

# 적응 정합장처리에서 도파관 공간간섭 필터링

## Waveguide Spatial Interference Filtering in Adaptive Matched Field Processing

박 정 수\*, 김 재 수\*\*, 김 성 일\*, 신 기 철\*\*, 김 영 규\*

(Joung-Soo Park\*, Jea-Soo Kim\*\*, Seongil Kim\*, Kee-Cheol Shin\*\*, Young-Gyu Kim\*)

\* 국방과학연구소, \*\* 한국해양대학교

(접수일자: 2004년 3월 20일; 채택일자: 2004년 4월 12일)

천해는 속도가 빠르고 강한 간섭표적으로 인하여 신호단편 (snapshot) 수가 제한되어 인접한 느리고 약한 표적을 탐지하기 어려운 환경이다. 천해환경에서 적응정합장처리에 적용하여 고소음의 간섭표적의 효과를 줄일 수 있는 도파관 공간의 간섭표적 필터링 기법을 제안하였다. 이를 위하여 NDC (null direction constraint)를 적용한 MCM (multiple constraint method) 기법을 새로운 공간간섭 필터로 제안하였다. NDC는 복제음장을 이용하여 CSDM (cross-spectral density matrix)에 포함되어있는 강한 소음원 성분을 강제적으로 걸러줌으로서, 부엽 준위가 낮아지고 저소음표적 신호의 이득을 복원시킨다. 이 기법을 Pekeris 도파관에서의 시뮬레이션 및 동해에서 수행한 정합장처리 실험인 MAPLE03 (matched acoustic properties and localization experiment)의 수직선배열 자료에 적용하였으며, 그 결과 인접한 저소음 표적의 SBNR (signal-to-background-and-noise ratio)이 MVDR (minimum variance distortionless response)과 NSP (null space projection) 보다 향상되었다.

**핵심용어:** 정합장처리, 공간간섭 필터, MVDR, NSP, MCM-NDC

**투고분야:** 수중음향 분야 (5.5)

Detection and localization of a slow and quiet target in shallow water environments is a challenging problem for which it is well known that snapshot is deficient because of a fast and strong interferer. This paper presents waveguide interference filtering technique that mitigate strong interferer problems in adaptive matched field processing. MCM (multiple constraint method) based on NDC (null direction constraint) has been proposed for new spatial interferer filter. MCM-NDC using replica force a interferer component to be filtered through CSDM (cross-spectral density matrix). This filtering have an effect on sidelobe reduction and restoring of signal gain of a quiet target. This technique was applied to a simulation on Pekeris waveguide and vertical array data from MAPLE03 (matched acoustic properties and localization experiment) in the East Sea and was shown to improve SBNR (signal-to-background-and-noise ratio) over the standard MVDR (minimum-variance distortionless response) and NSP (null space projection) technique.

**Keywords:** Matched Field Processing, Spatial interferer filter, MVDR, NSP, MCM-NDC

**Subject classification:** Underwater acoustics (5.5)

### I. 서론

천해환경에서 다중표적을 탐지하고 위치를 파악하기 위한 기존의 평면파 빔형성 기법은 복잡한 다중경로 현상을 충분히 반영하지 못한다. 반면에 정합장처리 기법

은 음파전달모델을 이용하여 적합한 조향성분을 추정하고 적용한다. 비적용 기법인 고전적인 정합장처리 기법은 높은 부엽준위 때문에 강한 표적이 존재할 경우에 저소음 표적을 탐지하기가 어려웠다. 적응 정합장처리 기법은 배열신호의 표본공분산 역산으로부터 계산한 적응 가중벡터를 사용하여 간섭표적의 부엽을 낮춘다.

그러나 실제로 적응 정합장처리의 성능은 이론적인 경우보다 매우 낮다. 특히, 빔 분해능이 높은 긴 선배열에서는 이동하는 다중표적이 성능을 심각하게 저하시킨

책임저자: 박 정 수 (js.park@add.re.kr)  
640-600 경남 진해시 우체국 사서함 18호 국방과학연구소  
(전화: 055-540-6164; 팩스: 055-542-3737)

다. 표적의 이동을 고려하여 제한된 수의 신호단편을 사용하여도 표적의 에너지가 인접한 빔들에 퍼지게 됨으로서 저소음 표적의 신호출력 파워가 낮아지고 표적의 탐지와 위치 추정이 어려워진다. 즉, 간섭표적의 이동은 간섭하는 부공간을 넓게 하는데, 이 결과는 적응 자유도 (DOF, degree of freedom)가 감소되며 가중벡터의 적응 억제 성능을 저하시킨다. 또한 제한된 신호단편으로부터 CSDM을 추정하게 되면 적응 정합장치리의 파워 출력이 낮아지는 바이어스가 발생한다[1].

