

직교형 마이크로폰 배열에서의 4분 샘플링을 이용한 음원 도래 방향 탐지

박순중*, 이미현*, 천병두*, 김무준**, 김천덕*

* 부경대학교 공과대학 전기정보공학전공

** 부경대학교 자연과학대학 물리학과

DOA Estimation of Cross-type Microphone Array Using the Quadrature Sampling Method

Soon-Jong Park¹, Mi-Hyun Lee¹, Byung-Doo Chun¹, Moo-Joon Kim², Chun-Duck Kim¹

¹ Major of Electrical and Information Engineering, Pukyong National University

² Department of Physics, Pukyong National University

ultrasj@mail1.pknu.ac.kr

요약

마이크로폰을 이용하여 평면상에 직교형으로 배열된 음원 도래 방향 탐지 시스템을 구성하고, A/D 변환에 있어 일반적인 샘플링 기법과 spilt-beam형 어군 탐지 시스템에 적용된 4분 샘플링 기법을 이용하여 공기중에서의 음원의 도래 방향 탐지 성능에 관한 실험을 수행하였다. 일반 실내에서 단일 주파수의 음원에 대하여 직교형 마이크로폰 배열을 사용한 음원 도래 방향 탐지 시스템 및 4분 샘플링 기법의 적용이 유용함을 확인하였다.

1. 서론

음원의 도래 방향(DOA: Direction of Arriving) 추정에는 두개 이상의 센서를 직선 또는 평면으로 배열하여 도래 방향에 따라 센서에 수신되는 음향 신호의 시간 지연을 구한 후 입사각을 산출하는 것을 기본으로 하고 있다.

음원의 도래 방향 추정에 관한 연구는 크게 센서의 배열 구조에 따른 분야와 추정 알고리즘에 따른 분야로 구분되고 있으며, 추정 알고리즘에 따라서는 시간 영역 도래 방향 탐지(TDOA) 및 주파수 영역 도래 방향 탐지(FDOA)로 크게 구분하고, 다수의 연구 결과가 알려져 있다.

특히 음원 도래 방향에 대하여 전 방위 추정이 가능한

방법으로 센서를 2차원으로 배열하고, 센서의 개수를 줄이려는 연구 결과도 알려져 있다. 최근에는 4개의 센서 직교 배열 시스템에서 합성된 기준 신호와의 상호상관 스펙트럼을 이용한 FDOA법에 의한 음원 도래 방향 추정의 결과들이 알려져 있다.

본 논문에서는 그림 1과 같은 spilt-beam형 어군 탐지 시스템에 적용된 센서 배열 구조로 마이크로폰을 배열하고 수신된 음향 신호를 일반적인 샘플링 기법을 이용하여 주파수 영역에서 도래각을 계산하는 방법과 4분 샘플링에 의한 시간 영역에서의 도래각을 계산하는 방법을 적용하여 음원 도래 방향 탐지 결과를 비교 검토하고자 한다.

