

2차원적 음원추적에 관한 연구 II

문성배*, 전승환**

A Study on 2-Dimensional Sound Source Tracking System II

Serng-Bae Moon, Seung-Hwan Jun***

〈목 차〉	
Abstract	3.1 실험계의 구성
1. 서론	3.2 실험방법
2. 기적음의 도달시간차 측정원리	3.3 실험결과
2.1 도달시간차 측정 개요	3.3.1 방위계측
2.2 상호상관분석법	3.3.2 거리계측
2.3 차분법	4. 결론
3. 실험계의 구성 및 실험방법	참고문헌

Abstract

The whistle is a very important information source for the safety navigation under foggy weather. But navigator has no concern about this, because it must be achieved by human hearing sense and considered as a vague signal. If the range and relative bearing of signal source can be detected automatically, it would be very useful system for preventing marine casualties making a lot of economic loss and environment pollution.

Before the algorithm of 2-dimensional sound source tracking system was reported.

This paper describes the method that can obtain the time lag between three signals and the theory of cross-correlation analysis and subtraction method for calculating the time lag by using the digital signal data sequences. And a series of experiments were carried out for various position of sound source in the range from 200cm to 530cm.

* 한국해양대학교 대학원

** 한국해양대학교 해사수송과학부

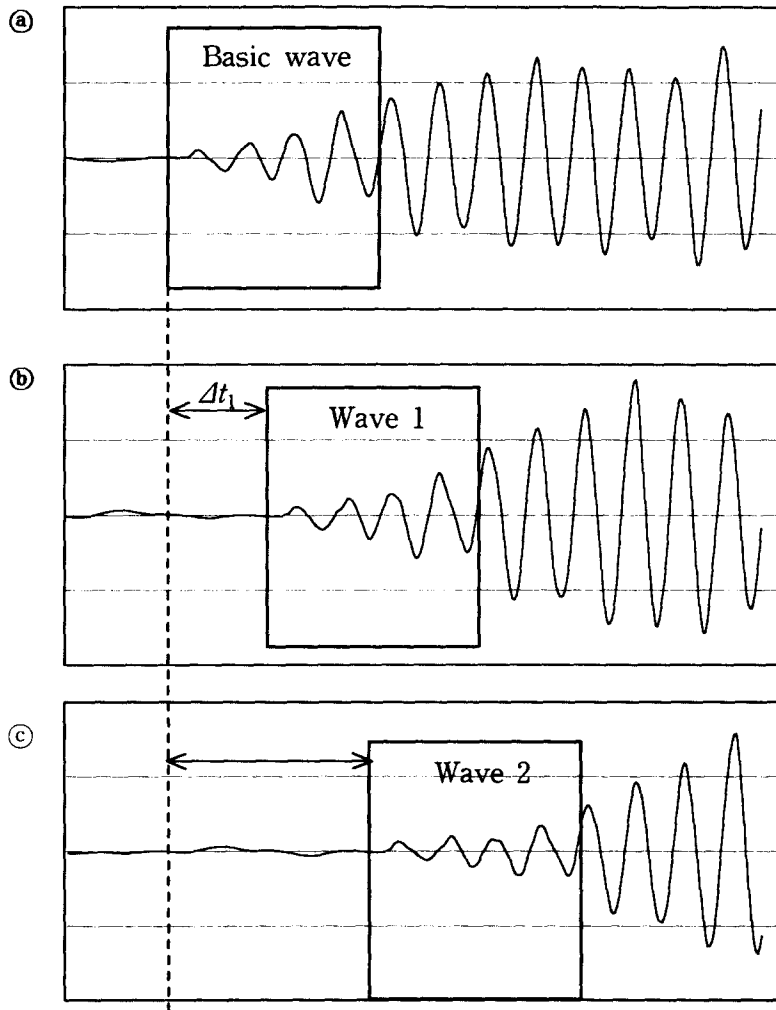


Fig. 1 Measuring time delay on signals

1. 서 론

선박이 농무중을 향해할 때, 항해자는 접근하는 상대선박의 기적음을 가청할 수 있어도 그 기적음 취명선박에 대한 정보의 애매모호성 때문에, 다른 수단을 통한 정보에만 의존하고 있는 실정이다. 결국, 선박에 첨단장비가 탑재됨에도 불구하고, 높은 선박충돌사고

율이 발생하고 있고, 이로인해 경제적, 환경적으로 막대한 피해가 발생하고 있다. 본 연구에서는 기적음원의 위치를 자동적으로 검출할 수 있는 시스템을 개발하고자 하는 것이다.