간섭표적의 영향을 최소화하기 위한 방법으로서 영 확장 (null-broadening) 기법이 있다. Mailloux[2], Zatman [3], 그리고 Guerci[4]는 평면파 빔형성에서 간섭표적의 영향을 줄이고 강인한 특성을 갖게 하기 위하여 MVDR의 CSDM을 변형하여 영 (null)을 임의로 넓히는 CMT (covariance matrix taper) 기법을 유도하였다. 또한 Zatman[5]은 평면파 빔형성에서 MCM을 이용하여 영을 확장할 수 있음을 보였다. Cox 등[6]은 MRABF (multi-rate adaptive beamforming)을 이용하여 고 소음 간섭표적에 대한 영 (null)을 강화시키는 연구를 하였다. 최근에 Kim 등[7]은 정합장치리에서 도파관 불변성 (waveguide invariant)을 이용하여 거리방향으로 영을 넓히는 시도를 하였다. Song 등[8]은 영 확장이 천해에서 다중표적이 존재할 경우에 평면파 빔형성에서 신호단편이 제한되어도 저소음표적 탐지에 매우 효과적임을 보였다. 또 다른 방법인 NSP 기법은 탐색공간에서 특정 신호성분을 필터링한다[9]. Lisa 등[10]은 이동에 의하여 표적의 침단 값이 낮아지고 부엽이 넓어지는 현상을 보상하기 위하여 NSP 기법을 이용하여 수신신호 또는 복제음장으로 CSDM에서 특정 방위의 간섭표적을 필터링함으로써 인접한 저소음 표적의 탐지 성능을 향상시켰다.

본 논문에서는 인접한 저소음 표적의 탐지성능을 향상시키기 위한 목적으로 NDC (null direction constraint)를 갖는 MCM알고리즘을 사용하여 간섭표적을 거리-수심 탐색공간에서 필터링할 수 있는 기법을 설명하고 적용 결과를 분석하였다. MCM-NDC를 적용하여 표층의 간섭표적을 필터링하여 부엽으로부터 수중의 미약한 표적을 분리하는 시뮬레이션을 수행하고 NSP와 MVDR 기법의 결과와 비교하였으며, 2003년 10월에 동해에서 수직선배열을 이용하여 실시한 MAPLE03 (matched acoustic properties and localization experiment) 해상실험에서 획득한 신호에 적용하여 성능을 검증하였다.

2장에서는 MVDR, NSP, MCM-NDC 적응 빔형성 기법을 설명하고, 3장에서는 시뮬레이션과 MAPLE03 신호분석 결과를 기술하였다.

## II. 적응 정합장치리

수신센서가 N개인 배열에서 정합장치리의 파워 출력은 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$P = \vec{w}^H K \vec{w} \tag{1}$$

여기서  $\vec{w}$  는 Nx1 가중벡터이고 K는 NxN CSDM이다.

MVDR은 조향위치의 신호는 이득의 왜곡이 없게 하고 다른 위치의 신호와 소음의 이득은 최소로 만드는 단일 구속조건을 사용하는 최적의 적응 알고리즘이며, 복제음장과 CSDM에 따라 달라지는 가중벡터를 아래와 같이 계산한다[11].

$$\vec{w}_{MVDR} = \frac{K^{-1} \vec{d}}{\vec{d}^H K^{-1} \vec{d}} \tag{2}$$

여기서  $\vec{d}$  는 복제음장 벡터이다.

식 (2)의 가중벡터는 배열신호의 표본공분산 역산으로부터 간섭표적의 부엽을 낮추어준다. 그러나 간섭표적의 준위가 높고 인접해있을 때에는 저소음 표적의 탐지에 충분한 부엽 억제 효과를 기대할 수 없다. 이런 환경에서 간섭표적의 부엽 영향을 더욱 완화시킬 수 있는 방법이 NSP 기법이다[9,10]. NSP는 공간 탐색영역에서 간섭 신호성분을 필터링하는 기법으로서, 투영 행렬 (projection matrix)로부터 구한 NSP를 CSDM에 곱한 후에 정합장치리를 한다. 필터링 대상인 간섭표적의 위치벡터를 포함하는 투영 행렬은 다음과 같이 표현된다.

$$P = \phi(\phi^H \phi)^{-1} \phi^H \tag{3}$$

여기서  $\phi$ 는 간섭 부공간이다. 위의 투영 행렬로부터 계산되는 NSP 행렬과 가중 벡터는 다음과 같다.

$$C = P^\perp = I - P \tag{4}$$

$$\vec{w}_{NSP} = \frac{(CKC)^{-1}\vec{d}}{\vec{d}^H(CKC)^{-1}\vec{d}} \quad (5)$$

식 (5)의 가중벡터는 간섭표적 부공간에 직교하는 성분을 CSDM에 곱한 것으로서, CSDM에 포함된 간섭표적 부공간을 걸러내는 기능을 한다.