Spilt-beam transmitter and receiver

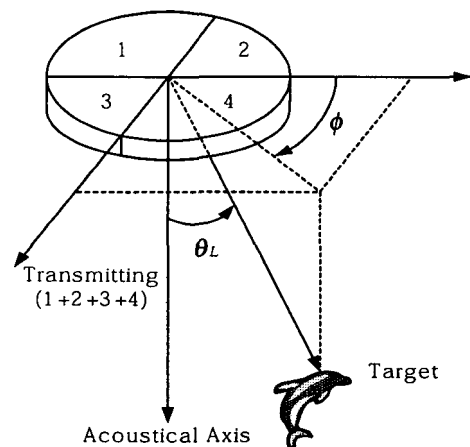


그림 1. spilt-beam형 어군탐지 시스템

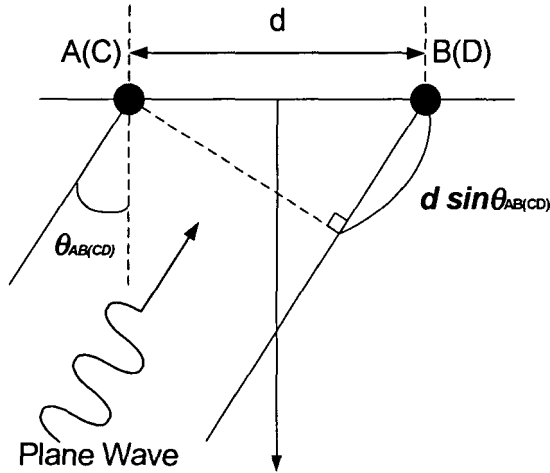


그림 2. 음원 도래 방향

2. 음원 도래 방향 탐지

split-beam형 어군 탐지 시스템에 적용된 센서 배열 구조는 4개의 독립적인 진동자를 전후좌우로 대칭 배열한 구조를 가지고 있다. 각각의 진동자로 수신된 음향 신호는 전(1+2), 후(3+4), 좌(1+3), 우(2+4)로 그룹화하여 목표물의 위치 및 방향을 탐지하게 된다.

그림 2는 그룹화된 음향 신호와 도래 방향의 관계를 나타낸 것이다. 음향 센서는 직교 배열되어 있기 때문에 A 그룹과 B 그룹간의 입사각은 좌우의 도래각을 나타내고, C 그룹과 D 그룹간의 입사각은 전후의 도래각을 나타낸다.

음향 센서 배열로 입사되는 평면파는 식 (1)과 같이 음향 신호에서의 시간 지연을 가지게 된다. 이러한 시간지연을 시간 영역 또는 주파수 영역에서 계산하는 것에 의해 그림 2 및 식 (2)에 나타내는 바와 같이 평면파의 입사각을 계산할 수 있다. 또한, 다른 센서 그룹의 입사각을 같은 방법으로 계산하는 것에 의해 최종적으로 그림 1에 나타낸 목표물의 방위를 식 (3)과 같이 계산할 수 있게 된다.

$$x_B(t) = x_A(t - \tau_0) \quad (1)$$

$$\theta_{AB} = \sin^{-1} \left(\frac{C\tau_0}{d} \right) \quad (2)$$

$$\theta_L = \sin^{-1} \left(\sqrt{\sin^2 \theta_{AB} + \sin^2 \theta_{CD}} \right) \quad (3)$$

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{\sin^2 \theta_{AB}}{\sin^2 \theta_{CD}} \right]$$

한편, 음향 신호에서의 시간 지연은 아날로그-디지털 변환기를 통하여 이산화한 후 시간 영역에서 두 음향 신호의 시간지연을 구하는 상호상관법, 푸리에 변환하여 주파수 영역에서의 위상차로부터 계산하는 상호상관스펙트럼법등으로 구할 수 있다. 시간 영역에서의 상호상관법에 의한 시간 지연 계산법은 계산의 정도 향상을 위하여 음향 센서에 수음되는 음향 신호의 주파수에 대해 샘플링 주파수를 수십배로 설정해야 되고, 주파수 영역에서의 위상차를 계산하기 위해서는 음향신호를 푸리에 변환하는 과정을 거쳐야만 한다.

본 연구에서 적용하고자 하는 시간 지연 계산법은 아날로그-디지털 변환기의 샘플링 주파수를 낮추기 위하여 수음되는 음향신호를 주파수 혼합기(Mixer)를 이용하여 낮은 주파수 대역으로 이동 변환한 후, 한 주기를 1/4분할하여 샘플링하고 다음 식 (4)~(6)에 나타내는 바와 같이 위상차를 계산한 후 평면파의 입사각을 산출하는 방법이다.

$$x_A(t) = E_0 \cdot e^{j\omega t}$$

$$x_B(t) = E_0 \cdot e^{j\omega(t - \tau_0)} = E_0 \cdot e^{j(\omega t - \theta_{e,w})} \quad (4)$$

$$\theta_{e,w} = \tan^{-1} \left\{ \frac{x_A(i) \cdot x_B(i+1) - x_A(i+1) \cdot x_B(i)}{x_A(i) \cdot x_B(i) + x_A(i+1) \cdot x_B(i+1)} \right\} \quad (5)$$

$$\theta_{AB} = \sin^{-1} \left(\frac{\theta_{e,w}}{kd} \right) \quad (6)$$

3. 실험 및 결과

3.1 실험 구성

직교형 마이크로폰 배열의 음원 도래 방향 추정 실험 구성은 그림 3과 같다. 마이크로폰 배열은 그림 1의 split-beam형 어군 탐지 시스템의 진동자 배열과 같이 평면상에 직교형태로 배열한다. 직교형 마이크로폰 배열의 전방에는 1000Hz의 음향신호를 방사하도록 설정하였다. 스피커로부터 방사된 음향신호는 주위 잡음과 함께 시간지연을 가지고 마이크로폰 배열로 수음되고, 전치증폭기 및 저역 통과 필터를 통과하여 샘플링 주파수 10,000Hz로 A/D변환되어 도래 방향 계산 알고리즘으로 입력되도록 구성하였다.

