

수중무인체 궤적교란 보상을 위한 능동 SAS 자동초점처리 성능 분석

김부일*

Performance Analysis of the Active SAS Autofocus Processing for UUV Trajectory Disturbances Compensation

Boo-il Kim*

Department of Interdisciplinary Program of Weapon Systems Engineering, Specialized Graduate School
Science & Technology Convergence, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

요 약

소형 수중무인체에 탑재 운용되는 능동 합성개구면소나는 외부 수중환경의 영향으로 진행경로에 여러 가지 궤적 교란이 발생한다. 이는 해저 물체에서 반사된 신호의 합성 개구면처리에 있어서 위상 부정합이 발생되어 탐지 성능의 저하를 가져 온다. 본 논문에서는 수중무인체가 정속도 직선기동시 현측방향으로 주기적 궤적교란이 발생될 때 DPC를 이용한 능동 SAS 자동초점처리로 훼손된 이미지를 보상하고 탐지 성능에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 시물레이션을 통해 플랫폼의 주기적 교란 크기 및 변동 주기에 의한 훼손된 이미지는 인접된 송신 빔 신호의 겹쳐진 위상중심점 위상차 적용으로 궤적교란 보상처리가 가능하고 3dB 기준 방위해상도 및 탐지 이미지의 성능개선 특성을 확인하였다.

ABSTRACT

An active synthetic aperture sonar mounted on small UUV is generated various trajectory disturbances in the traveling path by the influence of external underwater environments. That is the phase mismatch occurs in the synthetic aperture processing of the signals reflected from seabed objects and fetches the detection performance decreases. In this paper, we compensated deteriorated images by the active SAS autofocus processing using DPC and analyzed the effects of detection performance when the periodic trajectory disturbances occur in the side direction at a constant velocity and straight movement of UUV. Through simulations, the deteriorated images according to the periodic disturbance magnitudes and period variations in the platform were compensated using difference phases processing of the overlapping displaced phase centers on the adjacent transmitted ping signals, and we conformed the improved performance characteristics of azimuth resolution and detection images at 3dB reference point.

키워드 : 수중무인체, 능동 합성개구면소나, 궤적교란 보상, DPC, 자동초점처리

Key word : UUV(Unmanned Underwater Vehicle), Active synthetic aperture sonar, Trajectory disturbances compensation, DPC(Displaced Phase Center), Autofocus processing

Received 12 October 2016, Revised 12 October 2016, Accepted 24 October 2016

* Corresponding Author Boo-il Kim (E-mail:bikim@pknu.ac.kr, Tel+82-51-629-7819)

Department of Interdisciplinary Program of Weapon Systems Engineering, Specialized Graduate School Science & Technology Convergence, Pukyong National University, Busan 48513, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkice.2017.21.1.215>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서 론

해양 소나체계의 해저 물체 탐지분야는 최근에 들어 군사용을 중심으로 수중무인체에 의한 운용방법으로 확장되고 있고 해외에서는 많은 연구와 투자를 집중하고 있는 분야이다. 이를 위하여 운용이 간단하면서도 탐지 성능 향상에 여러 가지 장점을 가지는 능동 합성개구면 소나(Synthetic Aperture Sonar, SAS)가 최근에 활발하게 연구되고 있으나[1-3], 수중 환경의 복잡한 구조와 신호처리의 복잡성 등으로 국내에서는 아직 기본적인 연구에 머물러 있는 실정이다. 능동 합성개구면소나는 수중 플랫폼에서 소수의 센서를 정속도 직선기동으로 운용하며, 해저 부설 표적과의 거리와 무관하게 높은 방위 해상도와 정밀한 탐지 이미지를 얻을 수 있다 [3, 4]. 하지만 플랫폼이 외부 수중 환경의 영향으로 직선운동에서 벗어나면 표적에서 반사된 신호의 수신 위상에 부정합이 발생되어 개구면 합성처리 및 탐지 이미지에 상당한 영향을 미치게 된다[5, 6]. 따라서 운용 플랫폼의 예측된 직선 기동 경로에서 벗어난 궤적교란(trajecory disturbances)에 대한 추정이 필요하며, 이들은 코히어런트(coherent) 합성처리시 사전 보상으로 방위 해상도를 높일 수 있다[7, 8]. 코히어런트 합성처리에서는 수신신호 시간차에 의한 경로 보상을 해야 하므로, 플랫폼의 궤적교란은 위상차 보상처리 수행시에 크게 영향을 미친다. 궤적교란은 플랫폼 외부에 INS와 같은 계측 센서를 사용하여 위치 정보를 얻을 수도 있으나 고가의 비용이 필요하며 또한 수중환경 변동에 따른 수신신호 위상차 교란에 대한 정보는 얻을 수가 없다. 따라서 최근에는 다중 수신기를 이용하여 각 센서에 들어오는 표적 반사신호를 직접 이용하는 방법들이 많이 연구되고 있다[9-11]. 이러한 연구들은 레이더 배열신호처리에서 사용하는 방법들을 수중 합성개구면 소나 처리로 확장 적용하여 왔으며, 플랫폼의 경로를 추정하여 위상을 보정한 후 시간영역 빔형성으로 처리하는 방법과 거리-도플러, 파수를 사용하는 방법 등이 있다 [12-14]. 이들은 방위 해상도를 위한 코히어런트 압축 처리 전에 사전처리로써 이루어지며, 거리에 의한 위상 오차 보상으로 수중에서 일어나는 각종 궤적 교란 및 수중 음파전달 교란에 의한 영향 등으로 다루어진다.