Schmidt 등[12]은 상관된 소음환경에서 MVDR의 부엽 제어성능은 유지하면서 오정합에 대한 민감도를 낮추기 위하여 다중 구속조건을 도입한 MCM (multiple constraint method)를 적용하였다. MCM은 MVDR의 구속조건 이외에 조향위치에 인접한 여러 개의 위치에 대한 구속조건을 추가함으로써 주엽이 넓어져서 오정합에 둔감해지는 효과를 준다. 이러한 MCM의 최적화 문제를 만족하는 가중 벡터는 다음과 같다.

$$\vec{w}_{MCM} = K^{-1}M(M^H K^{-1}M)^{-1}g \quad (6)$$

여기서  $g$ 는 응답을 조절하는 벡터이고,  $M$ 은 구속 행렬이며 아래와 같이 조향 위치 벡터 ( $\vec{e}_i$ )를 중심으로 구성한다.

$$M = [\vec{e}_{i-2} \ \vec{e}_{i-1} \ \vec{e}_i \ \vec{e}_{i+1} \ \vec{e}_{i+2}] \quad (7)$$

기존의 MCM은 조향위치의  $g$ 를 1로하고 조향위치 주변에서도 1에 가까운 값을 사용함으로써, 조향위치에서는 MVDR과 동일한 이득을 갖고 인접한 위치의 이득은 완만하게 줄어들도록 설계함으로써 주엽이 넓어져서 오정합에 강인한 특성을 갖는다.

조향위치 이외의 구속조건을 추가로 지정하여 여러 위치의 빔 출력을 강제적으로 조절하는 MCM의 성질을 이용하면 다중 간섭표적의 부엽을 효과적으로 필터링할 수 있을 것이다. 즉, 다중 구속조건에 조향위치의 위치 벡터와 간섭표적의 위치벡터를 포함시킨 NDC를 이용하면 가능하다. 이를 위한  $M$ 은 다음과 같다.

$$M = [\vec{e}_i \ \vec{e}_d], \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

여기서  $\vec{e}_i$ 는 조향 위치의 구속 벡터이고  $\vec{e}_d$ 은 간섭표적 위치의 구속 벡터이다. 식 (8)과 같은 구속행렬을 식 (6)에 적용하면, 각각의 신호단편에 포함된 간섭 부공간을 추정하여 제거하는 필터 역할을 할 수 있

다. 즉, 조향 위치 이외에 존재하는 간섭표적을 영으로 만들기 위해서 간섭표적에 해당하는  $g$ 를 0으로 설정하면 CSDM에서 구속 벡터성분의 이득이 0이 되어 필터링 결과를 얻을 수 있다. NDC는 고소음의 빠른 표적이 잠식한 DOF를 복원시킴으로서 결과적으로 DOF가 증가되어 저소음 표적의 탐지가 가능하게 된다.

간섭 필터링 기법의 가장 중요한 요소는 간섭 부공간의 적절한 추정이다. 간섭 부공간을 설정하는 NDC는 신호로부터 추출하거나 해양환경을 이용한 복제음장으로 구성할 수 있다. 신호로부터 추출하는 경우에 고유치 분해기법을 사용할 수 있으나, 간섭표적과 대상 표적이 고유벡터 공간에서 분리되어야 한다[6,9]. 그러나 고유치와 고유벡터 분석만으로는 물리적인 해석이 어렵고 인접한 두 표적의 상관이 높으면 고유벡터 공간에서 쉽게 분리할 수 없는 단점이 있다. 기본적으로 정합장 처리는 환경에 대한 사전 정보로부터 음장을 추정하여 사용하므로 NDC를 복제음장으로부터 구성할 수 있다. 이 경우 간섭표적의 위치(방위, 거리, 수심)에 대한 사전 정보가 필요하며, 수상 표적이라면 레이다 정보를 이용할 수 있으며 수중의 표적인 경우에는 정합장처리의 거리-수심 출력으로부터 사전정보를 획득할 수 있다. 복제음장으로 구성된 NDC는 자유롭게 위치를 선정할 수 있는 장점이 있으나, 이를 위해서는 간섭 공간에 대한 정밀한 모델링이 요구되며, 따라서 빔 출력이 환경과 간섭표적 경로의 오정합에 민감해질 수 있다. 간섭표적 경로의 오정합은 기존의 MCM의 경우에서처럼 조향위치의 구속벡터 수를 증가시키면 완화시킬 수 있다. 본 논문에서는 간섭 부공간에 대한 NDC를 추정하기 위하여 자유로운 위치 선택의 장점이 있는 복제음장을 이용하였다. Song 등[13]이 복제음장을 이용하여 간섭표적을 제거하기 위하여 제안한 CLEAN 알고리즘에서는 CSDM 내의 간섭표적 크기를 추정할 수 있어야 하지만, NSP와 MCM-NDC는 간섭표적의 크기와는 무관하다는 장점이 있다.

### III. 적용 결과

#### 3.1 시뮬레이션

두개의 표적 신호가 존재할 경우에 환경 조건 등에 따라 상호 상관 정도가 결정된다. 시뮬레이션에서는 두

표적이 독립된 경우와 완벽하게 상관된 경우를 가정하였으며, 주변소음을 무시한 경우에 CSDM을 구성하기 위한 식은 다음과 같다.

$$K_{uncorrelated} = \bar{x}_1 \bar{x}_1^H + \bar{x}_2 \bar{x}_2^H \quad (9)$$

$$K_{coherent} = K_{uncorrelated} + \bar{x}_1 \bar{x}_2^H + \bar{x}_2 \bar{x}_1^H \quad (10)$$

여기서  $\vec{x}$  는 배열 수신 신호 벡터이다. 적응 빔형성에서는 표적신호가 배열의 모든 수신센서에 도달하는 충분한 지속시간 내에서 CSDM을 추정해야하며, 3dB 이내의 빔 출력 손실을 갖는 신호단편 수는 수신센서 수의 약 2배이다[14,15]. 따라서 신호단편을 수신센서 수인 15개의 2배에 해당하는 30개로 하였다.