전 논문에서는 선박 기적음을 인간의 청각이 아닌 Microphone 센서를 통해 수신하여 신호처리함으로써, 음원의 2차원적 위치를 검

출하는 알고리즘을 제안하였고, 기적음원의 위치검출 원리와 계측오차의 종류 및 그에 대한 시뮬레이션의 결과를 보고하였다¹⁾.

본 논문에서는 기적음의 도달시간차 측정의 기본적인 원리와 상호상관분석법²⁻³⁾과 차분법으로 도달시간차를 연산하는 기법 대하여 보고하고, 음원의 위치를 다양하게 바꾸면서, 음원의 방위와 거리를 측정하였고, 각각에 관하여 고찰과 검토를 하였다.

2. 기적음의 도달시간차 계측원리

2.1 도달시간차 측정개요

기적음원의 위치검출에 있어서 정확한 신호음의 도달시간차를 측정하는 것은 매우 중요한 것으로, 실제 기적음의 음파형을 이용하여 도달시간차를 측정하는 기법에 관하여 논하기로 한다.

Fig.1에서 ㉠,㉢,㉣는 3개의 마이크로폰 센서로 수신된 신호음의 파형을 나타낸 것이다. 먼저, ㉠ 파형의 가운데로부터 기적음이 취명되기 시작하는 부분(굵은 윤곽선)을 기본파형⁴⁾으로 하고, 이것을 ㉢의 파형위에 중첩시킨다. 이 때 기본파형을 시간축상에서 1래그씩 쉬프트시켜서 가장 근사한 부분(파형1)을 탐지하고, 쉬프트한 래그양을 시간으로 환산하므로써 신호 ㉠와 신호 ㉢의 도달시간차를 얻을 수 있다. 또한, 같은 방법으로 ㉣ 음파상에서 기본파형을 중첩시키고, 가장 근사한 부분(파형2)를 탐지하므로써 신호 ㉠와 신호 ㉣사이의 도달시간차도 얻을 수 있다.

2.2 도달시간차 측정원리

도달시간차를 구하기 위해서 기본파형과 가장 근사한 부분을 탐지하였지만, 이것은 인간의 눈과 사고력으로 한 것에 지나지 않으므로 컴퓨터로 계산하지 않으면 안된다. 즉, 두 개 파형의 근사한 정도를 어떤 수치로 표현하여야만 하는 것이다. 이것은 디지털 신호처리 기법을 이용하므로써 표현할 수 있다. 기적음원의 마이크로폰 센서까지의 도달시간차를 구하는 기법으로 본 논문에서는 상호상관분석법과 차분법에 관하여 논하기로 한다.

2.2.1 상호상관분석법(Cross-correlation analysis method)

기적음원이 두 마이크로폰 센서 M_1 과 M_2 사이에 도달시간차 τ 를 가지고 수신되었을 때, 두 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_1(t) = s_1(t) + n_1(t) \quad (1)$$

$$x_2(t) = s_2(t + \tau) + n_2(t) \quad (2)$$

식(1)과 식(2)에서 $s_1(t), s_2(t), n_1(t)$ 및 $n_2(t)$ 는 시계열의 값으로, 수신신호인 $s_1(t)$ 와 $s_2(t)$ 는 잡음성분인 $n_1(t), n_2(t)$ 와 상관이 없다고 할 때, 두 신호의 상호상관함수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{x_1x_2}(\tau) = E[x_1(t)x_2(t + \tau)] \quad (3)$$

식(3)에서 E 는 기대치(expectation)를 나타내는 것이고, 이 기대치가 최대로 되는 τ 에서 두 신호는 상관이 가장 크게 되는 것이고, 결국, τ 가 두 신호의 도달시간차가 되는 것이다.

