

## 다중센서를 이용한 이동표적의 위치추적시스템 설계

임중수<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>백석대학교 정보통신학부

### A Design of Position Tracking System for Moving Targets with Multi-Sensors

Joong-Soo Lim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Division of Information and Communication, Baekseok University

**요약** 본 논문에서는 적외선 센서와 초음파 센서를 동시에 사용하여 이동하는 표적의 위치를 실시간으로 추적하는 위치추적 시스템을 설계하였다. 위치 추적 시스템은 2 개의 적외선 센서를 이용하여 표적이 감시영역에 침입하는 것을 확인하고, 4 개의 초음파 센서를 이용해서 각 센서에서 표적까지의 거리를 탐지하여 이동하는 표적의 위치좌표 (x,y)를 구하였다. 특히 초음파 센서가 가지고 있는 안테나의 빔폭 특성 때문에 4 개 센서 중 2개 센서에만 표적이 탐지될 경우에도 표적의 위치를 정확하게 결정하는 방법을 제시하였다. 또한 개발된 알고리즘을 설계된 시스템에 장착하여 시험한 결과 감시시스템이 실험실 내에서 실시간 정확하게 구동하는 것을 확인하였다.

**Abstract** In this paper we present a position tracking system that checks the locations of moving targets in real-time. The system confirms that unknown object invades in watch area using 2 infrared sensors and detect the distance from each sensor to object using 4 ultrasonic sensors, and calculate the position of moving object in x-y coordinate. We specially present an algorithm that decide the location of target in case of target is detected in 2 sensors because of radiation beam width of ultrasonic sensor. We established the algorithm to hardware system and tested the system within a laboratory, and confirmed that the designed system tracked an object exactly in real-time.

**Key Words** : Sensor, Ultrasonic, Position tracking ,Infrared Sensor, Location .

### 1. 서론

중요한 시설이나 장비를 보호하기 위해서는 이들 물체가 설치된 지역을 실시간으로 감시하고 경보하는 시스템이 필요하다. 21세기에는 각종 센서 기술과 무선통신 기술이 발달함에 따라 기존에 구현되었던 유선통신 방식의 감시시스템이 점차 무선을 이용하는 방식으로 변화하고 있다. 무선 통신 전송 기술을 이용하는 방식은 기존의 유선방식과 달리 고주파(RF)신호를 이용하여 공기 속으로 정보를 전송하므로 유선통신 선로가 필요 없으므로 설치가 용이하고, 유지비용이 적게 드는 장점이 있다.

최근에는 초음파센서, 고주파 센서, 적외선 센서 등 각종 센서 기술이 발달하여 고정된 표적의 거리와 방위 정보는 쉽게 획득할 수 있게 되었다. 그러나 표적이 움직이

는 경우에는 표적의 방향과 거리가 실시간으로 변하기 때문에 표적의 정확한 방향과 거리를 알기 위해서는 센서에 연결된 안테나를 회전시키거나 또는 배열안테나를 이용하여야 하며, 이 경우에는 하드웨어가 복잡해지고 가격이 비싸진다[1,2].

본 연구에서는 2개의 적외선 센서와, 4개의 고정형 초음파 센서를 이용하여 감시구역 안으로 침입하는 이동표적의 출현을 실시간으로 추적하여 표적의 이동위치를 정확하게 확인하는 위치추적 시스템을 설계하였다. 또한 표적의 위치가 추적되면 방위각 방향으로 180 도 구동이 가능한 2 개의 적외선 카메라를 이용하여 표적을 전후에서 추적하면서 표적의 영상을 녹화하는 실시간 영상감시 시스템도 설계하였다.

