

협대역 다중 주파수선의 자동 탐지 및 추출 기법 연구

A Study on the Automatic Detection and Extraction of Narrowband Multiple Frequency Lines

이 성 은*, 황 수 북*

(Sung-Eun Lee*, Soo-Bok Hwang*)

*국방과학연구소 제2체계개발본부 수탐1팀

(접수일자: 2000년 9월 14일; 채택일자: 2000년 10월 23일)

수동 소나 시스템에서는 수중 소음원에 대한 신호처리 과정을 수행하여 톤널 및 주파수선의 신호 성분으로부터 신호 세기 대역폭, 톤널 개수, 톤널간의 상호 관계등의 다양한 특징인자를 분석, 비교하여 표적을 식별하게 되며, 표적 식별을 향상시키기 위해서는 무엇보다도 주파수선의 신호 성분만을 정밀하게 탐지하고 추출하여야 한다. 그러나 수중신호의 스펙트로그램상에 형성되는 협대역 주파수선은 톤널의 신호 세기와 바다 자체의 전달 특성 등으로 인하여 미약하게 탐지되거나 불규칙하게 끊어져서 불연속적으로 나타날 뿐 아니라 임펄스성의 주변잡음 성분과 복합적으로 존재하므로 주파수선의 신호 성분만을 정밀하게 탐지하고 추출하기가 매우 어렵다. 본 논문에서는 신호 세기가 미약한 경우나 높은 주변잡음이 복합되어 있는 경우에도 정밀하게 주파수선의 신호 성분만을 탐지, 추출할 수 있는 협대역 다중 주파수선의 자동 탐지 및 추출을 위한 기법을 제안하였으며, 실제 수중표적 신호를 적용하여 제안된 알고리즘이 매우 유용함을 보인다.

핵심용어: 톤널, 다중 주파수선, 자동 탐지 및 추출, 추적기

투고분야: 수중음향 분야 (5.6)

Passive sonar system is designed to classify the underwater targets by analyzing and comparing the various acoustic characteristics such as signal strength, bandwidth, number of tonals and relationship of tonals from the extracted tonals and frequency lines. First of all the precise detection and extraction of signal frequency lines is of particular importance for enhancing the reliability of target classification. But, the narrowband frequency lines which are the line formed in spectrogram by a tonal of constant frequency in each frame can be detected weakly or discontinuously because of the variation of signal strength and transmission loss in the sea. Also, it is very difficult to detect and extract precisely the signal frequency lines by the complexity of impulsive ambient noise and signal components. In this paper, the automatic detection and extraction method that can detect and extract the signal components of frequency lines precisely are proposed. The proposed method can be applied under the bad conditions with weak signal strength and high ambient noise. It is confirmed by the simulation using real underwater target data.

Key words: Tonals, Multiple frequency lines, Automatic detection and extraction, Frequency tracker

Subject classification: Underwater acoustics (5.6)

I. 서 론

바다에는 지리적, 환경적 특성에 따른 주변 (ambient) 잡음과 어선, 상선, 함정 등과 같은 표적들로부터 발생하는 소음 및 수중생물 등에서 발생하는 소음들이 복합되어 나타난다. 이러한 수중 소음원에 대해 스펙트럼 처리를 거쳐서 형성되어진 협대역 신호 성분으로는 스펙트럼상에 존재하는 톤널 (tonals)과 스펙트럼을 시간에 따라 연속적

으로 나타난 스펙트로그램상에 연속되는 프레임으로 형성되는 주파수선 (frequency lines)이 있다[1-2].

수동 소나 시스템은 이러한 복합 소음을 수신하여 신호처리 과정을 수행하여 스펙트럼마다 나타나는 톤널 및 주파수선의 신호 성분으로부터 신호 세기, 대역폭, 톤널 개수, 톤널간의 상호 관계 등의 다양한 특징인자를 분석, 비교하여 관심 표적을 식별하게 되며, 표적 식별을 향상시키기 위해서는 무엇보다도 주파수선의 신호 성분만을 정밀하게 탐지하고 표적의 고유한 특징인자를 분석, 추출하여야 한다.

