

무인 이동 로봇 위치추정을 위한 초음파 위성 시스템

USAT(Ultrasonic Satellite System) for the Autonomous Mobile Robots Localization

이 동 활*, 김 수 용, 윤 강 섭, 이 만 형

(Dong Hwal Lee, Su Yong Kim, Kang Sup Yoon, and Man Hyung Lee)

Abstract : We propose a new distance measurement method and local positioning system for the autonomous mobile robots localization. The distance measurement method is able to measure long-range distances with a high accuracy by using ultrasonic sensors. The time of flight of the ultrasonic waves include various noises is calculated accurately by the proposed period detecting method. The proposed local positioning system is composed of four ultrasonic transmitters and one ultrasonic receiver. The ultrasonic transmitter and receiver are separated but they are synchronized by RF (Radio frequency) signal. The proposed system using ultrasonic waves is represented as USAT (Ultrasonic Satellite System). USAT is able to estimate the position using the least square estimation. The experimental results show that the proposed local positioning system enables to estimate the absolute position precisely.

Keywords : period detecting method, localization, local positioning system, ultrasonic wave, ultrasonic satellite system

I. 서론

자율 주행 차량(AGV: Autonomous guided vehicle)이나 이동 로봇에서 위치 인식과 장애물 검출은 무인 주행에 있어 가장 기본적인 요소이며 중요한 문제이다. 이 중에서 위치 인식 문제를 해결하기 위하여 여러가지 방법들이 연구되고 있으며 일반적으로 관성 항법 시스템(INS: Inertia Navigation System)이나 GPS(Global Positioning System), 레이저 스캐닝 시스템, 비전 시스템(Vision system), 초음파 시스템 등이 주로 사용되고 있다[1-3].

가속도계나 자이로스코프 등에 의한 관성 항법 시스템의 경우, 인식영역의 제한이 없고 환경구축이 용이하지만, 위치 인식 정도가 낮고 운행시간 경과에 따른 누적 오차가 발생한다. 이에 반해, GPS는 현재 위치인식에 매우 널리 사용되고 있으나 정밀도를 높이기 위해서는 높은 비용이 들고 실내에서 사용이 불가능하다. 또한 레이저 스캐닝 시스템은 고정도의 위치인식을 보장하지만, 비용 및 응답 시간, 시력 영향으로 그 활용에 제약이 있다. 영상신호처리의 속도가 향상됨에 따라, 비전 시스템에 의한 위치인식 정도는 향상되고 있으나, 비용과 인식 환경 변화의 영향은 여전히 무시할 수 없으며 매우 넓은 공간의 경우 맵 인식을 수행하는데 어려움이 크다. 초음파 방식의 위치인식 시스템은 GPS와 같이 정보 전달의 지연시간을 능동적으로 이용한 것으로, GPS는 300,000Km/s 속도의 빛의 시간지연을 이용하는 반면 초음파 위치인식 시스템은 약 340m/s 속도의 초음파 시간지연을 이용한다. 초음파의 전달 속도는 빛에 비해 상당히 느리므로 마이크로프로세서에 의해 신호 처리가 용이하고, 시스템 구성이 단순하여 가격이 저렴하다. 일반적으로 초음파는 거리측정이나 형상인

식[4], 이동로봇에서 장애물 인식, 차량의 후방 물체 검출기, 차량통행검출기, 속도계, 동물이나 인간의 침입검출 보안용 센서 등에 활용되고 있다. 그러나 초음파의 회절과 다중반사, 지향각 특성은 정밀도 및 안정성에 영향을 미친다. 특히 상대거리 측정에 사용되는 반사파를 이용한 방식은, 반사표면의 특성과 상대각의 변화에 따라 반사파 크기의 급격한 변화가 나타나고 장애물 등에 의한 간섭이 일어난다.