도래 방향 탐지 기법은 전절에서 설명한 바와 같이 두

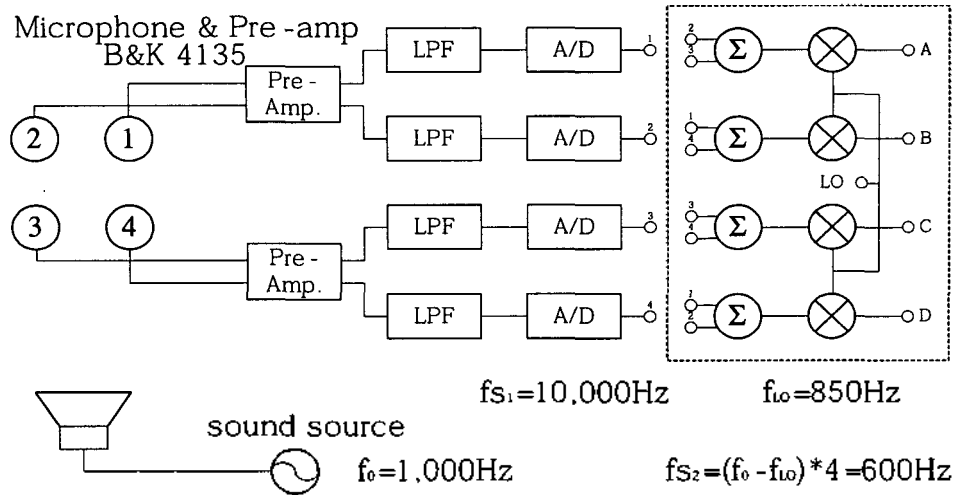


그림 3. 직교형 마이크로폰 배열 및 실험 구성도

가지의 방법을 적용하여 도래 방향 탐지 결과를 비교 검토하였다.

첫 번째 방법은 10,000Hz로 샘플링된 이산화 데이터를 주파수 영역에서 위상차를 계산하여 시간지연을 산출하는 방법이며, 두 번째 방법은 10,000Hz로 샘플링된 이산화 데이터를 850Hz의 국부발진(Local Oscillator)에 의해 낮은 주파수 대역으로의 주파수 이동 변환을 행한 후 4분 샘플링(샘플링 주파수 600Hz)하여 식 (5)의 알고리즘으로 시간지연을 산출하는 방법이다.

한편, 두 번째의 방법이 일반적인 샘플링 방법 보다 복잡한 것으로 보일 수 있지만, 단지 비교 검토를 위하여 두 번의 샘플링을 거치는 것이 실제로는 주파수 변환부를 전단에 구성하면 오히려 샘플링 주파수를 감소시키는 효과를 가져오게 된다.

3.2 실험 결과

전절에서 설명한 두가지 방법을 사용한 결과를 비교 검토하기 위하여 압소음준위 62dB의 일반 실내에서 음원 도래 방향을 알 수 있는 몇 개소에 음원을 방사한 후 도래 방향을 추정하였다.

그림 3은 완전 샘플링에 의한 도래 방향 추정 결과와 주파수 이동 변환 후 4분 샘플링에 의한 결과를 비교한 것이다. 한편, 표 1은 추정된 각 결과를 음원 입사각과 비교한 경우의 오차와 전체 추정 오차의 평균을 계산한 것이다.

적용된 두가지 추정 방법 모두 입사각과는 10°내외의 오차를 가지는 것을 확인할 수 있으며, 전체적으로 샘플

링 주파수가 높음에도 불구하고 완전 샘플링에 의한 추정 결과들이 4분 샘플링에 의한 추정 결과보다 나쁘게 나타났다. 4분 샘플링에 의한 결과들은 입사각의 변화에 대하여 거의 선형적으로 나타났으나, 완전 샘플링에 의한 결과들은 변동폭이 넓게 나타남을 확인할 수 있다.

