

스프리트-빔 변환기에서의 4분 샘플링을 이용한 도래방향 탐지

박순중*, 이미현*, 김우준**, 김천덕*, 차경환***
 * 부경대학교 공과대학 전기정보공학전공
 ** 부경대학교 자연과학대학 물리학과
 *** 동서대학교 인터넷공학부

DOA Detection on Spilt-beam Transducers Using Quadrature sampling Method

Soon-Jong Park*, Mi-Hyun Lee*, Moo-Joon Kim**, Chun-Duck Kim*, Kyung-Hwan Cha***
 * Major of Electrical and Information Engineering, Pukyong National University
 ** Department of Physics, Pukyong National University
 *** Division of Internet Engineering, Dongseo University
 ultrasj@mail1.pknu.ac.kr

요약

본 연구에서는 Split-beam 변환기에 적용 가능한 방향 탐지 알고리즘으로써 4분 샘플링에 의한 시간 영역에서의 음원 도래 방향 탐지법을 검토하고자 한다. 외부 잡음을 고려한 환경하에서도 완전 샘플링 및 4분 샘플링 후 주파수 영역에서의 시간 지연 계산법보다 4분 샘플링에 의한 시간 영역에서의 상호상관 기법이 경제적인 측면과 분해능의 측면에서 적절하다는 것을 확인하였다.

1. 서론

음향 신호를 이용하여 해양 생물 자원의 특성과 거동에 관한 정보를 예측하는 어군 탐지기는 1980년대 후반에 실용화되기 시작하여 현재에는 새로운 기법들이 적용되어 널리 보급되고 있다.[1] 그중 협대역 빔폭 특성을 가지는 스프리트-빔 변환기를 이용한 방식은 잡음에 대한 특성 보안을 위해 많이 사용되고 있으며, 그림 1과 같이 4개의 독립적인 진동자를 선후좌우로 대칭 배열한 구조를 가지고 있다.

스프리트-빔 변환기의 기본 동작은 송신시 음파를 동시에 방사하고, 표적으로부터의 반사 신호를 독립적으로 수신한 후 전(1+2), 후(3+4), 좌(1+3), 우(2+4)로 그룹화하여 목표물의 위치 및 방향을 탐지하게 된다.[2,3]

한편, 스프리트-빔 변환기에서와 같이 음향 센서들 직

선, 평면 및 3차원 구조로 배열하여 수신되는 음향 신호로부터 음원의 방향을 탐지하는 것을 도래 방향(DOA: Direction of Arriving) 탐지라고 한다. 도래 방향 탐지 기법은 신호처리를 하는 영역에 따라 시간 영역 도래 방향 탐지(TDOA) 및 주파수 영역 도래 방향 탐지(FDOA)로 크게 구분하고 있으며, 음향 센서간의 시간지연(Time delay)을 구한 후 입사각으로 산출하는 것을 기본으로 하고 있다.

본 연구에서는 스프리트-빔 변환기의 음향 센서 배열에 대하여 몇가지의 도래 방향 탐지 기법을 적용하고, 시뮬레이션 실험 평가를 통하여 어군 탐지기 개발에 실

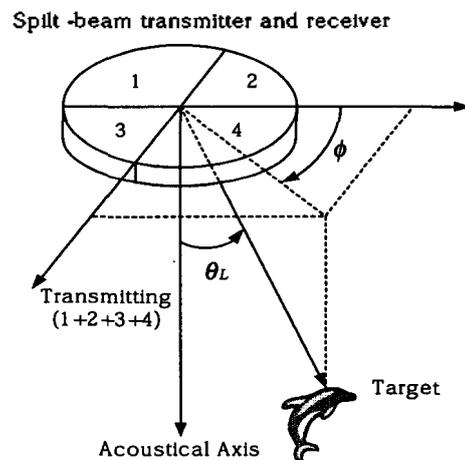


그림 1. 스프리트-빔 변환기

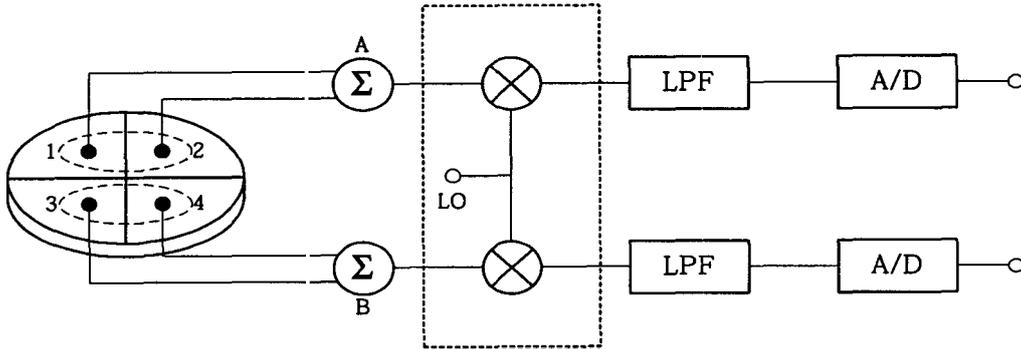


그림 2. 시뮬레이션 실험 구성도

제 적용 가능한 음파 도래 방향 탐지 기법에 대하여 검토하고자 한다.

