

수중 무인정 궤적 교란에 따른 SAS 방위해상도 영향에 대한 분석

김부일*

Influences Analysis of SAS Azimuth Resolution on the UUV Trajectory Disturbances

Boo-il Kim*

Department of Interdisciplinary Program of Weapon Systems Engineering, Specialized Graduate School Science & Technology Convergence, Pukyong National University, Busan 608-739, Korea

요 약

수중에서 운용되는 소형 무인정 탑재 능동 합성개구면소나는 외부에서 발생하는 수중환경의 영향으로 플랫폼 진행시 여러 가지 궤적 교란이 발생하게 되고 개구면 합성처리에 있어서 많은 오차를 가져 온다. 본 논문에서는 진행 현측방향으로 주기적 및 랜덤 궤적교란이 발생될 때 합성개구면 초점처리에 의한 위상차 부정합에 따른 방위해상도에 미치는 영향을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과, 주기적 궤적교란은 발생 교란 크기가 0.3λ , 변동 주기가 $2L_{sa}$ 보다 커지면 허위표적이 발생되고 방위해상도가 매우 나빠지게 되며, 합성개구면처리에 의한 해저 소형물체 탐지 성능은 플랫폼의 궤적변동 종류와 조건에 따라서 방위해상도에 많은 영향을 미치는 특성을 나타내었다.

ABSTRACT

Active synthetic aperture sonar on the small UUV is generated several trajectory disturbances under the influences of underwater environments, and causing a large error in the synthetic aperture processing. In this paper, we analyzed the effects of azimuth resolution for the phase mismatch of the synthetic aperture focus processing when the periodic or random trajectory disturbances was generated on the side direction. The simulation results show that ghost targets are generated and azimuth resolution is very deteriorated when disturbance amplitude is greater than 0.3λ and disturbance period is greater than $2L_{sa}$ in the periodic trajectory disturbances environments. And detection performance on the seabed small objects by the synthetic aperture processing is shown that there is a significant effects on the azimuth resolution depending on the types and conditions of the platform trajectory disturbance variations.

키워드 : 합성개구면소나, 궤적교란, 방위해상도, 수중무인정

Key word : Synthetic aperture sonar, Trajectory disturbance, Azimuth resolution, UUV

접수일자: 2015. 11. 03 심사완료일자: 2015. 12. 01 게재확정일자: 2015. 12. 15

* **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 608-739, Korea

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.1.222>

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

최근 수중에서 사용되는 소형 무인정에 의한 각종 수중환경 탐사 및 지형 조사 등으로 해저부설 물체의 정밀한 탐지에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이를 위하여 짧은 센서배열로 우수한 탐지성능을 확보할 수가 있는 능동 합성개구면소나에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다[1-4]. 수중 무인정에 탑재 운용되는 능동소나에 의한 개구면 합성처리는 플랫폼이 정속도로 직선 기동을 한다는 조건이 필요하며, 이는 직선기동시 각 센서 엘리먼트에 도달되는 표적 반사신호의 경로차 즉, 위상차를 보상하여 코히어런트 합성처리함으로써 수신빔을 좁게 할 수 있어 방위해상도를 높일 수 있다[5, 6]. 하지만 수중환경에서는 낮은 음파속도, 다중경로 형성 및 수중환경 변동 등으로 인하여 개구면 합성처리에 여러 가지 오차를 발생하게 되어 탐지 해상도에 많은 성능저하를 유발시키게 된다[7, 8]. 플랫폼은 주어진 직선궤적을 정속도로 이동하지만 실제 운용시에는 각종 수중환경의 영향으로 궤적교란이 발생할 수 있고, 이는 개구면 합성처리시 추정된 경로와 실제 경로 사이에 부정합이 발생되어 오차를 유발하게 된다[9, 10]. 사인형태의 주기적 궤적교란은 수중무인체가 이동할 때 외부환경에 의해 일반적으로 발생하는 변동으로 플랫폼 외부에 설치된 위치센서들로 개략적 보상은 할 수 있으나 세부적 경로차에 의한 변동오차는 존재하게 된다[6]. 랜덤 궤적교란은 하드웨어적인 문제, 매질변동, 운동보상 오차 등에 의해 생겨날 수 있으며, 합성개구면소나에서 코히어런트 초점처리를 수행할 경우에는 이러한 오차들에 의한 영향을 크게 받게 된다[11]. 정밀한 개구면 합성처리를 위해서는 경로변동에 따른 수신신호의 시간지연 오차 보상이 이루어져야 하며, 발생하는 여러 가지 궤적변동에 따른 위상차 영향분석을 통하여 궤적 보상을 위한 기법들의 적용이 가능해 진다. 이들은 레이더 배열처리에 사용되는 BPA(Bright Spots Method), DPC(Differential Phase Shift) 등의 방법들을 합성개구면소나에 확장 적용함으로써 수중 운동시 발생하는 경로보상을 자동초점처리로 이를 수가 있다[12, 13].