본 연구에서는 수중 환경에서 사용가능한 소형 무인체 궤적교란 보상방법으로 탑재된 능동 합성개구면소

나의 다중 수신센서 DPC(Displaced Phase Center)를 이용하여[15] 등가 위상중심점을 설정하고, 인접 송신 평신호에 대한 수신신호의 상호 상관값을 구한 다음 최대가 되는 값들을 추출하여 사전처리 하였다. 이러한 DPC 적용 자동초점처리(autofocus processing)는 주기적 사인파 궤적교란시 크기 및 변동주기에 따른 위상차 보상의 방위해상도 성능변화와 탐지 성능 분석으로 수행하였다. 이들은 해저에 부설된 2개의 점표적으로 시뮬레이션을 실시하였으며, 탐지 성능을 합성처리 이미지 및 탐지 중심점 스킨라인에서의 상대적 크기로 분석하였다.

II. 능동 SAS 궤적교란 오차 및 보상

능동 합성개구면 신호처리는 플랫폼의 정속도 직선 운동 궤적에 대한 배열 빔형성으로 이루어진다. 그러나 실제 환경에서는 의도된 예측 경로와 실제 진행 운동 경로간에는 외부환경 영향으로 운동궤적 교란에 의한 불일치가 일어나고 이에 따른 배열신호 위상차 합성처리의 오차발생으로 방위해상도에 많은 영향을 미치게 된다.

2.1. 능동 SAS 궤적교란 오차

수중에서 기동하는 플랫폼은 그림 1과 같이 해저에 부설된 물체로 송신신호를 발생시키고 물체에서 반사된 신호는 왕복 진행거리를 거친 변형된 신호로 배열센서에 의해 수신하게 된다.

이들은 플랫폼이 진행하면서 탑재된 다중 수신센서에 의해 각 위치에서 신호 X_n 을 수신하며, 현측거리 및 진행한 거리만큼 위상차가 발생하게 된다[4].

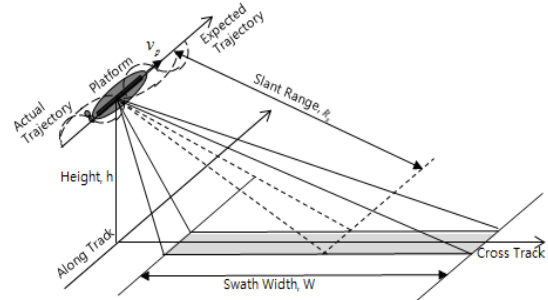


Fig. 1 Synthetic aperture sonar operation overview on UUV(Unmanned Underwater Vehicle) system

$$X_n(x_n, R_n) = \exp[-j\Delta\phi(x)] \approx \exp\left[-j\left(\frac{2\pi}{\lambda R_0}(x_n - x_0)^2\right)\right] \quad (1)$$

여기서 $\Delta\phi$ 는 왕복거리에 의한 수신신호 위상차, λ 는 송신신호 파장, R_0 는 최근접에서의 경사거리이다. 따라서 다중 배열 수신센서들에 의한 합성신호는 각 진행위치에서 위상차 지연이 보상된 수신신호들에 의한 합성개구면 처리로 위상차 지연합(delay sum) 신호를 얻을 수 있다. 실제 환경에서는 예측경로와 실제 진행 경로 사이에는 여러 가지 궤적교란이 일어날 수 있으며 이로 인한 위상차 부정합이 발생된다. 일반적으로 궤적교란은 기계적 공진 및 해류 등으로 인한 주기적 궤적교란과 수중환경 교란 및 미세구조물에 의한 랜덤(random)적 궤적교란으로 이루어진다[13]. 이들은 식 (2)와 같이 현측방향으로 e_{ym} 만큼의 오차가 발생되며, 각 지점에서의 경사거리 R_{sn} 에 영향을 미치게 된다.

$$R_{sn} = \{(x_n - x_0)^2 + (y_n + e_{ym})^2 + (h_n)^2\}^{1/2} \quad (2)$$

현측방향으로 주기적 궤적교란이 주로 이루어지는 환경에서는 그림 2에서와 같이 진행경로에 따른 각 수신센서에서의 거리오차 e_{ym} 는 식 (3)으로 근사화하여 표현할 수 있다[16].

