

# IDRS 시스템에서 Curve Fitting이 적용된 NLS 비용함수를 이용한 방위/거리 추정 기법

Bearing/Range Estimation Method using NLS Cost Function in IDRS System

정 태 진\*      김 대 경\*\*      권 범 수\*      윤 경 식\*\*\*      이 균 경\*  
Tae Jin Jung      Dae Kyung Kim      Bum Soo Kwon      Kyung Sik Yoon      Kyun Kyung Lee

### Abstract

The IDRS provides detection, classification and bearing/range estimation by performing wavefront curvature analysis on an intercepted active transmission from target. Especially, a estimate of the target bearing/range that significantly affects the optimal operation of own submarine is required. Target bearing/range can be estimated by wavefront curvature ranging which use the difference of time arrival at sensors. But estimation ambiguity occur in bearing/range estimation due to a number of peaks caused by high center frequency and limited bandwidth of the intercepted active transmission and distortion caused by noise. As a result the bearing/range estimation performance is degraded. To estimate target bearing/range correctly, bearing/range estimation method that eliminate estimation ambiguity is required. In this paper, therefore, for wavefront curvature ranging, NLS cost function with curve fitting method is proposed, which provide robust bearing/range estimation performance by eliminating estimation ambiguity. Through simulation the performance of the proposed bearing/range estimation methods are verified.

Keywords : Intercept Detection and Ranging Sonar, Wavefront Curvature Ranging, Bearing/Range estimation, Nonlinear Least Square Cost Function

## 1. 서 론

IDRS(Intercept Detection and Ranging Sonar) 시스템은 적 함정 및 어뢰와 같은 표적의 위협으로부터 자함을

보호하기 위한 시스템으로, 표적이 방사한 능동신호를 분석하여 표적의 탐지, 식별, 방위/거리 추정과 같은 기능을 수행한다<sup>[1,2]</sup>. 수동으로 운용되는 IDRS는 능동 소나와 달리 원신호가 없는 단점이 있지만 신호의 거리에 따른 감쇄가 적함과 자함 사이에서 한번만 이루어지므로 상대적으로 높은 신호 대 잡음비(SNR)를 나타내며, 은밀성을 유지할 수 있는 장점이 있다<sup>[3~5]</sup>. 이와 같은 IDRS는 적 함정이나 어뢰로부터 탐지를 회피하거나 대응기 사용을 결정하는데 중요한 정보를 제공하여 잠수함의 방어 시스템을 효율적으로 운용하도록

† 2011년 5월 9일 접수~2011년 6월 24일 게재승인

\* 경북대학교(Kyungpook National University)

\*\* 삼성탈레스(Samsung Thales)

\*\*\* 김천대학교(Gimcheon University)

책임저자 : 이균경(kkleee@ee.knu.ac.kr)

록 도움을 준다.

수동소나 시스템에서의 표적의 방위/거리 추정은 오랫동안 연구되어 왔으며<sup>[2,5~8]</sup> 그 중 TMA(Target Motion Analysis)는 표적의 위치정보를 비교적 정확히 추정하는 것으로 알려져 있으나 장시간동안 표적의 정보를 이용하여야 한다<sup>[6]</sup>. 그러므로 IDRS에서 짧은 시간 내에 표적의 위치를 추정해야 하는 경우 TMA와 같은 기법은 적합하지 않다. 단시간 내에 표적의 방위/거리를 추정이 가능한 기법으로는 음파면 곡률을 이용한 거리 추정 기법(wavefront curvature ranging)이 있다<sup>[7,8]</sup>. 음파면 곡률 측정 기법은 세 개의 센서에서 기준센서와 두 센서 사이의 시간지연을 추정하고, 추정된 두 개의 시간지연을 통해 음파면의 곡률을 측정하여 표적의 방위/거리를 추정하는 기법이다. 이러한 시간지연 추정은 주로 센서 간 상호상관함수(cross correlation function)를 통해 얻어진다. 그러나 상호상관함수는 신호가 광대역일 경우에는 우수한 추정성능을 나타내나 능동신호와 같이 높은 중심주파수와 제한된 대역폭을 가지는 협대역 신호에 적용할 경우 비슷한 크기를 가진 다수의 침투치가 발생하는 진동특성이 나타난다. 이러한 진동특성에 잡음에 의한 왜곡이 더해질 경우 센서 간 시간지연을 추정하는데 모호성이 발생하며 결과적으로 시간지연 차를 이용하는 방위/거리 추정에도 모호성이 발생하게 된다. 따라서 정확한 표적의 방위와 거리를 추정하기 위해 시간지연의 추정 모호성 제거는 필수적이다.