본 연구에서는 경로보상 자동초점처리를 하기 위한 사전 연구로 실제 환경에서 운용되는 소형 무인정에 탑재된 능동 합성개구면소나에서 주로 발생될 수 있는 주기적인 궤적교란과 랜덤적인 궤적교란에 대하여 경사

거리 오차에 의한 위상차를 유도하여 합성개구면 초점 처리 결과 탐지성능에 미치는 영향을 분석하였다. 이들은 현측방향으로의 궤적 변동폭 크기변화와 개구면 길이에 대한 반복되는 주파수별로 나누어 경로차 발생오차를 계산한 후 관련 요소들을 변화시켜 방위해상도에 미치는 영향을 분석하였고, 랜덤적 궤적교란이 발생시에도 적용하여 해저에 부설된 점표적에 대하여 그 탐지성능 및 방위해상도에 미치는 영향을 처리결과 스펙트럼과 이미지로 나타내었다.

II. 능동 SAS 합성처리 및 궤적교란 오차

2.1. 운용 환경 설정

수중에서 운용되는 소형 무인정은 그림 1과 같이 주어진 궤적을 이동하면서 현측방향 경사각도로 음파를 주기적으로 송수신하게 된다. 합성개구면소나는 정속도로 기동하면서 수신신호의 개구면을 확장처리하여 방위해상도를 높일 수 있으나, 진행경로에 대한 외부의 여러 요소들에 의해 거리오차 즉, 수신신호의 위상차가 발생되어 코히어런트 합성 초점처리에 오차를 유발하게 된다.

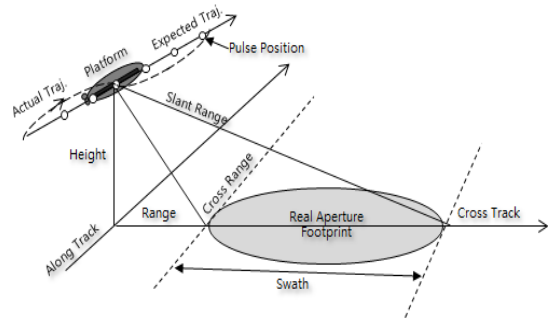


Fig. 1 Conceptual overview on the UUV SAS operation

수중 무인정의 이동 속도는 수중 음파속도 보다 매우 낮고 수중환경 변동 등으로 경로상에 부정합이 발생하게 되어 해저물체 탐지시 방위해상도에 영향을 미치게 된다. 또한 주어진 경로로 이동하는 수중무인체는 외부 영향을 받아 그림 1과 같이 진행방향을 중심으로 궤적교란(점선)이 일어나며, 이는 플랫폼의 이동 현측방향으로 크게 주기적인 궤적교란과 랜덤 궤적교란으로 고

려해 볼 수 있다.

2.2. 능동 SAS 코히어런트 초점처리

합성개구면처리는 센서어레이의 진행에 따른 수신 신호의 적분시간 동안 위상을 보상하여 합성처리를 수행함으로써 다소 복잡성을 가지게 된다. 그림 2에서 보는 바와 같이 진행경로에 따른 개구면 합성은 산란자로부터 반사된 수신신호가 경로 차이를 갖게 되며, 거리 x 에서의 수신신호 위상차는 식 (1)과 같이 x_0 에서의 위상보다 왕복거리 ΔR_s 만큼의 위상차를 갖게 된다[11].

$$\Delta\phi(t) = \frac{2\pi}{\lambda}(2\Delta R_s) = \frac{2\pi v_p^2 t^2}{\lambda R_0} \quad (1)$$

여기서 λ 는 송신신호 파장, R_0 는 최근접점 경사거리, v_p 는 플랫폼 속도이다. 각 채널에서의 수신신호는 유도된 위상차를 코히어런트 적분시간 T_i 동안 보상하여 이득이 큰 신호를 합성할 수 있다.