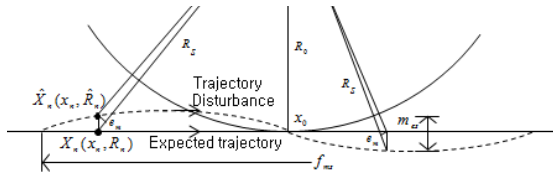


Fig. 2 Slant range mismatch error for periodic trajectory disturbance

$$e_{ym} \approx \frac{m_{es}}{2} \left(\frac{R_0}{R_s}\right) \sin\left(2\pi f_{ms} \frac{x_n - x_0}{v_p}\right) \quad (3)$$

여기서 R_s 는 수신센서 경사거리, m_{es} 는 경로변동의 크기, f_{ms} 은 경로변동 주파수이다.

2.2. DPC(Displaced Phase Center)

수중에서 무인체가 정속도 직선기동시 발생하는 궤적

교란은 INS와 같은 위치센서로 측정이 가능하지만 고가의 비용 부담, 고주파 능동신호를 사용에 따른 미세변동 및 외부환경에 의한 경로변동에 대한 보상은 할 수가 없다. 이를 해결하는 방법으로 다중 수신센서 사용시 연속되는 수신신호의 위상차를 자체적으로 보상할 수 있는 등가적 DPC를 도입한다[15]. 먼저 그림 3과 같이 단일 송신 및 수신센서로 구성된 환경을 고려해보면, 송신센서에서 발생된 펄스신호는 해저에 위치한 물체에서 반사되어 음파경로를 거쳐 수신센서로 도달하게 되며, 이는 단상태(monostatic)처리에서 거리가 동일 시되는 가상 등가센서로 표현할 수 있다.

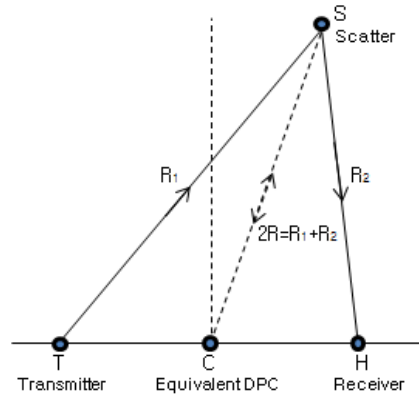


Fig. 3 Geometry of the Equivalent DPC

여기서 T, H는 주어진 송신 펄스신호에 대한 송신 및 수신센서 위치이며, C는 T와 H의 가운데에 위치한 등가 DPC가 된다. 해저물체와의 거리가 센서간격 보다 훨씬 큰 조건에서는 등가 DPC와 물체 S와의 거리는 식 (4)와 같이 근사화 계산이 가능하며, 이때 코히어런트 합성처리가 가능한 물체와의 거리조건은 식 (5)와 같다 [15].

$$R \approx \frac{1}{2}(R_1 + R_2) \quad (4)$$

$$R \gg \frac{d^2}{4\lambda}(1 - \cos^2\theta_e) \quad (5)$$

여기서 d 는 송수신 센서의 간격이며, θ_e 는 송신 반발폭이다. 이를 다중 수신센서로 구성된 배열로 확장하면 송신된 신호에 대한 각 수신센서들의 등가적 DPC들을

얻을 수 있다[17]. 프로젝터 T의 연속되는 i번째 및 i+1번째 송신신호를 고려해 보면, 단상태에서 동일한 위상으로 수신되는 다중 수신센서의 오버래핑(overlapping) DPC들은 그림 4와 같이 표현이 된다.

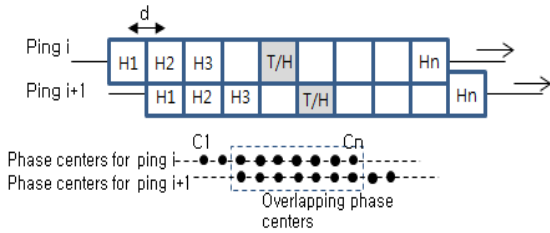


Fig. 4 Overlapping phase centers locations for two pings

그림에서와 같이 i번째 핑신호에 의한 수신 위상중심은 플랫폼의 진행에 따라서 다음 i+1번째 핑신호에 의한 동일한 DPC들을 얻을 수 있고(점선부분), 이러한 DPC들은 인접된 송신신호에 대해 각각 동일한 위상차를 가지게 된다.

