 9., 수정: 2010. 6. 17., 채택확정: 2010. 7. 15.

김수용: 부산대학교 지능기계공학과(syz2ang@hanmail.net)

최주용: 울산테크노파크(jychoi750@hotmail.com)

이만형: 부산대학교 기계공학부(mahlee@pusan.ac.kr)

이의 입사각 정보를 이용한 위치 인식 기법을 설명하고, III 장에서는 모의실험 및 실험 결과를 정리한다. 끝으로 IV 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 적외선 센서의 입사각을 이용한 위치인식

GPS는 미 국방성에서 군사용으로 개발한 위성 항법 시스템으로 1970년대에 연구를 시작하여 1995년 완성되었다. 지구 주위에 24개의 위성들이 6개의 궤도에 4개씩 배치되어 지구상 어디에서나 4개 이상의 위성이 관측가능 하도록 되어 있다[2]. 기본적인 원리는 측정지점과 각 위성간의 거리인 d_1, d_2, d_3 값을 측정하여 측정지점의 좌표를 결정하기 위한 일련의 연립방정식을 풀어 교차점을 찾는 것이다. 하지만 실제 GPS에서는 시간편차가 생기므로 하나의 식이 더 필요하여 실제 시스템에서는 4개의 가시 위성이 존재해야 위치를 계산할 수 있다. 물론 4개 이상의 위성이 관측되는 경우에는 보다 정확한 위치 값을 얻을 수 있는데 보통 의사역행렬(pseudo-inverse)을 사용하여 최소자승법(least mean square)에 근거한 해를 구하게 된다. 본 논문에서는 GPS의 기본 위치 측정 알고리즘을 이용하나 수발신부 사이의 거리가 아닌 수발신부 사이의 각도를 측정하여 위치를 인식하도록 알고리즘을 구성하여 GPS에서 발생하는 시간편차의 문제를 해결하였다. 그림 1은 본 논문에서 제안한 적외선 센서 기반 위치 인식 시스템(IRPS: InfraRed Positioning System)의 기본 개념을 나타낸 것으로 GPS와 달리 IRPS에서는 세 개의 발신부와 수신부가 이루는 사이각을 측정하여 2차원의 위치를 결정한다.

적외선 광원은 각각 A, B, C 지점에 고정되고 특히 B 지점을 원점으로, \overrightarrow{BC} 를 x 축으로 가정하여 송신부는 $A(x_1, y_1), C(x_3, 0)$ 로 표현하고 수신부의 위치는 $R(x, y)$ 로 나타낸다. 이때 \overrightarrow{RA} 와 \overrightarrow{RB} , \overrightarrow{RB} 와 \overrightarrow{RC} 사이각은 반시계 방향이 양의 방향으로 θ_1, θ_2 로 정의되며 아래와 같이 계산된다.

$$\overrightarrow{RA} \cdot \overrightarrow{RB} = \sqrt{(x_1-x)^2 + (y_1-y)^2} \cdot \sqrt{x^2 + y^2} \cos\theta_1 = x^2 - x_1x + y^2 - y_1y \tag{1}$$

$$\overrightarrow{RB} \cdot \overrightarrow{RC} = \sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sqrt{(x_3-x)^2 + y^2} \cos\theta_2 = x^2 - x_3x + y^2 \tag{2}$$

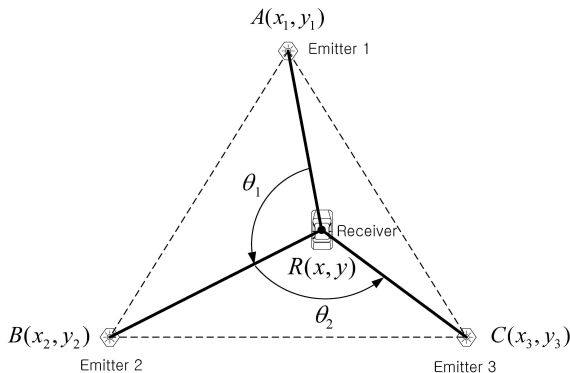


그림 1. IRPS의 기본 개념.
Fig. 1. The principle of IRPS.