NDC를 적용하기위하여 조향위치  $(r_0, d_0)$  에서 주파수  $f_0$ 의 다중 구속행렬  $M$ 을 식 (11)과 같이 1개의 조향 위치의 복제음장 벡터  $(\vec{e}(r_0, d_0, f_0))$ 와 간섭표적을 제거하기 위한  $m$ 개의 복제음장 벡터  $(\vec{e}(r_i, d_i, f_0))$ 로 구성하였다.

$$M = [\vec{e}(r_0, d_0, f_0) \quad \vec{e}(r_i, d_i, f_0)], i=1,2,\dots,m \quad (11)$$

조향위치가  $\vec{e}(r_i, d_i, f_0)$  이 일치할 경우에는 MVDR과 같은 단일 구속조건만을 사용하여 간섭표적의 위치가 출력에 표현되도록 한다.

NSP를 적용하기위한 간섭 부공간은 다음과 같다.

$$\phi = [\vec{e}(r_i, d_i, f_0)], i=1,2,\dots,m \quad (12)$$

그림 1은 Pekeris 도파관을 가정하고, 수심 90m에 15개의 하이드로폰이 등 간격으로 배열되어 있을 때, 고소음 간섭표적이 거리 3000m와 수심 10m에 있고, 고소음 표적에 대한 SIR (signal-to-interferer ratio) 이 -30dB인 저소음 표적이 거리 3000m와 수심 40m에 있는 경우, 두 표적이 비상관일 때 거리 3000m에서의 정합장처리 출력으로서, 주파수는 150Hz, 175Hz, 200Hz를 사용하여 비상관 광대역 처리한 MVDR, NSP, MCM-NDC 결과이다. 간섭표적이 10m에 존재한다고 가정하고 NSP와 MCM-NDC를 사용하여 부음을 제거함으로써 40m에 존재하는 저소음 표적의 출력을

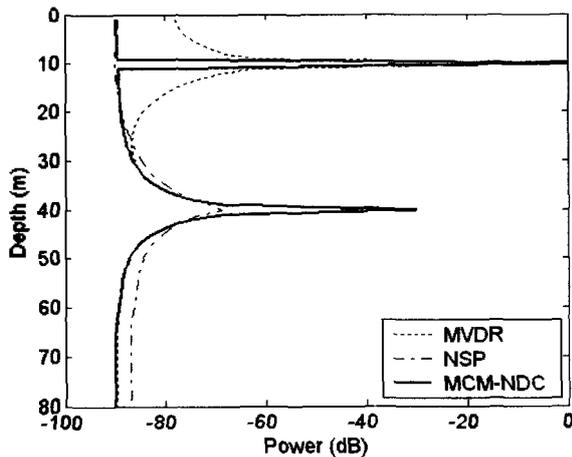


그림 1. Pekeris 도파관을 가정하고, 15개의 하이드로폰이 등 간격으로 배열된 VLA의 150Hz, 175Hz, 200Hz 신호에 대한 MVDR, NSP, MCM-NDC의 비상관 광대역 정합장처리 결과의 수신단면. 고소음 간섭표적 (거리 3000m, 수심 10m) 과 SIR이 -30dB인 저소음 표적(거리 3000m, 수심 40m)의 신호는 서로 비상관되어 있다.

Fig 1. MFP depth sections of MVDR, NSP, and MCM-NDC from simulated VLA data (N=15) for incoherent broadband of 150Hz, 175Hz, and 200Hz tonal in Pekeris waveguide. The strong interferer at the position of (3000m,10m) and the quiet target with SIR -30dB at the position of (3000m, 40m) from the array are uncorrelated.

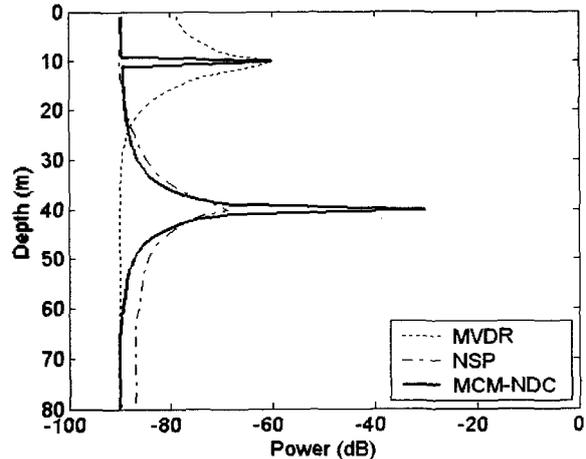


그림 2. 150Hz, 175Hz, 200Hz 신호에 대한 MVDR, NSP, MCM-NDC의 비상관 광대역 정합장처리한 수신단면. 고소음 간섭표적 (거리 3000m, 수심 10m) 과 SIR이 -30dB인 저소음 표적(거리 3000m, 수심 40m)의 신호는 서로 상관되어 있다.