따라서 본 논문에서는 IDRS 센서 간 시간지연 추정에 있어 모호성 제거를 위해 NLS(Nonlinear Least-Squares) 비용함수를 이용한 기법을 적용하였다. NLS 비용함수는 능동신호의 협대역 특성에 의한 진동특성을 제거하여 시간지연을 추정할 수 있는 기법으로 능동신호와 같이 원신호가 있는 경우 효과적으로 진동특성을 제거할 수 있다<sup>[9]</sup>. 하지만 수동모드로 운용되는 IDRS 시스템과 같이 원신호가 없는 경우에 적용할 경우 NLS 비용함수에 왜곡이 발생하여 시간추정 성능이 저하된다. 따라서 IDRS 시스템에서 음파면 곡률 측정 기법을 이용하여 표적의 방위/거리를 추정함에 있어 시간지연 추정에 curve fitting된 NLS 비용함수를 적용하는 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장 서론에 이어 2장에서는 음파면 곡률 측정 기법에서 시간지연과 방위/거리의 기하학적 관계를 설명한다. 3장에서는 상호상관 함수를 이용한 시간지연 추정기법을 설명하고 4

장에서 curve fitting이 적용된 NLS 비용함수를 이용한 시간 지연 추정에 대해 설명한다. 5장에서는 제안된 기법을 바탕으로 모의실험을 수행하였으며, 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. 음파면 곡률 측정 기법

음파면 곡률 측정 기법은 Fig. 1과 같이 선형으로 배치된 센서를 이용하여 센서 간 시간지연을 이용하여 근거리 표적에 대해 방위( $\theta$ ), 거리( $R$ )를 추정하는 기법이다. Fig. 1에서  $\theta$ 와  $R$ 은 식 (1)과 식 (2)로 주어진다<sup>[8]</sup>.

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{c(\tau_{21} - \tau_{23})}{2L} + \frac{(c\tau_{21})^2 - (c\tau_{23})^2}{4RL} \right) \quad (1)$$

$$R = \frac{2L^2 - (c\tau_{21})^2 - (c\tau_{23})^2}{2c(\tau_{21} + \tau_{23})} \quad (2)$$

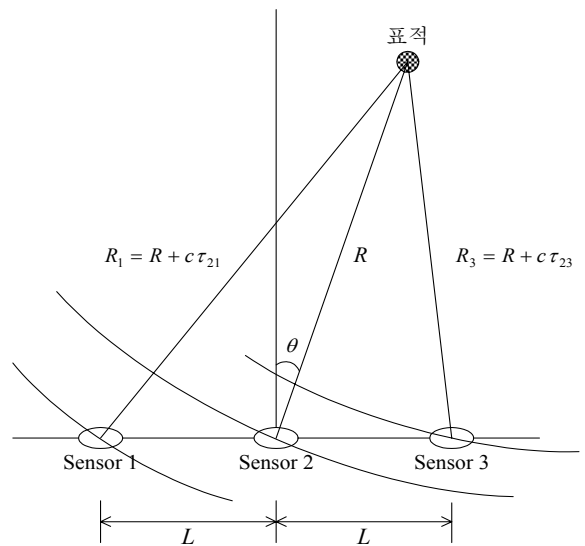


Fig. 1. IDRS 센서의 신호 수신 구조

여기서  $L$ 은 센서간격,  $c$ 는 수중에서 음파의 속도,  $\tau_{21}$ 과  $\tau_{23}$ 은 센서2를 기준으로 센서1과 센서3에서의 시간 지연을 의미한다. 따라서 센서간격과 음속이 주어진 경우 표적의 방위와 거리는 식 (1)과 식 (2)에  $\tau_{21}$ 과  $\tau_{23}$ 을 대입하여 구할 수 있다.

### 3. 상호상관함수를 이용한 시간지연 추정

센서 간 시간지연을 추정하기 위한 기법으로 상호상관함수가 널리 알려져 있다. 센서 수신신호  $x_1(t)$  과  $x_2(t)$  사이의 상호상관함수  $R_{x_1x_2}$  는 식 (3)과 같다.

$$R_{x_1x_2} = E[x_1(t)x_2(t+\tau)] = R_{ss}(\tau - \tau_{21}) \quad (3)$$

여기서  $R_{ss}$ 는 원신호의 자기상관함수(auto correlation function)이다. Fig. 2는 대역 제한 신호의 자기상관함수  $R_{x_1x_2}$ 의 특성을 나타낸다.  $R_{x_1x_2}$ 는  $f_c$ 의 역수에 비례하는 진동주기를 가지며 신호의 대역폭  $B$ 를 주기로 가지는 싱크함수에 의해  $B$ 에 반비례하는 진동영역을 나타낸다.  $R_{x_1x_2}$ 에서 가장 큰 침두치 추정을 통한 시간지연 추정 시 잡음에 의한 왜곡이 발생할 경우 침두치들의 크기변화로 인해  $1/f_c$ 단위의 시간지연 오차를 발생시켜 결과적으로 상호상관함수  $R_{x_1x_2}$ 의 시간지연 추정 성능이 저하된다.