그러나 스펙트로그램상에 형성되는 주파수선은 그 주

파수선을 이루는 토널의 신호 세기와 바다 자체의 전달 특성 등으로 인하여 미약하게 되거나 불규칙하게 끊어져서 불연속하게 되고 또한 임펄스성의 주변잡음 성분과 혼재하여 어느 토널이 계속 연속되는 지가 모호하게 되는 경우가 많으므로 정밀하게 주파수선의 신호 성분만을 탐지하고 추출하기가 매우 어렵다[3-4].

수중유도무기와 같이 매우 짧은 시간에 공격이 이루어지는 경우 운용자에 의해 지속적인 신호 관찰과 장시간의 특성 분석에 의한 표적 탐지/식별은 매우 제한적이다. 따라서 본 논문에서는 신호 세기가 미약한 경우나 높은 주변잡음이 복합되어 있는 경우에도 정밀하게 신호 성분만을 탐지, 추출할 수 있는 협대역 다중 주파수선의 자동 탐지 및 추출을 위한 기법을 제안하였다.

서론에 이어, II장에서는 수중표적에서 방사되는 다중 주파수선을 자동으로 탐지하여 추출하기 위한 알고리즘을 설명하며, III장에서는 실제 해상에서 측정된 데이터를 이용하여 다중 주파수선 자동 탐지 및 추출 알고리즘의 실험 결과를 기술하고, 끝으로 결론을 맺는다.

II. 다중 주파수선의 탐지 및 추출

수중표적에서 발생하는 협대역 주파수선은 시간에 따라 일정하지 않고 가변적이다. 이러한 주파수선은 칼만 필터에 의해 추적이 가능하며 칼만 필터 알고리즘은 식 (1)과 같다[5-6].

$$\begin{aligned}
 x(k+1) &= Fx(k) + w(k) \\
 z(k) &= Hx(k) + v(k)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

파수선 및 표적의 기동에 따라 발생하는 도플러 편이 등을 고려하여 상태전이 행렬 F 와 측정 행렬 H , 모델 오차 $w(k)$ 및 측정 잡음 $v(k)$ 의 분산 $Q(k)$, $R(k)$ 는 식 (2)와 같다. 여기서 α 는 주파수선의 시정수, T 는 샘플링 간격, $Q(k)$ 는 연속 시간에서의 모델 오차의 분산값을 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 F &= \begin{bmatrix} 1 & \frac{2\pi}{\alpha}(1 - e^{-\alpha T}) \\ 0 & e^{-\alpha T} \end{bmatrix} \\
 H &= [1 \quad 0]
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

$$Q(k) = E[u(k)u(k)^T] = \begin{bmatrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{bmatrix} Q(k)$$

$$q_{11} = \left(\frac{2\pi}{\alpha}\right)^2(4e^{-\alpha T} - 3 - e^{-2\alpha T} + 2\alpha T)$$

$$q_{12} = q_{21} = \left(\frac{2\pi}{\alpha}\right)(1 + e^{-2\alpha T} - e^{-\alpha T})$$

$$q_{22} = (1 - e^{-2\alpha T})$$

$$R(k) = E[v(k)v(k)^T]$$

칼만 필터 알고리즘에 의한 다중 주파수선의 자동 탐지 및 추출 알고리즘의 흐름도는 그림 1과 같으며, 알고리즘의 동작 과정은 아래와 같이 수행된다.

주파수선 추적기의 초기화 및 측정치 산출을 위한 토널 신호 탐지는 다음과 같다. 스펙트럼상에서 소음 규준화 후 토널 신호를 탐지하기 위해서 적정 크기의 신호탐지 준위 (threshold) DT 를 설정하는데 일반적으로 고정된 값을 적용하게 되면, 수중표적에서 발생하는 소음의 연속 스펙트럼 특성과 주변잡음 영향이나 신호의 전달 특성에 의해 임계값보다 적은 크기의 토널은 실제 표적에서 발생하는 토널 신호라 하더라도 그 해당 프레임에서는 탐