2. 음파 도래 방향 탐지

스프리트-빔 변환기의 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 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.

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

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

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

$$\phi = \tan^{-1}\left[\frac{\sin^2\theta_{AB}}{\sin^2\theta_{CD}}\right] \quad (3)$$

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 수용되는 음향 신호의 주파수에 대해 샘플링 주파수를 수십배로 설정해야 되고, 주파수 영역에서의 위상차를 계산하기 위해서는 음향신호를 푸리에 변환하는 과정을 거쳐야만 한다.

어군 탐지기 개발에 실제 적용하고자 하는 시간 지연 계산법은 아날로그-디지털 변환기의 샘플링 주파수를 낮추기 위하여 수용되는 음향신호를 주파수 혼합기(Mixer)를 이용하여 낮은 주파수 대역(10kHz)으로 이동 변환한 후, 한 주기를 1/4분할하여 샘플링하고 다음 식 (4)~(6)에 나타내는 바와 같이 위상차를 계산한 후 평면파의 입사각을 산출하는 방법이다.[3,4]

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

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

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

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

3. 시뮬레이션 실험 및 결과

3.1 실험 구성

스프리트-빔 변환기의 음향 센서 배열에 대한 도래 방향 탐지 시뮬레이션 실험의 구성은 그림 2와 같이 구성한다. 음향 센서에 수신되어 그물화된 음향 신호는 75kHz의 주파수를 가진 진행파가 시간지연을 가지고 실험 구성도의 A와 B로 수용된 것으로 설정하였다. 또한, 65kHz의 국부발진기(Local Oscillator)에 의해 낮은 주파수 대역으로의 주파수 이동 변환이 행해지고, 저역통과 필터를 거친 후 이산화되는 것으로 설정하였다.

도래 방향 탐지 기법은 4분 샘플링 기법의 적용 가능성을 평가 검토하기 위하여 세가지의 방법을 사용하였다. 첫번째 방법은 시간 지연을 가진 A, B의 음향 신호를 주파수 이동 변환하지 않고 75kHz의 20배에 해당하는 1.5MHz로 샘플링하고 푸리에 변환하여 상호상관스펙

트럼으로부터 위상차를 계산하였다. 두번째 방법은 음향 신호를 주파수 이동 변환하여 4분 샘플링하고 푸리에 변환하여 상호상관스펙트럼으로부터 위상차를 계산하였다. 세번째 방법은 목적으로 하는 시간 지연 계산 방법으로서 주파수 이동 변환 후 4분 샘플링 및 식 (5)에 나타낸 상호상관법에 의한 계산법이다.

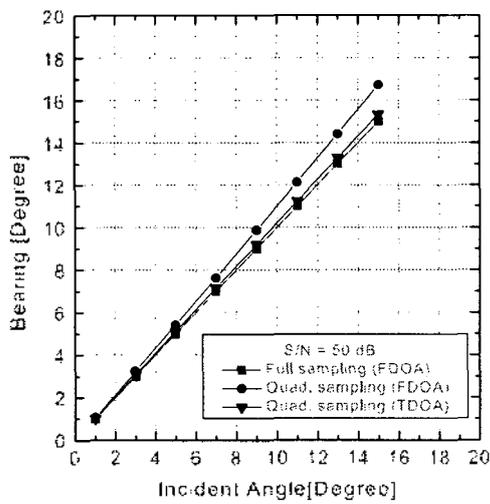
3.2 실험 결과

전절에서 설명한 세가지 방법의 시간 지연 계산법의

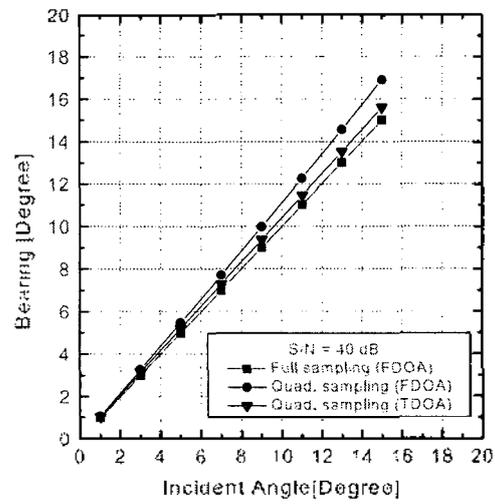
평가 검토를 위하여 음향 신호에 외부잡음을 신호대잡음비(S/N) 20, 30, 40 및 50dB로 부가하여 0~15°로 입사하는 평면파의 도래 방향을 추정하였다.

그림 3-(a)는 S/N비가 50dB인 경우의 계산 결과로서 완전 샘플링에 의한 도래 방향 추정 결과와 주파수 이동 변환 후 4분 샘플링에 의한 결과 2%내외로 일치하였으며, 4분 샘플링후 주파수 영역에서의 추정 결과는 약 10%정도의 오차를 나타내었다.