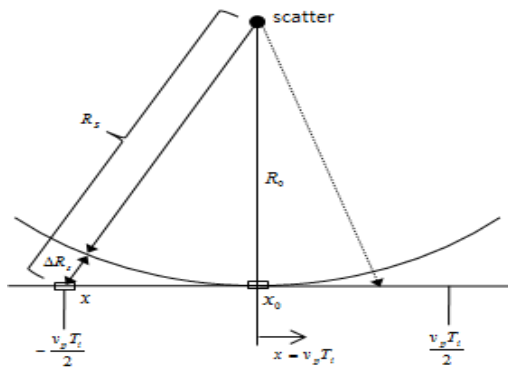


Fig. 2 Slant range difference of active synthetic aperture formation

합성개구면소나는 코히어런트 시스템으로 정속도 기동 및 합성개구면 크기, 수신신호 위상차 등에 대한 정확한 정보를 얻으면 식 (2)와 같이 향상된 방위해상도 δx_{sa} 를 얻을 수 있다[14, 15]. 그러나 실제 환경에서는 여러 가지 외부 환경의 영향으로 방위해상도에 영향을 받으며 이는 탐지결과 품질의 저하를 초래하게 된다.

$$\delta x_{sa} = \frac{\lambda}{2L_{sa}} R_0 \approx \frac{L_r}{2} \quad (2)$$

해저 물체 탐지를 위한 센서에서의 송신신호 펄스반복주파수 PRF(pulse repetition frequency)는 방위 및 거리 해상도의 모호성을 피하도록 플랫폼 이동속도와 요구되는 최대 탐지거리에서의 반사신호 수신시간에 의해 결정되며 다음과 같이 설계하여야 한다[11].

$$\gamma \frac{2v_p}{L_r} \leq PRF \leq \frac{c}{2(R_{\max} - R_{\min})} \quad (3)$$

$$R_{\min} = \frac{h}{\sin\xi}, \quad R_{\max} = \{h^2 + (W + h \cot\xi)^2\}^{1/2} \quad (4)$$

여기서 γ 는 오버샘플링 계수이며 주로 $\gamma \geq 1$ 로 설정하며, c 는 수중 음파속도, h 는 해저에서 플랫폼 운행 높이, ξ 는 근접 그레이징 각도(grazing angle), W 는 스와스폭(swath width), L_r 는 센서어레이 길이이다.

주어진 플랫폼 위치 n 에서 수신된 에코신호는 해저 부설 점표적에서 반사되어 수신된 송신 펄스신호의 왕복 경사거리 만큼 시간지연 t_n 과 주위환경에 따른 크기의 변화를 가지게 되며, 해저에서 반사된 산란자와 진행방향으로 위치한 각각의 수신기 사이의 경사거리 차이는 에코신호 수신시간 차이를 가져온다.

$$t_n^2 - n^2(2v_p)^2 / (c PRF)^2 - t_{n0}^2 = 0 \quad (5)$$

여기서 t_{n0} 는 최근접점 경사거리에서의 수신시간이다. 이때, 합성개구면 길이가 산란자까지의 경사거리에 비해 매우 작으므로 다음과 같이 근사화 할 수 있다.

$$\Delta t_n = t_n - t_{n0} \approx \frac{2}{c^2 t_{n0}} \left(\frac{n v_p}{PRF} \right)^2 \quad (6)$$

따라서 최근접점에서의 수신시간에 대한 각 위치 n 에서의 수신시간 차이는 식 (6)에서 구할 수 있고, 이는 위상 차이를 보상해 줌으로써 코히어런트 합성을 할 수 있게 된다. 수신신호의 지연된 시간은 송수신신호의 상호상관함수에 의해 값이 최대가 되는 지점까지를 지연 시간으로 구할 수 있으며, 각 위치에서의 신호는 수신 엘리먼트에서 보상된 위상차 지연된 합 E_n 으로 신호를 크게 합성처리가 된다.

$$X_n(x_n, R_n) = \exp\left[-j\left(\frac{2\pi}{\lambda R_0}(x_n - x_0)^2\right)\right] \quad (7)$$

$$E_n(x_n, R_n) = \sum_{N_0 - N_c/2}^{N_0 + N_c/2} X_n(x_n, R_n) \quad (8)$$

여기서 X_n 는 진행경로별 수신센서에서 위상차를 보 상한 신호이다. 합성된 수신 에코신호는 위상차와 매칭 되는 위치에서 신호가 크게 되지만 외부 궤적교란에 의 한 경사거리 변동 부정합 오차가 발생되면 위상차 변동 이 발생되어 그만큼의 방위해상도는 나빠지게 된다.

