

2차원적 음원추적에 관한 연구

문 성배*, 전 승환**

A Study on Acoustic Sound Tracking System on 2-Dimensional Plain

by

Serng-Bae Moon, Seung-Hwan Jun

Abstract

When navigating in or near an area of restricted visibility, it is necessary to be heard the whistle, bell and/or the siren of lighthouses or ships at times. Even though we can get the brief informations about the property of sound, the direction and range of a sound radiator, it is not easy to get the accurate informations for decision making.

Generally the audio frequency is known as 16~20,000Hz, but the earshot is shorten and discrimination of sound is more difficult when there is some noise. The sound pressure is 60dB at the moment when human speaks 1 meter away. Usually the noise pressure in a silent room is 40dB and 60dB on the quiet street.

In this study, we suggest the basic algorithm to trace the direction and range of the source radiator using the signal received through not a physical sense but the microphone sensors and a series of signal processing.

1. 서언

시정이 제한된 항해시 타선박의 기적, 호종 또는 등대의 사이렌 등의 신호음을 청취해야 할 필요성이 생기게 된다. 이 경우, 상대음의 존재 유무나 음원의 위치에 관해 개략적으로 알 수 있으나, 이를 근거로 의사결정을 하기에는 어려움이 있다.

한편, 인간의 청각은 약16~20,000Hz 범위의 가청주파수대의 음(音)을 들을 수 있으며,

* 한국해양대학교 대학원

** 한국해양대학교 해사수송과학부

선체 주위에는 여러 종류의 소리들이 혼재하고 있어, 이들이 결국 소음의 형태로 영향을 미치게 된다. 주위의 소음이 없으면 상당히 먼 거리에서 발신되는 소리도 가청될 수 있지만, 소음으로 인해 그만큼 가청거리는 짧아지고, 신호음과 소음의 식별, 신호음의 도래 방향을 판별하기는 어렵다.

1m 떨어져서 보통 크기의 소리로 말할 때의 상대방 소리의 크기는 대략 60dB이라고 한다. 또, 조용한 실내에서는 40dB, 사무실에서는 50dB, 조용한 거리는 60dB 정도가 소음의 기준이 되고 있다.¹⁾ 실외에서 전파하는 음압은 음원(音源)에서의 거리가 2배가 될 때마다 약 6dB씩 감소된다.²⁾ 음압은 크고, 소음압이 작을수록 발신음의 가청성은 좋아지고 음의 명확성도 향상되는 것이다.

본 연구에서는 음원이 일정한 가청주파수대에서 발신하는 신호음과 주위 소음을 인간의 청각기관이 아닌 Microphone 센서를 통하여 수신하고, 소음(잡음)을 제거하는 등의 일련의 신호처리를 하여 음원의 2차원적 위치(거리와 방향)를 추적하는 기본적인 알고리즘을 제안하고자 한다.

2. 계측원리

음원이 발하는 음향을 Microphone sensor列을 이용하여 수신하고, 각 센서에 의해 얻어지는 정보에 대해 적절한 신호처리를 하여 각 센서신호의 차등 시간지연을 측정함으로써, 수신기에 대한 음원의 상대위치(거리, 방위)를 측정하고자 한다. 또한, 일정한 시간간격을 두고 상대위치를 측정함으로써 음원의 상대운동(이동속도, 이동방향)도 구할 수 있다.

음원의 음향신호를 센서列로 수신할 경우, 어느 한 센서를 기준으로 했을 때, 다른 센서에는 센서의 배열, 간격 등의 제요소에 따라 수신음에 대한 시간지연(time delay)이 생기게 된다. 각 센서신호의 시간지연 차를 측정하여 음원의 상대위치를 구하는 알고리즘은 다음과 같다.

음원의 음파에너지가 n 개로 구성된 센서列에 수신된다고 하면, 어떤 시간 t 에 i 번째 센서에 수신되는 신호 e_i 는 다음과 같이 주어진다.³⁾

$$e_i(t) = s[K_i(t + \tau_i)] + n_i(t) \quad i=1,2,3,\dots \quad \text{-----}(1)$$

단, $s(t)$, $n_i(t)$ 는 센서에 수신되는 신호와 외부잡음이고,

τ_i 는 시간지연,

K_i 는 음원이 센서에 대해 상대운동을 하므로써 발생되는 시간압축이다.