2.3. 궤적교란 보상처리

외부환경에 의한 수중무인체의 궤적교란 보상을 위하여 배열센서에서 자체적으로 수신된 다중 신호를 처리하는 방법으로 접근한다. 이는 다중 센서의 사용으로 외부 위치센서가 필요 없으며 간단하면서도 수중환경 변동에 따른 영향도 보상할 수가 있다[18]. 먼저 수신신호들은 그림 5와 같이 인접 송신 핑신호에 의한 각 센서들의 신호가 오버래핑되는 등가 DPC들을 사용한다.

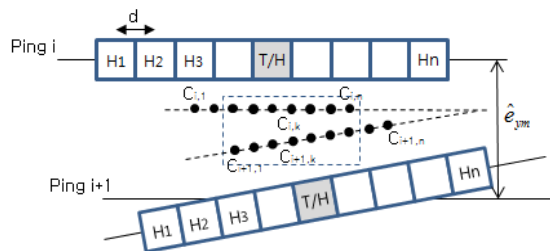


Fig. 5 Cross-track motion errors of sensor array between two pings

이들은 위상중심점이 겹쳐지는 지점에서의 단상태 송수신 센서들로 변화되어 수신신호를 처리한다. 연속으로 송신된 인접 핑신호에 의해 다중 수신기에서 수신

된 반사신호들의 상호 상관함수 값을 계산한 후, 이 값이 최대가 되는 지점에서 왕복거리차 지연시간을 구한다. 이들은 상호상관 정도에 의해 운동 궤적변위 위상차이를 추정할 수 있으며, 인접 핑 송신신호에 의해 다중센서에 의해 처리되는 각각의 신호는 산란자에서의 반사신호 $x_{i,k}(t)$, $x_{i+1,k}(t)$ 와 핑신호와 매칭필터를 통해 수신된다.

$$s_{i,k}(t) = x_{i,k}(t) * p(t) \quad (6a)$$

$$s_{i+1,k}(t) = x_{i+1,k}(t) * p(t) \quad (6b)$$

여기서 $p(t)$ 는 송신 핑신호이다. 인접하는 두 개의 송신신호에 의해 k번째 DPC에서 수신된 두 신호, $s_{i,k}(t)$, $s_{i+1,k}(t)$ 에 대한 상호상관 계수값 r_k 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$r_k(\tau) = \frac{\int s_{i,k}(t)s_{i+1,k}(t-\tau)dt}{|s_{i,k}(t)||s_{i+1,k}(t-\tau)|} \quad (7)$$

각 상관함수의 계산된 값들은 상관도가 높은 값에서 변위가 추정되는 위상중심 변위를 나타낸다. 이러한 값들은 플랫폼이 직선 기동시에 진행방향으로의 교란되는 추정값이 되며, 또한 인접 핑 송신신호에 대한 위상중심점에서의 반사된 수신신호는 허용 원도우내에서 상호상관 계수값이 최대가 되는 지점에서 시간차로 구하고, 배열센서의 궤적교란 변위는 등가 DPC의 가운데 지점에서의 평균 변위값으로 계산한다.

$$\hat{e}_{yc_k} = \frac{ct_{lag(k)}}{2} \quad (8)$$

$$t_{lag(k)} = t_{\arg \max \{r_k(\tau)\}} \leq W_l \quad (9)$$

$$\hat{e}_{ym} = \hat{e}'_{ym} + \frac{1}{n_c} \sum_{c_k=1}^{n_c} \hat{e}_{yc_k} \quad (10)$$

여기서 n_c 는 오버래핑 DPC 개수, \hat{e}_{yc_k} , \hat{e}_{ym} 는 각 DPC 및 중심점 DPC에서의 교란된 추정 변위값, \hat{e}'_{ym} 는 전단계 추정 변위값, $t_{lag(k)}$ 는 $r_k(\tau)$ 가 최대가 되는 k에서의 지연시간, W_l 은 허용 원도우 값이다. 교란된 변위폭은 중심점에서의 평균값을 사용하며, 각 수신센서

에서 궤적 교란된 신호는 추정된 시간차로 보상될 수 있다.

$$\hat{e}_{i+1,k}(t) = e_{i+1,k}(t - \hat{e}_{ym}/c) \quad (11)$$

따라서 실제 경로에서의 합성신호 \hat{E}_n 은 궤적교란 추정값 \hat{e}_{ym} 이 고려된 경사거리 \hat{R}_{sn} 의 거리차 변위값을 계산하게 되어, 식 (1)의 합성개구면 신호는 식 (12) 및 식 (13)으로 합성처리 할 수 있다.