Fig 2. MFP depth sections of MVDR, NSP, and MCM-NDC for coherent broadband of 150Hz, 175Hz, and 200Hz tonal. The strong interferer at the position of (3000m,10m) and the quiet target with SIR -30dB at the position of (3000m, 40m) from the array are coherent.

복원하고자 하였다. MVDR의 결과에서는 10m와 40m 표적을 모두 탐지할 수 있으며, 두 표적의 출력 차이가 정확하게 30dB 이다. NSP는 10m의 강한 표적이 제거되어 출력이 -90dB 로 나타나지만, 40m의 표적은 약 -70dB 로 출력되고 있다. 그러나 간섭표적 성분을 과도하게 필터링 함으로서 40m 표적의 일부 신호 성분이 손실되어 원래의 출력보다 크게 낮게 출력되고 있다. MCM-NDC의 경우에는 10m 에서는 주변의 부엽이 제거되고 MVDR과 동일한 0 dB가 출력되었다. 40m의 표적은 변형 없이 -30dB로 출력되었다. NSP과 MCM-NDC로 억제(필터링)되는 간섭표적의 부엽공간 크기는 거리 방향으로 약 600m, 수심 방향으로 약 40m 이며, 분해능 셀(resolution cell)의 크기와 거의 일치한다. 따라서 NDC를 지정할 때 간섭표적의 위치의 오정합은 분해능 셀 범위에서는 허용 가능한 것으로 판단 된다.

그림 2는 그림 1의 경우와 동일한 조건에서 두 표적이 완벽하게 상관되었을 때의 정합장치 결과이다. MVDR의 결과에서는 40m 표적이 출력에 나타나지 않고 10m 표적만 약 -60dB로 출력되고 있다. 이결과는 두 표적이 상관되면 고소음 표적이라도 빔 출력이 저하되고, 인접한 저소음 표적은 고소음 표적의 영향으로 탐지가 제한될 수 있음을 보여준다. NSP는 10m의 강한 표적이 제거되어 출력이 약 -90dB 로 나타나고, 40m의 표적은 약 -70dB 의 출력으로 비상관 경우와 거의 유사하게 일부 신호 성분이 손실되어 원래의 출력보다 크게 낮아졌다. MCM-NDC의 경우에는 10m 에서는 주변의 MVDR과 동일한 출력이 나오고, 40m의 표적은 변형 없이 약 -30dB로 출력되었다. 두 표적이 강

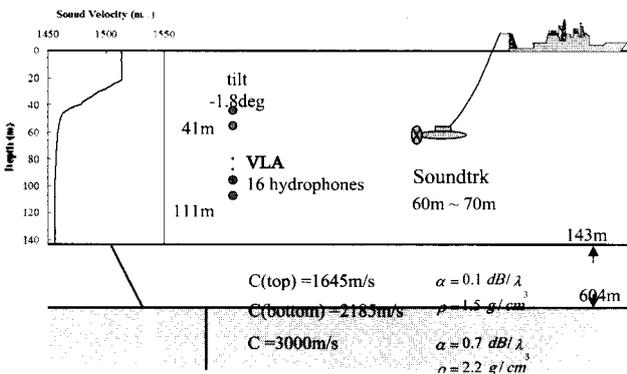


그림 3. 본 논문에서 분석한 신호를 MAPLE03 실험에서 획득할 때의 천해 해양환경.  
Fig 3. Schematic of the shallow water environment under which the data analyzed in this article were collected in MAPLE03 experiment.

하게 상관되어 있는 경우에도 MCM-NDC가 NSP에 비하여 출력 이득의 복원에 유리한 것으로 판단된다.

### 3.2 MAPLE03 자료에 적용

2003년 10월 수심이 약 140m인 동해 연안에서 길이가 70m인 16채널의 수직선배열과 예인음원을 이용하여 정합장치실험인 MAPLE03을 실시하였다(그림 3). 수직선배열의 센서는 수심 40m에서 110m사이에 위치하도록 수중 설치하였으며, 선배열의 자세를 추정하기위한 보조 센서를 3개 부착하였다. 모의 표적 음원은 송신주파수 70Hz부터 130Hz까지 10Hz간격으로 총 7개의 토날을 음원준위 150dB//1μPa @1m로 송신하였다. 음원 수심은 약 30~70m를 유지하였고, 해저면이 평탄한 경로를 따라 예인하였다. 이와 병행하여 수온, 염분, 해류, 해역수심, 음원수심, 음원거리 등을 함께 관측하였다.