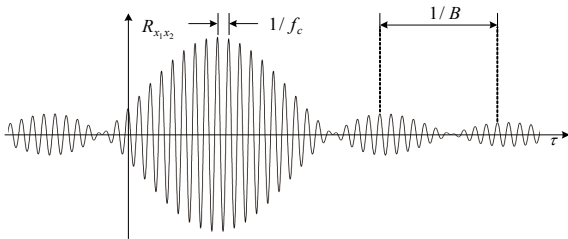


Fig. 2. 대역 제한 신호의 상호상관함수

IDRS 시스템에서 표적으로부터의 수신된 능동신호는 수십 kHz에 이르는 높은 중심주파수와 제한된 대역폭을 나타내는 대역 제한 신호이므로 시간지연 추정 모호성이 발생하게 된다. 시간지연 추정 오차는  $1/f_c$ 의 정수배 형태로 나타난다. 따라서 시간지연 추정 오차를 발생시키는 모호성을 제거하고 정확한 시간지연을 추정할 수 있는 기법이 요구된다.

### 4. Curve fitting이 적용된 NLS 비용함수를 이용한 시간지연 추정

#### 가. NLS 비용함수

NLS 비용함수는 능동신호의 협대역 특성에 의한 진동특성을 제거하고 시간지연을 추정할 수 있는 기법으

로 능동소나와 같이 원신호가 있는 경우 효과적으로 진동특성을 제거할 수 있다<sup>9)</sup>. NLS 비용함수를 이용한 시간지연 추정은 시간 영역에서의 시간지연이 주파수 영역에서 위상변이와 같음을 이용한다. 시간 영역에서 정확한 시간지연 추정을 위해서는 보간과 같은 기법이 요구되나 주파수 영역에서는 연속적인 값을 나타내는 위상으로 변환시킴으로써 보간 없이 정확한 시간지연 추정이 가능하다. [9]에서는 식 (4)와 같은 NLS 비용함수를 최소화 하는 위상변이를 통해 시간지연을 추정한다.

$$C_1(\alpha, w) = \sum_{k=-N/2}^{N/2-1} |Y(k) - \alpha e^{jwk} S(k)|^2 \quad (4)$$

여기서  $Y(k)$ 와  $S(k)$ 는 비교 신호와 원신호의 푸리에 변환이다. 식 (4)에서 진폭  $\alpha$ 를 실수로 가정할 경우 협대역 신호의 상호상관함수와 마찬가지로 진동특성이 나타나며, 다수의 국소 최소점(local minima)을 발생시켜 실제 시간 지연을 추정하기 어렵다. 이런 진동특성은  $\alpha$ 를 복소수로 가정하여 센서 수신신호를 해석신호(analytic signal)로 바꿈으로써 제거할 수 있다. 이는 시간영역에서 복소 해석신호의 시간 지연추정과 동일한 문제로 진동현상 없이 전체 최소점(global minima)을 찾을 수 있다. 하지만 신호에 잡음이 더해지는 경우 Parsimony Principle[11]에 의해 복소 진폭을 가정한 비용함수에서 추정된 전체 최소점은 실수 비용함수에서 추정된 전체 최소점에 비해 정확하지 않다. 따라서 복소 진폭을 가정한 비용함수에서 추정된 전체 최소점을 초기치로 실수 진폭의 비용함수를 최소화시키는 전체 최소점을 다시 추정하게 된다<sup>9)</sup>.

