

이동하는 표적의 방사소음 합성기법 연구

Research on Synthesis of Radiation Noise from Moving Target

배 재 휘 *

Bae, Jae-Hwui

ABSTRACT

A target signal simulation method for passive sonar systems is introduced. The method uses multirate signal processing techniques to simulate moving target signals in the multi-path sound propagation environment by introducing Lloyd's mirror and Doppler effect. Time and frequency variation of target signal due to the target maneuvering is also considered to provide realistic ship signatures in the LOFAR gram so that the simulated target is used for sonar operator training. Synthesized target characteristics is analyzed and compared with real target signal in terms of interference pattern and frequency variation in the LOFAR gram.

주요기술용어 : Multirate Signal Processing(다중표본을 신호처리), Doppler Effect(도플러 효과), Lloyd's Mirror Effect(로이드 미러 효과), LOFAR(로파, low frequency analysis and recording)

1. 서 론

수동 소나(passive sonar)는 수중과 수상에서 표적들이 방사하는 소음을 탐지하여 표적의 방위와 식별에 관련된 다양한 단서를 제공하고, 소나 운용자는 이러한 단서들을 종합하고 분석하여 유용한 정보들을 생성한다⁽¹⁾. 따라서 운용자의 소나 운용능력은 실로 장비의 성능 이상으로 중요하다. 그러나 실제로 해상에서는 특정 표적이나 전술상황에 접할 수 있는 기회가 적고, 환경요소 등 제어가 불가능한 요인들이 복합적으로 작용하기 때문에 정밀하게 제어된 신호를 얻기 어렵다.

이러한 문제점을 극복하기 위하여, 미리 설정된 해양환경과 표적 기동 시나리오에 따라 표적이 이동

할 때 발생하는 방사소음을 모델링하여 인공적으로 신호 합성하는 연구가 세계 각국에서 지속적으로 있어 왔다⁽²⁾. 대표적인 예로 Deatte⁽³⁾는 표적의 방사소음 신호를 발생원인과 주파수 특성에 따라 4가지의 개별 소음원으로 분리하였고, 각각에 대한 수학적 모델과 합성방안 등을 제시하였다. 이 모델은 수동 소나로 수신되는 표적 방사소음 신호의 주파수 특성 및 시변특성 등 주요 특징들을 잘 구현할 수 있었다. 그러나 이 모델링에는 도플러효과와 다중경로의 간섭에 의한 로이드 미러 현상 등 이동하는 표적의 방사소음 신호 특성에 관계된 중요한 요소들이 고려되지 않았다.

본 논문에서는 이동하는 표적에서 나타나는 방사소음 특징을 합성하는 기법에 대하여 기술한다. 이것을 위하여 Multirate 신호처리 기법을 적용하였고, 이

* 국방과학연구소

동하는 표적과 소나 사이의 거리와 주파수에 따른 시변특성의 전달특성 필터링 방법, 다중경로에 의한 간섭효과 그리고 소음원의 상대속도의 변화에 따른 도플러 효과를 구현하는 알고리즘을 제안하였다. 또 제안된 기법을 적용하여 얻은 출력신호를 주파수 분석한 결과를 도시하여, 얻어진 음파전달 특성을 제시하였다.

2. 개별음원 모델링과 배경 이론

표적방사소음 합성기는 기능별로 몇 개의 모듈로 나누어진다. 그들은 시나리오반, 표적 합성반, 전달 특성반 등으로 나누어진다. 시나리오반은 표적들의 기동과 관련하여 이들의 좌표, 거리, 상대속도 및 수중 음파의 전파지연 시간 등의 신호합성 인자를 계산하는 기능을 수행한다⁽⁴⁾.

2.1. 개별 음원 모델링

Deatte는 표적에 탑재된 장비나 선체와 선체주변의 유체 등에 의해 발생하는 소음들을 주파수 특성에 따라 크게 협대역 신호(narrowband signal)와 광대역 신호(broadband signal)로 나누었다. 그리고 각각의 개별 소음원들을 발생원인과 주파수 특성에 따라 4가지로 분류하였다⁽³⁾. 소음원 전체에 작용하는 부하의 불균일에 의해 발생하는 주파수선 천이(frequency line fluctuation or jitter) 현상은 FM 잡음 발생기를 적용하여 구현하였다.

$$f_i = f_0 \left[1 + \sum_{k=0}^{M-1} a(k) \cdot n_f[(n-k)T] \right] \quad (1)$$

여기서, $a(k)$ 는 lowpass noise coloring filter 이고, $n_f(nT)$ 는 uncorrelated noise excitation process의 k

번째 sample이다.