본 논문에서는 GPS 위성과 수신기의 구성과 유사하게 GPS 위치 인식 방법을 기본으로 하여 초음파 센서와 라디오 주파수(RF: Radio Frequency) 송수신 모듈을 이용한 3차원 위치인식 시스템을 제안한다. 직접파에 의한 초음파의 체공시간(T.O.F: Time Of Flight) 계측을 위하여, 송수신부의 동기화가 필요하다. 이를 위해, Ghidary 등[5]은 적외선을 이용하였으나, 본 연구에서는 Arai와 Nakano 등[6]이 채택한 라디오주파수를 이용한다. 또한 Martin [7]나 Mahajan [8]의 연구를 살펴보면, 위치인식 대상인 이동물체에 송신부를 부착하고 외부에 여러 개의 수신부를 고정하는 방식은 여러 개의 이동 물체를 동일 공간에서 인식하는데 어려움이 많다. 따라서 외부의 고정된 위치에 GPS 위성처럼 초음파 송신부를 고정하고, 이동물체에서는 초음파를 수신하여 이로부터의 거리를 순차적으로 측정하여 3차원 위치를 산출하게 된다. 특히 이와 유사한 전역 초음파 시스템은 RF로 송신기를 호출하는 방법이므로 여러 개의 물체가 동시에 동일 공간 내에서 위치를 인식할 수 없으며 위치인식을 할 수 있는 영역이 좁고 칼만필터를 이용한 위치인식방법을 제안하였다[9,10]. 그러한 기존의 초음파 위치인식방법이 갖는 감지거리 제약 및 정밀도 한계를 극복하기 위하여 기존의 초음파 거리측정 방식보다 정밀하며 노이즈에 강하며 장거리 전송이 가능한 주기 검출방식을 제안하고 이를 이용하여 기존의 방식보다 넓은 범위에서 정밀한 위치인식이 가능한 초음파 위성방식의 위치인식 시스템을 구현하였다. 그리고 실험을 통하여 이동로봇의 위치인식에 적합한지 위치인식 성능을 평가하였다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 8. 5., 채택확정 : 2007. 9. 1.

이동활 : 부산대학교 지능기계공학과, 한국LPS(ldh@korealps.co.kr)

김수용 : 부산대학교 지능기계공학과(rocksy@pusan.ac.kr)

윤강섭 : 대구대학교 자동차산업기계공학부(kasyoon@daegu.ac.kr)

이만형 : 부산대학교 기계공학부(mahlee@pusan.ac.kr)

II. 주기 검출방식을 이용한 초음파 거리측정

본 장에서는 기존의 초음파 방식에 비해서 정밀도와 넓은 측정 영역을 가진 새로운 체공시간 측정방법인 주기 검출방식(period detecting method)을 제안한다. 우선 기본적인 체공시간 검출방식을 살펴보고, 제안하는 주기 검출 방식의 원리를 설명한다.

1. 기본적인 체공시간의 검출방식

초음파가 송신부에서 발신되어 수신부에 수신될 때까지의 체공시간은, 그림 1에서와 같이 발신된 시각 T_t 과 그 신호가 수신된 시각 T_r 와의 차이로 정의된다. 송수신부가 분리된 직접파를 이용한 방식에서, 초음파 송수신부 사이의 거리 d 는 다음과 같이 표현된다.

$$d = c \times T.O.F. + d_0 \tag{1}$$

여기서 d_0 는 송수신부의 진동판 위치오차로 인한 거리 오프셋(offset)을 나타내며, c 는 대기중의 초음파 속력으로 대기의 섭씨온도 T 에 대하여 다음과 같이 정의된다.

$$c = 331.5 + 0.60714 \times T \tag{2}$$

따라서, 초음파 거리측정 정도는 체공시간의 측정정도, 즉 초음파 수신시간 T_r 의 인식 정도에 직접적인 영향을 받는다.

초음파의 체공시간(또는 초음파 수신시간 T_r) 의 인식 기법으로, 문턱치 검출방식(threshold method)과 포락선 검출방식(envelop method)이 일반적으로 사용되고 있다. 문턱치 검출방식은 수신된 파형의 진폭을 기준으로 신호를 검출하는 방법으로, 문턱치 이하의 신호는 잡음으로, 그 이상의 신호가 검출되면 발신된 신호인 것으로 판단하는 방식이다.