2.3. 궤적교란 오차

합성개구면 처리방법에서는 수신된 신호의 정확한 위상차 합성을 필요로 하지만 예상되는 진행경로와 실 제 경로 사이에는 부정합이 발생되면 이는 방위해상도 저하 및 탐지성능에 영향을 미친다. 실제 플랫폼의 기 동에는 궤적교란이 존재하고, 이들은 기계적인 공진, 스웰(swell), 파도 등에 의한 주기적 사인형태의 변동을 가지거나, 터블런스(turbulence), 해류, 구조물 진동 등 에 의해 랜덤적인 변동을 가지게 된다. 이러한 교란들 은 시간지연보상에 의한 위상차 합성시에 매우 중요한 요소들이 된다.

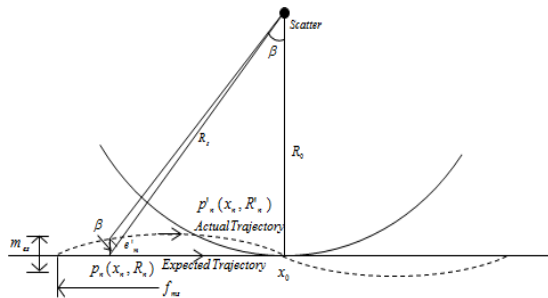


Fig. 3 Slant range mismatch error for periodic trajectory disturbance

그림 3과 같이 수중으로 플랫폼이 이동할 때, 사인형 태의 주기적 궤적교란 기동환경에서는 경로변동의 크 기 m_{es} 에 의한 영향과 합성개구면 에레이 L_{sa} 에 대한 반복수로 정의된 경로변동 주파수 f_{ms} 에 의한 영향을 고려해 볼 수 있다. 먼저 주기적 경로변동은 다음과 같 이 표현된다.

$$\Delta r'_n (\approx \Delta y_n) = \frac{m_{es}}{2} \sin(2\pi f_{ms} t) \quad (9)$$

표적까지의 경사거리에 비해 궤적교란 폭이 매우 작 으면, 경로진행에 따른 각 수신 센서엘리먼트에서의 경 로 경사거리오차 e'_m 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$e'_m \approx \Delta r'_n \cos\beta = \frac{m_{es}}{2} \left(\frac{R_0}{R_s}\right) \sin\left(2\pi f_{ms} \frac{x_n - x_0}{v_p}\right) \quad (10)$$

주기적 경로변동 오차는 경로발생 크기와 개구면 길 이에 대한 반복횟수를 합성개구면 초점처리시 적용함 으로서 방위해상도에 미치는 영향을 계산할 수 있고, 주기적 궤적교란 오차에 의한 위상차 지연합 신호 \widehat{E}_n 는 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$\widehat{E}_n(x_n, R_{sn}) = \sum_{N_0 - N_c/2}^{N_0 + N_c/2} \widehat{X}_n(x_n, \widehat{R}_{sn}) \quad (11)$$

$$\widehat{R}_{sn} = \left\{ (x_n - x_0)^2 + (y_n + e'_m)^2 + (h_n)^2 \right\}^{1/2} \quad (12)$$

그림 4와 같은 랜덤적 궤적교란 기동환경에서는 경 로변동의 가우시안 랜덤분포 크기 $\Delta r''_n$ 에 의한 영향을 고려해 볼 수 있으며, 경로진행에 따른 수신 센서에서 의 경로 경사거리오차 e''_m 는 $\Delta r''_n \cos\beta$ 로 구할 수 있 다. 따라서 랜덤적 궤적교란 오차에 의한 합성개구면 위상차 지연합 신호 \widehat{E}_n 는 식 (11)에 적용함으로써 그 영향을 구할 수 있다

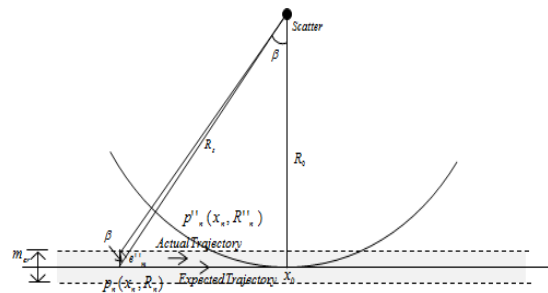


Fig. 4 Slant range mismatch error for random trajectory disturbance

III. 시뮬레이션 및 결과 검토

수중에서 소형 무인정의 정속도 직선 기동시 외부환경에 의해 발생하는 각종 궤적교란이 탐지성능 및 방위 해상도에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 그림 5와 같은 시뮬레이션 환경을 구성하였다.