(1) 협대역 비변조 신호(narrow band unmodulated signal)

이것은 주로 회전 또는 왕복운동을 하는 기계류 소음원에서 발생하는 토날(tonal) 신호를 모델링한 것이다. 토날 신호의 주파수선 천이 현상을 합성하기 위하여 FM 신호 발생기가 적용된다.

$$s_{t_1} = \sum_{i=1}^{N-1} A_i \cdot \cos(2\pi f_i(nT) \cdot nT + \phi_i) \quad (2)$$

여기서, A_i 는 진폭, $f_i(nT)$ 는 순간 주파수, ϕ_i 는 i 번째 주파수의 초기위상이다.

(2) 광대역 비변조 신호(broad band unmodulated signal)

표적이 진행할 때 발생하는 유체소음(flow noise)을 모델링한 것이다.

$$s_{t_2} = \sum_{l=0}^{M-1} \sum_{k=0}^{N-1} g_l a_l(k) n_b[(n-k)] \quad (3)$$

여기서, g_l 은 l 번째 1/3 Octave 필터의 이득(gain), $a_l(k)$ 는 l 번째 1/3 Octave 필터계수이고 $n_b(kT)$ 는 uncorrelated excitation noise sample이다.

(3) 광대역 변조 신호(broad band modulated signal)

이것은 프로펠러에서 발생하는 캐비테이션에 의해 발생하는 프로펠러 소음을 모델링한 것이다. 캐비테이션에 의한 프로펠러 소음은 프로펠러 회전에 의한 토날 신호가 캐비테이션에 의해 진폭 변조되면서 발

생하는 광대역 소음이다. 불안정한 프로펠러 토날 신호를 모델링하기 위하여 FM 신호 발생기가 적용된다.

$$s_{t_3} = \sum_{k=0}^{M-1} a_c(k) n_c[(n-k)T] \cdot \sum_{i=0}^{N-1A_i} \cos(2\pi f_i(nT) \cdot nT + \phi_i) \quad (4)$$

여기서, $a_c(k)$ 는 coloring filter 계수, $n_c(k)$ 는 k 번째 uncorrelated noise source sample 그리고, A_i 은 진폭, $f_i(nT)$ 는 순간주파수, ϕ_i 는 i 번째 주파수의 랜덤(random) 초기위상을 나타낸다.

(4) 협대역 변조 신호 (narrow band modulated signal)

프로펠러 날개가 진동하면서 발생하는 울림(singing) 소음을 모델링한 것이다. 프로펠러의 진동은 주로 소용돌이 영향력(vortex shedding)에 의해서 발생한다. 울림은 프로펠러 날개 공진에 의해서 발생하며, 일반적으로 강한 토날과 협대역의 진폭 변조된 신호 특징을 가진다⁽²⁾.

$$s_{t_4} = \sum_{k=0}^{N-1A_i} \cdot \cos(2\pi f_i(nT) \cdot nT + \phi_i) \cdot \cos(2\pi f_s nT) \quad (5)$$

여기서, A_i 는 진폭, $f_i(nT)$ 는 순간주파수, ϕ_i 는 i 번째 주파수의 랜덤(random) 초기위상, f_s 는 울림(singing) 공진 주파수를 나타낸다.

2.2. 다중 표본을 신호처리 기법

Multirate 신호처리 기법은 어떤 디지털 신호를 아

날로그 신호로 바꾸지 않고, 새로운 샘플을 갖는 디지털 신호로 바꾸는 신호처리 기법이다⁽⁴⁾. 이것을 위하여 입력 디지털 신호에 보간(interpolation)과 추출(decimation)을 적용하는데 보간율이 L , 추출율이 M 인 경우 출력신호는 L/M 배의 샘플을 가진다. 이것의 수학적 표현은 식 (6)과 같다.

$$y(m) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} g_m \cdot x \left[\left\lfloor \frac{mM}{L} \right\rfloor - n \right] \quad (6)$$

$$g_m(n) = h(nL + mM \oplus L) \text{ for all } m \text{ and } n$$

여기서, $g_m(n)$ 은 표본화율 변환필터이고, $x[n]$ 은 입력신호 이다. 그리고, \oplus 는 모듈로(modulo) 연산자를 의미하며, $\lfloor U \rfloor$ 는 $0 \leq \lfloor U \rfloor < U$ 로 주어진다.