문턱치 검출방식에서는 그림 2에서와 같이, 신호의 수신시간을 T'_r 로 인식하므로 $c \cdot (T'_r - T_r)$ 만큼의 거리 측정 오차가 발생하며, 송수신 거리의 증가에 따라 수신되는 음파의 진폭이 감소되어 오차의 크기가 증가한다. 이러한 오차를 줄이기 위하여 문턱치를 낮추면, 수신신호의 잡음에 의한 오차가 발생한다. 이를 극복하기 위하여 문턱치를 가변하는 방법도 사용되나 기본적으로 발생하는 오차를 완전히 극복하기에는 어려움이 있다.

송수신 간의 거리나 매질의 변화로 발생하는 음파의 진폭 변화에 영향을 받지 않는, 포락선 검출방식은 그림 3에서와 같이 음파 포락선의 최대 진폭지점으로부터 수신파형의 시작점을 역추적하는 방식이다. 이러한 방식은 수신신호가 포화되는 경우 포락선이 언어나지지 않으므로, 포화를 막기 위하여 송수신부 증폭기의 이득을 가변구조로 구성해야되므로 구조가 복잡해진다.

2. 주기인식 검출방식

송신기에서 발신된 초음파는 체공시간의 증가에 따라 진폭은 감소하지만 주기는 변하지 않는 특징을 가진다. 따라서 주기 검출에 의한 체공시간의 측정은 음파 감쇠에 의한 측정 오차를 제거하여, 거리측정 정밀도를 높일 수 있다.

체공시간의 측정을 위한 주기 검출 방식은 다음과 같은 단계로 이루어진다. 우선 수신된 신호 $\omega_r(t)$ 는 아날로그 저주파통과 필터에 의해 고주파 잡음 성분이 제거된다. 그리고

A/D 변환기를 사용하여 디지털 신호 $\omega_r(k)$ 를 얻는다. 이렇게 얻어진 디지털 신호는 송신되는 초음파 주파수와 동일한 주기의 신호인 $\omega_s(k)$ 와의 자기상관 연산(autocorrelation operation)을 매 주기마다 수행해 줌으로써 송신 주파수 성분이 증폭된 신호 $C_\omega(k)$ 로 변환된다.

$$C_\omega(k) = \sum_j \omega_s(j) \overline{\omega_r(k+1-j)} \tag{3}$$

여기서, $\omega_s(k)$ 는 송신되는 초음파 주파수와 동일한 주기의

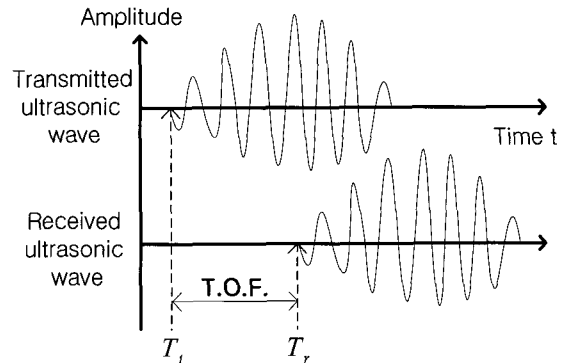


그림 1. 체공시간의 정의.

Fig. 1. The definition of T.O.F.

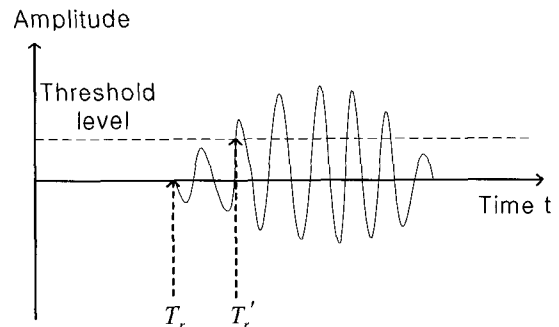


그림 2. 문턱치 검출방식.

Fig. 2. Threshold method.

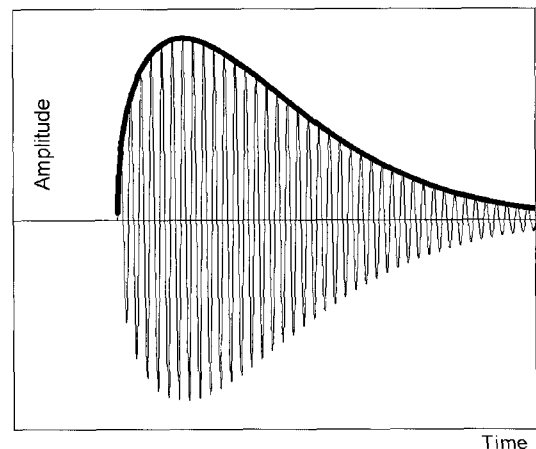


그림 3. 포락선 검출방식.