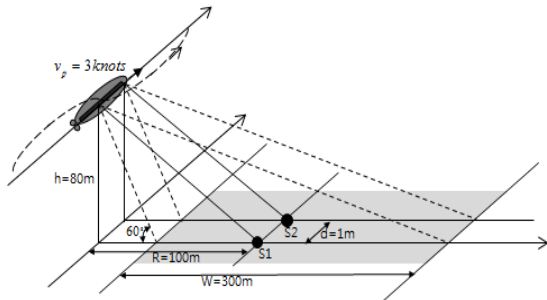


Fig. 5 The geometry of simulated environment

플랫폼은 해저에서 80m 높이로 수중 3knots 속력으로 직선기동을 하며, 표적은 현측거리 100m 지점에 1m 간격으로 2개의 점표적을 구성하였다. 그레이징 각도는 60°, 스와스폭 300m로 빔을 형성하였으며, 소나어레이는 10개의 수신센서를 가지고, 송신신호는 50KHz, 0.1msec의 펄스신호를 사용하였다. 주변 해상의 신호 대 잡음비는 6dB인 환경으로 백색 가우시안 잡음을 사용하였다. 펄스 송신시간은 스와스폭에 의한 최대 경사 거리와 진행 속도에 의해 결정되며 최대반복주파수 PRF는 3Hz로 구해진다. 먼저, 외부에 의한 궤적교란이 없는 이상적 진행경로 경우의 탐지처리 결과 스펙트럼은 그림 6과 같다.

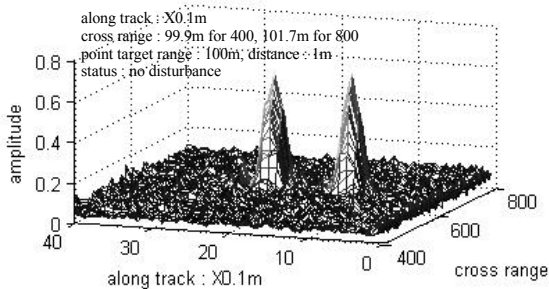


Fig. 6 Processed results on 2 point targets for no trajectory disturbance

각 센서어레이에서 수신된 신호를 합성개구면처리에 의해 왕복 시간차에 의한 위상차를 보상 합성처리함으로써, 시뮬레이션으로 설정된 100m 지점에 1m 간격으로 부설되어 있는 2개의 점표적을 탐지하게 되고, 방위해상도는 3dB 지점을 기준으로 약 20cm 정도의 방위해상도를 가지는 결과를 나타낸다.

그림 7은 수중 무인정의 정속도 직선 운동시 주기적 궤적교란의 크기 변화에 따른 합성개구면 초점처리한 신호의 2개의 점표적 스펙트럼과 이미지 결과이다.