\*교신저자 : 임중수(jslim@bu.ac.kr)

접수일 09년 12월 07일

수정일 10년 01월 15일

게재확정일 10년 01월 20일

## 2. 위치추적시스템 설계

위치추적 시스템은 그림 1과 같이 적외선 무선 센서 2개(카메라와 함께 설치함), 초음파 센서 모듈(RB-SRF08) 4개, 지그비(X-BEE) 멀티 무선 모듈 4세트, 시스템 제어 컴퓨터 1세트로 구성되어 있다.[3]

외부에서 이동하는 물체가 감시 구역에 침입하면 2개의 적외선 센서는 표적의 온도를 측정하여 온도의 급격한 변화에 따른 경보 신호를 보낸다. 적외선 센서에서 정보신호가 발생하면 4개의 초음파 탐지 센서는 각 센서에서 표적까지의 거리  $R_1, R_2, R_3, R_4$  값을 얻어서 무선 모듈을 이용하여 센서번호와 표적 거리 정보를 시스템 제어컴퓨터로 전송한다.[4]

제어컴퓨터는 지그비 멀티 무선 모듈을 통해서 입력된 각 센서에서 표적까지의 거리  $R_1, R_2, R_3, R_4$  값을 이용하여  $x$ 축과  $y$ 축으로 구성된 2차원 좌표계를 구성하고, 2차원 좌표계에서 이동하는 물체의  $x$  좌표 값과  $y$  좌표 값을 구하여 표적의 위치를 실시간으로 추적 한다.



[그림 1] 초음파센서 위치추적장치 구성도

또한 표적의 좌표값이 결정되면, 2대의 적외선 감시 카메라를 구동하여 카메라가 설치된 위치를 기준으로 표적의 상대 방향을 계산하여 표적을 실시간으로 추적하면서 영상을 촬영하여 시스템 제어 컴퓨터로 전송한다.

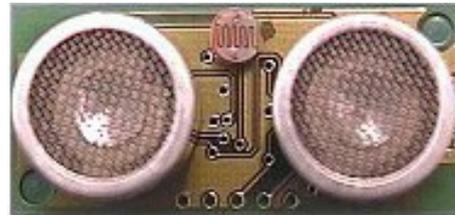
## 3. 초음파 센서

초음파 센서는 그림 2와 같이 초음파 신호를 송신하는 송신안테나와 표적에서 반사된 초음파 신호를 수신하는 수신안테나, 신호처리장치로 구성되어 있다. 초음파의 전송속도는 전송매질과 온도에 따라 다르다. 공기 중에서

초음파의 속도는  $331(m/s)+0.6 \cdot T$ (섭씨온도) 이므로 섭씨 15도에서 약 340 m/s 가 된다. 그러나 전송매질이 바뀌면 전송속도는 달라지며 수중에서는 1,000m/s 이상이 된다.[5]

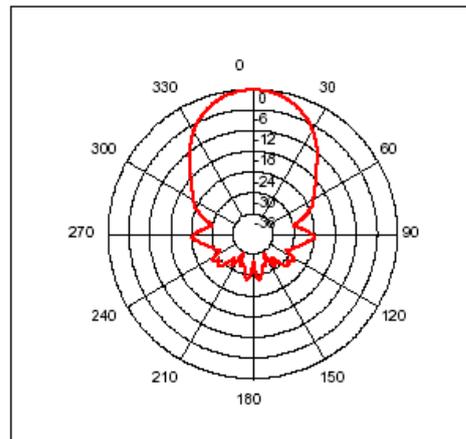
초음파를 이용한 공기중에서 거리 측정은 고주파를 사용하여 거리를 측정하는 레이더 거리 측정 방법과 같은 원리이다. 공기 중에서 초음파의 전파 속도를 340 m/s라고 가정할 때, 초음파 신호가 송신된 시간( $t_1$ )과 수신된 시간( $t_2$ )의 시간차( $\Delta t$ )를 구하면 초음파 센서에서 표적까지의 거리( $R$ )는 식 (1)과 같이 구할 수 있다. 여기서  $R$ 의 단위는 m,  $\Delta t$ 의 단위는 초(sec)이다.

$$R = 340 * \Delta t / 2 [m] \quad (1)$$



[그림 2] 초음파 센서 모듈(RB-SRF08)

특히 초음파 센서는 그림 3과 같이 제한된 빔폭을 가지고 있기 때문에 이동하는 표적이 6 dB 빔폭 이하의 이득이 낮은 위치로 이동하는 경우에는 탐지에 어려움이 있다. 따라서 이러한 경우에는 4개의 센서가 모두 거리를 탐지하지는 못하지만 최소한 2개의 센서에서는 표적의 거리를 탐지하면 표적까지의 거리를 구할 수 있기 때문에 2개의 센서에서 측정된 거리 정보를 이용하여 표적의 이동위치를 추적하는 알고리즘도 개발하였다.

