

논문 2017-54-2-5

중첩된 빔 신호처리를 통한 소나 해상도 향상

(Sonar Resolution Enhancement Using Overlapped Beam Signal Processing)

온 백 산*, 이 지 은***, 임 성 빈**

(Baeksan On, Jieun Lee, and Sungbin Im[©])

요 약

능동소나를 이용한 해저면의 이미지를 얻기 위한 연구는 다양하게 수행되어져 왔으며, 그 해상도를 향상시키는 방법은 현재까지도 중요한 문제이다. 해상도를 향상시키기 위한 방법은 여러 가지가 있으며 좁은 빔폭을 활용하여 빔 해상도를 높이는 방법이 가장 대표적이다. 하지만 좁은 빔폭을 이용하여 해상도를 향상시키는 방식은 기술적인 한계가 존재한다. 따라서 제한된 빔폭을 가진 어레이를 통하여 보다 높은 빔 해상도를 얻기 위한 신호처리 기술이 필수적이다. 본 논문에서는 중첩된 빔을 방사하는 sonar의 수신신호에 신호처리를 통해 해상도를 향상시키는 방식을 소개한다.

Abstract

Many studies about generating images of seabed using active sonar have been carried out but image resolution enhancement is still an important problem. Many methods have been proposed to improve sonar resolution and the approach using narrow beam width is commonly and widely applied to enhance azimuth resolution. Unfortunately, this has technical limitations to reduce the beam width. Therefore, signal processing techniques are essential to achieving higher azimuth resolution when an array with conventional beam width is employed. This paper proposes a new approach that utilizes overlapped beams to obtain higher resolution.

Keywords : Active sonar, resolution, beam width, Wiener filter, overlapped beam

I. 서 론

소나를 이용한 해저면 이미지의 획득 및 그 해상도의 향상은 군사 및 민수 등의 다양한 응용분야에서 관심을 받는 중요한 문제이다. 물체 탐지를 위한 해저면의 이

미지 형성을 위한 기술은 여러 가지가 있는데 그 중 대표적인 기술은 사이드 스캔 소나(Side-Scan Sonar)와 섹터 스캔 소나(Sector Scan Sonar), 합성개구면소나(Synthetic Aperture Sonar) 등이 있다^[1~3]. 이미지의 해상도가 향상된다면 더욱 정밀하게 물체를 탐지 및 식별해낼 수 있게 되므로 이는 여러 분야에서 아주 중요한 기술이며, 이미지의 해상도 향상과 이를 통한 물체 탐지 및 식별에 관한 다양한 연구들이 수행되어져왔다^[4~8]. 사이드 스캔 소나는 선박의 좌현과 우현으로 좁은 빔을 방사하며 이동해가면서 해저면의 이미지를 얻는 기술이다. 또 다른 방식인 섹터 스캔 소나는 기본적인 원리는 사이드 스캔 소나와 비슷하지만 sonar beam의 steering 각도만을 변화시켜가며 방사하여 선체를 움직이지 않아도 된다는 점에서 차이가 있다. 합성개구면소

* 학생회원, 숭실대학교 정보통신공학과(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

** 정회원, 숭실대학교 전자정보공학부(School of Electronic Engineering, Soongsil University)

*** 정회원, (주)소나테크(SonarTech)

© Corresponding Author (E-mail : sbi@ssu.ac.kr)

※ 본 연구는 국방기술품질원의 핵심부품 국산화 개발 지원 사업의 지원을 받아 수행된 무인기뢰처리기용 탐지소나, 식별소나 과제의 연구결과로 이에 대해 감사를 드립니다.

Received ; October 24, 2016 Revised ; November 28, 2016

Accepted ; January 25, 2017

나는 소나를 탑재한 선체가 일직선으로 움직이면서 동일한 해저면에 다수의 소나 빔을 투사하며 선체가 이동하는 동안 이동거리 내의 빔을 합성하여 안테나의 길이를 매우 길게 만들어 주는 것과 같은 효과를 이용해 해상도를 증가시키는 방식이다^[3].