그림 4는 MAPLE03 신호를 Bartlett 정합장치 처리 하여 시간별 거리를 나타낸 결과로서 표적이 3100초 동안 1700m에서 5800m까지 이동했음을 볼 수 있다. FFT 길이는 16384이고, 신호단편은 50% 중첩하여 30개를 사용하여 평균을 취하였다. 예인 음원의 수심은 60m~

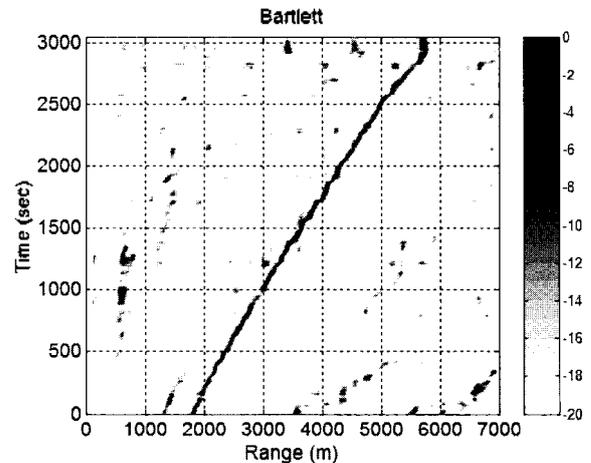


그림 4. MAPLE03 신호를 Bartlett 정합장치 처리 하여 시간별 거리를 나타낸 결과로서, 표적이 3100초 동안 1700m에서 5800m 까지 이동했다. Hanning 윈도우를 이용한 FFT 길이는 16384이고, CSDM은 50% 중첩한 신호단편 30개를 비상관 평균하여 구성하였다. 예인 음원의 수심은 60m ~ 70m로 일정하게 유지하였으나 5500m ~ 5800m 사이의 구간에서는 예인 수심을 30m 까지 낮추었다.

Fig 4. Bartlett range versus time estimates from VLA data (N=16) of MAPLE03. The target was towed from 1700m to 5800m during the 3100sec observation. 16384 point FFTs were used with Hanning window and overlapped by 50%. The complex Fourier coefficients at frequency bins of interest of total 30 successive FFTs were averaged incoherently to form CSDM. The acoustic target was towed at the nominal depth from 60m to 70m until 5500m range, but the target depth was lowered to 30m after 5500m range.

70m로 일정하게 유지하였으나 5500m~5800m 사이의 구간에서는 예인 수심을 30m 까지 낮추었다.

본 논문에서는 두개의 표적이 존재하는 상황을 만들고 이중 하나를 제거하는 성능을 검증하기 위하여, 위의 신호에서 5310m와 5500m 의 신호를 CSMD에서 식 (10)과 같이 완전 상관시켜 사용하였다. Bartlett 결과로부터 탐지한 각 표적의 위치는 (거리 5500m, 수심 39m) 와 (거리 5310m, 수심 66m) 이고, 39m 표적을 고소음 간섭표적으로 하고 66m 표적을 39m 표적에 대한 SIR이 -10dB인 탐지대상의 저소음 표적으로 설정하였다. 그러나 서로를 상관시킨 이후의 출력에서는 표층의 고소음 표적은 (거리 5510m, 수심 37m) 위치에 있고 저층의 저소음 표적은 (거리 5310m, 수심 67m) 위치에 있어, 위치 바이어스가 발생하였다. 고소음 표적이 인접해 있을 때는 주파수 간섭이 발생하며, 신호 단편 수가 수신센서 수보다 많아도 탐지 위치 바이어스가 항상 존재한다. 표적의 속도는 일정하게 약 2m/sec를 유지했지만, 표층 표적은 표적수심을 약 1.5m/sec로 상승시키며 2m/sec로 예인하였으므로 총 속도는 약 3.5m/sec 였다. 정합장치러 출력은 첨단 값으로 정규화하여 나타내었다. 정합장치러 성능을 정량화하기 위하여 일정 공간 내의 빔 출력상에서 첨단 출력과 주변의 잡음 출력의 상대적인 비율을 나타내는 SBNR (signal-to-background-and-noise ratio)을 사용하였다. 여기에서는 SBNR을 거리 5000m~6000m 사이에서 표적이 존재하는 수심에 해당하는 출력 값들에 대한 비율로 하였다.

그림 5는 7개의 토날 주파수를 비상관 광대역 처리한 MVDR, NSP, MCM-NDC 결과이다. 그림 5(a)는 MVDR 결과이며, 두개의 흰색 십자표시는 두 표적의 위치를 나타낸다. 그림에서 표층의 고소음 표적은 강한 출력을 보이지만 저층의 저소음 표적은 고소음 표적의 부엽들과 출력파위가 유사하여 탐지할 수 없는 상태이다. 표층 표적의 SBNR은 약 2dB 이고 저층 표적의 SBNR은 약 -0.5dB 이다. NSP의 출력인 그림 5(b)에서는 표층의 고소음 표적이 완전하게 제거되고 주변의 부엽도 거의 제거되었음을 볼 수 있다. 그러나 저소음 표적은 거리 5200m ~ 5350m 와 수심 60m ~ 80m 사이에 나타나지만 SBNR이 약 -3dB 이기 때문에 탐지가 능 표적으로 볼 수가 없다. 이것은 저소음 표적 성분의 일부가 고소음 표적 신호와 함께 제거되었기 때문이다. 그림 5(c)는 MCM-NDC의 출력으로서 표층의 고소음표