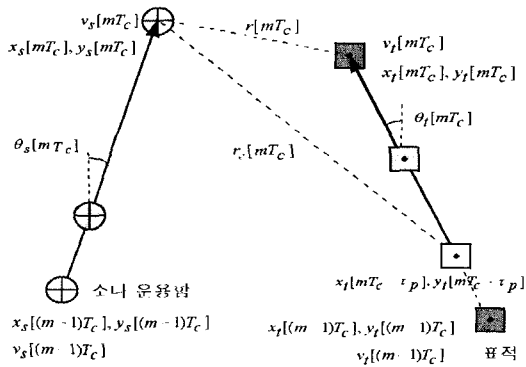
식 (6)과 같은 선형 디지털 필터 $g_m(n)$ 을 얻기 위하여 A/D 변환에 적용되는 아날로그 저역역파 필터(lowpass filter)를 입력신호 보다 L 배 높게 샘플링한다. 이때 얻어지는 디지털 필터 $g_m(n)$ 은 FIR 디지털 저역 역파 필터의 특성을 가지며, $g_m(n)$ 은 L 개의 고유한 $g_m(n)$ 의 계수 집합으로 나누어진다. 샘플을 변환 필터 $g_m(n)$ 은 $\lfloor mM/L \rfloor$ 번째 입력 신호와 m 번째 출력신호의 시스템 응답이며, 위상 m 에 의해서 적용되는 샘플을 변환 필터 $g_m(n)$ 의 계수가 변하는 고유한 선형 시변(linear time variant) 특성을 가진다⁽⁴⁾.

2.3. 도플러 효과와 로이드 미러 효과

해양 환경에서 음파가 전파될 때 나타나는 특징의 대표적인 예로는 도플러 효과와 다중 수중음파 전달 경로의 간섭에 의한 로이드 미러(Lloyd's Mirror) 효

과가 있다. 도플러 효과는 기동하는 표적들의 상대 속도가 변하면서 표적 방사소음 신호의 주파수선이 고주파 또는 저주파 방향으로 편이하는 현상이다⁽¹⁾.

로이드 미러(Lloyd's Mirror) 효과는 표적이 소나 운용함에 근접했을 때 즉, 표적과 소나 사이에 근거리(near-field) 조건이 형성될 때 수중 음파의 다중 전달 경로에 의해 나타나는 간섭 효과인데, 로파분석에서 광대역의 배경 소음에 규칙적인 간섭무늬가 나타난다. 근접 거리에서 표적의 방사 소음은 다양한 경로를 거쳐 소나로 수신되는데, 이들은 주로 해저면과 해수면에 반사되어 형성된 것이다. 각각의 경로는 서로 다른 거리의 전달경로를 가진다. 따라서, 음파가 각 경로를 거쳐 소나에 도달하는 전달 지연시간은 서로 다른 값을 가지며, 이러한 경로별 음파전달 시간차에 의해서 간섭 패턴이 나타난다. 로이드 미러 현상에 의한 간섭 패턴은 광대역의 배경잡음이 규칙적으로 변형되어 포물선 무늬의 대칭구조로 나타난다. 이 현상으로부터 표적의 소나 운용함에 대한 최대 근접거리(closest point of approach)를 구할 수 있다⁽¹⁾.



(그림 1) 표적기동 시나리오에 따른 소나 운용함과 표적의 좌표 계산

3. 제안된 전달특성합성 알고리즘

이동하는 표적의 방사소음 신호특성을 구현하기

위하여 먼저 표적기동 시나리오에 따른 각 표적들의 좌표, 상대속도, 상대거리, 음파전달 지연시간, 위상 지연 및 위상 변화율 등의 신호합성 인자들을 계산해야 한다⁽⁵⁾. 그림 1. 에 나타난 바와 같이 매 신호합성 주기마다 소나 운용함과 표적의 좌표와 속도는 이전 시간에서의 좌표와 속도에서 구한다.