식 (1)과 (2)를 각각 θ_1, θ_2 에 대하여 정리하면 다음과 같다.

$$\theta_1 = \cos^{-1} \frac{x^2 - x_1x + y^2 - y_1y}{\sqrt{(x_1-x)^2 + (y_1-y)^2} \cdot \sqrt{x^2 + y^2}} \tag{3}$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \frac{x^2 - x_3x + y^2}{\sqrt{x^2 + y^2} \cdot \sqrt{(x_3-x)^2 + y^2}} \tag{4}$$

사이각을 수신부 초기 위치 $R_0(x_0, y_0)$ 에서 Taylor 급수 전개하여 선형화하면 아래와 같이 표현된다.

$$\delta\theta_1 = \frac{\partial f_1}{\partial x} \Big|_{(x_0, y_0)} \delta x + \frac{\partial f_1}{\partial y} \Big|_{(x_0, y_0)} \delta y + \text{H.O.T.} \tag{5}$$

$$\delta\theta_2 = \frac{\partial f_2}{\partial x} \Big|_{(x_0, y_0)} \delta x + \frac{\partial f_2}{\partial y} \Big|_{(x_0, y_0)} \delta y + \text{H.O.T.} \tag{6}$$

여기서 f_1, f_2 는 식 (3), (4)를 나타내고 H.O.T는 고차항들이다. 선형화된 식에서 고차항을 무시하고 행렬로 표현하면 다음과 같다.

$$\Theta = \Theta_0 + P \cdot \delta R \tag{7}$$

여기서 $\Theta = [\theta_1 \ \theta_2]^T$, $\delta R = [\delta x \ \delta y]^T$, Θ_0 는 선형화 기준점에서의 각도 벡터이며 행렬 P 는 아래와 같다.

$$P = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial x} & \frac{\partial f_1}{\partial y} \\ \frac{\partial f_2}{\partial x} & \frac{\partial f_2}{\partial y} \end{bmatrix} \Big|_{(x_0, y_0)} \tag{8}$$

위치 변분인 δR 은 식 (9)와 같이 정리되고 발신부가 여러 개인 경우 의사 역행렬을 이용하여 식 (10)과 같이 정리된다.

$$\delta R = P^{-1} \delta \Theta \tag{9}$$

$$\delta R = (P^T P)^{-1} P^T \delta \Theta \tag{10}$$

결국 적외선 센서 수신부 초기 위치 R_0 와 식 (10)으로부터 적외선 센서 수신부의 위치는 아래와 같이 계산된다.

$$R = R_0 + \delta R \tag{11}$$

III. 적외선 위치인식 시스템(IRPS) 검증

1. 모의실험 결과

본 장에서는 II 장에서 제안한 적외선 센서 사이각을 이용한 IRPS의 모의실험을 수행한다. 적외선 센서의 발신부는 한 변의 길이가 2m인 정삼각형의 꼭지점에 해당하는 위치로 선정하여 위치 인식 수렴도, 직선 이동 및 원형 궤적 이동시 위치 인식 정도를 분석한다.

먼저 위치 인식 수렴도를 검증하기 위하여, 초기 위치는 정삼각형의 무게중심으로, 실제 위치는 (1.55, 0.35)m로 선정한다. 실제 수신부의 초기 위치는 랜덤(random) 할 수 있으나 위치를 인식할 수 있는 범위는 발신기가 위치하는 범위를 벗어나지 않으므로 위치인식을 위한 초기 위치는 위치인식 영역의 중심으로 정하는 것이 좋으며 실제 모의

실험을 할 경우 어떤 위치에서도 발산하지 않고 안정적으로 위치가 수렴하였다. 그림 2는 MATLAB을 이용하여 모의실험을 수행한 결과이다. 반복 계산을 수행하는 연산 시간은 한 스텝 당 1ms정도 소요되며 대략 4번의 반복 연산 후에는 오차가 0.0001m 범위 이내로 수렴하나 실제 수신기의 위치에 따라 약간씩 수렴시간이 달라질 수 있다.