소나 시스템을 이용해 해저면을 이미지화 하는 경우 그 해상도는 소나 빔 폭에 따라 성능이 크게 좌우된다. 소나 빔 폭이 좁을수록 소나 이미지의 해상도는 좋아지게 되며, 빔 폭을 줄이기 위해서는 acoustic pulse의 주파수를 증가시키거나 array size를 증가시켜주어야 한다^[9]. 그러므로 일반적인 side scan sonar는 고해상도의 이미지를 얻기 위해 고주파수의 pulse를 사용한다. 하지만, 수중에서 acoustic pulse의 power는 주파수가 증가할수록 급격히 감소하며^[10], 고해상도를 얻기 위해 pulse의 주파수를 증가시킨다면 탐지 할 수 있는 거리는 더 짧게 제한될 것이다. 따라서, 좁은 beam폭을 얻는 것과 탐지거리를 향상시키는 데에는 trade-off가 존재한다. SAS와 같은 방식으로 해상도를 높이는 방법도 있지만, SAS는 플랫폼의 이동 속도 및 경로 변동, 낮은 음파속도에 따른 다중경로, 수중환경의 변동, 복잡한 처리과정과 높은 연산량 등으로 많은 제약이 따른다. 또한 SAS는 도플러 주파수의 상대적인 변위값을 처리하여 고해상도 영상을 얻는 방식이므로 본 논문에서는 고려하는 선체가 고정된 상태에서의 소나 신호획득 방식과는 맞지 않는다.

본 논문에서는 중첩된 빔을 방사하는 sonar의 수신신호에 신호처리 기법을 적용하여 빔 해상도를 향상시키는 방법을 제시하고자 한다. 일반적으로는 빔 폭을 줄여서 빔 해상도를 향상시키지만, 빔 폭을 줄이는 것은 어레이 사이즈, 구동 주파수 등의 제한적 요소로 인하여 한계가 있다. 따라서 제한된 빔을 방사하여 스캔을 할 때 일정 구간이 중첩되도록 이동을 하고, 그 겹치는 신호간에 신호처리기법을 적용하여 중첩된 영역을 모델링한다면 빔폭보다 좁은 영역의 신호를 얻을 수 있을 것이라고 고려하였다.

본 논문에서는 수직 40도 수평 1.5도의 빔을 형성하는 어레이를 이용해 거리 100m에서 200m까지의 범위를 탐지하는 소나 시스템을 가정하였다. 이 소나는 수평빔폭의 절반씩 겹치도록 shift 된다. 겹쳐진 상태로 발사된 신호의 반향을 그대로 이미지화 한다면 실제 물체의 모양보다 더욱 퍼진 형상으로 나타날 것이다. 이때 인접한 두 신호에는 겹치는 영역에 의한 신호가 포함되어 있을 것이다. 이 두 신호간의 모델링을 통해 겹

치는 부분의 신호를 분리한다면, 실제 분리된 신호는 겹치는 영역, 즉, 빔폭보다 좁은 영역의 신호일 것이다.

본 논문에서는 이렇게 두 인접신호간의 모델링을 통해 겹치는 영역의 신호를 분리하여, 실제 사용되는 빔폭보다 날카로운 빔을 사용한 것과 같은 효과를 확인하고자 한다.

2장의 본문에서는 중첩된 빔을 방사한 sonar에 대하여 설명하고 이것을 이용한 모델링 방식을 제안한다. 3장에서는 모의실험조건과 모의실험을 통하여 얻은 결과를 평가하고 4장에서 결론을 맺는다.

II. 본 론

1. 중첩된 빔의 방사와 수신신호

일반적으로 소나 시스템에서는 빔을 해저면에 빔을 순차적으로 방사하여 수신된 데이터를 통해 이미지를 얻는다. 소나 이미지의 해상도는 좁은 빔을 사용할수록 좋아지게 되며, 빔 폭을 줄이기 위해서는 acoustic pulse의 주파수를 증가시키거나 array size를 증가시켜주어야 한다. 수중에서 사용할 수 있는 빔의 두께는 제한되므로 소나 이미지의 해상도 또한 제한 될 것이다. 본 논문에서는 제한된 빔 두께를 사용하면서 해상도를 향상시키기 위해 동일한 해저면에 다수의 ping을 방사하여 인접한 빔과 중첩되는 형태를 고려하였다.

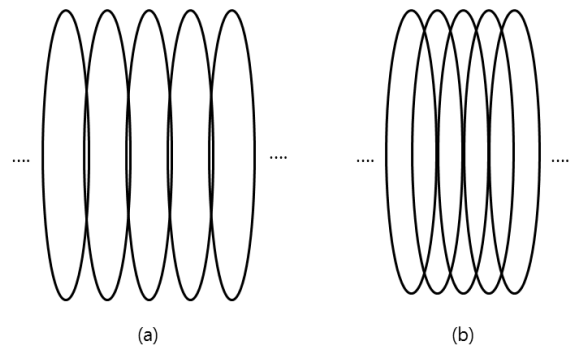


그림 1. (a) 일반적인 sonar의 빔 방사 형태, (b) 중첩된 sonar의 빔 방사 형태

Fig. 1. (a) Conventional beam shape of sonar, (b) Overlapped beam shape of sonar.