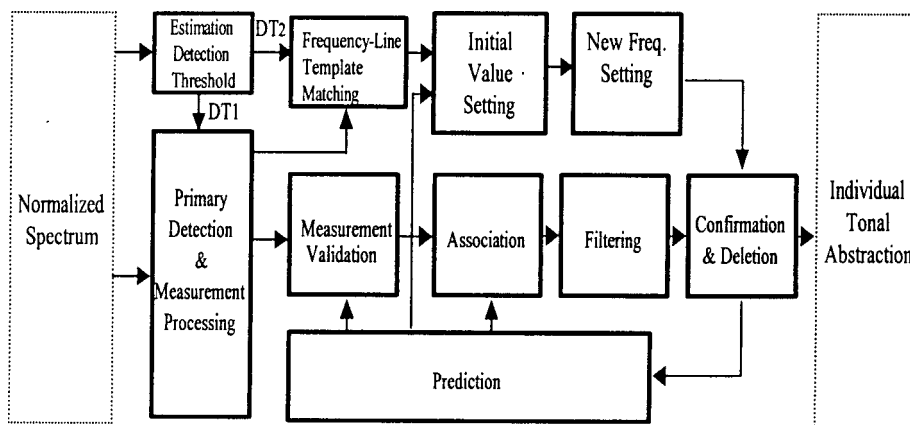


그림 1. 다중 주파수선의 자동 탐지 및 추출 블록도
 Fig. 1. Block diagram of automatic detection and extraction of multiple frequency lines.

여기서 $x(k)$ 는 주파수 f 와 주파수의 변화율 f' 로 구성되는 상태벡터이며, $z(k)$ 는 주파수에 대한 측정치이다. 본 논문에서는 시간에 따라 가변적인 표적의 불안정 주

파수선 및 표적의 기동에 따라 발생하는 도플러 편이 등을 고려하여 상태전이 행렬 F 와 측정 행렬 H , 모델 오차 $w(k)$ 및 측정 잡음 $v(k)$ 의 분산 $Q(k)$, $R(k)$ 는 식 (2)와 같다. 여기서 α 는 주파수선의 시정수, T 는 샘플링 간격, $Q(k)$ 는 연속 시간에서의 모델 오차의 분산값을 나타낸다.

본 논문에서는 수중표적에서 발생하는 소음의 연속스

펙트럼 특성과 주변잡음에 민감하지 않으며, 소음 규준화된 스펙트럼 데이터에 존재하는 토널 신호 성분 및 소음 규준화시에 발생하는 오차를 고려하여 자동적으로 신호 탐지 준위 (DT_1 , DT_2)를 추정하는 기법을 식 (3)~(5)와 같이 제안하여 토널 신호 탐지율을 높이도록 하였다.

$$DT(k) = \mu(k) + \eta \times \sigma(k) \tag{3}$$

$$DT_1(k) = 1/\tau \times DT_1(k-1) + (1-1/\tau) \times DT(k) \tag{4}$$

$$DT_2(k) = c \times DT_1(k) \tag{5}$$

여기서 k 는 시간을, μ 와 σ 는 국부 피크치 (local peak)중에서 상, 하위 극단값이 제거된 산술 평균값과 표준편차를 나타내고, c 와 η 는 상수값으로 오탐지 확률에 의해서 결정되며, τ 는 평균시간을 나타낸다.

추적기의 초기화에 필요한 토널을 추출하기 과정으로 DT_1 의 탐지 준위에서 탐지되는 토널들과 DT_2 의 탐지 준위값과 연계하여 토널 신호 후보들 중 특정 프레임에서 토널 신호로 오인될 만한 피크치를 가지는 잡음 성분을 제거하고 토널 신호 성분만을 효과적으로 탐지할 수 있도록 변형된 주파수선 템플릿 매칭 (template matching) 기법을 제안하며, 식 (6)과 같이 정의한다.

$$E(k, n) = \begin{cases} 1, & \text{if } \left(\sum_{i=n-2}^{n+2} \sum_{j=k-2}^{k+2} S(i, j)G(i, j) = 3 \text{ and } \left(\sum_{i=n-2}^{n+2} \sum_{j=k-2}^{k+2} G(i, j)M(i, j) \right) / 3 \geq DT_2 \right) \\ 0, & \text{else} \end{cases} \tag{6}$$

여기서 k 는 시간, n 은 주파수빈 번호를 나타내며, $S(i, j)$ 는 시간과 주파수빈 번호로 구성된 3×5 의 초기 탐지신호 행렬로서 규준화된 스펙트럼의 국부피크치가 DT_1 이상이면 '1', DT_1 미만이면 '0'의 값을 갖는다. $M(i, j)$ 는 시간과 주파수빈 번호로 구성된 3×5 의 스펙트로그램 행렬로 i 시간에서 j 빈에 대한 규준화된 스펙트럼의 크기를 가지며, $G(i, j)$ 는 '0'과 '1'로 구성된 3×5 의 주파수선 템플릿 행렬로 그림 2와 같다.