$$\hat{R}_{sn} = \{(x_n - x_0)^2 + (y_n + \hat{e}_{ym})^2 + (h_n)^2\}^{1/2} \quad (12)$$

$$\hat{E}_n(x_n, R_{sn}) = \sum_{N_0 - N_c/2}^{N_0 + N_c/2} \hat{X}_n(x_n, \hat{R}_{sn}) \quad (13)$$

III. 시뮬레이션 및 결과

수중무인체에 탑재된 능동 SAS에서 다중 수신센서 등가 DPC를 이용한 궤적교란 보상방법의 성능분석을 위하여 표 1과 같은 환경을 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Table. 1 Simulation parameters

Parameters	Value
Platform height	100m
Platform velocity	3knots
Cross range of 2 point scatters	100m
Distance between 2 point scatters	1m
Closed grazing angle	60°
Swath width	300m
No. of receivers	9
Length of sensor array	0.9m
Transmitting signal frequency	50kHz
Transmitting pulse width	0.1msec
Azimuth resolution	20cm
Sampling frequency	500kHz
Max. pulse repetition frequency	3Hz
Amplitude of disturbance	0.1λ ~ 0.5λ
Periodic frequency of disturbance	0.5L _{sa} ~ 3L _{sa}

수중무인체는 높이 100m, 정속도 3kts로 직선기동을 하며, 해저에는 플랫폼으로부터 현측 100m 지점에 1m 간격으로 2개의 점 표적을 설정하였다. 외부 환경에 의한 현측방향 교란은 표 1과 같이 주기적 사인과 형태로 크기와 주기를 변화시켜 적용하였다. 펄스신호는 50KHz, 0.1msec의 Hann 윈도우 펄스신호를 사용하였으며, 주변 수중에서의 신호 대 잡음비는 15dB인 환경으로 백색 가우시안 잡음을 사용하였다. 그림 6은 수중 운동 플랫폼에서 외부환경에 의한 궤적교란이 없는 이상적 진행경로와 사인과 궤적교란이 존재하는 경우의 수신센서 위치별 도착시간을 계산한 결과이다. (a)는 경사거리 별 포물선 형태의 시간지연을 가지고 각 다중 수신센서로 신호가 도착이 되나, 궤적변동이 존재하는 경우에는 (b)와 같이 다중 수신센서에서 시간지연 오차가 발생되어 수신이 된다.

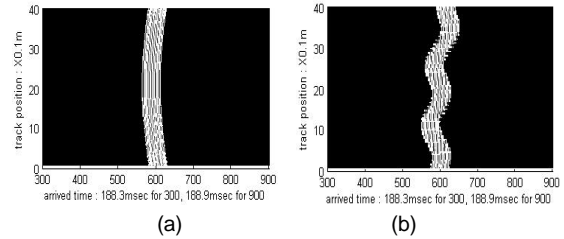


Fig. 6 Returned raw data from a point target in the case of (a) no trajectory disturbance (b) periodic trajectory disturbance

그림 7은 이상적인 기동환경과 진행경로에 궤적교란이 존재하는 경우의 코히어런트 합성처리한 탐지 결과이다. 그림과 같이 외부 환경에 의해 현측으로 궤적교란이 발생되면 왕복경로 수신시간에 오차가 발생되므로 합성 개구면 처리의 방위 해상도 및 탐지결과 이미지에 상당한 성능저하가 발생됨을 알 수 있다.

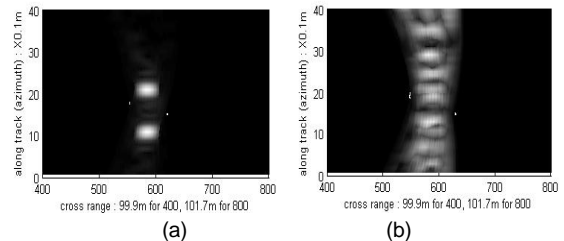


Fig. 7 Processed target images on 2 point targets for (a) no trajectory disturbance (b) periodic trajectory disturbance