본 논문에서 고려하는 중첩된 빔을 방사하는 sonar는 동일한 해저면에 다수의 ping을 겹치도록 shift 해가며 방사한다. 이 중첩된 수신신호들을 그대로 이미지화 한다면 물체의 형상은 실제보다 퍼져서 나타나게 될 것이다. 따라서 중첩된 신호에서 신호처리를 거쳐 해상도를 향상시켜줄 필요가 있다.

2. 중첩된 신호의 모델링

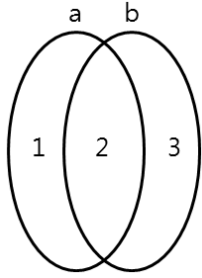


그림 2. 겹치는 빔의 영역들
Fig. 2. Overlapped beam regions.

본 논문에서는 빔의 절반만큼 겹치도록 빔을 방사하는 경우를 가정하였다. 그림 2의 a, b 영역은 서로 절반의 영역 2 를 공유하고 있으며, 공유하는 부분에 방사된 후 수신된 신호가 각각 포함되어 있을 것이다. 이 경우 그림에서 a, b영역으로부터 수신된 신호는 각각 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$r_a(n) = r_2(n) + r_1(n) + n_1(n) \tag{1}$$

$$r_b(n) = r_2(n) + r_3(n) + n_2(n) \tag{2}$$

$$r_1(n) = s(n) * h_1(n) \tag{3}$$

$$r_2(n) = s(n) * h_2(n) \tag{4}$$

$$r_3(n) = s(n) * h_3(n) \tag{5}$$

여기서 $s(n)$ 은 송신신호이고, $r_1(n)$, $r_2(n)$, $r_3(n)$ 은 각각 1, 2, 3 영역을 통해 수신된 신호이며, $n_1(n)$, $n_2(n)$ 은 가우시안 노이즈, * 은 컨벌루션을 의미한다. 이때 두 신호의 차는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} x(n) &= r_a(n) - r_b(n) \\ &= r_1(n) - r_3(n) + n_1(n) - n_2(n) \end{aligned} \tag{6}$$

$r_a(n)$ 을 원하는 신호 $r_2(n)$ 에 잡음 $r_1(n)$ 성분이 섞인 신호라 생각하면, reference 신호 $x(n)$ 은

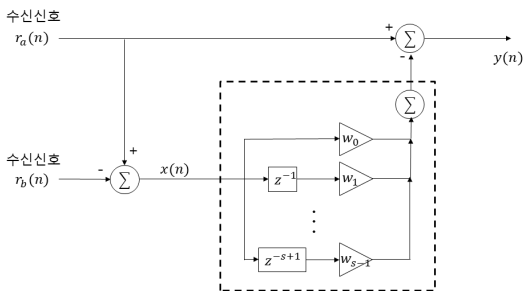


그림 3. 중첩된 영역 신호를 얻기 위한 프로세스
Fig. 3. Process for obtaining overlapped region signal.

$r_1(n)$ 을 포함하고 있으므로 잡음 $r_1(n)$ 과 서로 상관관계가 있고(correlated), 원하는 신호 $r_2(n)$ 은 reference 신호 $x(n)$ 과 상관관계가 없으며(not correlated) 이는 Wiener Hopf 방정식을 사용하기 위한 조건을 만족한다. Wiener 모델링을 통해 중첩된 영역의 신호를 얻기 위한 프로세스는 그림 3과 같다.

3. 필터 설계

앞 절의 가정 하에 위너 모델링을 통해 두 신호 간에 겹치는 영역인 2 영역의 성분을 추출해낼 수 있으며 이를 matrix form으로 간단히 표현하면 다음과 같다.

$$\vec{r}_2 = \vec{r}_a - WX \tag{7}$$

\vec{r}_a 는 $r_a(n)$ 신호벡터이고 W 와 다음과 같이 표현된다.

$$W = [w_1, w_2, \dots, w_s] \tag{8}$$

$$X = \begin{bmatrix} x(1) & x(2) & x(3) & \dots & x(m) \\ 0 & x(1) & x(2) & \dots & x(m-1) \\ 0 & 0 & x(1) & \dots & x(m-2) \\ \vdots & \vdots & 0 & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & x(m-s+1) \end{bmatrix} \tag{9}$$

m 은 $x(n)$ 의 데이터 길이이며, s 에 따라 선형 시스템 W 의 길이와 X 의 행렬 사이즈가 결정된다. 시스템 W 의 추정값 \hat{W} 은 XX^T 가 non-singular 행렬이라는 가정 하에 위너 모델링을 통해서 간단하게 구할 수 있다.

$$\hat{W} = r_a X^T (X X^T)^{-1} \tag{10}$$

X^T 는 X 의 transpose 행렬이며, $(\cdot)^{-1}$ 은 역행렬을 의미한다.