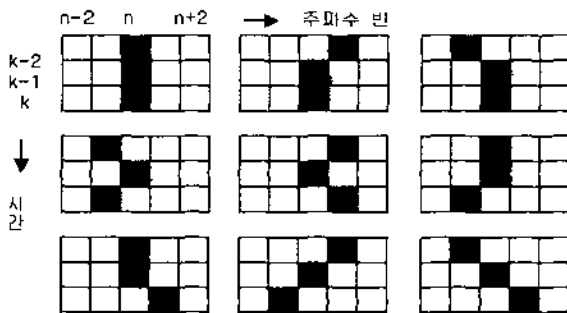


그림 2. 주파수선 템플릿
Fig. 2. Templates of frequency line.

식 (6)에 의해서 토널 신호가 탐지된 후 주파수선 추적기에 초기값으로 입력하기 위한 중심 주파수, 순간 주파수 및 순간 주파수 변화율의 추정은 식 (7)~(9)와 같이 수행한다.

$$f_c(n) = n \times \Delta f \quad \text{if } E(k, n) = 1 \tag{7}$$

$$f_i(k, n) = \left(\sum_{i=n-1}^{n+1} G(k, i) \right) \times \Delta f \quad \text{if } E(k, n) = 1 \tag{8}$$

$$f_r(k, n) = \sum_k \left(\sum_{i=n-1}^{n+1} G(k, i) i - \sum_{i=n-1}^{n+1} G(k-i, i) \right) / 2 \times \Delta f \tag{9}$$

여기서 Δf 는 주파수 분해능을 의미하며, 새로운 주파수선은 식 (10)에 의해 초기화된다.

$$\begin{aligned} R(k) &= \xi \times \Delta f \\ P_i(0|0) &= \begin{bmatrix} R(k) & R(k)/T \\ R(k)/T & 2R(k)/T^2 \end{bmatrix} \\ f_{i,c} &= f_c(k, i) \\ x_{i,1}(0|0) &= f_i(k, i) \\ x_{i,2}(0|0) &= f_r(k, i) \end{aligned} \tag{10}$$

추적기가 초기화되어 주파수선의 추적이 개시된 후에 측정치가 1번 이상 존재하면 추적이 유지되며, 개별 토널 신호의 특성 분석은 추적이 확인된 주파수선에 대해서만 수행하게 된다. 그리고 추적기가 초기화되어 개시된 후 측정치가 연속적으로 4번 이상 존재하지 않게 되면 추적을 더 이상 수행하지 않고 그 추적은 폐기토록 한다.

추적 폐기가 되지 않은 주파수선에 대해서는 주파수선 예측을 수행하며, 상태 벡터, 상태 공분산, 측정치 및 이 노베이션 공분산에 대한 예측치는 다음 식 (11)에 의해서 결정된다.

$$\begin{aligned} \hat{X}_i(k+1|k) &= F(k+1) \hat{X}_i(k|k) \\ P_i(k+1|k) &= F(k+1) P_i(k|k) F^T(k+1) + Q(k) \\ \hat{Z}_i(k+1|k) &= H(k+1) \hat{X}_i(k+1|k) \\ S_i(k+1) &= H(k+1) P_i(k|k) H^T(k+1) + R(k) \end{aligned} \tag{11}$$

현 프레임에서 입력된 측정치와 이전 프레임에서 추적 중인 주파수선과의 유효화 처리는 다음 식 (12)와 같이 수행한다. 게이트는 Ellipsoidal gate를 이용하며 게이트 조건을 만족하는 측정치를 유효화 측정치라 한다.

$$\begin{aligned} \rho_{i,j} &= \begin{cases} 1, & \text{if } \rho_i(\nu_{i,j}) \leq \gamma \\ 0, & \text{else} \end{cases} \\ \rho_i(\nu_{i,j}) &= \nu_j^T S(k+1)_i^{-1} \nu_j \\ \nu_j &= Z_j(k+1) - \hat{Z}_i(k+1|k) \end{aligned} \tag{12}$$

여기서 γ 는 게이트의 크기, ν 는 이노베이션, S 는 이노베이션 공분산, i 는 기 추적 주파수 번호, j 는 측정된 주파수 번호를 나타낸다. 그리고 다음 식 (13)을 만족하는 경우는 중첩된 주파수인 것으로 클러스터링하며, 여기서 ϵ 는 클러스터링 범위를 결정하는 임의의 상수이다.