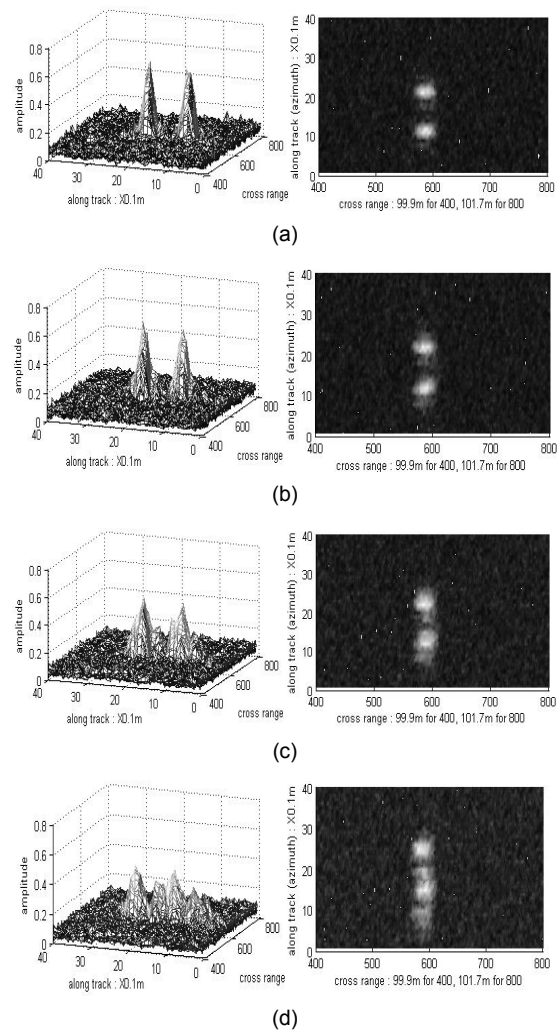


Fig. 7 Processed spectrums and images on 2 point targets for periodic trajectory disturbance ($f_{ms} = 0.5L_{sa}$) (a) $m_{es} = 0.1\lambda$ (b) $m_{es} = 0.2\lambda$ (c) $m_{es} = 0.3\lambda$ (d) $m_{es} = 0.5\lambda$

변동 주파수변화가 $0.5L_{sa}$ 인 경우, 궤적교란의 교란폭 크기가 0.1λ 인 경우에는 방위해상도 및 탐지결과가 양호하나, (b), (c)와 같이 교란폭이 커지면서 주변에 허위표적이 나타나기 시작하고 방위해상도가 나빠진다. (d)에서 보는 바와 같이 크기가 0.5λ 이상에서는 허위표적과 실표적이 겹쳐져서 방위해상도가 매우 나빠져서 2개의 표적 이미지를 구별할 수 없게 된다. 그림 8은 현측 100m에서 탐지된 표적에 대한 스캔라인에서의 상대적 크기 결과로써 3dB를 기준으로 교란폭이 커질수록 방위해상도가 나빠지게 된다.

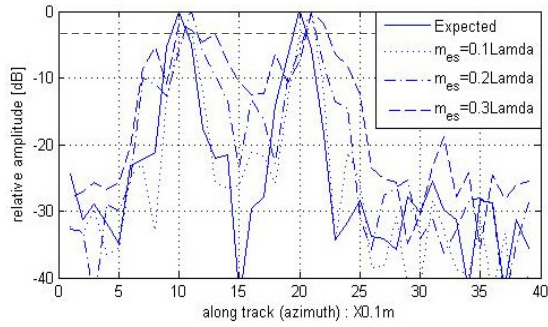


Fig. 8 Amplitudes of data processing results for periodic trajectory disturbance($f_{ms} = 0.5L_{sa}$)

그림 9와 그림 10은 직선 운동시 주기적 궤적교란의 합성개구면 길이에 대한 반복 주파수변화에 따른 영향을 시뮬레이션한 결과이며, 이때의 변동폭은 0.1λ 로 설정하였다. 결과에서 보듯이 변동 주파수가 $0.5L_{sa}$ 인 경우에는 교란이 없는 경우와 방위해상도에서 차이가 없으나, 변동 주파수가 빨라지면서 허위표적이 나타나기 시작하며, 변동 주파수가 $2L_{sa}$ 이 되면 허위표적이 크게 나타나게 되지만 실제표적에 대한 방위해상도는 크게 영향이 없다. 변동 주파수가 $3L_{sa}$ 보다 커지면 허위 표적은 인접 표적에 포함되고 넓게 에너지가 분포되게 된다. 따라서 궤적교란에 따른 방위해상도 탐지 결과는 합성개구면에 대한 변동 주파수 보다 변동 폭의 크기에 더욱 민감하게 탐지결과 및 이미지는 나빠지게 된다.