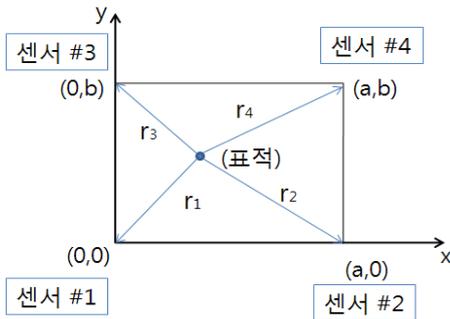


[그림 3] RB-SRF08의 빔 패턴

### 4. 위치추적 알고리즘

시간차 측정기법(time difference of arrival ; TDOA)은 신호를 발사한 뒤 돌아오는 신호의 도착시간을 이용하여 표적의 위치를 측정 하는 방법으로, 본 연구에서는 그림 4와 같이 총 4개의 센서를 이용하여 각 센서들로부터 목표물(표적)의 거리를 탐지 할 수 있게 하였다. 센서들로부터 들어온 4개의 거리정보  $R_1, R_2, R_3, R_4$  를 기초로 하여서 표적의 2차원 좌표계에서의 위치를 측정 할 수 있는데, 4개의 거리 정보 중 가장 작은 거리값( $R$ )을 가지고 있는 2개의 센서정보를 이용하여 목표물의 x-좌표와 y-좌표를 구한다.[6]

센서를 그림 4와 같이 배치하는 경우에는, 각 센서에서 목표물까지 측정 거리를 이용하여 2차원 좌표계에서 원의 방정식을 만들 수 있다. 예를 들어 센서 1과 2에서 목표물 까지 거리가  $r_1$ , 센서 2 에서 목표물 까지 거리가  $r_2$ , 이면, 두 개의 센서로부터 얻어진 원의 방정식은 식 (2), (3)과 같다.



[그림 4] 초음파센서 배치 좌표

$$x^2 + y^2 = r_1^2 \tag{2}$$

$$(x - a)^2 + y^2 = r_2^2 \tag{3}$$

또한 식 (2)와 (3)을 이용하여 표적의 x-좌표와 y-좌표를 구하면 식 (4)와 같이 된다.

$$x = \frac{r_1^2 - r_2^2 + a^2}{2a}$$

$$y = \sqrt{r_1^2 - x^2} \tag{4}$$

또한 센서 3과 4에서 목표물까지 거리가  $r_3, r_4$  이면, 각 센서로부터 얻어진 원의 방정식은 식 (5), (6)과 같다.

$$x^2 + (y - b)^2 = r_3^2 \tag{5}$$

$$(x - a)^2 + (y - b)^2 = r_4^2 \tag{6}$$

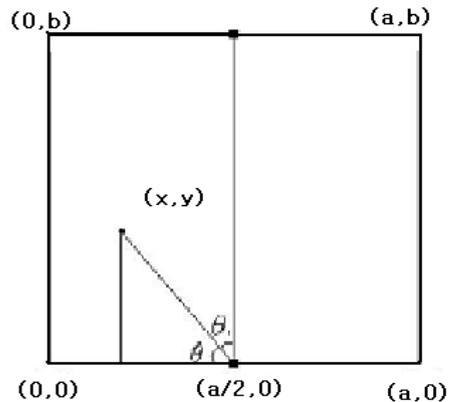
식 (5)와 (6)을 이용하여 표적의 x-좌표와 y-좌표를 구하면 식 (7)과 같다.

$$x = \frac{r_3^2 - r_4^2 + a^2}{2a}$$

$$y = b - \sqrt{r_3^2 - x^2} \tag{7}$$

### 5. 카메라 구동 알고리즘

다음은 카메라를 물체가 있는 방향으로 정확하게 돌리기 위해서 필요한 카메라 구동 알고리즘 개발에 대해서 설명한다.