3.1. 표적 좌표 및 상대거리 계산

소나 운용함과 표적의 좌표와 상대거리를 산출하기 위하여 소나 운용함의 속도 v_s , 침로 θ_s 와 표적함의 속도 v_t , 침로 θ_t 로 부터 그들의 x, y 축 방향 속도 성분인 v_x, v_y 로 분리한다. 신호 합성주기 T_c 에 대한 이들의 좌표는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

동일 시점에서 소나 운용함을 기준으로 표적함의 상대거리는 위의 좌표에서 쉽게 구할 수 있다. 그러나, 소나로 수신되는 신호에 대하여 소나와 표적사이의 수중 소음의 전파속도, 상대거리에 따른 전달 지연 시간(propagation delay time) $\tau_p(mT_c)$ 가 고려되어야 하므로, 실제 상대거리 $r_e(mT_c)$ 는 식 (7)과 같이 나타난다.

$$r_e(mT_c) = \sqrt{x_e(mT_c)^2 + y_e(mT_c)^2} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} x_e(mT_c) &= x_t[mT_c - \tau_p(mT_c)] - x_s(mT_c) \\ &= x_t[mT_c - \tau_p((m-1)T_c - \Delta\tau(mT_c))] - x_s(mT_c) \\ &\approx x_t[(m-1)T_c - \tau_p((m-1)T_c)] \\ &\quad + v_{x_t}[(m-1)T_c - \tau_p((m-1)T_c)] \cdot T_c \\ &\quad - x_s[(m-1)T_c] - v_{x_s}[(m-1)T_c] \cdot T_c \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_e(mT_c) &= y_t[mT_c - \tau_p(mT_c)] - y_s(mT_c) \\ &= y_t[mT_c - \tau_p((m-1)T_c - \Delta\tau(mT_c))] - y_s(mT_c) \\ &\approx y_t[(m-1)T_c - \tau_p((m-1)T_c)] \\ &\quad + v_{y_t}[(m-1)T_c - \tau_p((m-1)T_c)] \cdot T_c \\ &\quad - y_s[(m-1)T_c] - v_{y_s}[(m-1)T_c] \cdot T_c \end{aligned}$$

여기서 적용되는 전달지연 시간 $\tau_p(mT_c)$ 는 다중경로 음파전달 모델을 적용하여 소나 운용함의 좌표에서 일정한 거리마다 구하여 데이터베이스를 구축하여 적용하였다. 일반적으로 수중에서 음파는 수온곡선 등에 따라 굴절하고, 해수면이나 해저면에 반사되어 전파된다. 따라서 수중음파는 소나 운용함과 표적 사이의 직선거리를 전파하는 것보다 큰 거리를 이동하게 되며, 전달지연 시간도 직선거리를 통하여 전파할 때의 최소 거리 전달지연 시간 ($\delta[n]$)보다 큰 값으로 나타난다. 이들의 경로는 그림 2와 같이 나타난다. 이 때 전달지연시간과 신호 합성주기 사이에는 실수부가 존재하기 때문에, 전달지연 시간 $\tau_p(mT_c)$ 를 식 (8)과 같이 신호 합성주기 T_c 간격으로 나누어 정수부분 $\Gamma(mT_c)$ 와 1.0 미만의 실수부분 $\mu_r(mT_c)$ 로 분리하여 적용한다.

$$\tau_p(mT_c) = \Gamma(mT_c) + \mu_r(mT_c) \quad (8)$$

여기서,
$$\Gamma(mT_c) = INT\left[\frac{\tau_p(mT_c)}{T_c}\right],$$

$$\mu_r(mT_c) = \tau_p(mT_c) - \Gamma(mT_c)$$

3.2. 도플러 효과 구현

표적 합성반은 매 신호합성 주기 T_c 마다 음원준위신호를 주어진 샘플율로 합성하여 버퍼에 저장한다⁽⁶⁻⁹⁾. 전달 특성반은 최소 거리 전달지연 시간 (propagation delay time) 의 값에 따라 음원준위 출력신호에서 매 신호합성 주기마다 읽어오는 데이터 개수가 변한다. 신호합성 주기별 소나와 표적 사이의 거리에 따른 최소 전달지연 시간 $\delta[n]$ 과 음원준위 출력신호에서 읽어오는 데이터 개수 N_r 은 다음과 같다.