상기의 선형 시스템 추정을 통해 얻은 \hat{W} 을 X 신호에 적용해주면 원치 않는 1영역의 신호가 모델링되며 이를 $r_a(n)$ 에서 제거하면 a와 b의 공통영역인 2영역의 신호를 얻게 될 것이다.

III. 실험

본 절에서는 모의실험을 통하여 제안한 방식의 성능을 확인하고 모의실험 결과를 분석한다.

1. 모의실험 조건

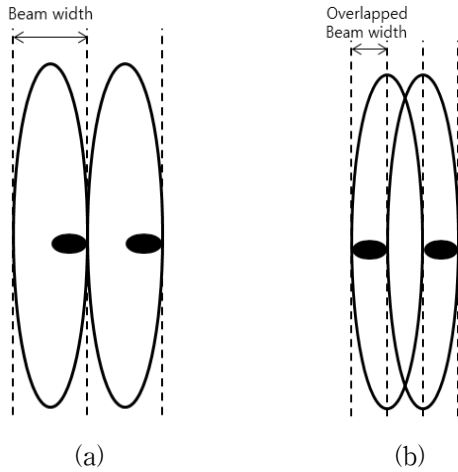
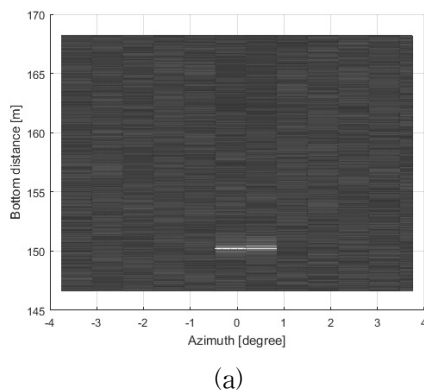


그림 4. (a) 중첩시키지 않은 경우와 (b) 중첩시킨 경우의 빔 형태와 실험조건인 물체

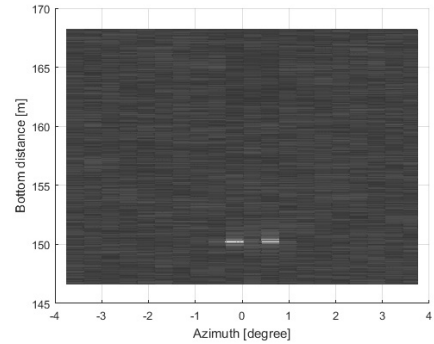
Fig. 4. Process for obtaining overlapped region signal.

모의실험에서 고려하는 천해의 깊이는 $H = 100$ m이며 음원과 수신기는 깊이 $L = 10$ m에 위치한다고 가정하였다. 소나신호의 수평빔폭은 1.5° , 수직빔폭은 40° 로 가정하였으며, 음속은 1500 m/s, 표본화주파수 40 kHz로 하였다. 균일한 해저면에 높이 3 m, 길이 2 m의 물체가 그림 4와 같이 일정 간격 떨어져 놓여진 상태라고 가정을 하였으며, 소나로부터의 바닥거리는 150 m에 위치하는 것으로 가정하였다. 송신 파형은 대역폭 14 kHz, 중심주파수 13 kHz의 LFM 파형을 사용하였으며, SNR 0 dB와 20 dB의 가우시안 잡음이 존재하는 환경으로 나누어서 실험하였다.