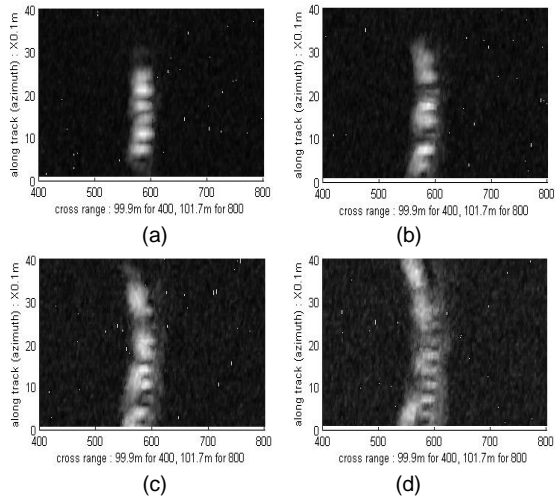


Fig. 8 No compensation processed images on 2 point targets for periodic trajectory disturbance ($f_{ms} = L_{su}$) (a) $m_{es} = 0.1\lambda$ (b) $m_{es} = 0.2\lambda$ (c) $m_{es} = 0.3\lambda$ (d) $m_{es} = 0.5\lambda$

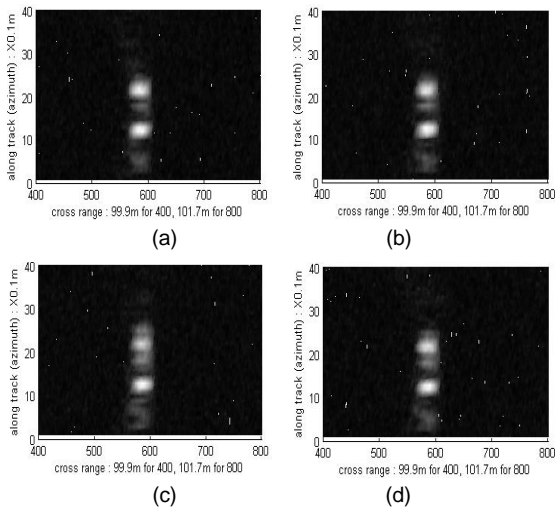


Fig. 9 Compensation processed images on 2 point targets for periodic trajectory disturbance ($f_{ms} = L_{su}$) (a) $m_{es} = 0.1\lambda$ (b) $m_{es} = 0.2\lambda$ (c) $m_{es} = 0.3\lambda$ (d) $m_{es} = 0.5\lambda$

그림 8은 수중 무인정의 정속도 직선 운동시 외부환경의 주기적 궤적교란의 변동주기가 L_{su} 이고 크기가 0.1λ 에서 0.5λ 로 존재할 경우의 코히어런트 합성 처리한 결과이며, 그림 9는 각 경우에 대하여 제안된 궤적교란 자동초점 보상처리를 한 탐지 이미지 결과이다. 궤적변동 크기가 클수록 위상차 오차가 커지므로 탐지

결과가 매우 나쁘게 나타나지만, 자동초점 궤적보상처리 방법에 의한 결과는 위상차 보상으로 허위표적이 제거되어 훼손된 이미지가 양호하게 나타난다.

이들에 대한 점표적이 존재하는 지점에서의 스펙트럼 인 스펙트럼 크기를 비교한 결과는 그림 10과 그림 11와 같다. 보상처리된 탐지결과 스펙트럼에서는 궤적교란에 의해 방위해상도를 알 수가 없으나, 결과에서 보듯이 DPC 적용 궤적교란 보상처리시의 방위해상도는 3dB 기준 예측된 경로에서의 처리 결과와 유사하게 오차가 상당히 보상되었으며, 교란크기가 커질수록 허위 표적이 조금씩 나타남을 알 수 있다.

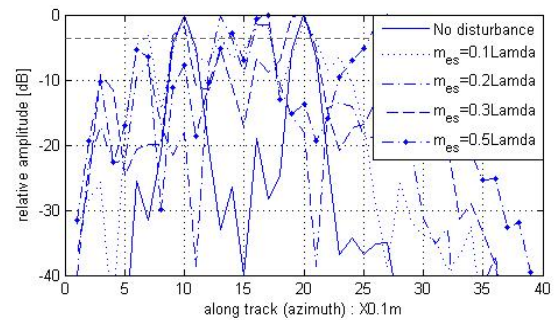


Fig. 10 Scan line amplitudes of no compensation processing results for periodic trajectory disturbance ($f_{ms} = L_{su}$)

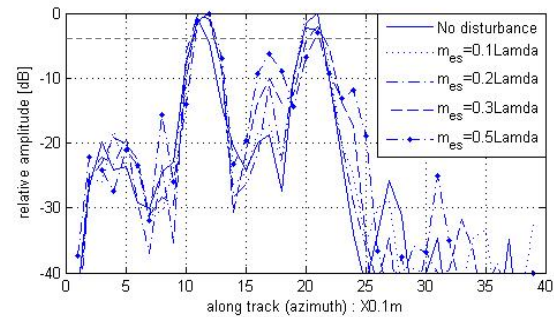


Fig. 11 Scan line amplitudes of compensation processing results for periodic trajectory disturbance ($f_{ms} = L_{su}$)