Fig. 3. Envelop method.

신호로 다음과 같이 송신되는 초음파 송신주기 T_s 와 샘플링 시간 t_s 을 이용하여 정의된다.

$$\omega_s(k) = \sin\left(\frac{2\pi}{T_s}kt_s\right) \quad (4)$$

이러한 기법을 이용하면 특정 주파수를 용이하게 판별할 수 있으므로 특정 주파수의 주기를 인식할 수 있게 된다. 그러므로 자기상관 연산을 수행한 신호 $C_{\omega}(k)$ 로부터 주기를 계속적으로 검사하면서 송신된 초음파와 동일한 주기가 반복적으로 나타나면 반복되는 주기의 처음 시간을 초음파를 수신시점으로 인식하여 체공시간을 계산한다[11].

III. 초음파위성방식의 정밀위치인식 시스템

1. 초음파위성방식의 위치인식 시스템 구성

GPS는 지구궤도면의 정지위성 신호가 수신기에 도달하는 시간을 고려하여, 위치를 인식하는 시스템이다. 본 연구의 초음파 위성방식의 위치인식 시스템은 MURATA사의 40kHz 초음파 센서를 이용하여 그림 4와 같이 구성된 초음파 송수신기를 바탕으로 그림 5와 같이 일정 영역 안의 고정된 위치에 초음파 송신기가 4개 설치된다. 위치를 인식하고자 하는 물체에 초음파 수신기가 놓이게 되면 각각의 초음파 송신기로부터 들어오는 라디오 주파수 동기 신호와 초음파 신호를 받아서 각각의 거리를 측정하게 되고 이를 바탕으로 3차원 위치를 인식하게 된다. 지금부터 초음파 위성방식의 정밀 위치인식 시스템을 초음파 위성(USAT: Ultrasonic Satellites system)이라 부르기로 한다.

그림 6과 같이 위치를 인식해야 하는 이동 물체 측에서 송신하는 위치인식 방식은 1개의 이동체를 대상으로 영역을 확장하기 편리하지만 여러 이동 물체의 위치인식에는 불리하다. 그림 5의 방식에서도 라디오 주파수 송수신기가 송수신기에 부착되어 수신기가 송신기의 구동을 제어하는 방식이 사용되고 있으나 이는 그림 6과 같이 한 공간 내에서 여러 물체의 위치를 인식할 경우 라디오 주파수 간섭으로 인하여 여러 물체의 위치인식에 문제가 발생할 수 있다[9,10]. 그러므로 여기서는 GPS의 기본 원리를 이용하여 초음파 송신기가 설치된 영역 내에서는 초음파 송신기와 라디오 주파수 송신기가 반복해서 신호를 송출하고 위치 인식을 수행하는 수신기에서는 초음파 신호와 라디오 주파수 신호를 수신하여 위치를 인식하도록 구현하였다. 이를 통하여 위치를 인식할 영역 내에서는 여러 개의 초음파 수신기가 존재하여도 수신 신호만으로 서로 독립적으로 개별 위치를 인식하게 된다.

초음파 송신기와 수신기간의 음파 시간지연 측정을 위하여, 고정측의 초음파 송신부와 이동측의 수신부는 동기화 되

여야 한다. 이를 위해서 라디오 주파수 동기신호를 이용하여 초음파 송신 시점을 동기화 한다. 가까운 거리이므로 라디오 주파수 송수신부 간의 시간지연은 없는 것으로 가정 하였다. 동일영역 내, 여러 대의 초음파 송신기에서 동시에 음파를 발신할 경우 음파 간의 간섭으로 개별 신호의 구분이 힘들어