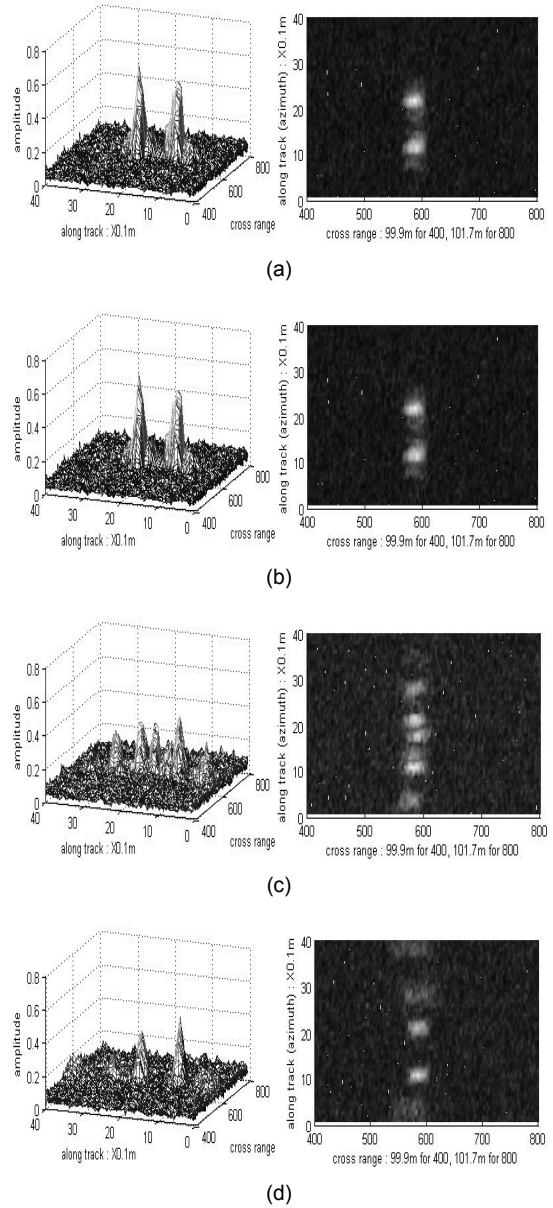


Fig. 9 Processed spectrums and images on 2 point targets for periodic trajectory disturbance($m_{es} = 0.1\lambda$) (a) $f_{ms} = 0.5L_{sa}$ (b) $f_{ms} = L_{sa}$ (c) $f_{ms} = 2L_{sa}$ (d) $f_{ms} = 3L_{sa}$

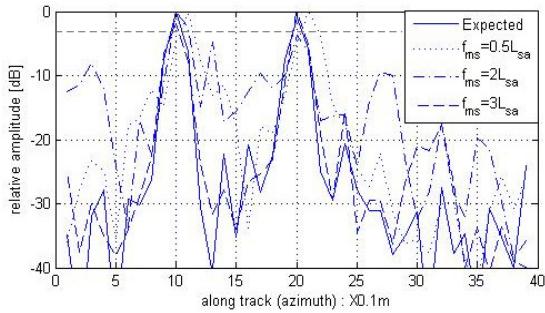


Fig. 10 Amplitudes of data processing results for periodic trajectory disturbance($m_{es} = 0.1\lambda$)

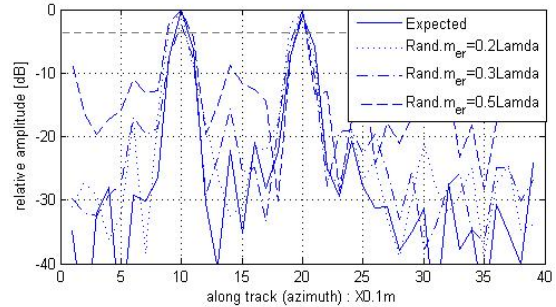


Fig. 12 Amplitudes of data processing results for random trajectory disturbance

그림 11과 그림 12는 직선 운동시 랜덤적 궤적교란이 일어날 때, 변동폭 크기에 대한 영향을 시뮬레이션한 이미지 탐지 결과 및 100m 스캔라인에서의 처리된 상대적 크기 결과이다. 랜덤 변동폭이 0.2λ 이하에서는 양호한 탐지 결과를 얻을 수 있으나, 0.3λ 부터는 허위 표적이 발생되기 시작하고, 0.5λ 보다 커지는 경우에는 표적을 구별 할 수 없게 된다. 하지만 궤적교란이 가우시안 랜덤 분포를 고려한 부정합 크기를 적용하였으므로 주기적 궤적변동에 비해 평균 크기변화가 작으므로 탐지결과 이미지 및 방위해상도는 상대적으로 양호하게 나타난다.