여기서 신호와 잡음은 상관관계가 없다고 보았을 때, i 번째 센서에 대한 시간압축은 다음과 같다.

$$K_i(t) = 1 + V_i/C \quad i=1,2,3,\dots \quad \text{-----}(2)$$

단, C 는 음속, V_i 는 bearing line에서의 속도

음원의 속도는 음속 C 에 비해 무시할 수 있을 정도로 작다고 하면, V_i/C 항은 무시할 수 있다. 따라서, (1)식은 (3)식으로 나타낼 수 있다.

$$e_i(t) = s(t + \tau_i) + n_i(t) \quad i=1,2,3,\dots \quad \text{-----}(3)$$

음원에서 i 번째 센서까지의 거리 R_i 는 (4)식으로 나타낼 수 있다.

$$R_i = C \cdot \tau_i \quad i=1, 2, 3, \dots \quad \text{-----}(4)$$

단, τ_i 는 음원으로부터 i 번째 센서까지 음향의 전파시간

각 센서사이의 시간차는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\tau_{ij} = -\tau_{ji} = \tau_i - \tau_j \quad i, j=1,2,3,\dots \quad \text{-----}(5)$$

센서의 수가 많을수록 정확한 거리와 방위를 구할 수 있을 것으로 예측할 수 있지만, 3개의 센서로 구성된 계측계로도 정확한 결과를 얻을 수 있으므로 3-sensor system 모형을 다루기로 한다.

그림1은 음원과 센서들로 이루어진 3-sensor system의 기하학적 구조를 나타낸 것으로, M_1, M_2, M_3 는 수신센서이고, L_1, L_2 는 센서간의 간격이고, B_1, B_2, B_3 는 각 센서에서 음원과 센서열이 이루는 교각이다.

이 3-sensor system에서 3개의 센서들은 동일 일직선상에 존재하고 센서간격은 알고 있다고 하면, 센서 M_2 를 기준으로 할 때 삼각함수의 관계를 이용하면 센서로부터 음원까지의 거리 R_2 와 음원에 대한 방위 B_2 를 구할 수 있다.

음원과 각 센서사이에는 다음 식이 성립한다.

$$R_3 = R_2 + C \cdot \tau_{32} \quad \text{-----}(6a)$$

$$R_1 = R_2 - C \cdot \tau_{21} \quad \text{-----}(6b)$$

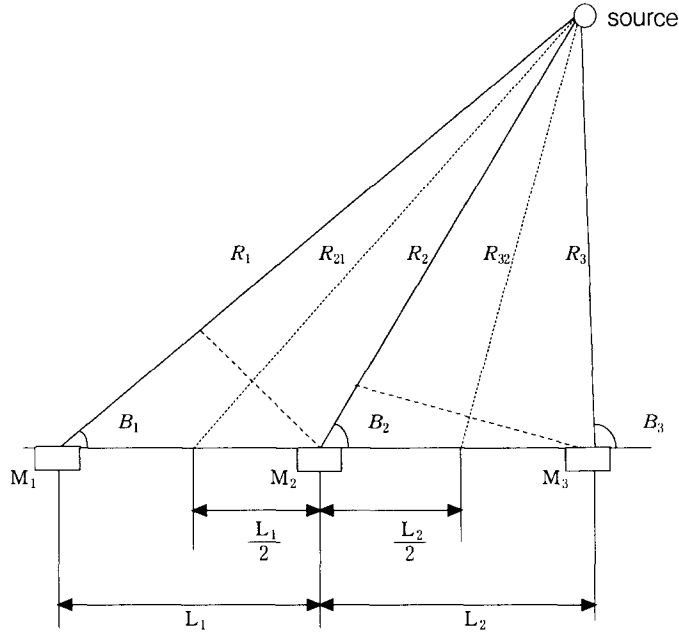


그림 1 음원과 수신센서와의 기하학적 구조

음원과 각 센서들로 이루어지는 평면상의 삼각함수 관계를 이용하여, $L_1=L_2=L$ 로 두고 R_1 과 R_3 를 소거하면, 센서(M_2)로부터 음원까지의 거리와 방위는 (7)식과 (8)식에 의해 구할 수 있다.