[그림 5] 카메라 구동 알고리즘 개념도

앞 절에서는 물체의 위치를 2차원 좌표계에서 x좌표와 y좌표 값으로 구하였다. 본 절에서는 구동카메라가 설치된 위치에서 좌우로 움직여야하는 각도를 계산하고자 한다.

그림 5와 같이 가로 축을 x, 세로축을 y로 하는 공간이 있을 때 카메라의 촬영 영역을 좋게하기 위해서 카메라를 x-축상에서 a 값의 반값이 되는 지점( $\frac{a}{2}, 0$ )과 y-축의

값이  $b$  인 마주보는 위치( $\frac{a}{2}, b$ )에 카메라를 놓는 것이 좋다.

카메라는 서로 마주보고 있기 때문에 1 번 카메라는 정면을 기준으로 0도가 되고 왼쪽으로 x-축 까지 움직이면 방위각이  $-90^\circ$ , 오른쪽으로 x-축 까지 움직이면  $90^\circ$ 로 표현된다.

이때, 목표물이 2차원상의 위치좌표에 들어오게 되면 그림 5에서 목표물과 카메라 사이의  $\tan\theta$  값을 식 (9)를 이용하여 구할 수 있다. 또한 카메라 구동각  $\theta_1$  은 식 (10)을 이용하여  $\theta$ 를 구한 뒤에 식 (11) 과 같이 구할 수 있다.

$$\tan\theta = \frac{y}{\frac{a}{2} - x} \quad (9)$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{y}{\frac{a}{2} - x} \quad (10)$$

$$\theta_1 = \theta - \frac{\pi}{2} \quad (11)$$

식 (9), (10), (11)의 각도는 단위가 라디안(radian)이므로 도(degree)로 표현하기 위해서는 호도법으로 나타난  $\theta$ 의 값에  $\frac{180}{\pi}$ 을 곱해야 한다. 식 (11)은 카메라의 기준을 중심으로 한 카메라의 구동각을 나타내는 각도이므로  $\theta$ 에서  $90^\circ$ 를 뺀 값이 된다. 이 각이 그림 5에서  $\theta_1$ 이며, 카메라가 표적을 잘 촬영할 수 있는 위치가 된다.

## 6. 위치추적 시스템 개발 및 시험

본 연구에서는 목표물의 거리측정을 위해서 4개의 초음파 센서를 사용하였다. 그런데 4개의 센서가 거리를 측정하기 위해서 동시에 초음파를 보낼 경우에는 여러 개의 초음파 신호가 부딪혀 되돌아오게 되므로 정확한 거리 정보를 측정 할 수 없게 된다. 따라서 각 초음파 센서의 동작시간을 다르게 하여 초음파 신호가 서로 부딪히지 않도록 설계하였다.

측정된 목표물의 거리 값을 무선으로 제어 컴퓨터에 전달하는 신호는 지그비(X-BEE) 방식을 사용하여 2.4GHz의 주파수로 전송한다. X-BEE 수신기는 동일 주파수는 전부 받아들이기 때문에 신호 방해가 있을 수 있

다.[7]

본 연구에서는 센서에서 보내는 자료의 양이 적고, 하드웨어를 간단하게 하기 위해서 시스템 컴퓨터의 무선 신호 수신부에는 그림 6과 같이 1 개의 수신기로 무선 신호 수신 모듈을 구성하였으며, 각 거리 측정 센서는 시간차를 두고 데이터를 전송하도록 하였다.



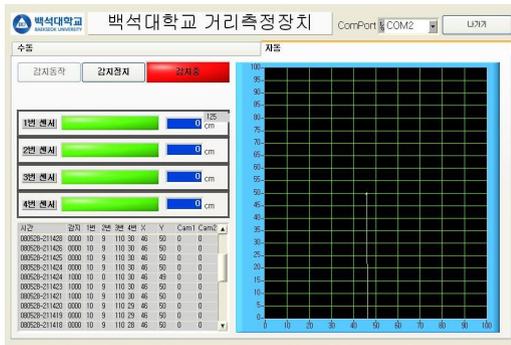
[그림 6] 신호수신 및 영상저장 모듈

그림 7은 위치추적 시스템의 제어기이다. 좌측에는 4개 센서의 동작 상태와 각 센서에서 측정된 표적까지의 거리를 표시하며, 우측에는 표적의 위치를 원점을 기준으로 x, y좌표로 나타내었고, 또한 카메라의 구동 각도를 표시하고 있다.