식 (4)를 벡터 형식으로 정리하면 식 (5)와 같다.

$$C_2(\alpha, w) = \| \mathbf{Y} - \alpha \mathbf{S} \mathbf{a}(w) \|^2 \quad (5)$$

이때

$$\mathbf{W} = \text{diag}\{1/\sqrt{2}, 1, \dots, 1, 1/\sqrt{2}\} \quad (6)$$

$$\mathbf{Y} = \mathbf{W} [Y(-N/2) Y(-N/2+1) \dots Y(0)]^T \quad (7)$$

$$\mathbf{S} = \mathbf{W} \text{diag}\{S(-N/2), S(-N/2+1), \dots, S(0)\} \quad (8)$$

$$\mathbf{a}(w) = [e^{jw(-N/2)} e^{jw(-N/2+1)} \dots 1] \quad (9)$$

로 정의 하며  $\| \cdot \|$  은 유클리드 놈(euclidean norm)을 나타낸다. 실수 진폭  $\alpha$ 에 대해  $C_2(\alpha, w)$ 를 최소화시키는  $\alpha$ 의 추정값  $\hat{\alpha}_R$ 은

$$\hat{\alpha}_R = \frac{\text{Re}[(\mathbf{S}\mathbf{a}(w))^H \mathbf{Y}]}{(\mathbf{S}\mathbf{a}(w))^H \mathbf{S}\mathbf{a}(w)} = \frac{\text{Re}[\mathbf{a}^H(w) (\mathbf{S}^* \mathbf{Y})]}{\| \mathbf{S} \|_F^2} \quad (10)$$

과 같이 추정할 수 있으며, 여기서  $(\cdot)^H$ 는 공액 전치(conjugate transpose),  $\text{Re}(\mathbf{Z})$ 는  $\mathbf{Z}$ 의 실수 성분, 그리고  $\| \cdot \|_F$ 는 프로베니우스 놈(frobenius norm)을 나타낸다. 식 (10)을 식 (5)에 대입하여 시간지연  $\tau$ 를 나타내는 전체 최소점  $w$ 의 추정치  $\hat{w}_R$ 은 식 (11)과 같이 나타낼 수 있으며 이를 실수 비용함수로 정의한다.

$$\begin{aligned} \hat{w}_R &= \arg \min_w \left\| \mathbf{Y} - \frac{\text{Re}[(\mathbf{S}\mathbf{a}(w))^H \mathbf{Y}]}{(\mathbf{S}\mathbf{a}(w))^H \mathbf{S}\mathbf{a}(w)} \mathbf{S}\mathbf{a}(w) \right\|^2 \quad (11) \\ &= \arg \max_w \text{Re}^2[\mathbf{a}^H(w) (\mathbf{S}^* \mathbf{Y})] \end{aligned}$$

$\alpha$ 를 복소 진폭으로 가정한 경우 식  $C_2(\alpha, w)$ 를 최소화시키는  $\hat{w}_C$ 은

$$\hat{w}_C = \arg \max_w |\mathbf{a}^H(w) (\mathbf{S}^* \mathbf{Y})|^2 \quad (12)$$

과 같이 추정할 수 있으며 이를 복소 비용함수로 정의한다. 복소 진폭  $\hat{\alpha}_C$ 는 다음과 같다.

$$\hat{\alpha}_C = \frac{\mathbf{a}^H(w) (\mathbf{S}^* \mathbf{Y})}{\| \mathbf{S} \|_F^2} \Bigg|_{w=\hat{w}_C} \quad (13)$$

앞에서의 언급과 같이 정확한 시간지연 추정을 위해 식 (12)에서 추정된 값은 식 (11)의 초기치로 사용된다.

#### 나. Curve fitting을 적용한 NLS 비용함수

NLS 비용함수를 3개의 센서를 가지는 IDRS 시스템에 적용할 경우 표본화된 센서의 수신신호는 식 (14)로 주어지며 푸리에 변환은 식(15)로 주어진다.

$$\begin{aligned} x_1(nT_s) &= s(nT_s - \tau_{21}) + e_1(nT_s) \\ x_2(nT_s) &= s(nT_s) + e_2(nT_s) \\ x_3(nT_s) &= s(nT_s - \tau_{23}) + e_3(nT_s) \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} X_1(k) &= e^{jw_{21}k} S(k) + E_1(k) \\ X_2(k) &= S(k) + E_2(k) \\ X_3(k) &= e^{jw_{23}k} S(k) + E_3(k) \end{aligned} \quad (15)$$

여기서 위상변이  $w_{21}$ 과  $w_{23}$ 는 시간지연  $\tau_{21}$ 과  $\tau_{23}$ 에 해당되는 위상변위를 나타낸다.  $T_s$ 는 표본화 간격으로  $1/f_s$ 과 동일하며  $n=0, 1, 2, \dots, N-1$ ,  $k=-N/2, -N/2+1, \dots, N/2$ 의 값을 가진다. 위의 모델을 이용하여 시간 지연을 추정하기 위해 식 (11)과 식 (12)의 NLS 비용함수를 센서2의 신호를 원신호로 가정하여 센서1과 센서2의 신호에 적용하면 복소 비용함수는 식 (16)으로 실수 비용함수는 식 (17)로 각각 주어진다.