그림 12와 그림 13은 직선 운동시 외부 환경의 주기적 궤적교란 크기가 0.2λ 일 때, 합성개구면 길이의 변동주기 변화에 대한 영향을 시뮬레이션한 결과이다. 변동주기 변화에 따라 허위 표적이 상당히 존재하여 탐지 이미지가 크게 훼손되어 표적을 정확히 탐지할 수 없으나, 보상 처리한 결과에서는 궤적교란 크기 변화와 마

찬가지로 변동주기 변화에 따른 결과도 위상오차 보상에 따른 탐지 이미지가 양호함을 알 수 있다. 그림 14는 변동주기가 L_{sa} 와 $3L_{sa}$ 에서 보상처리 전후의 탐지된 표적 위치에서의 스캔라인 스펙트럼이며, 3dB 기준 방위해상도는 위상차 합성처리로 궤적교란의 영향이 상당히 보상됨을 알 수 있고 궤적교란이 없는 경우와 유사한 결과를 확인하였다.

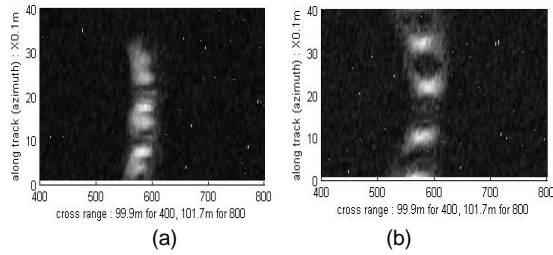


Fig. 12 No compensation processed images on 2 point targets for periodic trajectory disturbance ($m_{es} = 0.2\lambda$) (a) $f_{ms} = L_{sa}$ (b) $f_{ms} = 3L_{sa}$

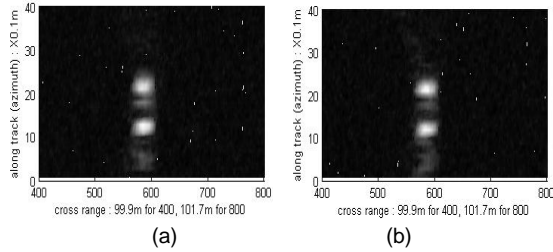


Fig. 13 Compensation processed images on 2 point targets for periodic trajectory disturbance ($m_{es} = 0.2\lambda$) (a) $f_{ms} = L_{sa}$ (b) $f_{ms} = 3L_{sa}$

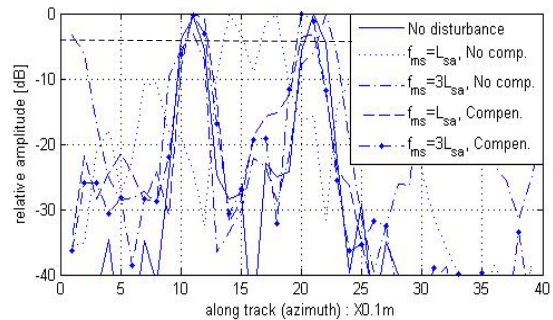


Fig. 14 Scan line amplitudes of compensation processing results for periodic trajectory disturbance ($m_{es} = 0.2\lambda$)

IV. 결론

본 논문에서는 정속도 직선운동을 하는 수중무인체가 외부영향에 의해 현측방향으로 궤적교란이 발생될 때, DPC 위상중심점을 이용한 능동 합성개구면소나의 자동초점 보상처리를 수행하고 방위해상도와 탐지성능에 미치는 영향을 분석하였다. 궤적교란은 진행 현측방향으로 주기적인 사인파 형태의 교란을 인가하여 변동폭과 변동주기별로 보상처리된 탐지성능을 여러 가지 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다. 개구면 합성처리 는 궤적변동의 폭 크기 0.1λ 이상 및 변동 주파수 L_{sa} 보다 클수록 허위표적이 나타나서 탐지 이미지에 상당한 왜곡이 발생되지만, 제시된 DPC 적용 자동초점처리 방법은 인접된 송신신호에 의한 위상 중심점들의 추정된 위상차 적용으로 궤적교란 변위의 보상처리가 가능하다. 궤적교란이 없는 경우를 기준으로 보상처리 전후를 비교하여 상대적 이미지 스펙트럼 3dB 지점에서의 방위해상도 및 탐지 이미지에 대한 성능 개선이 이루어짐을 교란된 크기와 어레이에 대한 주기변동 주파수별로 확인하였다. 앞으로 이러한 분석 결과는 임의의 외부 궤적교란 보상영향, 예측 진행각 추정분석 및 외부 위치센서와 결합된 궤적교란 보상방법 등에 대하여 지속적인 연구가 수행될 예정이다.