다음으로 x 축과 평행한 두 점 (0.5, 0.5774)m와 (1.5,

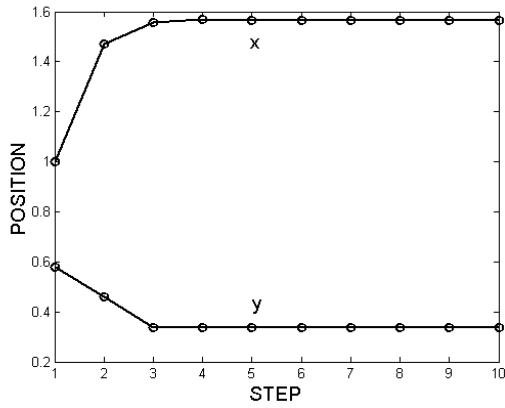


그림 2. 초기 위치 수렴 모의실험.

Fig. 2. Simulation results for an initial positioning.

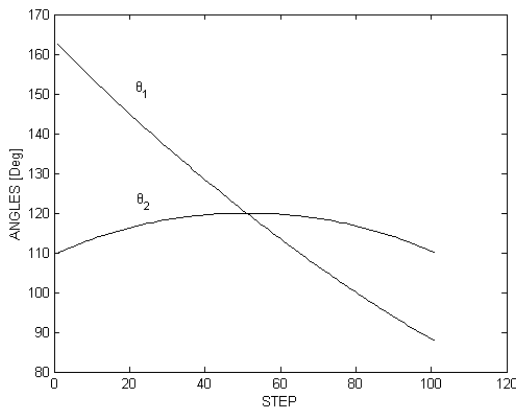


그림 3. 직선 경로의 모의실험 사이각 변화 결과.

Fig. 3. Simulation results of relative angles for straight path.

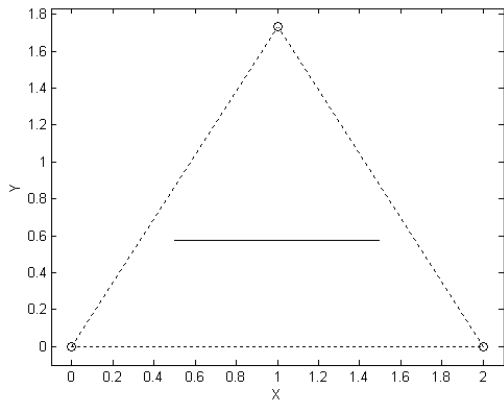


그림 4. 직선 경로의 모의실험 위치인식 결과.

Fig. 4. Simulation result of positioning for straight path.

0.5774)m 사이를 0.01m 간격으로 수신기 위치가 이동할 때 적외선 발신기 1, 2번과 수신기 사이의 각도 θ_1 과 발신기 2, 3번과 수신기 사이의 각도 θ_2 는 그림 3과 같이 측정된다. 이를 바탕으로 앞에서 제안한 위치인식 알고리즘으로부터 수신부의 위치는 그림 4와 같이 오차가 0.0001m 이내로 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 반경 0.4m, 중심

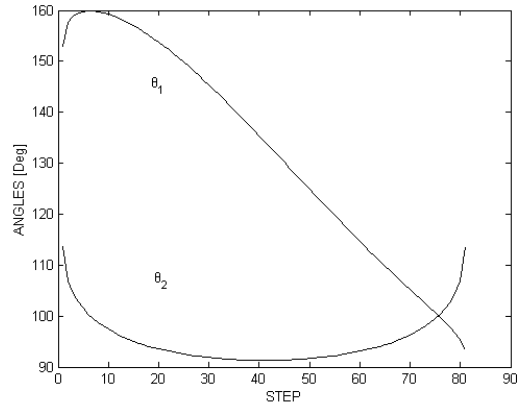


그림 5. 곡선 경로의 모의실험 사이각 변화 결과.

Fig. 5. Simulation results of relative angles for circular path.