IV. 결론

본 논문에서는 수중에서 정속도 직선궤적으로 운용되는 소형 무인정에 능동 합성개구면소나를 적용할 때 발생하는 여러 가지 궤적 교란이 탐지결과와 방위해상도에 미치는 영향을 분석하였다. 교란 형태는 실제 환경에서 많이 발생할 수 있는 주기적 궤적 교란과 랜덤적 궤적 교란에 대하여 고려하였으며, 주기적 궤적 교란에서는 변동폭과 합성개구면 길이에 대한 주파수변화에 대하여 시뮬레이션 하였고, 그 결과 변동폭 크기가 0.3λ 이상이 되면 방위해상도가 상당히 나쁘게 되고 허위표적의 크기도 증가하게 된다. 변동 주기 영향은 $2L_{sa}$ 부터 허위표적이 크게 나타나서 탐지에 영향을 크게 미치게 된다. 랜덤적 궤적교란의 영향은 가우시안 분포를 적용하여 주기적 변동 보다는 영향을 덜 받게 되지만 0.5λ 보다 변동폭이 커지면 방위해상도 및 탐지 결과가 매우 나쁘게 된다. 따라서 능동 합성개구면소나 적용시에는 각종 현측방향으로의 궤적 교란의 여러 조건에 따른 방위해상도 및 탐지결과에 많은 영향을 미치게 되고, 이러한 결과를 바탕으로 외부 위치센서 설치에 의한 미세적인 위치보상 처리기법 적용 및 영향 분석 등에 대한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

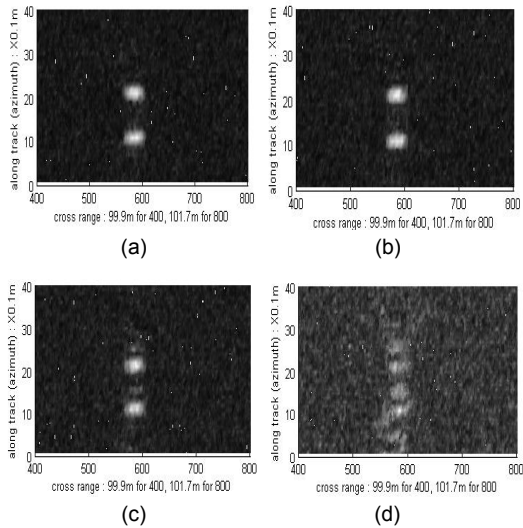


Fig. 11 Processed images on 2 point targets for random trajectory disturbance (a) $m_{er} = 0.1\lambda$ (b) $m_{er} = 0.2\lambda$ (c) $m_{er} = 0.3\lambda$ (d) $m_{er} = 0.5\lambda$

ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by the Pukyong National University Research Fund in 2013(C-D- 2013-1347)

REFERENCES

[1] 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.

[2] L. Haisen, X. Jian, and Z. Tian, "Study of multibeam synthetic aperture sonar line by line imaging algorithm", *2012 International Conference on Measurement and Control*, pp. 273-277, 2012.

[3] 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.

[4] M. P. Hayes, "Synthetic aperture sonar: a review of current status", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 34, pp. 207-217, 2009.

[5] 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.

[6] R. E. Hansen, Introduction to synthetic aperture sonar, pp. 1-25, Available: <http://www.intechopen.com>

[7] J. E. Piper, K. W. Commander, E. I. Thorsos, and K. L. Williams, "Detection of buried targets using a synthetic aperture sonar", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 27, pp. 495-503, 2002.

[8] R. E. Hansen and S. Chapman, "Signal processing for AUV based interferometric synthetic aperture sonar", *IEEE Xplore Digital Library*, pp. 2438-2444, 2003.

[9] B. Jalving, K. Gade, O. K. Hagan, and K. Vestgard, "A toolbox of aiding techniques for the HUGIN AUV integrated inertial navigation system", *In Proceeding of the MTS/IEEE Oceans Conference and Exhibition*, San Diego, 2003.

[10] H. J. Callow, M. P. Hayes, and Peter T. Gough, "Motion-compensation improvement for widebeam, multiple-receiver SAS systems", *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, vol. 34, pp. 262-268, 2009.

[11] R. S. H. Istepanian and M. Stojanovic, "Underwater acoustic digital signal processing and communication systems", Kluwer Academic Publishers, pp. 37-75, 2002.

[12] 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.

[13] 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.

[14] S. R. Silva, S. Cunha, A. Matos, and N. Cruz, "Sub-band processing of synthetic aperture sonar data", *Proceeding of the OCEANS 2008 MTS/IEEE Conference*, pp.1-8, 2008.

[15] 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.



김부일(Boo-il Kim)

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