$$|f_c(k, i) - f_c(k, j)| \leq \epsilon \times \Delta f \quad (13)$$

또한 유효화 영역 내에 포함된 다수의 측정치중 인접된 다른 추적 주파수선에 의한 측정치의 포함 여부는 식 (14)와 같이 표준화 거리를 구한 다음, 인접한 추적 주파수선에 대한 측정치를 추정하여 유효화 측정치에서 제거한다.

$$g_{i,j} = e^{-\frac{d_{ij}^2}{2}} / (2\pi)^{M/2} \sqrt{|S_i(k+1)|} \quad (14)$$

여기서 $d_{ij} = \nu_{ij}^T S(k+1)_i^{-1} \nu_{ij}$, M 은 측정 차원 (measurement dimension)을 나타내며, i 는 트랙 번호, j 는 관찰 번호를 나타낸다.

유효화된 측정 중심주파수와 예측 중심주파수를 이용하여 연관을 수행한다. 특히 미세한 신호에 대하여 탐지 확률을 높이고자할 경우에는 신호 탐지준위 DT_1 이 낮게 추정되기 때문에 유효화 처리된 측정치에는 신호 성분과 잡음 성분이 동시에 존재할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 측정치의 잡음환경을 고려하여 데이터 연관은 잡음 환경하에서 우수한 성능을 나타내는 확률 데이터 연관 (Probabilistic Data Association)방법을 적용하였다[5].

조합 이노베이션 $\nu_i(k+1)$ 은 다음 식 (15)로 형성되며, 사건 $\theta_{i,j}(k+1)$ 의 조건하에서의 이노베이션 $\nu_{i,j}(k+1)$ 은 다음 식 (16)과 같이 구해진다.

$$\nu_i(k+1) = \sum_{j=1}^{m(k+1)} \beta_{i,j}(k+1) \nu_{i,j}(k+1) \quad (15)$$

$$\nu_{i,j}(k+1) = Z_i(k+1) - \hat{Z}_i(k+1|k) \quad (16)$$

이때 사후 확률 $\beta_{i,j}(k+1)$ 은 다음 식 (17)로 결정된다.

$$\begin{aligned} \beta_{i,j}(k+1) &= e_{i,j} / \left[b_i + \sum_{j=1}^{m(k+1)} e_{i,j} \right] \\ \beta_{i,0}(k+1) &= b_i / \left[b_i + \sum_{j=1}^{m(k+1)} e_{i,j} \right], \quad j=1, 2, \dots, m(k+1) \\ e_{i,j} &= \exp[-1/2 \nu_{i,j}^T(k+1) S_i^{-1}(k+1) \nu_{i,j}(k+1)] \\ b_i &= \lambda \sqrt{|2\pi S_i(k+1)|} (1 - P_D P_G) / P_D \\ \lambda_i &= m_i(k+1) / V_i(k+1) \\ V_i(k+1) &= C_{n_i} \lambda^{n_i/2} |S_i(k+1)|^{1/2} \end{aligned} \quad (17)$$

여기서 n_2 는 측정차원, $C_1=2, C_2=\pi, P_D$ 는 탐지 확률, P_G 는 유효화 영역내에서 올바른 측정치가 존재할

확률을 나타낸다.

측정치가 존재할 경우의 상태 벡터 및 공분산은 식 (18), (19)에 의해서 갱신되며,

$$\begin{aligned} \hat{X}_i(k+1|k+1) &= \hat{X}_i(k+1|k) + W_i(k+1) \nu_i(k+1) \\ W_i(k+1) &= P_i(k+1|k) H^T(k+1) S_i(k+1)^{-1} \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} P_i(k+1|k+1) &= \beta_{i,0}(k+1) P_i(k+1|k) + \\ & (1 - \beta_{i,0}(k+1)) (I - W_i(k+1) H(k+1)) P_i(k+1|k) + \hat{P}_i(k+1) \\ \hat{P}_i(k+1) &= W_i(k+1) \\ & \left[\sum_{j=1}^{m(k+1)} \beta_{i,j}(k+1) \nu_{i,j}(k+1) \nu_{i,j}^T(k+1) - \nu_i(k+1) \nu_i^T(k+1) \right] \\ & W_i^T(k+1) \end{aligned} \quad (19)$$