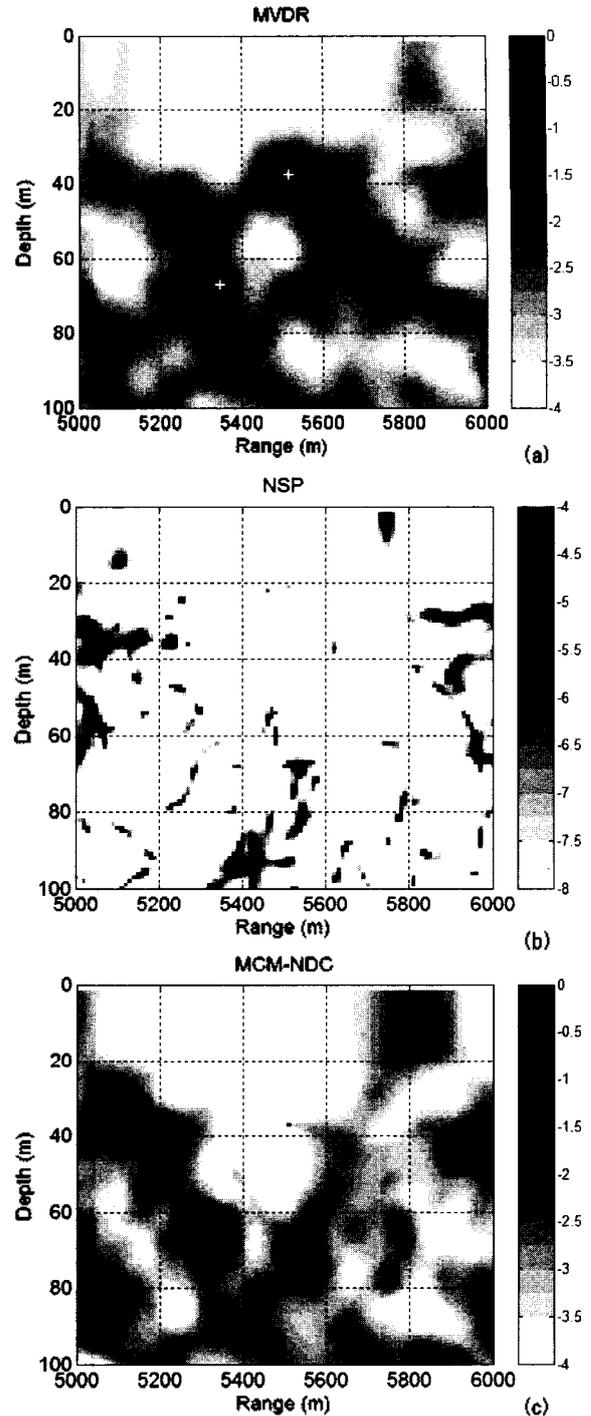


그림 5. MAPLE03 신호에서 고소음 간섭표적 (거리 5500m, 수심 39m) 과 저소음 표적 (거리 5310m, 수심 66m) 의 신호를 CSMD에서 완전 상관시켜 7개의 토날 주파수를 비상관 광대역 처리한 MVDR, NSP, MCM-NDC 결과이다. 고소음 간섭표적과 SIR이 -10dB인 저소음 표적이 서로 상관되어 있다. MVDR 결과인 (a) 에서 두개의 흰색 십자표시는 두 표적의 위치를 나타낸다.

Fig 5. Ambiguity surface of incoherent broadband MVDR, NSP, and MCM-NDC from 7 tonal which is synthesized using the strong interferer at the position of (5500m,39m) and the quiet target at the position of (5310m,66m) in CSDM of MAPLE03. The strong interferer and the quiet target with SIR -10dB are coherent. The two '+' symbols indicate the positions of the strong interferer and the quiet target in Fig. 5(a) of MVDR result.

적과 부엽이 잘 제거되었음을 볼 수 있다. 고소음 표적 주변의 부엽은 3dB 이상 감소하였고, 고소음 위치에는 MVDR과 동일한 출력 크기가 점으로 표시되고 있다. 저층의 저소음 표적의 SBNR은 약 1.5dB로서 고소음 표적 성분이 필터링 됨으로서 이득이 1dB 이상 복원되었다.

#### IV. 요약 및 결론

빠르게 움직이는 고소음의 간섭표적의 부엽이 넓게 분포하여 인접한 저소음 표적의 탐지가 어려운 천해 환경에서, 인접한 저소음 표적의 탐지 성능을 향상시킬 수 있는 도파관 공간의 간섭 필터링 기법을 연구하였다. 본 논문에서는 NDC를 적용한 MCM 기법을 새로이 공간간섭 필터로 제안하였다. NDC는 복제음장을 이용하여 CSDM에 포함되어있는 강한 소음원 성분을 강제로 줄어줌으로서 정합장치 처리 결과의 신호대 부엽준위를 향상시키고 부엽에 묻혀있는 저소음 표적 신호의 이득을 복원시킨다.

정합장치 처리 시뮬레이션 결과 NSP와 제안한 MCM-NDC 모두 간섭표적의 필터링 성능이 뛰어났다. 그러나 NSP는 간섭표적 성분을 과도하게 필터링 함으로서 인접한 저소음 표적의 일부 신호 성분이 손실되지만, MCM-NDC는 신호의 상관이 강한 경우에도 저소음 표적의 신호 복원 성능이 우수하였다.