$$\delta[mT_c] = \frac{r_e[mT_c] - r_e[(m-1)T_c]}{V_s} \quad (9)$$

$$N_r = SR \times (1 \pm \delta[mT_c])$$

여기서, SR 은 소나의 매초당 샘플개수, $r[mT_c]$ 는 소나와 표적 사이의 거리, V_s 는 수중음파전달 속도이다.

소나는 매 초당 SR 개의 데이터를 입력받기 때문에, 방사소음 합성기는 N_r 개의 입력 데이터에서 SR 개를 출력해야 한다. 즉, 샘플율이 N_r 인 디지털 신호를 샘플율이 SR 인 디지털 신호로 바꾸어야 한다. 이것을 위하여 Multirate 디지털 신호처리 기법이 적용되는데, 이때 입력신호에 포함된 주파수 스펙트럼은 출력신호의 샘플율에 따라 바뀌게 된다. 출력 신호는 식 (6)과 식 (8)을 적용하여 구할 수 있다.

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} g_{\mu_r(mT_c)}[k] \cdot x[\Gamma(mT_c)] \quad (10)$$

여기서, $0 \leq n \leq SR$, N 은 보간필터 g 의 차수, $x[n]$ 은 소음원 준위 출력신호에서 읽어온 데이터 개수 N_r 인 입력신호이다

가. $N_r > SR$

N_r 개의 데이터에서 SR 개의 데이터를 만들어야 하기 때문에 추출(decimation)연산을 수행해야 한다. 이 때 주파수는 고주파 방향으로 편이하게 되고, 상향 도플러 효과가 발생하게 된다.

나. $N_r < SR$

N_r 개의 데이터에서 SR 개의 데이터를 만들어야

하기 때문에 보간(interpolation)연산을 수행해야 한다. 이 때 주파수는 저주파 방향으로 편이하게 되고, 하향 도플러 효과가 발생하게 된다.

소나 운용함과 표적의 상대속도에 의한 전파지연 시간의 변화에 따라 음원준위 출력신호를 읽어오는 데이터 개수가 변하고, 이것에 의하여 식 (17)의 출력신호 $y[n]$ 의 주파수 스펙트럼이 바뀌게 된다.

3.3. 로이드 미러 효과 구현

음향신호가 수신되는 경로는 모두 서로 다른 경로 길이를 가지며 전달지연 시간도 모두 다르다. 표적의 기동에 의한 상대속도의 변화에 의하여 매 신호 합성 주기마다 각 경로별 수신신호의 위상은 다르게 된다. 각 전달경로별 위상차는 표적이 소나 운용함에 근접할수록 크게 나타난다. 간섭효과를 구현하기 위하여 크기가 $4 \cdot SR$ 인 전달특성 버퍼를 설정하여, 표적 합성반의 출력을 저장하고 버퍼 포인터를 이용하여 N 개의 데이터를 읽어올 포인터를 저장한다. 이것을 수학적으로 표현하면 다음 식 (11)과 같이 나타난다.

$$\begin{aligned}
 p[mT_c] &= SR + \delta[mT_c] \\
 \phi_i[mT_c] &= p[mT_c] - \tau_i[mT_c] \\
 \Delta\phi_i[mT_c] &= \phi_i[mT_c] - \phi_i[(m-1)T_c] \\
 \phi_i[mT] &= \phi_i[(m-1)T_c] + \Delta\phi_i[(m-1)T_c] \\
 &\quad + n \cdot \frac{\Delta\phi_i[mT_c] - \Delta\phi_i[(m-1)T_c]}{SR} \\
 y[nT] &= \sum_{q=0}^{N-1} x[q] \cdot g_p[k], \quad 0 \leq n \leq SR-1 \\
 q &= INT(\phi_i[nT]), \quad p = \phi_i[nT] - q
 \end{aligned} \tag{11}$$

여기서, $p[mT_c]$ 는 전달경로 버퍼 포인터, $\phi_i[mT_c]$ 는 i 번째 전달경로 위상이다.