신호의 관측시간은 유한한 범위 T 에서 관

측되므로, 식(3)은 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$R_{x_1x_2}(\tau) = E[x_1(t)x_2(t+\tau)] = \frac{1}{T} \int_0^T x_1(t)x_2(t+\tau)dt \quad (4)$$

그러나, 일반적으로 두 신호열의 상관 정도를 판단하는 것은 상호상관계수를 이용한다. 이 정규화된 상호상관계수의 정의는 다음과 같이 된다.

$$C_{x_1x_2}(\tau) = \frac{x_1(t)x_2(t+\tau)}{\sqrt{x_1^2} \sqrt{x_2^2}} = \frac{R_{x_1x_2}(\tau)}{\sqrt{R_{x_1}(0)R_{x_2}(0)}} \quad (5)$$

마이크로폰 센서를 통해서 수신된 기적음은 A/D변환기를 통해 디지털값인 수치군으로 컴퓨터의 메모리에 저장된다. 따라서, N 개의 수치군으로 형성된 기적음의 두 데이터 시퀀스 사이의 상호상관계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{x_1x_2}(j) = \frac{\sum_{n=0}^{N-1} x_1(n)x_2(n+j)}{\sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} [x_1(n)]^2} \sqrt{\sum_{n=0}^{N-1} [x_2(n)]^2}} \quad (6)$$

식(6)은 수치군 x_2 가 왼쪽으로 j 만큼 쉬프트한 것을 나타낸다. 따라서, 두 신호의 상관도가 가장 높은 쉬프트양인 j 를 구하고, 이것을 다음의 식(7)과 같이 시간으로 환산하므로써, 두 수신된 신호음의 도달시간차 τ_{12} 를 구할 수 있다.

$$\tau_{12}[\text{sec}] = j/f[\text{Hz}]$$

단, f 는 샘플링주파수 (7)

같은 방법으로 두 마이크로폰 센서 M_2 과 M_3 사이의 도달시간차 τ_{23} 를 측정할 수 있다.

2.2.2 차분법(Subtraction method)

두 개의 신호음이 N 개의 수치군인 $x_1(n)$, $x_2(n)$ 일 때, 어느 한 수치군을 왼쪽 또는 오른쪽으로 1 래그씩 쉬프트하면서, 두 수치군의 신호값의 차이를 구하고, 그 절대치를 모두 합하여 두 음파형의 상관정도를 수치로 표시하는 기법인 차분법은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S_{x_1x_2}(j) = \sum_{n=0}^{N-1} |x_1(n) - x_2(n+j)|$$

단, $j = 0, 1, 2, \dots, b, \dots$ (8)

식(8)에서 $x_2(n)$ 수치군을 1 래그씩 왼쪽으로 이동시키면 $S_{x_1x_2}$ 의 값은 변하게 되고, 어느 쉬프트점 j 에서 이 값은 최소가 된다. 따라서, 이 점에서 두 신호는 가장 근사하게 일치하게 되는 것이고, 이 이동된 쉬프트 j 를 식(7)에 의해서 시간으로 환산하면, $x_1(n)$, $x_2(n)$ 사이의 도달시간차 τ_{12} 를 얻을 수 있고, 같은 방법으로 τ_{23} 도 측정할 수 있다.

3. 실험계의 구성 및 실험결과

3.1 실험계의 구성

기적음원 위치측정의 실제측제 및 기본 알고리즘의 개발을 위하여 본 실험계는 실외가 아닌 약 $6 \times 5 \text{ m}^2$ 의 실내인 실험실에서 음원과 계측계의 상대운동은 없는 것을 기초로 실험하였다. Fig. 2는 한국해양대학교 실습선 '한나라호'에서 취명된 기적음 파형을 나타낸 것이다. 그러나, 실험 여건상실제의 기적음을 이용할 수 없기 때문에, 기적음을 기적으로부