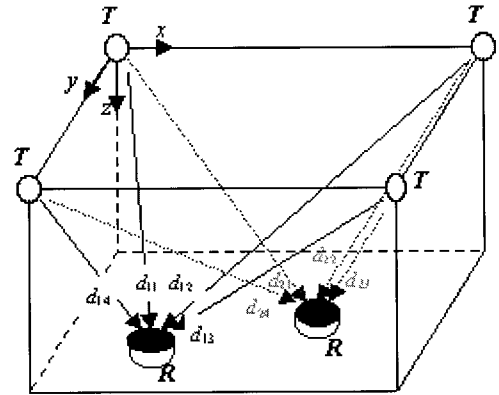


그림 5. 이동체 수신 방식의 초음파 위치인식.
Fig. 5. Object-receiving type of ultrasonic local positioning system.

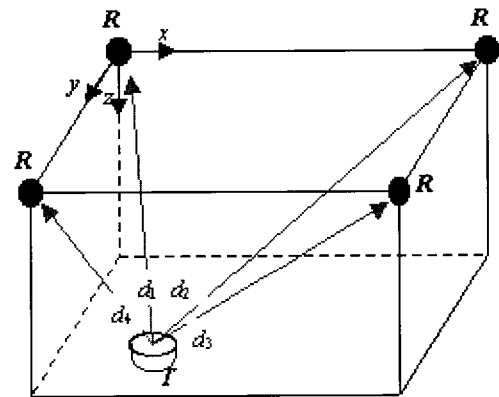


그림 6. 이동체 송신 방식의 초음파 위치인식.
Fig. 6. Object-transmitting type of ultrasonic local positioning system.

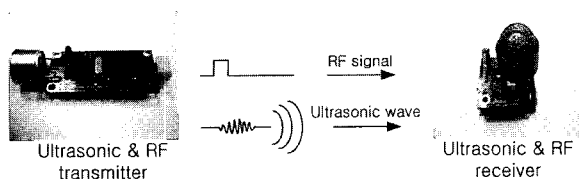


그림 4. 초음파 및 라디오 주파수 송수신기의 구성.
Fig. 4. Configuration of ultrasonic and RF transmitter and receiver.

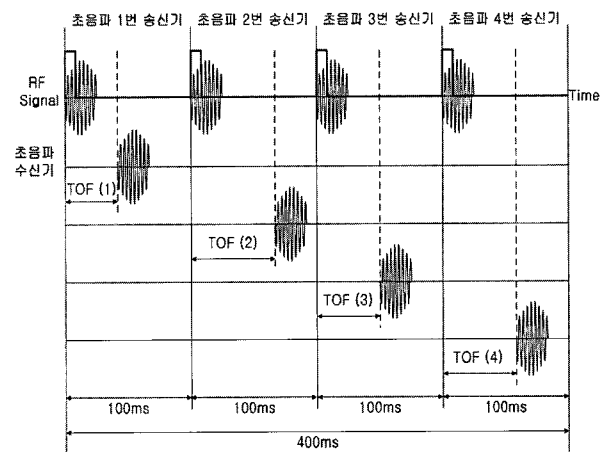


그림 7. 초음파 위성의 타이밍도.
Fig. 7. Timing diagram of USAT.

지므로 각각의 초음파 송신기는 라디오 주파수와 같이 순차적으로 동기화된다. 그림 7은 라디오 주파수 동기신호에 의해서 초음파 수신기가 초음파를 수신하는 타이밍도이다. 초음파 수신기는 라디오 주파수 동기신호 기준으로 초음파 송신기로부터 받은 초음파의 체공시간을 계산하고 각각의 초음파 송신기와 초음파 수신기 간의 거리 d_1, d_2, d_3, d_4 를 계산한다. 초음파 수신기가 초음파 송신기로부터 라디오 주파수 동기신호를 받고 다음 초음파 신호를 받기 위해 동기신호를 기다릴 때까지 걸리는 시간은 그림 7에서 보듯이 100ms가 소요된다. 이렇게 일정한 주기로 초음파를 송신하는 이유는 각각의 송신기들이 초음파를 송신할 때 서로의 간섭을 없애고 반사파의 영향을 없애기 위해서이다. 일반적으로 GPS의 샘플링 주기는 1초인데 반해서 초음파 수신기의 샘플링 주기는 이보다 짧은 0.4초이다. 이는 초음파 위성이 GPS보다 좀 더 빠르게 위치추정이 가능하며 사용되는 환경에 따라서 샘플링 주기의 조절이 가능하므로 좀 더 유연하고 좀 더 빠른 정밀 위치 인식을 할 수 있다.