$$\hat{w}_{C21} = \arg \max_{w_{21}} |\mathbf{a}^H(w_{21}) (\mathbf{X}_2^* \mathbf{X}_1)| \quad (16)$$

$$\hat{w}_{C23} = \arg \max_{w_{23}} |\mathbf{a}^H(w_{23}) (\mathbf{X}_2^* \mathbf{X}_3)|$$

$$\hat{w}_{R21} = \arg \max_{w_{21}} \text{Re}[\mathbf{a}^H(w_{21}) (\mathbf{X}_2^* \mathbf{X}_1)] \quad (17)$$

$$\hat{w}_{R23} = \arg \max_{w_{23}} \text{Re}[\mathbf{a}^H(w_{23}) (\mathbf{X}_2^* \mathbf{X}_3)]$$

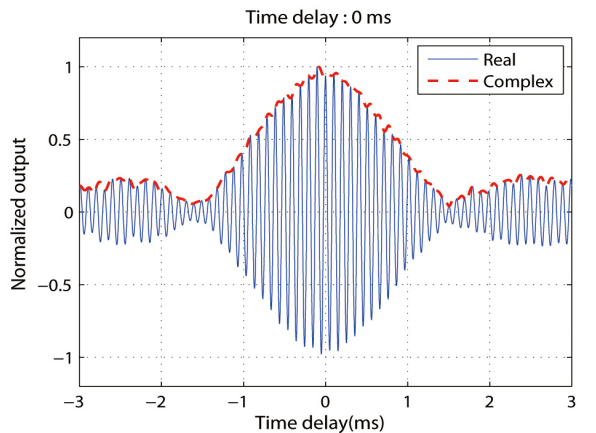


Fig. 3. 원신호가 없는 경우 NLS 비용함수 결과

복소 비용함수의 추정값을 그대로 초기치로 하여 실수 비용함수에 적용할 경우 복소 비용함수의 추정 오차가  $\pm 1/2f_c$ 보다 작아야 한다. 그러나 IDRS와 같이 원신호가 없는 경우 기준센서에 수신된 신호를 원신호로 가정하면 수신된 신호에 더해진 잡음으로 인해 Fig. 3과 같이 복소 비용함수의 왜곡이 발생한다. 결과적으로 시간지연 추정성능도 저하되기 때문에 복소 비용함수의 오차를 보정할 추가적인 과정이 필요하다.

본 논문에서는 복소 비용함수에서 시간지연 추정 오차를 감소시켜 보다 정확히 시간 지연을 추정하기 위해 curve fitting을 이용한다. curve fitting을 이용한 왜곡의 제거는 원신호가 있는 경우 복소 비용함수가 실제 시간지연 근방에서 2차 다항식으로 근사화됨을 이용하여 복소 비용함수와 오차가 최소화 되는 2차 다항식 추정을 통해 이루어진다. 식 (16)의 복소 비용함수에서  $\tau_{21}$ 을 추정하는 경우 전체 최대점이 되는 위상변이 추정 초기치  $w_{C21}$ 과  $w_{C21}$  근방의  $M$ 개의 데이터를 이용하여  $-M/2 \leq m \leq M/2$ 이고  $w_0 = w_{C21}$ 을 만족하는  $w_m$ 에 대해, 왜곡이 발생한 복소 비용함수를  $y_m$ 이라 하면  $y_m$ 은 다음과 같다.

$$y_m = |\mathbf{a}^H(w_m) (\mathbf{X}_2^* \mathbf{X}_1)| \tag{18}$$

이때 왜곡이 발생한 복소 비용함수의 curve fitting인 이차 다항식  $f(w_m)$ 을

$$f(w_m) = Aw_m^2 + Bw_m + C \tag{19}$$

라 하면,  $f(w_m)$ 은 오차를 최소화시키는  $A, B, C$ 에 의해 결정되며 오차는 식 (20)으로 정의한다.

$$\begin{aligned} E(A, B, C) &= \sum_{m=-M/2}^{M/2} (f(w_m) - y_m)^2 \\ &= \sum_{m=-M/2}^{M/2} (Aw_m^2 + Bw_m + C - y_m)^2 \end{aligned} \tag{20}$$

오차를 최소화시키는  $A, B, C$ 는 식 (20)에서 각각의 편미분  $\partial E/\partial A, \partial E/\partial B, \partial E/\partial C$ 은 0을 만족하여야 하므로 다음과 같다.