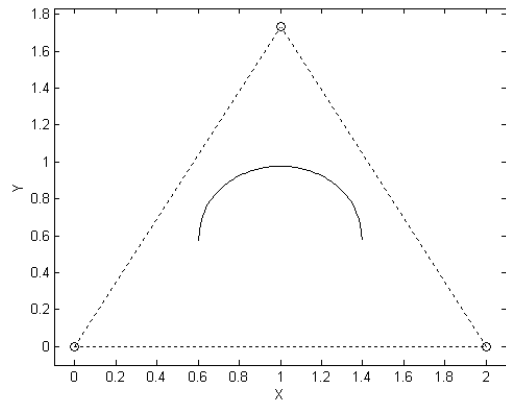


그림 6. 곡선 경로의 모의실험 위치인식 결과.

Fig. 6. Simulation result of Positioning for circular path.

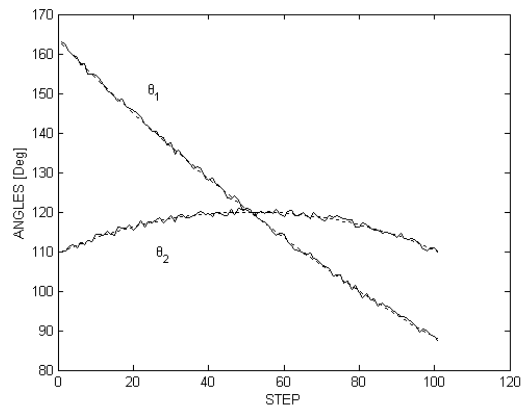


그림 7. 오차가 추가된 직선 경로 이동 모의실험 사이각 변화.

Fig. 7. Simulation results of relative angles with noises for straight path.

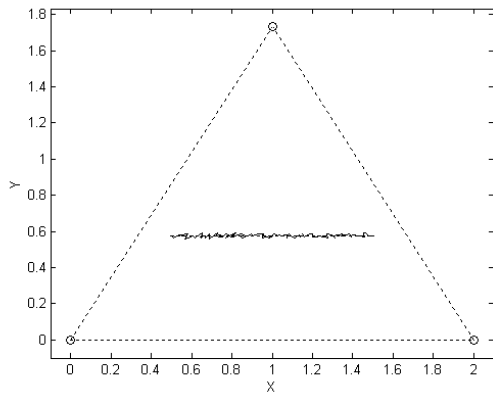


그림 8. 오차가 추가된 직선 경로 이동 모의실험 위치인식 결과
 Fig. 8. Simulation result of positioning with noises for straight path.

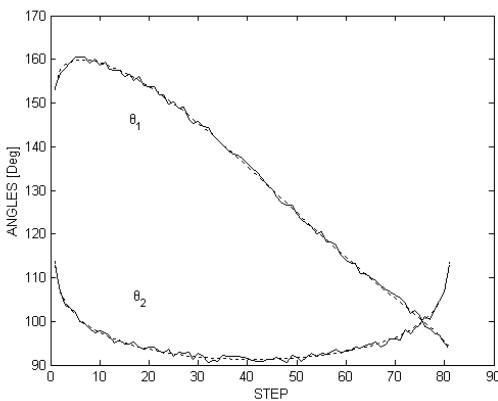


그림 9. 오차가 추가된 곡선 경로의 모의실험 사이각 변화 결과.
 Fig. 9. Simulation results of relative angles with noises for circular path.

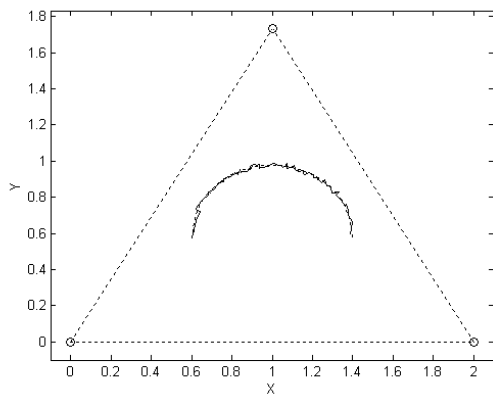


그림 10. 오차가 추가된 곡선 경로의 모의실험 위치인식 결과.
 Fig. 10. Simulation result of Positioning with noises for circular path.