2. 위치인식 알고리즘

초음파 위성방식의 정밀위치인식은 초음파 수신기에서 수행된다. 초음파 수신기는 각각의 초음파 송신기와 라디오 주파수 동기신호를 수신 받아서 각각 초음파 송신기 간의 거리를 계산하게 되며 각각의 거리는 $d_i (i=1, 2, \dots, n)$ 로 나타낼 수 있다. 각각의 거리가 계산되면 수신기의 위치 $\vec{P}=[x, y, z]^T$ 를 송수신기 사이의 위치로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$|\vec{P} - \vec{T}_i| = d_i \quad (i=1,2,3,4) \tag{5}$$

여기서 $\vec{T}_i=[a_i, b_i, c_i]^T$ 는 각각의 초음파 송신기 고정된 위치 좌표를 나타낸다. (5)로부터 위치를 계산하기 위하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{P} \cdot (\vec{T}_i - \vec{T}_{i+1}) = D_i \quad (i=1,2,3) \tag{6}$$

여기서 $D_i = \frac{1}{2} \left(|\vec{T}_i|^2 - |\vec{T}_{i+1}|^2 - (d_i^2 - d_{i+1}^2) \right)$ ($i=1,2,3$) 이고 (6)로부터 수신기의 위치 $\vec{P}=[x, y, z]^T$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\vec{P} = \begin{bmatrix} a_1 - a_2 & b_1 - b_2 & c_1 - c_2 \\ a_2 - a_3 & b_2 - b_3 & c_2 - c_3 \\ a_3 - a_4 & b_3 - b_4 & c_3 - c_4 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{bmatrix} \tag{7}$$

(7)에서 역행렬이 존재하도록 초음파 송신기를 배치하게 되면 초음파 수신기의 위치를 계산할 수 있다. 이렇게 초음파 수신기가 자기 위치를 인식하게 되면 시리얼 통신을 이용하여 위치 좌표를 출력한다. 초음파는 (1)에서 보듯이 온도나 매질 등의 영향으로 이동속력이 달라지게 된다. 그러므로 온도 등을 측정하여 음속에 반영해 주어야 위치 오차를 보다 감소시킬 수 있다. 본 실험에서는 초음파 온도를 실시간 보상하지 않고 쉽게 위치를 정확히 추정할 수 있도록 최소자승법(Least Square Estimation)을 이용하여 위치인식 온도보정을 하였다.

IV. 초음파 위성의 정밀위치인식 실험

초음파 위성의 정밀위치인식 성능을 평가하기 위하여 먼저 초음파 송신기를 길이, 폭, 높이가 7.000m, 7.000m, 2.675m인 실내 공간의 천장에 설치하였다. 다음으로 초음파 수신기를 바닥에 0.9m 간격의 격자 무늬 위에 놓고 위치를 각각 측정하였다.

그림 8은 그 결과를 나타내고 있으며 온도 등을 보상하지 않고 위치를 측정하였을 경우 그림 10에서 보듯이 실제 위치와 오차가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 각각의 측정된 위치를 바탕으로 최소자승법을 적용한 결과 그림 9와 같이 나타나며 측정된 위치 오차의 크기는 그림 10과 같이 나타난다. 측정된 위치와 실제 위치가 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 각각의 실험 결과는 표 1과 같이 나타나며 실험 결과에서 보듯이 정지 상태에서 최소자승법을 이용하여 위치추정을 한 경우 평균 오차가 0.001m로 정밀한 위치인식이 가능한 것을 확인할 수 있다. 이를 통하여 직접적인 온도 보상을 하지 않더라도 최소자승법을 적용하여 정밀한 위치인식이 가능한 것을 확인할 수 있다.