만약 측정치가 존재하지 않으면 식 (20)에 따라 상태 벡터 및 공분산이 갱신된다.

$$\begin{aligned} \hat{X}_i(k+1|k+1) &= \hat{X}_i(k+1|k) \\ P_i(k+1|k+1) &= \hat{P}_i(k+1|k) \end{aligned} \quad (20)$$

수중신호로부터 형성되는 표적의 다중 주파수선은 이상과 같은 방법으로 연속 프레임에 대하여 새로운 주파수선에 대한 초기화 및 유지, 폐기 과정을 반복 수행하면서 자동적으로 추적된다[6-7].

III. 실험 및 고찰

상기 제시된 협대역 다중 주파수선의 자동 탐지 및 추출 기법을 수중 하이드로폰에 수신된 상선의 방사소음 신호에 적용하였으며, 그림 3은 상선의 방사소음에 대하여 소음 표준화 처리를 거친 스펙트럼 및 스펙트로그램을 나타낸 것으로 중간 주파수영역에서 다중 주파수선이 형성되고 있다. 또한 일부 프레임에서 주파수선이 비선형적으로 변화하고 있으며 주변 잡음에 비해 미세한 주파수선이 탐지되고 있음을 나타내며, 이는 시간 변화에 따른 표적 주파수선의 특성을 잘 보여 주고 있다. 표 1은 다중 주파수선의 자동 탐지 및 추출 알고리즘의 각 파라메타에 적용된 설정값을 나타내었다.

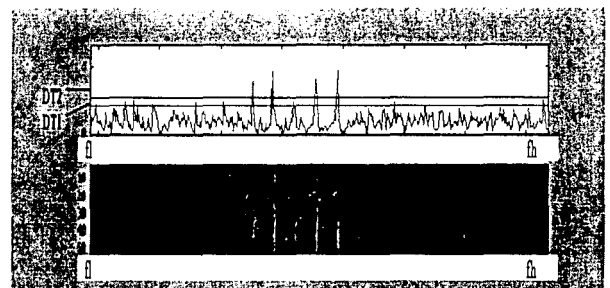
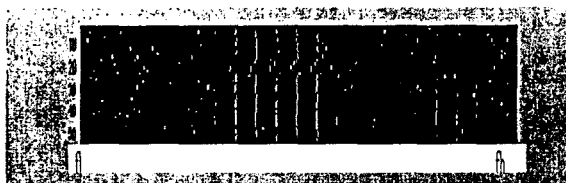


그림 3. 상선 신호의 스펙트럼 및 스펙트로그램
Fig. 3. Spectrum and spectrogram of merchant ship.

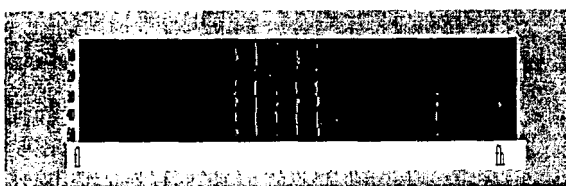
표 1. 파라메타 설정치
Table 1. Parameter values.

구분	파라메타	기호	설정치
주파수선 모델	시정수	a	1
	샘플간격	T	1
	모델오차분산	$Q(t)$	0.1
	측정잡음분산	$R(k)$	$0.1 \times$ 분해능
탐지준위추정	상·하위 극단값	-	5%
	오탐지율	-	10-4
	평균시간	τ	4
주파수선추적	게이트크기	γ	2.71
	클러스터링	ϵ	4
	측정치 분해능	Δf	0.9375
	탐지확률	PD	0.9
	존재확률	PG	0.9