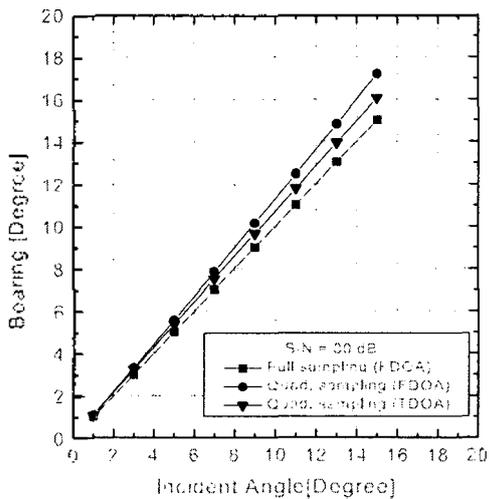
그림 3-(b)는 S/N비가 40dB인 경우로서 주파수 이동



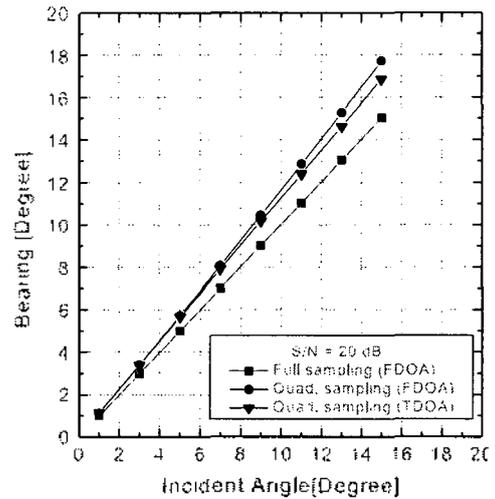
(a) S/N = 50dB



(b) S/N = 40dB



(c) S/N = 30dB



(d) S/N = 20dB

그림 3. 신호대잡음비에 따른 도래 방향 탐지

변환 후 4분 샘플링에 의한 결과는 4%의 오차로 약간 증가하였으며, 4분 샘플링 후 주파수 영역에서의 추정 결과는 약 12%정도의 오차를 나타내었다

그림 3-(c) 및 (d)는 S/N비가 각각 30dB, 20dB로 감소한 경우로서 완전 샘플링의 경우 거의 변화가 없었으나, 주파수 이동 변환 후 4분 샘플링에 의한 결과는 10% 내외의 오차로 증가하였으며, 4분 샘플링 후 주파수 영역에서의 추정 결과는 15% 내외의 오차를 나타내었다.

4. 결론

어군 탐지기 개발에 실제 적용 가능한 음파 도래 방향 탐지 기법에 대하여 검토하였다. 스프리트-빔 변환기의 음향 센서 배열에 대하여 완전 샘플링에 의한 주파수 영역에서의 계산, 4분 샘플링 후 주파수 영역에서의 계산 및 4분 샘플링 후 시간 영역에서의 상호상관에 의한 계산에 의해 시뮬레이션을 행하였다.

완전 샘플링에 의한 주파수 영역에서의 도래 방향 탐지 결과는 잡음비가 감소하여도 우수한 결과를 나타내었지만, 실제 적용에는 추정 정도 향상을 위하여 아날로그-디지털 변환기의 샘플링 주파수를 높여야 하며 이것은 가격 상승을 의미한다. 샘플링 주파수를 낮게 할 수 있는 4분 샘플링의 경우에는 일반적으로 응용되는 주파수 영역에서의 도래 방향 탐지 기법은 신호대잡음비가 40dB이하로 낮아지게 되면 오차가 10%이상의 범위로 증가하게 되어 분해능의 저하를 가져올 것으로 예상된다. 그러나, 4분 샘플링 후 시간 영역에서의 상호상관에 의한 기법을 적용한 결과 신호대잡음비가 40dB 정도까지는 완전 샘플링과 유사한 추정 결과를 나타내며, 20dB 정도로 감소하여도 10%내외의 오차로서 샘플링 주파수 또한 낮게 할 수 있음을 확인하였다.

잡음 환경을 고려하여 4분 샘플링을 이용한 시간 영역에서의 상호상관법에 의한 도래 방향 기법을 검토한 결과 많은 분해능의 감소를 초래하지 않으면서 경제적인 측면에서도 유용한 기법임을 확인하므로써 어군 탐지기 개발에 본 기법의 적용이 기대된다.

참고문헌

1. D. J. Lee, *Instrument Engineering for Fishing*, 1999
2. Lawrence J. Ziomex, *Underwater Acoustics*,

Academic Press, 1985.

3. K. Sawada, "Study on the Precise Estimation of the Target Strength of Fish," *Bull. Fish. Res. Agen.*, No. 2. pp47-122, 2002
4. Ehrenberg, J. E., "Evaluation of spilt-beam transducer system for acoustic target strength measurements," Northwest and Alaska Fisheries Center, NOAA, Contract Report, #82-ABC-00270, 1983