$$R_2 = \frac{2L^2 - (C \cdot \tau_{32})^2 - (C \cdot \tau_{21})^2}{2(C \cdot \tau_{32} - C \cdot \tau_{21})} \quad \text{-----(7)}$$

$$B_2 = \cos^{-1} \frac{(C \cdot \tau_{21})^2 - 2R_2 \cdot C \cdot \tau_{21} - L^2}{2R_2 \cdot L} \quad \text{-----(8)}$$

또한, 측정된 음원의 방위와 거리를 이용하여 이동속도와 방향을 구할 수 있다. 즉, 일정한 시간을 두고 발신되는 2차 음향신호의 위치를 측정하므로써 음원의 움직임을 추적할 수 있다.

다음으로 측정오차에 관해 살펴보기로 한다.

위의 (7), (8)식에서 보는 바와 같이, 방향과 거리측정에는 크게 다음 두 가지 오차가 영향을 미친다.

- ① 공간적으로 분리된 각 센서에 수신되는 신호의 시간지연 측정오차
- ② 센서의 위치오차

시간지연의 측정오차는 신호대 잡음비(SNR), 관측시간(observation time), 주파수폭 (bandwidth), 중심주파수(center frequency)와 같은 신호와 잡음의 매개변수에 의해 좌우된다. 일반적으로, 수신기 주위에는 여러종류의 잡음이 존재한다. 이러한 잡음요소의 주파수를 분리·제거할 수 있다면 SNR의 향상은 물론 음의 가청거리도 커지게 된다.

또 한편으로 그림2에 보이듯이, 음을 수신하는 센서외에 주위의 잡음만을 수신할 수 있는 센서를 설치하여 두 센서신호를 공간차분함으로써 잡음을 제거할 수 있는 방법도 고려할 수 있다.

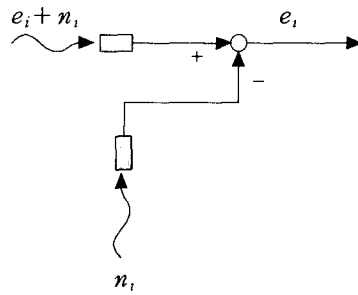
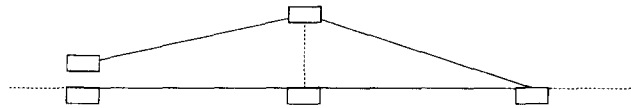
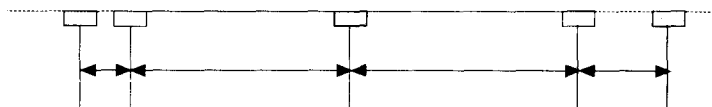


그림 2 센서 수신신호의 공간차분

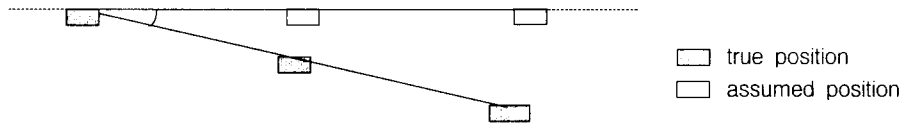
센서의 공간적 위치오차는, 센서의 배열이 일직선이 아닐 때, 센서간의 간격이 부정확할 때, 센서의 배열선이 센서 배열의 기준이 되는 baseline과 일치하지 않을 때에 발생한다. 그림3은 센서의 공간적 위치오차의 발생 형태를 나타낸 것으로, 센서의 진위치와 가정위치와의 기하학적인 구조를 나타낸다. 여기서는 가장 발생하기 쉬운, 센서간의 간격이 부정확할 때 거리측정에 미치는 영향을 살펴보기로 한다.