수신신호 $x(n)$ 의 autocorrelation을 취하면 다중경로에 의한 간섭 현상은 협대역에 간섭 패턴을 발생시킨다. 예를 들어, 두개의 경로를 통하여 수신된 신호 $x(n)$ 은 다음 식 (12)와 같이 표현할 수 있다.

$$x(n) = s(n) + \alpha \cdot s(n - D) \tag{12}$$

$x(n)$ 을 N 포인트 DFT를 하였을 때, 출력 $X(k)$ 는 다음의 식 (13)과 같이 나타난다.

$$X(k) = S(k) + \alpha \cdot S(k) \cdot e^{-j 2\pi k D / N} \tag{13}$$

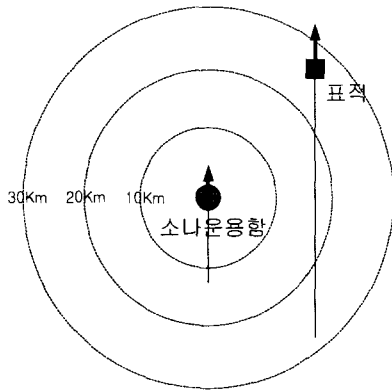
$X(k)$ 의 스펙트럼은 식 (14) 와 같다.

$$|X(k)|^2 = |S(k)|^2 [1 + \alpha^2 + 2\alpha \cos(2\pi k D / N)] \tag{14}$$

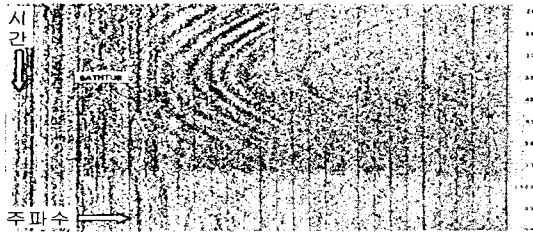
4. 실험 및 고찰

이 장에서는 제안한 알고리즘을 적용하여, 이동하는 표적에서 방사된 수중소음이 소나에 수신되는 과정에서 나타나는 전달특성을 구현한 결과를 로파(LOW Frequency Analysis and Recording) 분석 그래프로 도시하였다.

그림 2.에는 신호합성에 적용된 표적과 소나 운용함의 이동 시나리오이다. 그림 3.에는 그림 2.와 같은 기동을 할 때 수신되는 실제신호를 로파 분석하였을 때 얻어지는 신호특성을 도시하였다. 그림 4.에는 제안한 기법을 적용하여 얻은 합성 신호를 로파 분석하였을 때 얻어지는 신호 특성을 도시하였다. 특히 그림 2.와 같이 표적이 소나 운용함에 접근하였다가 멀어질 때, 다중경로 간섭현상에 의해 배경소음에 포물선 무늬의 규칙적인 간섭무늬가 나타나



(그림 2) 운용함과 표적 이동 시나리오



(그림 3) 실신호의 로파 분석



(그림 4) 합성신호의 로파 분석

는 로이드 미러 효과가 나타나는데, 실제 신호를 분석한 그림 3.에서 이 현상을 뚜렷하게 볼 수 있다. 포물선 형태 간섭무늬의 변곡점이 표적이 소나에 대하여 최대근접 거리인 CPA를 통과하는 순간이다.

그리고, 그림 4.에서 토날 주파수 선(line)들이 저주파 쪽으로 조금씩 기울어진 것을 볼 수 있는데, 이것이 도플러 효과에 의한 주파수선 편이 현상을 나타낸다. 소나 수신신호의 로파분석에는 표적과 소

나 운용함 사이의 상대속도 변화에 의하여 토날 주파수가 고주파 또는 저주파쪽으로 편이하는 로플러 효과가 발생한다. 로파 분석에 나타나는 표적의 주파수는 탐지되는 순간에 최고주파 값을 가지고 지속적으로 저주파 편이가 나타나고, 표적이 CPA를 통과할 때는 도플러 효과가 영(zero)가 되어 표적의 고유 주파수가 나타나게 된다. 다시 멀어져서 로파그램에서 사라질 때까지, 즉 탐지가 되지 않을 때까지 지속적으로 저주파 편이가 나타나게 된다. 합성신호의 로파그램인 그림 4.에서 이 현상을 뚜렷하게 볼 수 있다.