$$\begin{aligned} 0 &= \frac{\partial E(A, B, C)}{\partial A} = 2 \sum_{m=-M/2}^{M/2} (Aw_m^2 + Bw_m + C - y_m)(w_m^2) \\ 0 &= \frac{\partial E(A, B, C)}{\partial B} = 2 \sum_{m=-M/2}^{M/2} (Aw_m^2 + Bw_m + C - y_m)(w_m) \\ 0 &= \frac{\partial E(A, B, C)}{\partial C} = 2 \sum_{m=-M/2}^{M/2} (Aw_m^2 + Bw_m + C - y_m) \end{aligned} \tag{21}$$

식 (21)은  $A, B, C$ 에 대한 연립방정식으로 식 (22)와 같이 정리된다.

$$\begin{aligned} \left( \sum_{m=-M/2}^{M/2} w_m^4 \right) A + \left( \sum_{m=-M/2}^{M/2} w_m^3 \right) B + \left( \sum_{m=-M/2}^{M/2} w_m^2 \right) C &= \sum_{m=-M/2}^{M/2} y_m w_m^2 \\ \left( \sum_{m=-M/2}^{M/2} w_m^3 \right) A + \left( \sum_{m=-M/2}^{M/2} w_m^2 \right) B + \left( \sum_{m=-M/2}^{M/2} w_m \right) C &= \sum_{m=-M/2}^{M/2} y_m w_m \\ \left( \sum_{m=-M/2}^{M/2} w_m^2 \right) A + \left( \sum_{m=-M/2}^{M/2} w_m \right) B + (M+1)C &= \sum_{m=-M/2}^{M/2} y_m \end{aligned} \tag{22}$$

식 (22)를 만족하는  $A, B, C$ 에 의해 복소 비용함수의 curve fitting인 이차 다항식  $f(w_m)$ 은 Fig. 4와 같이 복소 비용함수의 왜곡을 감소시킨다. 2차 다항식  $f(w_m)$ 에서의 시간지연은  $w_{C21}$ 은 2차 방정식의 미분이 0이 되므로 식 (23)과 같이 추정된다.

$$w_{C21} = -\frac{B}{2A} \tag{23}$$

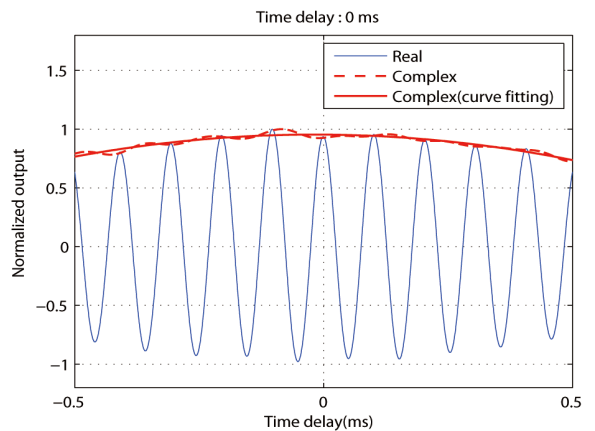


Fig. 4. NLS 비용함수와 curve fitting이 적용된 복소 비용함수

따라서 curve fitting을 이용한 NLS 비유함수에서의 시간지연 추정은 식 (19)의 복소 비유함수에 식 (16)의 2차 curve fitting을 적용하여 진동특성과 왜곡을 제거시킨 다음  $\widehat{w}_{C21}$ ,  $\widehat{w}_{C23}$ 를 추정하며, 이를 초기치로 사용하여 식 (17)의 실수 비유함수에서 초기치에 가장 가까운 위상변이  $\widehat{w}_{R21}$ ,  $\widehat{w}_{R23}$ 를 추정하는 과정을 거친다.

### 5. 모의실험 및 결과

모의실험을 통해 제안된 기법과 상호상관함수를 이용한 방위/거리 추정 기법의 성능을 비교하였다. IDRS 센서는 20m 간격으로 Fig. 1과 같은 구조로 배치되어 있다고 가정하였으며 다중경로환경은 고려하지 않았다. 표적이 방사한 능동신호  $s(t)$ 는 실제 신호 형태를 고려하여 식 (24)와 같이  $w(t)$ 의 가중치가 주어진 CW (Continuous Wave) 신호를 사용하였으며 가중치  $w(t)$ 는 식 (25)로 정의하였다.

$$s(t) = w(t)\cos(2\pi f_c t) \tag{24}$$

$$w(t) = \begin{cases} 0.5 - 0.5\cos(\pi t/T_w) & 0 \leq t < T_w \\ 1 & T_w \leq t \leq T - T_w \\ 0.5 - 0.5\cos(\pi(t-T)/T_w) & T - T_w < t \leq T \end{cases} \tag{25}$$

여기서  $t$ 는  $0 \leq t \leq T$ 이며  $T_w = T/10$ 이다. 각 센서에는 수신되는 잡음은 분산이  $\sigma^2$ 인 백색잡음을 가정하고, 신호 대 잡음비는  $10\log_{10}(1/2\sigma^2)$ 로 정의하였다. 이때 표적 신호는 방위  $\theta : 45^\circ$ , 거리  $R : 5\text{km}$  가정하고  $f_c$ 가 수십kHz의 펄스 신호를 생성하였다.