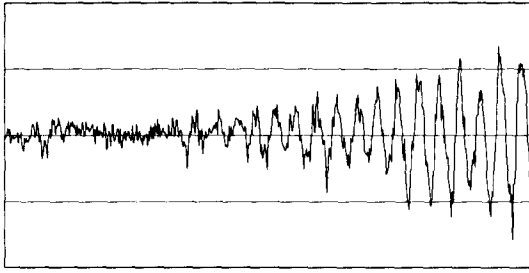


Fig. 2 Original whistle signal

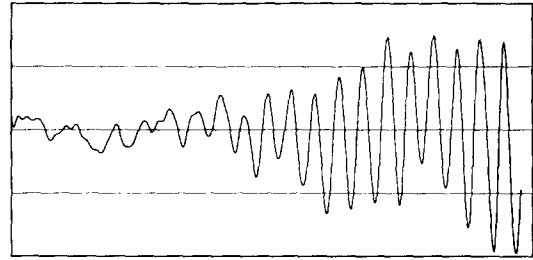


Fig. 3 Filtered whistle signal

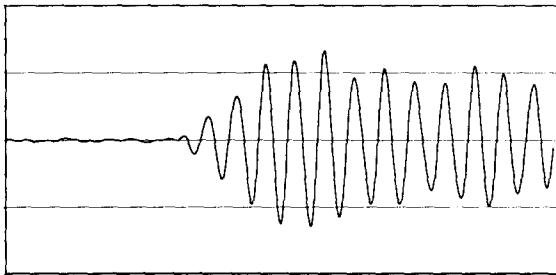


Fig. 4 Audio generator signal

터 약 10m 전방에서 녹음한 후, 실험실에서 재생시켜 수신한 파형이다. 이 기적신호의 발신 주파수는 131Hz이고, 음압레벨은 138dB (1/3옥타브밴드)이다. 또한, Fig. 3은 Fig. 2 파형을 대역통과필터로 필터링한 신호이다. 기적음이 존재하는 부분과 존재하지 않는 부분을 쉽게 구분할 수 있지만, 여러 소음이 혼재하기 때문에 기적음이 시작되는 부분의 구별

은 쉽지 않을 뿐만 아니라, 기적음의 도달 시간차에도 많은 오차가 포함되었다. 따라서, 본 실험에서는 Fig. 4와 같이 기적음과 유사한 형태로 발신되는 Audio Generator의 신호를 이용하였다. 또한, 본 3-sensor시스템에서는 3개의 센싱 신호에 대한 H/W 및 S/W의 특성을 일치시켜, 각각 구성하였다. 본 논문에서 설립한 시스템의 계통은 크게 센싱부, 하드웨어 신호처리부, 소프트웨어 신호처리부 및 연산표시부의 4단계로 나누어 지고, 세부적인 실험측계 및 신호처리계는 Fig. 5와 같다.

3.2 실험방법

본 실험에서는 신호음 발신부와 센싱부는 138cm의 높이를 유지하도록 하였고, 센서들은 일직선상에서 같은 간격 50cm로 배치하였다. 또한, 신호음은 200Hz로 설정하였고,

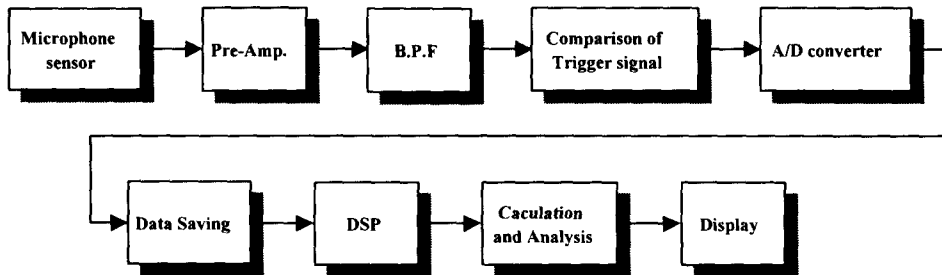


Fig. 5 Diagram of data signal processing

A/D변환기의 샘플링 주파수는 50.51kHz로 하였다. 그리고, 중간센서로부터 음원까지의 거리와 방위는 랜덤하게 설정하였다. 거리는 2.0m, 3.8m, 5.3m의 3단계로 확대하였고, 그 이상의 거리는 실험실의 공간적 제약으로 생략하였다. 또한, 방위는 각 거리에서 $10^\circ \pm 5^\circ$ 간격으로 $0^\circ \sim 180^\circ$ 의 범위에서 설정하였는데, $180^\circ \sim 360^\circ$ 의 범위는 센싱부의 후면에 있기 때문에 본 실험에서는 고려하여 않았다. 실험은 같은 음원위치에서 12번 측정하여, 음원의 위치를 검출하도록 하였다.

3.3 실험결과

3.3.1 방위계측

Fig. 6은 본 실험의 한 예로서, 기준센서로부터 음원까지의 거리가 2.0m인 경우의 방위 검출 결과이다. 가로축은 측정시의 음원의 진방위를 나타내고, 세로축은 검출된 음원의 방위와 진방위의 측정오차를 나타낸다.