이 (1, 0.6)인 원호를 이동하는 경우 발신기 1, 2번과 수신기 사이의 각도 θ_1 과 발신기 2, 3번과 수신기 사이의 각도 θ_2 를 나타내며 그림 6에서 보듯이 곡선 경로 또한 오차가 0.001m 이내로 정확한 위치 계산이 가능하다. 실험에서 사

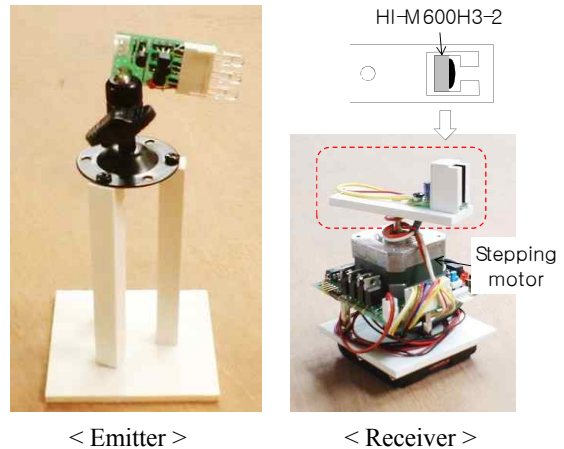


그림 11. IRPS 수신신부.

Fig. 11. Emitter and receiver for the IRPS experiments.

표 1. IRPS와USAT의 위치오차 실험 결과.

Table 1. Positioning errors of IRPS and USAT.

	Straight path [m]		Circular path [m]	
	x	y	x	y
USAT	0.0120	0.0136	0.0147	0.0184
IRPS	0.0111	0.0143	0.0098	0.0232

용되는 스텝핑 모터는 한 펄스 당 1.8도로 회전하므로 약 2도의 오차를 가진다고 가정하여 수신신기 사이의 각도 θ_1 , θ_2 에 랜덤 오차를 추가하여 실험한 결과는 그림 7-10과 같이 나타난다. 직선 경로에서의 위치오차는 x방향으로 0.0088m, y방향으로 0.0075m로 나타나며 곡선 경로에서의 오차는 x방향으로 0.0073m, y방향으로 0.01m로 나타난다. 모의실험 결과 스텝핑 모터의 분해능에 따른 오차를 감안 하더라도 0.01m 정도의 위치오차가 발생하므로 실내에서의 위치인식 시스템으로 사용 가능할 것으로 판단된다.

2. 실험 결과

모의실험 결과를 바탕으로 실제 IRPS의 실험을 위한 수신신부는 그림 11과 같다. 발신부는 알려진 위치에 고정되어 있고 수신부는 스텝핑모터를 사용하여 360° 전 방향을 검색하는데 이때 슬릿을 통해 적외선이 감지되는 부분의 각도를 측정하여 3개 측정 각의 차로 발신기와 수신기 사이의 각도를 구한다. 발신부의 위치는 모의실험과 같이 정삼각형의 각 꼭지점 위치에 배열하고 발신부간 거리는 2.36 m이다. 수신부 동조 주파수는 38kHz이며 수신 각도는 $\pm 45^\circ$ 로 동조된 신호의 유무만을 판별하여 신호가 없을 때 5V를 신호가 감지되면 0V를 출력한다. 슬릿을 통하여 제한된 영역의 적외선 신호만이 감지되며 이렇게 하여 각도 측정의 정확도를 높게 된다. 스텝핑 모터에 의하여 회전하는 슬릿은 발신부가 슬릿을 통하여 보이는 부분에서만 짧은 시간 0V 출력을 하게 되며 이때의 회전각을 측정하여 발신부가 존재하는 각으로 결정하게 된다. 실험에는 400 펄스 스텝핑 모터가 사용되었다. 스텝핑모터는 회전각을 정확히 알 수 있으며 큰 부하가 걸리지 않을 경우 각도 측정에 오차나 잡음이 없고 제어가 용이하다. 실험에 사용된 스텝