첫 번째 실험은 제안된 기법과 상호상관함수를 이용한 방위/거리 추정 결과를 500회 몬테카를로 실험을 수행하여 히스토그램으로 나타내었다. Fig. 5와 Fig. 6은 이때 SNR이 18dB인 경우를 나타낸다. 실험 결과 제안된 기법의 방위/거리 추정이 상호상관함수보다 높은 확률로 실제 값에 근접한 값을 추정함을 수 있다. 히스토그램에서 수치들이 이산적으로 분포하는데 이는 시간지연 추정 함수의 침두치들이  $1/f_c$ 의 간격으로 나타가기 때문이다. 두 번째 실험으로 각 기법의 SNR에 따른 방위/거리 추정 성능을 비교하였다. Fig. 7과 Fig.

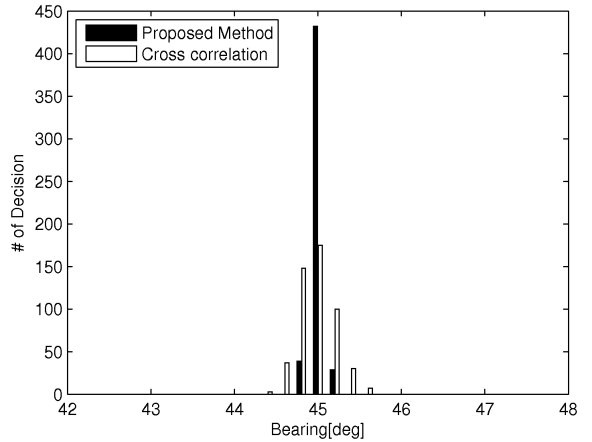


Fig. 5. 표적 방위 추정 히스토그램(SNR : 18dB)

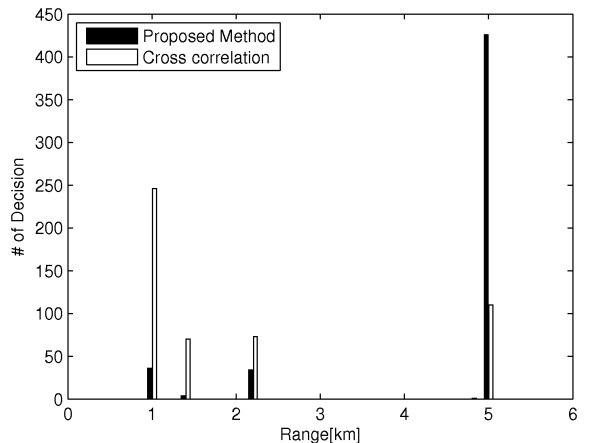


Fig. 6. 표적 거리 추정 히스토그램(SNR : 18dB)