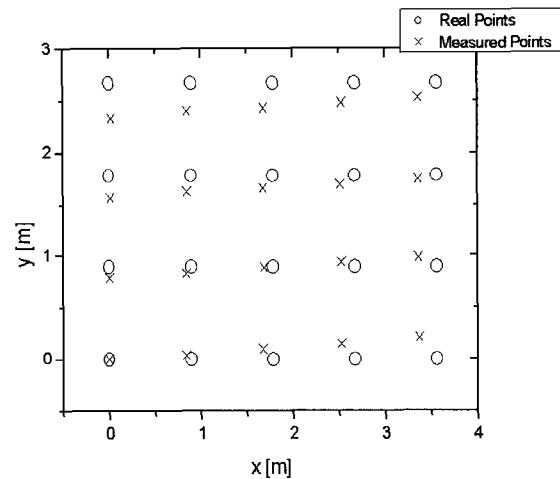


그림 8. 초음파 수신기에서 측정된 위치와 실제위치의 측정 실험 결과.

Fig. 8. Experimental results of measured points and real points.

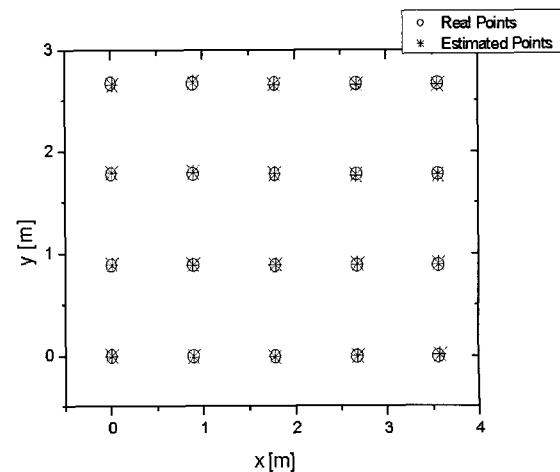


그림 9. 최소자승법에 의해 보정된 위치 측정 실험 결과.

Fig. 9. Estimated position by Least square estimation.

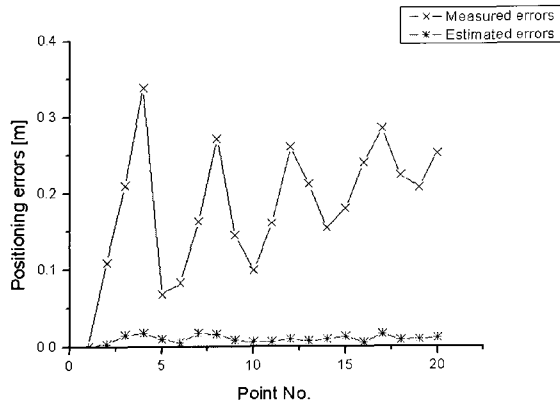


그림 10. 정지 상태에서 측정된 위치오차.
Fig. 10. Errors of measured and estimated points.

표 1. 정지 상태에서의 실험 결과.
Table 1. Experimental results of static state.

	Mean of error [m]	Max. error [m]	STD of error [m]
Measured point	0.183	0.338	0.073
Estimated point	0.001	0.017	0.004

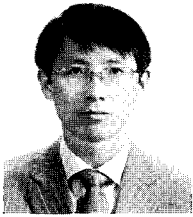
V. 결론

일반적인 GPS는 넓은 영역에서 고정도의 위치인식이 가능하지만, 마천루나 실내에서 인식되지 않는 한계를 갖는다. 이를 보완하고 인식정도를 높이기 위해, 본 논문에서는 GPS의 개념을 도입하여 전파 대신 음파를 이용한 초음파 위성방식의 위치인식 시스템을 제안하였다. 먼저 체공시간 계산을 위해 제안된 주기인식 검출방식은 송신음파의 주기와 동일한 주기의 음파가 수신된 시점을 기준으로 체공시간을 계산하는 방식으로 기존 문턱치 검출법 보다 인식정도를 향상시켰고 인식영역을 확대시켰다. 이를 바탕으로 송신기를 정해진 위치에 고정하고 이동물체에 초음파 수신기를 부착하는 방식을 채택하여, 초음파의 회절이나 반사, 감쇠 문제를 해결하고 여러 개의 수신기가 존재하더라도 각각이 서로 간섭없이 위치인식이 가능하도록 시스템을 구성하였다. 송수신부는 라디오 주파수 신호를 이용하여 0.1초 간격으로 순차적으로 동기화 되었다. 실험을 통해 분석된 성능 평가 결과에서, 초음파 위성에 의한 위치인식 정도는 정지 상태에서는 매우 정밀

한 위치 인식이 가능하였다. 이러한 초음파 위성을 이용함으로써 실내에서 기존의 시스템보다 간단하고 높은 정밀도를 갖는 위치인식 시스템의 구축이 가능할 것이다.