MAPLE03 신호분석에서는 MVDR의 경우에 고소음의 간섭표적의 부엽 영향으로 저소음 표적의 탐지가 어려웠다. NSP는 간섭표적이 잘 필터링 되었으나, 저소음 표적의 출력이 낮아서 부엽들로부터 구분하기가 어려웠다. 반면, MCM-NDC는 고소음 간섭표적과 부엽이 잘 필터링 되었으며, 간섭표적과 동시에 저소음 표적의 탐지가 가능하였다.

#### 참고 문헌

1. I. Reec, J. Mallett, and L. Brennan, "Rapid convergence rate of adaptive array," IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. 10, 853-863, 1974.
2. R. J. Mailloux, "Covariance matrix augmentation to produce adaptive array pattern troughs," Electron. Lett., 31, 10, 771-772, 1995.

3. M. Zatman, "Production of adaptive array troughs by dispersion synthesis," Electron. Lett., 31, 25, 2141-2142, 1995.
4. J. R. Guerci, "Theory and application of covariance matrix tapers for robust adaptive beamforming," IEEE Trans. Signal Processing, 47(4), 977-985, APRIL 1999.
5. M. Zatman, "Comments on "Theory and application of covariance matrix tapers for robust adaptive beamforming," IEEE Trans. Signal Processing, 48(6), 1794-1800, JUNE 2000.
6. H. Cox and R. Pitre, "Robust DMR and multi-rate adaptive beamforming," in Proc. 31st Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, IEEE Computer Society, 1997, 920-924, 1997.
7. J.S. Kim, W.S. Hodgkiss, W.A. Kuperman, and H.C. Song, "Null-broadening in a waveguide," J. Acoust. Soc. Am. 88(4), 1851-1862, 2001.
8. H.C. Song, W.A. Kuperman, W.S. Hodgkiss, P. Gerstoft, and J.S. Kim, "Null broadening with snapshot-deficient covariance matrices in passive sonar," IEEE J. Oceanic Eng., 28(2), 250-261, 2003.
9. H.L. Van Trees, Detection, Estimation and Modulation Theory, Part VII: Optimum Array Processing (Wiley Interscience, New York, 2002), Chap.6, 528-532.
10. Lisa M. Zurk, Nigel Lee, and James Ward, "Source motion mitigation for adaptive matched field processing," J. Acoust. Soc. Am. 113(5), 2719-2731, 2003.
11. J. Capon and N. Goodman, "Probability distributions for estimations of frequency wavenumber spectra," in Proceeding of the IEEE, 58, 1785-1786, 1970.
12. H. Schmidt, A. B. Baggeroer, W. A. Kuperman, E. K. Scheer, "Environmentally tolerant beamforming for high-resolution matched field processing: Deterministic mismatch," J. Acoust. Soc. Am. 88(4), 1851-1862, 1990.
13. H.C. Song, J. de Rosny, and W.A. Kuperman, "Improvement in matched field processing using the CLEAN algorithm," J. Acoust. Soc. Am. 113(3), 1379-1386, 2003.
14. D.M. Boroson, "Sample size considerations for adaptive arrays," IEEE Trans. on Aerospace and Electronic System, AES 16, Nov. 1980.
15. D.E. Grant, J.H. Gross, and M.Z. Lawrence, "Cross-spectral matrix estimation effects on adaptive beamforming," J. Acoust. Soc. Am. 98(1), 517-524, 1995.

#### 저자 약력

##### • 박정수 (Joung-Soo Park)



1988년: 한양대학교 지구해양학과 (학사)  
 1990년: 한양대학교 대학원 지구해양학과 (석사)  
 2002년~현재: 한국해양대학교 대학원 해양개발공학과 (박사과정)  
 1990년~현재: 국방과학연구소 연구원  
 ※ 주관심분야: 정합장치, 음파전달에 의한 소나 성능 모델링, 잔향음 분석

• 김재수 (Jea-Soo Kim)



1981년: 서울대학교 조선공학과 (학사)  
1984년: University of Florida 해양공학과 (석사)  
1989년: MIT 수중음향 (박사)  
1989년: MIT Post-doctoral Associate  
1991년: 국방과학연구소 연구원  
1991년~현재: 한국해양대학교 해양개발공학부 교수  
1999년-2001년: 미국 스크립스해양연구소 Visiting scholar  
\* 주관심분야: 수중음향

• 김성일 (Seongil Kim)



1986년: 서울대학교 해양학과 (학사)  
1988년: 서울대학교 대학원 해양학과 (석사)  
2002년: University of California, San Diego (박사)  
1990~현재: 국방과학연구소 연구원  
\* 주관심분야: 수중음향

• 신기철 (Kee-Cheol Shin)



1996년: 한국해양대학교 해양공학과 (학사)  
1998년: 한국해양대학교 대학원 해양공학과 (석사)  
2003년: 한국해양대학교 대학원 해양개발공학과 (박사)  
2003년 9월~현재: 한국과학기술원 신진연구원  
\* 주관심분야: 소나신호처리, 정합장처리, 수중음향모델링

• 김영규 (Young-Kyu Kim)



1983년: 서울대학교 해양학과 (학사)  
1985년: 서울대학교 대학원 해양학과 (석사)  
1996년: 서울대학교 대학원 해양학과 (박사)  
1997~현재: 국방과학연구소 연구원  
\* 주관심분야: 해양순환, 수중음향