음원의 방위가 $040^\circ \sim 140^\circ$ 의 범위에서는 측정오차가 $\pm 1.0^\circ$ 이내인 경우가 대부분이고, 약 80%정도가 $\pm 0.5^\circ$ 이내로 측정되었다. 또한, 음원의 방위측정에 발생하는 오차의 양은 음원의 위치가 센서배열선에 접근할

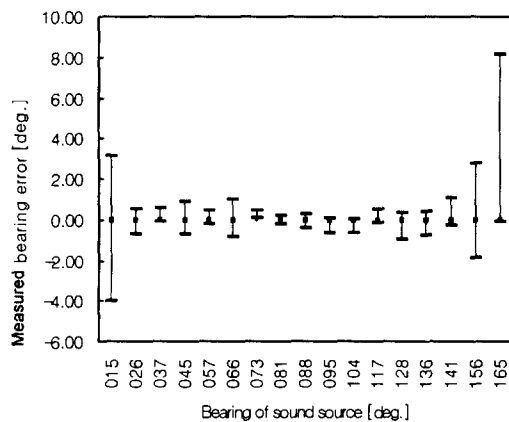


Fig. 6 Deviation of Bearing measurement

수록 커지는 것을 알 수 있다. 이것은, 도달 시간차 측정오차량이 같더라도 음원의 위치가 센서배열선에 접근할수록 방위에 미치는 영향은 커지기 때문으로, 삼각함수법과 쌍곡선법 모두에서 발생하는 것이고, 선박에 탑재된 쌍곡선항법방식의 선위측정 장비에서 주국과 종국이 이루는 기선에 선박이 근접할수록 선위측정에 많은 오차가 포함되는 것과 같은 원리이다. 또한, 전 논문에서 보고한 시뮬레이션에서도 음원의 방위가 센서배열선에 접근할수록 방위변화가 커지는 추세와 같은 추이를 나타내고 있다.

3.3.2 거리계측

Fig. 7은 Fig 6에서의 거리 측정오차를 나타낸 것이다. 가로축은 측정방위이고, 세로축은 측정된 거리와 진거리와의 오차량이다. 도달시간차를 이용한 음원까지의 거리측정은 방위측정에 비하여 정확도가 상당히 떨어지는 편이다. 그것은, 같은 도달시간차의 오차량이라도 방위측정에 미치는 영향보다는 거리측정에 미치는 영향이 훨씬 크기 때문이다. 이것은 전 논문의 시뮬레이션과 같은 추이를 보이고 있는 것으로 나타났다.

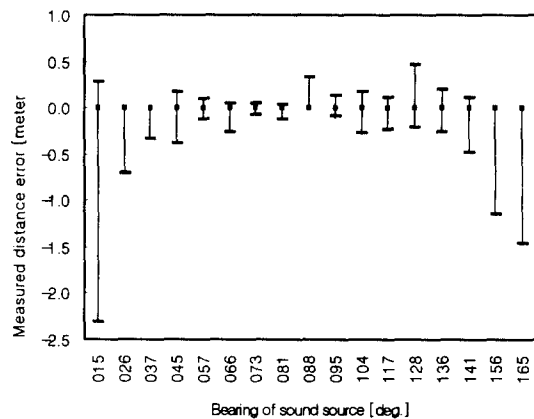


Fig. 7 Deviation of Distance measurement

4. 결 론

본 논문에서는 기적음의 도달시간차를 측정하기 위한 기법으로 상호상관분석법과 차분법을 제시하였고, 기초실험으로 음원의 위치를 랜덤하게 변화시키면서 음원의 거리와 방위를 측정하였다. 음원의 방위가 센서배열선에 접근할수록 측정되는 거리와 방위에 오차가 커지지만, 전 논문에서 제안한 3-sensor 시스템을 통한 기적음원의 2차원적 위치검출의 가능성을 입증하였다.

앞으로의 연구과제로써, 센서배열선에 가까운 음원의 위치를 정확하게 측정할 수 있는 센서의 공간배치법에 관한 검토, 정확한 도달시간차의 측정을 위한 신호처리기법의 개발, 신호음과 소음의 주파수 분석 및 이를 근거로 한 계측장치의 보완과 현장실험을 통한 본 시스템의 정량적 평가 등의 문제가 남아있다.

참고문헌

1. 문성배, 전승환, "2차원적 음원추적에 관한 연구", 한국향해학회, 제20권 제4호, p71-80, 1996
2. C.Koppermann, "A signal model for cross-correlation flowmeters to analyse systematic measurement errors", Measurement, vol2 No.3, p129-133, 1984
3. Emmanuel C.Ifeachor, "Digital signal processing", Addison-Wesley, 1993
4. 田中正吾, " 센サダイナミクスを考慮した知的音響應用計測システム", 計測と制御, 第36卷 第7号, p476-479, 1997