참고문헌

- [1] 김상겸, 김정하, “물체인식 및 회를 위한 무인자동차의 제어 및 모델링에 관한 연구,” 한국자동차공학회 논문집, 제 11 권, 제 5 호, pp. 183-192, 2003.
- [2] 최병준, 김수일, 김춘승, 이연정, 이상룡, “자율이동로봇을 위한 초음파 센서 응용기술,” 제어·자동화·시스템공학회지, 제 8 권, 제 5 호, pp. 31-42, 2002.
- [3] E. Abbott and D. Powell, “Land-vehicle navigation using GPS,” *Proceedings of the IEEE*, vol. 87, no. 1, 1999.
- [4] 이왕현, 권인소, “다중반사특성을 이용한 새로운 초음파 거리 센서,” 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제 8 권, 제 7 호, pp. 564-572, 2002.
- [5] S. S. Ghidary, T. Tani, T. Takamori, and M. Hattori, “A new Home Robot Positioning System(HRPS) using IR switched multi ultrasonic sensors,” *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 4, pp. 737-741, 1999.
- [6] T. Arai and E. Nakano, “Development of Measure Equipment for Location and Direction(MELODI) using ultrasonic waves,” *Transactions of the ASME*, vol. 105, pp. 152-156, 1983.
- [7] J. M. Martin, A. R. Jimenez, F. Seco, L. Calderon, J. L. Pons, and R. Ceres, “Estimating the 3D-position from time delay data of US-waves: Experimental analysis and a new processing algorithm,” *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 101, no. 3, pp. 311-321, 2002.
- [8] A. Mahjan, F. Figueroa, “An automatic self-installation and calibration method for a 3D position sensing system using ultrasonics,” *Robotics and Autonomous Systems*, vol. 28, no. 4, pp. 281-294, 1999.
- [9] 이수영, 진재호, “전역 초음파 센서 시스템을 이용한 이동 로봇의 자기 위치 추정,” 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제 9 권, 제 2 호, pp. 145-151, 2003.
- [10] 황병훈, 이수영, “전역 초음파 시스템을 이용한 이동 로봇의 자율 주행,” 제어·자동화·시스템공학 논문지, 제 10 권, 제 6 호, pp. 529-536, 2004.
- [11] 이동환, 김수용, 윤강섭, 이만형, “주기인식 검출방식을 이용한 장거리 정밀 초음파 거리측정 시스템 개발,” 한국정밀공학회지, 제 24 권, 제 8 호, pp. 41-49, 2007.



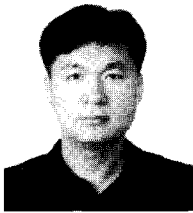
이 등 활

1984년 부산대학교 기계공학과 졸업.
1986년 부산대학교 기계공학과 석사.
1996년 부산대학교 기계공학과 박사 수료.
2004년~현재 한국LPS 대표.



김 수 용

1977년 12월 13일생. 2003년 부산대학교 기계공학부 졸업. 2005년 부산대학교 지능기계공학과 석사. 2005년~현재 동 대학원 박사수료. 관심분야는 이동로봇 무인주행 및 위치추정.



윤 강 섭

1963년 9월 15일생. 1986년 부산대학교 정밀기계공학과 졸업. 1988년 부산대학교 기계공학과 공학석사. 1997년 부산대학교 기계공학과 공학박사. 2000년~현재 대구대학교 자동차산업기계공학부 교수. 관심분야는 예측제어, 이동로봇, ITS.



이 만 형

1969년 부산대학교 기계과 졸업. 1971년 부산대학교 기계과 석사. 1983년 미국 오레곤 주립대학 공학박사. 1984년~현재 부산대학교 기계공학부 교수.