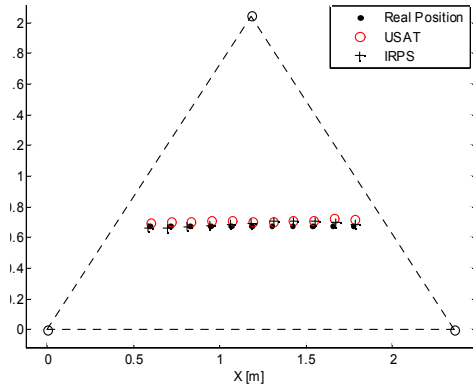


그림 12. IRPS와 USAT와의 직선경로 위치인식 실험 결과.

Fig. 12. Experimental results of positioning of IRPS and USAT for straight path.

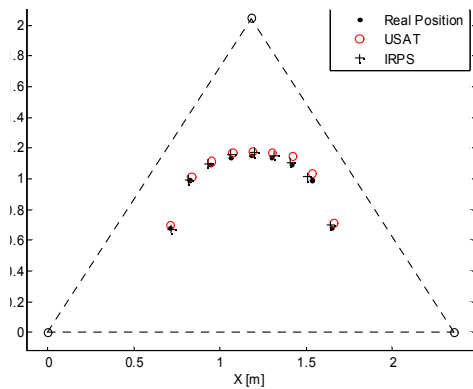


그림 13. IRPS와 USAT와의 곡선경로 위치인식 실험 결과.

Fig. 13. Experimental results of positioning of IRPS and USAT for circular path.

핑 모터가 360°를 회전하는데 소요되는 시간은 1초이며 회전속도에 대한 조절은 가능하나 안정적인 위치인식을 위하여 1초에 1회씩 위치 정보를 갱신하도록 구현하였다.

실험은 모의실험과 같이 직선 및 곡선 경로상의 위치에 대한 인식 정도를 분석하고 초음파 위치인식 시스템 중에서 위치인식 정밀도가 가장 높은 초음파 위성 (USAT: Ultrasonic Satellite System)을 이용한 위치인식 결과와 비교하였다. x 축 방향에서 등간격으로 11개의 직선 경로 지점에 대해 IRPS와 USAT의 위치 데이터를 10회 받아서 평균 하였다. 그림 12는 IRPS와 USAT의 위치 인식 결과를 나타낸다. 곡선 경로에서는 9개 지점에 대하여 각각 시스템의 위치 데이터를 10회 받아 평균을 계산하였으며 IRPS와 USAT의 위치 인식 결과는 그림 13과 같다.

직선 구간과 곡선 구간에서 IRPS와 USAT의 위치 오차는 표 1과 같이 나타나며 IRPS는 앞의 모의실험 결과보다는 x, y방향의 오차가 크게 나타나나 시스템의 기구학적 오차 및 실제 위치와의 측정 오차를 고려하면 크게 문제될 정도는 아니며 실제 실내에서 이동로봇의 위치인식 시스템으로 사용하는데 문제없을 것으로 판단된다. 또한 USAT와의 오차를 비교해 보아도 비슷한 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 특히 실험에 사용된 USAT은 측정치 갱신

주기가 0.4초로 본 실험에서 사용된 IRPS보다 빠르다. 하지만 초음파 위성의 경우 기구적인 부분에 의한 시간 지연이 아니라 초음파의 간섭과 도달 시간 등에 의한 시간 지연으로, 주기를 조절하는 것이 쉽지 않으나 IRPS의 경우 수신부 회전에 사용되는 구동부의 성능을 높인다면 보다 짧은 주기로 측정이 가능하다. 또한 USAT는 수발신부 사이의 동기화가 필요하여 RF신호를 사용하여야 되나 IRPS는 수발신부 사이의 동기화가 필요없어 RF에 의한 간섭 및 노이즈 문제를 해결 할 수 있는 장점이 있다.