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University(2015 year)

REFERENCES

- [1] M. P. Hayes, "Synthetic aperture sonar: a review of current status," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 34, pp. 207-217, July 2009.
- [2] T. O. Saebo, S. A. V. Synnes, and R. E. Hansen, "Wideband interferometry in synthetic aperture sonar," *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 51, no. 8, pp. 4450-4459, Aug. 2013.

- [3] R. E. Hansen, H. J. Callow, T. O. Saebo, and S. A. V. Synnes, "Challenges in seafloor imaging and mapping with synthetic aperture sonar," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 48, no. 10, pp. 3677-3687, Oct. 2011.
- [4] J. E. Piper, R. Lim, E. I. Thorsos, and K. L. Williams, "Buried sphere detection using a synthetic aperture sonar," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 34, no. 4, pp. 485-494, Oct. 2009.
- [5] D. A. Cook, J. T. Christoff, and J. E. Fernandez, "Motion compensation of AUV-based synthetic aperture sonar," *Oceans 2003 Proceedings*, San Diego, CA, pp. 2143-2148, Sept. 2003.
- [6] H. J. Callow, M. P. Hayes, and P. T. Gough, "Motion-compensation improvement for widebeam, multiple-receiver SAS systems," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 34, no. 3, pp. 262-268, July 2009.
- [7] T. J. Sutton, H. D. Griffiths, A. P. Helet. Y. Perrot, and S. A. Chapman, "Experimental validation of autofocus algorithms for high-resolution imaging of the seabed using synthetic aperture sonar," *IEE Proceedings-Radar, Sonar and Navigation*, vol. 150, no. 2, pp. 78-83, April 2003.
- [8] J. Ren and R. G. Vaughan, "Model-based sonar motion compensation for bottom reverberation coherence," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 35, no. 4, pp. 887-894, Oct. 2010.
- [9] X. Wang, X. Zhang, and S. Zhu, "Upsampling based back projection imaging algorithm for multi-receiver synthetic aperture sonar," *International Industrial Informatics and Computer Engineering Conference*, pp. 1610-1615, 2015.
- [10] X. Jiang, C. Sun, and J. Feng, "A novel image reconstruction algorithm for synthetic aperture sonar with single transmitter and multiple-receiver configuration," in *Proceedings of the Oceans '04. MTT/IEEE Techno*, vol. 4, pp. 1940-1944, Nov. 2004.
- [11] X. Zhang, J. Tang, and H. Zhong, "Multireceiver correction for the chirp scaling algorithm in synthetic aperture sonar," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 39, no. 3, pp. 472-481, July 2014.
- [12] S. Zhu, J. Yue, and W. Jiang, "SAS autofocus based on phase gradient autofocus," *2011 4th International Workshop on Chaos-Fractals Theories and Applications*, pp. 298-301, Oct. 2011.
- [13] H. Schmaljohann and J. Groen, "Motion estimation for synthetic aperture sonars," *2012 EUSAR 9th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, Germany, pp. 78-81, April 2012.
- [14] J. Groen, "Adaptive motion estimation in sonar array processing," Ph. D. dissertation, TU Delft University of Technology, 2006.
- [15] A. Bellettini and M. A. Pinto, "Theoretical accuracy of synthetic aperture sonar micronavigation using a displaced phase-center antenna," *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 27, no. 4, pp. 780-789, Oct. 2002.
- [16] B. I. Kim, "Influences analysis of SAS azimuth resolution on the UUV trajectory disturbances," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, vol. 20, no. 1, pp. 222-229, Jan. 2016.
- [17] R. Heremans, M. Acheroy, and Y. Dupont, "Motion compensation on synthetic aperture sonar images," in *Proceedings of SPIE 6365 on Image and Signal Processing for Remote Sensing XII*, Stockholm, Sweden, pp. 236-245, 1992. September 2006.
- [18] L. Yu, N. Neretti, and N. Intrator, "Robust motion estimation improves underwater sonar accuracy," in *Proceedings of the 2005 IEEE International Conference on Computational Intelligence for Homeland Security and Personal Safety*, Orlando, pp. 144-150, April 2005.



김부일(Boo-il Kim)

1981 경북대학교 전자공학과 학사
 1985 경북대학교 전자공학과 석사
 2001 경북대학교 전자공학과 박사
 1985-2013 국방과학연구소 수석연구원
 2013-현재 부경대학교 과학기술융합전문대학원(무기체계공학) 부교수
 ※관심분야 : 능동소나, 합성개구면소나, 수중음향신호합성, 수중음향대응