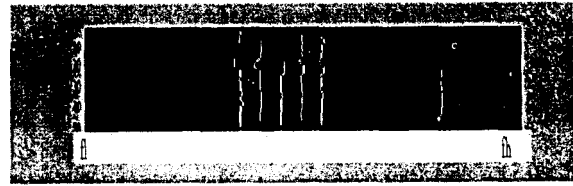
그림 4에서 (a)는 자동적으로 설정되는 신호 탐지준위 DT_1 이상 되는 토널 신호를 시간에 따라 나타낸 것으로 추적기의 측정치로 입력된다. 그림에서 신호 성분 이외에 많은 잡음 성분들을 포함하고 있으며, 이는 미세한 주파수선을 추출하기 위해 파라메타를 설정했기 때문이다. 이러한 측정치의 잡음 성분은 주파수선 추적기에 허위 정보를 제공해 주는 역할을 하므로 강인한 추적기가 필요함을 의미한다. 그림 4 (b)는 (a)에 표시된 DT_1 보다 높아서 1로 탐지되는 토널들과 DT_2 의 탐지 준위값과 변형된 주파수선 템플릿 매칭 기법을 거쳐서 추적기의 필터 초기값으로 입력되는 신호 성분들로서 주변잡음이 거의 제거되어 있음을 볼 수 있다. 이는 스펙트로그램상에 나타나는 주파수선들만이 추적기의 초기화에 기여함을 의미한다. 그림 4 (c)는 (a)와 (b)에서 나타낸 측정치와 토널에 대해 제안한 알고리즘의 반복 수행 과정을 통하여 최종 추출된 협대역 주파수선을 나타낸 것으로 그림 3에서 미세하게 탐지되는 협대역 주파수선의 신호 성분만을 효율적으로 추출함을 보여 준다.



(a)



(b)



(c)

그림 4. 협대역 다중 주파수선 탐지 및 추출 결과

(a) 측정치 토널 (b) 초기화 토널 (c) 주파수선 추적

Fig. 4. Result of detection and extraction of narrowband multiple frequency lines,
(a) Measurement tonals, (b) Initial tonals, (c) Track of frequency lines.

IV. 결론

수동 소나를 이용하여 표적의 탐지 및 식별을 위해서는 표적에서 발생하는 협대역 주파수선을 탐지하고 추출하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 소음 규준화된 스펙트럼 데이터로부터 토널 신호 탐지율을 향상시키기 위한 신호 탐지준위의 자동 추정 방법과 탐지된 측정치에서 잡음 성분을 제거하고 토널 신호 성분만을 추출하여 주파수선 추적기를 초기화할 수 있는 변형된 주파수 템플릿 매칭 방법을 제안하였으며, 또한 유효화된 측정치에 포함된 인접 주파수선에 기인한 측정치의 제거 기법 및 잡음 성분이 포함된 측정치에 대해 추적 성능이 양호한 PDA 기법 등을 활용하여 수동 소나에서 표적의 자동 탐지 및 식별 분야에서 효율적으로 적용할 수 있는 협대역 다중 주파수선의 자동 탐지 및 추출 알고리즘을 제안하였다.

실제 수중에서 측정된 상선 신호에 적용하여 미약한 신호뿐만 아니라 시간에 따라 변화하는 협대역 주파수선 신호 성분을 정확하게 추출하고, 신호세기가 미세하거나 해양 환경의 전달 특성 변화로 인하여 토널이 불연속적으로 탐지되는 경우에도 신호 주파수선을 연속적으로 추적 가능케 함으로써 본 논문에서 제안한 협대역 다중 주파수선의 자동 탐지 및 추출 알고리즘이 매우 유용함을 보였다.

참고 문헌

1. R. J. Urick, "Principles of Underwater Sound, McGraw-Hill," 1975.
2. Richard O. Nielsen, "Sonar Signal Processing," Artech House, 1991.
3. W. A. Strzinski and E. D. Lowe, "A Performance Comparison of Four Noise Background Normalization Schemes Proposed for Signal Detection Systems," J. Acoust. Soc. Am., Vol.76, no.6, pp. 1738-1742, Dec. 1984.
4. 하석운, "수중음향신호의 배경잡음 평균추정 방법에 관한 연구," 대한전자공학회 추계종합학술대회 논문집, 제15권, 제2호, pp. 631-634, 1992년 11월.

5. Y. Bar-Shalom and Edison Tse, "Tracking in a Cluttered Environment with Probabilistic Data Association," *Automatica*, Vol. 11, pp. 451-460, Pergamon Press. 1975.
6. M. S. Grewal and A. P. Andrews, "Kalman Filtering Theory and Practice," Prentice-Hall, Chapter 3, 1993.
7. Y. Bar-Shalom and X. R. Li, "Estimation and Tracking : Principles, Techniques, and Software," Artech House, Chapter 10, 1993.

▲ 이 성 은 (Sung-Eun Lee)

한국음향학회지 제16권 6호 참조

▲ 황 수 복 (Soo-Bok Hwang)

한국음향학회지 제15권 6호 참조