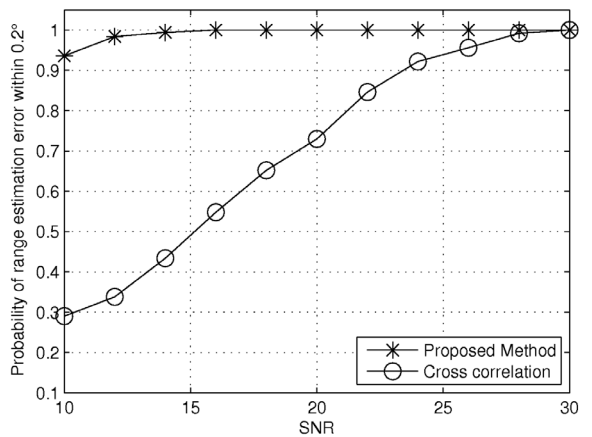


Fig. 7. SNR에 따른 방위 추정 성능

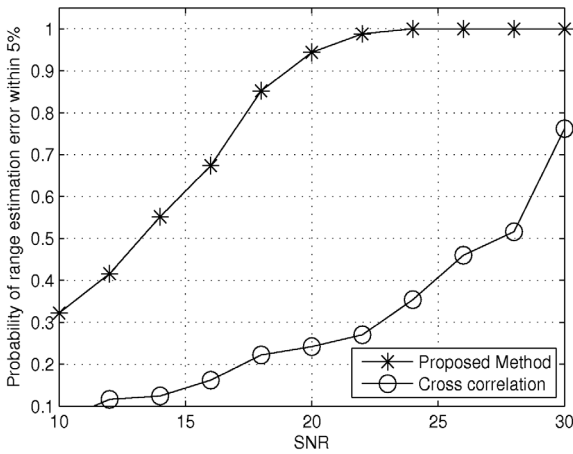


Fig. 8. SNR에 따른 거리 추정 성능

8에서 Y축은 방위 추정의 경우 오차가 0.2°이내, 거리 추정의 경우 오차가 5%이내에 들어올 확률을 나타낸다. 방위 추정은 거리 추정에 비해 시간추정 오차의 영향을 적게 받기 때문에 두 기법 모두 실제 값에 근접한 값을 추정하나 Fig. 7에서 제안한 기법은 SNR이 15dB 이상일 경우 거의 모든 경우에 대해 오차가 0.2° 이하의 정확도로 방위를 추정하고 있다. 거리 추정 결과를 살펴보면 Fig. 8에서 제안한 기법은 SNR이 20dB 이상인 경우 거리 추정 오차가 5%이내일 확률이 0.9 이상으로 상호상관함수에 비해 우수한 성능을 나타내었다.

## 6. 결론

탐지된 적함의 능동신호를 이용하는 IDRS 시스템에서 음파면 곡률 측정을 통하여 방위/거리를 추정하기 위해서는 정확한 센서 간 시간지연 추정이 요구된다. 그러나 능동신호의 높은 중심 주파수와 협대역 특성은 시간지연 추정에 모호성을 발생시킨다. 이를 해결하기 위해 NLS 비용함수를 이용하고, 기준신호가 없으므로 인해 발생하는 오차를 보정하기 위해 curve fitting을 적용하는 기법을 제안하였다. 제안된 기법의 성능 비교를 위해 모의실험을 수행하고 추정된 시간지연을 음파면 곡률기법에 적용하여 방위/거리 추정 성능을 비교하였다. 실험 결과 curve fitting이 적용된 NLS 비용함수를 이용한 기법이 상호상관함수를 이용할 때 보다 뛰어난 결과를 나타내었다. 따라서 제안한 기법을

IDRS 시스템에 적용할 경우 표적 방위/거리 추정에 있어서 성능 향상을 이룰 수 있을 것으로 기대한다. 향후 다중경로 환경에 대한 위치추정 연구를 진행될 예정이다.

## 후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었습니다.(계약번호 UD090006DD)

## References

- [1] Mark I. Jeffree and Anthony R. Collins, "Intercept Detection and Ranging", Proceeding of UDT Europe 2001, 8A.2, June 2001.
- [2] H. Schmidt and J.-P. Schwarz, "Low Frequency Intercept Pulse Ranging", Proceeding of UDT Europe 2006, 8A.3, June 2006.
- [3] W. Burdic, Underwater Acoustic System Analysis, Prentice Hall, 1991.
- [4] Brian G. Ferguson, "Improved Time-delay Estimates of Underwater Acoustic Signals using Beamforming and Prefiltering Techniques", IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 14, No. 3, pp. 238~244, July 1989.
- [5] M. Meister and D. Neumeister, "Advanced Ranging Sonar : Passive Range Measurement with Line-arrays", Proceeding of UDT Europe 2005, 2A.2, June 2005.
- [6] J. P. LE Cadre and O. Tremois, "Properties and Performance of Extended Target Motion Analysis", IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 32, No. 1, pp. 63~83, January 1996.
- [7] G. C. Carter, "Time Delay Estimation for Passive Sonar Signal Processing", IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. ASSP-29, No. 3, pp. 463~470, June 1981.
- [8] B. G. Ferguson and R. J. Wyber, "Wavefront Curvature Passive Ranging in a Temporally Varying Sound Propagation Medium", in OCEANS, 2001. MTS/IEEE Conference and Exhibition, Vol. 4, pp. 2359~2365, 2001.
- [9] Renbiao Wu and Jian Li, "Time-delay Estimation

- Via Optimizing Highly Oscillatory Cost Functions”,  
IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 23, No.  
3, pp. 235~244, July 1998.
- [10] P. R. P. Hoole, Smart Antennas and Signal  
Processing for Communications, Biomedical and  
Radar Systems, WIT Press, 2001.
- [11] T. Soderstrom and P. Stoica, System Identification,  
Prentice-Hall International, 1989.