(a) 센서의 배열이 일직선이 아닌 경우



(b) 센서간의 간격이 부정확한 경우



(c) 센서배열선이 baseline과 일치하지 않은 경우

그림 3 센서의 공간적 위치오차의 발생 형태

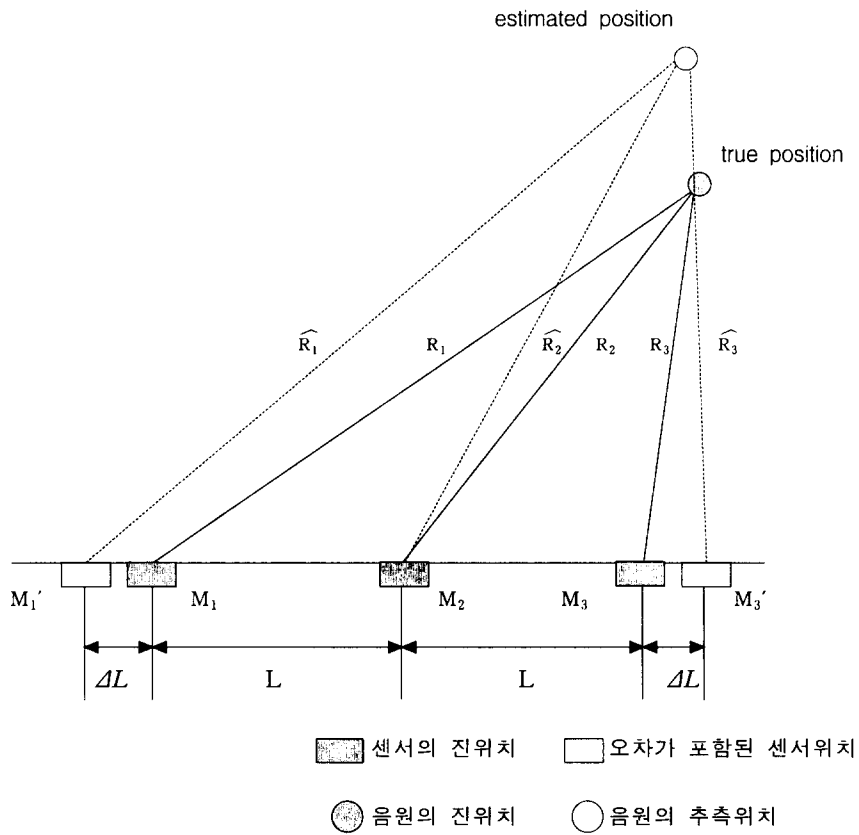


그림 4 센서의 간격오차 ΔL 로 인한 기하학적 구조의 변화

그림 4는 센서의 간격이 같고 여기에 ΔL 이라는 오차가 내포되었을 때 센서와 음원의 기하학적 구조를 나타낸 것이다.

센서 M_1 과 센서 M_3 는 일직선상에 있지만 실제위치로부터 ΔL 만큼 이동하여 M_1' , M_3'

로 되었을 때, (7)식에서 변수 L 외의 다른 변수에는 오차가 포함되지 않은 것으로 하여 음원을 추적해 보면, 측정되는 음원은 진위치로 부터 편이한다.

센서간격 L에 오차 ΔL 이 포함되었을 때의 거리를 \widehat{R}_2 라 하면, \widehat{R}_2 는 (9)식으로 나타낼 수 있다.

$$\widehat{R}_2 = \frac{2(L + \Delta L)^2 - (C \cdot \tau_{32})^2 - (C \cdot \tau_{21})^2}{2(C \cdot \tau_{32} - C \cdot \tau_{21})} \quad \text{-----(9)}$$

거리오차를 ΔR_2 라 하면, ΔR_2 는 (10)식으로 나타낼 수 있다.

$$\Delta R_2 = \widehat{R}_2 - R_2 = \frac{2\Delta L^2 + 4L \Delta L}{2(C \cdot \tau_{32} - C \cdot \tau_{21})} \quad \text{-----(10)}$$

시간지연측정에는 오차가 없는 것으로 하면, 정규화한 거리오차($\Delta R_2/R_2$)는 (11)식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta R_2}{R_2} = \frac{2\Delta L^2 + 4L \Delta L}{2L^2} \quad \text{-----(11)}$$