5. 결 론

이동하는 표적의 방사소음은 해양환경에서 전파되면서 진폭감쇄가 일어나고, 소나 운용함에 접근하였을 때는 도플러효과에 의해 주파수 성분도 변하게 된다. 특히 다중 경로에 의한 간섭효과는 특별한 간섭 무늬를 만들고, 신호를 방사하는 표적이 소나 운용함에 최대 근접할 때의 시간 정보를 제공한다. 이것은 소나 운용자에게는 매우 중요한 정보이고, 또한 발생하는 도플러 크기에 따라 표적의 속도까지 추정할 수 있게 한다.

본 논문에서는 표적의 이동에 의하여 나타나는 수중음파 전달특성 중 도플러 효과와 로이드 미러 효과를 합성하는 기법을 제안하였다. Deatte가 제안한 합정방사 소음의 4가지의 모델을 적용하여 소음원 순위 방사소음을 합성하였고, 제안한 기법을 적용하여 이동하는 표적의 방사소음 특성을 구현하였다. 제안한 기법을 적용하여 얻은 출력 신호를 분석한 결과 앞에서 설명한 것과 같이 실제로 수중 음파가 전달될 때 나타나는 도플러 효과와 로이드 미러 효과와 같은 수중음파 전달특성들을 구현할 수 있었고, 실제 신호를 분석한 결과와 비교하였을 때, 매우 유사한 신호특성을 얻을 수 있었다.

본 연구에서는 기존의 Deatte의 시뮬레이션 모델에서 고려되지 않은 표적의 기동에 의해 로파분석에 나타나는 고유한 음향징표를 합성하는 기법을 제시하였다. 이 기법을 실제 적용하여 표적에서 발생한 수중소음이 소나에 수신되는 전과정을 고품위로 모사하는 수중표적 시뮬레이션 모델을 개발할 수 있었다. 제안된 신호합성 기법은 수중음향 신호처리 분야뿐만 아니라 레이더 시스템의 개발을 위한 신호처리 및 신호합성 분야 그리고 유사 분야에 적용 가능할 것으로 기대된다. 향후 발전 방향으로서는 전달특성합성에서는 음파전달 모델을 실행하여 미리 일정한 거리마다 계산한 신호합성인자 데이터베이스를 구축하여 적용하였는데, 향후에는 실시간으로 음파 전달 모델의 출력을 적용하는 기법에 대한 연구가 수행되어야 할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. R. J. Urick, Principles of Underwater Sound /3rd edition, McGraw-Hill Book Company, 1983
2. Donald Ross, Mechanics of Underwater Noise, Peninsula Publishing Los Altos, California, 1987.
3. Michael A. Deatte, " Signature Modeling for Acoustic Trainer Synthesis ," IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. OE-12, NO.1, pp 143-147, Jan. 1987.
4. 배재휘, 이장식 " 디지털 신호처리기(DSP)를 이용한 선박 방사소음 합성기의 구현, " 추계 종합 학술 논문 발표회 논문집, 제5권 제2호, 179 ~ 184 쪽, 1996. 12.
5. Ronald E. Crochiere and Lawrence R. Rabiner, Multi-rate Digital Signal Processing. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice Hall, 1983.
6. 배재휘, 김병철, " 소나 운용자를 위한 훈련신호발생기의 구현, " 제1회 해상무기체계 발전 세미나 논문집, 100 ~ 107 쪽, 1996, 6, 28
7. W. M. Hartmann, " Digital waveform generation by fractional addressing, " J. Acoustical Society of America, Vol. 82, no. 6, pp 1883-1891, Dec. 1987.
8. F. Richard Moore, " Table Lookup Noise for Sinusoidal Digital Oscillator, " Computer Music Journal, Box E, Menlo Park, CA 94025, pp 26-29, April 1977.
9. 배재휘, 박정수, 김병철, " 이동하는 선박의 방사소음 합성기법 연구, " 제10회 신호처리합동학술대회 논문집, Vol. 10, No. 1, 239 ~ 242 쪽, 1997. 9. 27