[그림 7] 위치추적시스템 제어기

그림 8은 위치추적을 진행하는 실제화면이다. 좌측 상단에는 제어기가 있고, 좌측 하단에는 실시간 이동하는 표적의 센서별 거리 값이 나타난다. 우측에는 표적의 궤적을 실시간으로 추적하면서 표적의 현재 위치와 이동 방향을 추적할 수 있는 화면이다. 이 추적화면은 초음파 센서의 제한된 6 dB 빔 패턴으로 인한 빔 패턴제약에서 오는 표적추적 오차를 다소 보완 할 수 있다.



[그림 8] 위치 추적 실행화면

그림 9는 위치추적 시스템의 2 개의 카메라에서 찍은 양 방향 사진이다. 추적 물체의 영상을 정확하게 식별하기 위해서 카메라 구동각을 최적화하여 양면에서 영상을 찍으면 표적 식별이 매우 용이하게 된다.



[그림 9] 전후방의 실시간 감시영상

## 7. 결 론

본 논문에서는 지그비 기반의 무선 통신 기술을 활용하고, 초음파 센서를 이용한 위치 추적 알고리즘을 개발하여 하드웨어에 장착한 후에, 독립 플랫폼이 탑재된 카메라를 구동하여 표적 영상을 실시간으로 촬영할 수 있는 시스템을 개발하였다.

본 논문에서 개발된 위치추적 알고리즘은 간단하면서도 표적의 위치를 정확하게 추적할 수 있어서 양질의 표적 영상을 획득할 수 있었다. 또한 지그비 기반의 데이터 전송 방식이 기존의 유선 방식에 비하여 설치가 용이한 장점이 있어서 사무실이나, 주요 건물, 주요 문화재의 감시에 사용할 수 있고, 그 외에 소방시스템, PC기반 감시 장치에 사용할 수 있다.

향후 과제로는 초음파 센서의 초음파 탐지 범위를 어떻게 하면 좀 더 확장시켜 측정 할 수 있을지에 대한 연

구와 탐지할 물체가 여러 개일 경우에 여러 개의 위치를 정확히 탐지 할 수 있는 알고리즘 연구가 필요하다.

## 참고문헌

- [1] Kawabata, K. et al. "Distance measurement method under multiple ultra sonic sensors environment" IEEE IECON 22nd International Conference, 5-10 Aug. 1996. PP. 812 - 816 vol.2.
- [2] Bassem R. Mahafza Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB(2nd edition), Chapman &hall/CRC, 2005.
- [3] HMOTE-KIT를 이용한 무선센서네트워크 활용, 남상엽 외 1, 2006. 2, 상학당
- [4] <http://www.roboblock.co.kr>
- [5] 임중수 외, "TDOA 기법을 활용한 ELINT 장비의 방위탐지 정확도 분석", 한국산학기술학회 논문지, 제10권, 11호, pp.3104-3109, 2009. 11.
- [6] Wendi B. Heinzelman et al., "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE Trans. on Wireless Communications, Vol. 1, NO. 4, Oct. 2002, PP. 304-309.
- [7] Ishitobi, M. et al. "Ripple-suppressed multirate control and its application to a system with an ultra sonic sensor" 42nd IEEE Conference, 9-12 Dec. 2003. PP. 5979 - 5984 Vol.6.

임 중 수 (Joong-Soo Lim)

[종신회원]



- 1978년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1987년 8월 : 충남대학교 전자공학과(공학석사)
- 1994년 3월 : Auburn University Dept. of EE(공학박사)
- 1994년 1월 ~ 2003년 2월 : 국방과학연구소 책임 연구원/ 전파 탐지 탐장
- 2003년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수
- 2004년 1월 ~ 현재 : 한국군사과학회 편집위원
- 2007년 1월 ~ 현재 : 한국전자과학회 정보전자연구회 위원장

<관심분야>

전자파 수치 해석, 초고주파 시스템