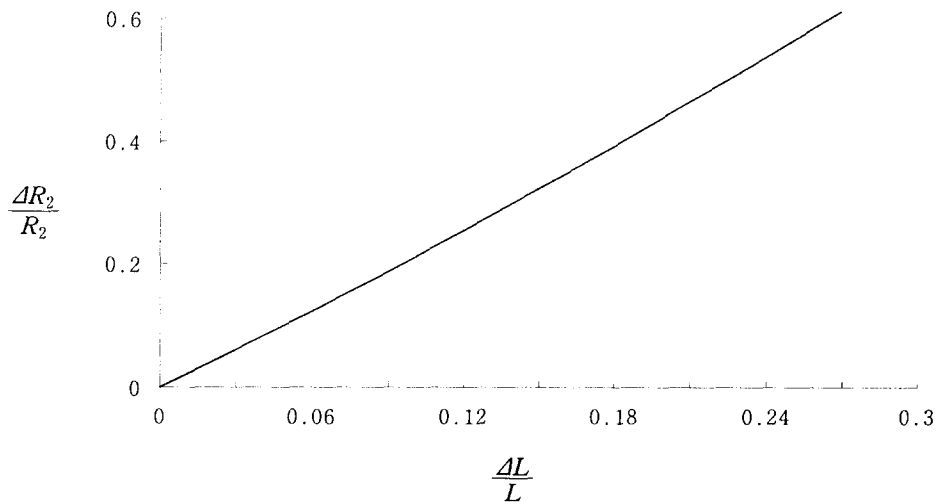


그림 5 ΔL 이 거리오차에 미치는 영향

그림5는 ΔL 이 음원까지의 거리측정오차에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 가로축은 정규화된 센서의 간격오차를, 세로축은 정규화된 거리오차를 나타낸다. 이처럼 ΔL 이 클수

록 거리오차가 커지며, 이는 방위오차에도 영향을 미치게 된다.

그림6은 계측계의 구성 및 신호처리계를 나타낸 것이다.

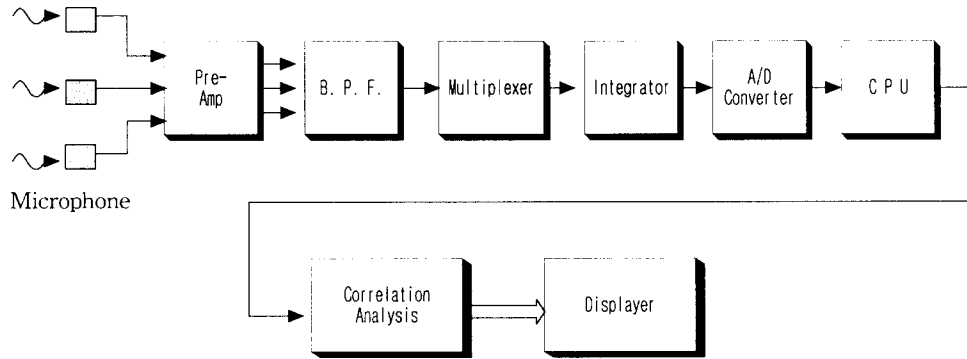


그림 6 계측계의 구성 및 신호처리계

3. 결론 및 연구과제

본 연구에서는 가청주파수의 음(音)을 인간의 청각이 아닌 microphone 센서를 통해 수신하여 신호처리하므로써, 음원의 2차원적 위치(거리와 방향)를 추적하는 알고리즘을 제안하였다. 본 시스템은 구조가 비교적 간단하고 소형이면서 실시간 측정이 가능하여 특히, 선박에 유용하게 적용될 것으로 기대된다.

앞으로의 연구과제로써, 방향측정오차에 관한 검토, 신호음과 소음의 주파수분석 및 이를 근거로 한 계측장치의 구성과 실험을 통한 본 시스템의 정량적 평가 등의 문제가 남아있다.

4. 참고문헌

1. “騒音防止工學”, 技研社, p17-18 (1991)
2. “イラスト現場の騒音対策”, アメリカ合衆國 労働省労働安全衛生局, オーム社, p9 (1992)
3. Charles H. Knapp and G.C. Carter, “Estimation of time delay in the presence of source or receiver motion”, J. Acoustic. Soc. Am. 61(6), p1545-1549 (1977)