표 1에 나타난 입사각에 따른 추정의 오차는 완전 샘플링의 경우 오차 평균 7°, 4분 샘플링의 경우 오차 평균 2.5°로서 약 4.5°의 차이를 보이고 있다. 이전의 시뮬레이션 실험을 통한 결과에서는 완전 샘플링의 경우가 오차가 적게 나타났으나, 실제로는 4분 샘플링의 경우가 우수한 결과를 나타내고 있다.

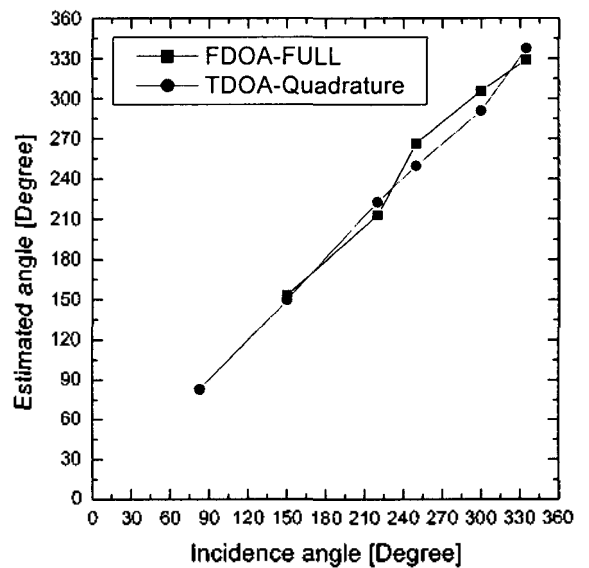


그림 3. 음원 도래 방향 추정 결과-1

표 1. 음원 도래 방향 추정 결과-2

Degree	083°	150°	220°	250°	300°	335°
Method						
FDOA	-	153.6°	213.2°	266.4°	305.9°	329.3°
error	-	+3.6°	-6.8°	+16.4°	+5.9°	-5.7°
mean	6.96°					
Quadrature TDOA	82.9	149.9°	223.1°	249.9°	290.9°	337.6°
error	-0.1°	-0.1°	+3.1°	-0.1°	-9.1°	+2.6°
mean	2.52°					

4. 결론

split-beam형 어군 탐지 시스템에 적용된 센서 배열 구조를 응용하여 공기중에서 마이크로폰을 이용하여 평면상에 직교형으로 배열된 음원 도래 방향 탐지 시스템을 구성하였다. 음원 도래 방향 추정 알고리즘은 일반적인 샘플링 기법에 의한 FDOA와 4분 샘플링 기법에 의한 TDOA를 이용하여 음원의 도래 방향 탐지 성능에 관한 실험을 수행하였다.

완전 샘플링에 의한 주파수 영역에서의 도래 방향 탐지 결과와 4분 샘플링에 의한 추정 결과는 이전의 시뮬레이션 실험과 달리 각각 오차 평균 7° 및 2.5°로서 오히려 완전 샘플링의 경우가 오차 범위가 큰 것으로 확인되었다.

4분 샘플링 기법을 이용한 음원 도래 방향 탐지 기법은 샘플링 주파수를 낮출 수 있다는 장점과 푸리에 변환 등의 연산을 줄일 수 있다는 장점을 가지면서도 오히려 외부 잡음을 포함한 공기중에서의 실험 결과 완전 샘플링 기법에 의한 결과보다 우수한 추정 성능을 가지는 것을 확인할 수 있었다.

따라서, 음원 도래 방향 추정에 있어 4분 샘플링 기법의 적용이 타당함을 확인하였으며, 공기중에서의 음원 도래 방향 추정에 있어서도 경제적이면서 유용한 기법임을 확인하였다.

참고문헌

1. Lawrence J. Ziomex, *Underwater Acoustics*, Academic Press, 1985.
2. Ehrenberg, J. E., "Evaluation of split-beam transducer system for acoustic target strength measurements," Northwest and Alaska Fisheries

Center, NOAA, Contract Report, #82-ABC-00270, 1983

3. Richard O. Nielsen, *Sonar Signal Processing*, (Boston, Artech House, 1991).
4. Simon Haykin, *Advances in Spectrum Analysis and Array Processing Vol. 3*, (New Jersey Prentice Hall, 1995).
5. 이백열 외, "직교 배열 센서 시스템에서의 음원 방향 추정," 제 21권, 제2(s)호, 한국음향학회 학술발표대회는문집, 2002