IV. 결론 및 고찰

본 논문에서는 적외선 센서를 이용한 위치 인식 시스템을(IRPS) 제안하였다. 기존의 연구에서는 수발신부 사이의 거리를 계산하여 위치를 계산하는 삼변측량 방법들이 널리 연구되었으나 본 연구에서는 수발신부 사이의 각도 정보로부터 삼각측량으로 위치를 인식하였다. 제안된 위치인식 알고리즘에 대하여 모의실험 및 실험 등이 수행되었고 특히 USAT과 비교 검증되었다. 실험 결과로부터 간단한 구성과 작은 비용으로 이동로봇 등의 실내 위치인식에의 적용 가능성을 확인 하였다.

향후 연구과제로서 시스템의 위치인식 영역을 확장하여야 되며 위치인식 성능을 높이기 위하여 스테핑 모터 대신 DC 모터와 엔코더를 이용하여 위치인식 갱신 주기를 증가시키고 각도 분해능을 높이는 것이 필요하다.

참고문헌

- [1] J. H. Kim and P. H. Seong, "Experiments on orientation recovery and steering of an autonomous mobile robot using encoded magnetic compass disc," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 45, pp. 271-274, Feb. 1996.
- [2] Jay Farrell and Matthew Barth, *The Global Positioning System & Inertial Navigation*, McGraw-Hill, NewYork, 1998.
- [3] 이수영, 진재호, "전역 초음파 센서 시스템을 이용한 이동 로봇의 자기 위치 추정," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제9권 제2호, pp. 145-151, 2003.
- [4] 황병훈, 이수영, "전역 초음파 시스템을 이용한 이동 로봇의 자율 주행," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제10권 제6호, pp. 529-536, 2004.
- [5] 김수용, 이정민, 이동환, 이만형, "초음파 위치인식 시스템을 이용한 차량의 무인주행," 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제13권 제9호, pp. 875-882, 2007.
- [6] 이동환, 김수용, 윤강섭, 이만형, "무인 이동 로봇 위치추정을 위한 초음파 위성 시스템," 제어·로봇·시스템공학 논문지, 제13권 제10호, pp. 956-961, 2007.
- [7] Y. Arai and M. Sekiai, "Absolute position measurement system for mobile robot based on incident angle detection of infrared light," *Proc. of the 2003 IEEE/RSI Intl. Conference on Intelligent Robots and Systems LasVegas, Nevada*, vol. 1, pp. 986-991, Oct. 2003.

- [8] 손창우, 이승희, 이민철, “전자 나침반과 적외선 광원 추적에 이용한 이동로봇용 위치 인식 시스템,” 제어·로봇·시스템학회 논문지, 제14권 제8호, pp. 767-773, 2008.



김수용

2003년 부산대학교 기계공학부 졸업. 2005년 부산대학교 지능기계공학과 석사. 2005년~현재 동 대학원 박사수료. 관심분야는 이동로봇 무인주행 및 위치추정.

- [9] 하경남, 이경창, 이석, “스마트 홈을 위한 PIP 센서 기반 실내 위치 인식 시스템 개발,” 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제12권 제9호, pp. 905-911, 2006.



최주용

1998년 부산대 제어기계과 졸업. 2000년 동 대학원 석사. 2005년 동 대학 박사. 2005년~2009년 현대기아자동차 기술연구소 선임연구원. 2009년~현재 자동차부품혁신센터 팀장. 관심분야는 차량 자율주행, 사시제어 및 전기차.



이만형

1969년 부산대 전기공학과 졸업. 1971년 동 대학원 석사. 1983년 미국 Oregon 주립대학교 전기컴퓨터공학과 박사. 1975년~현재 부산대 기계공학부 교수. 2002년~2004년 부산대 공과대학장. 관심분야는 메카트로닉스, 확률제어, 랜덤 프로세서, 이동로봇 등.

어, 랜덤 프로세서, 이동로봇 등.