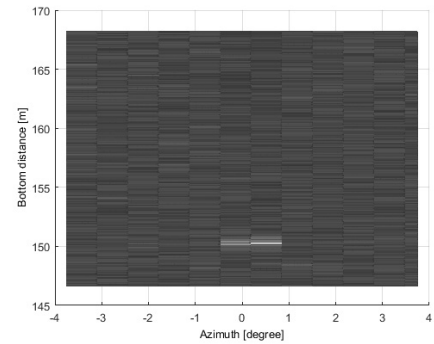
2. 모의실험 결과



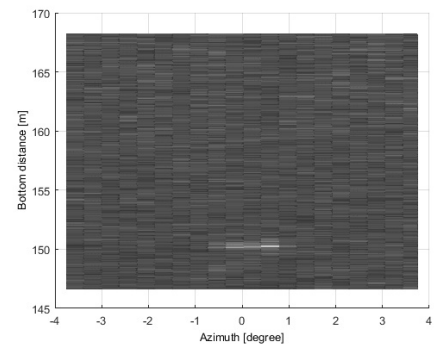
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. SNR 20dB에서 (a) 중첩시키지 않도록 방사했을 때의 물체, (b) 제안된 방식을 통한 결과. SNR 0dB에서 (c) 중첩시키지 않도록 방사했을 때의 물체, (d) 제안된 방식을 통한 결과

Fig. 5. (a) Simulation result of conventional approach in SNR 20dB, (b) Simulation result of proposed algorithm in SNR 20dB. (c) Simulation result of conventional approach in SNR 0dB, (d) Simulation result of proposed algorithm in SNR 0dB.

SNR 20dB에서 중첩되지 않도록 방사된 일반적인 sonar의 수신신호의 경우에는 그림 5.(a)와 같이 나타난다. 물체의 길이는 2m이지만 150m의 거리에서 $x(n)$ 의 빔이 덮는 면적인 4.58 m로 나타난다. 반면에 중첩되도록 방사시킨 후 인접영역 신호 간에 모델링을 거친 경우에는 그림 5.(b)와 같이 나타난다. 공유하고 있는 절반의

영역을 모델링하였으므로 사용된 빔폭의 절반까지 해상도가 향상된 것을 볼 수 있다. 하지만 SNR 0dB에서의 시물레이션 결과인 그림 5.(c),(d)를 보면 방위 해상도가 크게 향상되지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 식 (6)에서 보듯 reference 신호 $x(n)$ 을 생성할 때 잡음이 두배가 됨에 따라서 잡음이 커지는 경우 잡음의 영향을 더 크게 받게 되는 결과이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 중첩된 빔을 방사하여 인접한 영역간의 신호처리를 적용해 해저면 이미지의 해상도를 향상시키기 위한 방법을 제안하였다. 이 방식에 대하여 시물레이션을 통하여 사용된 빔 폭보다 더욱 좁은 빔폭을 사용한 것과 같은 효과를 보는 것을 확인하였다. 빔 폭을 줄이기 위해서는 일반적으로 고주파의 송신 펄스를 사용하거나 큰 사이즈의 어레이가 필요하지만 수중에서의 음파의 주파수가 증가할 경우 신호의 에너지가 감소하며, 어레이 사이즈를 증가시키기에는 현실적인 제한조건이 존재한다. 본 논문에서 제시한 방법의 장점으로 는 제한된 빔폭을 사용하여 빔폭을 줄인 것과 같은 효과를 볼 수 있다는 점이다. 하지만 본 논문에서 보인 시물레이션은 균일한 해저면에 단순히 두개의 물체가 놓인 상황에 대한 결과이므로, 보다 복잡한 해저면의 구조를 이미지화 하는 경우에도 적용가능한 방식에 대하여 추후 연구가 필요하다. 또한 잡음에 취약한 특성을 보이므로 잡음의 영향을 줄이기 위한 연구가 필요하다. 본 논문에서 제시한 방식을 바탕으로 추가적인 연구를 적용한다면, 보다 복잡한 구조의 해저면의 이미지화에도 적용 할 수 있을 것으로 기대한다.

REFERENCES

[1] F. Ollivier, P. Cervenka and P. Alais, "Side scan sonar using phased arrays for high resolution imaging and wide swath bathymetry," in Proc. of IEE - Radar, Sonar and Navigation, Vol. 143, no. 3, pp. 163-168, June 1996.

[2] W. G. Jeon and Y. S. Cho, "Object Detection with Sector Scanning Sonar," in Proc. of 2013 OCEANS, pp. 1-8, San Diego, 2013.

[3] Michael P. Hayes and Peter T. Gough, "Synthetic Aperture Sonar: A Review of Current Status," IEEE Journal of Oceanic Engineering, Vol. 34, no. 3, pp. 207-224, July 2009.

[4] S. W. Perry and Ling Guan, "Detection of small man-made objects in sector scan imagery using neural networks," in OCEANS, 2001. MTS/ IEEE Conference and Exhibition, pp. 2108-2114, Nov 2001.

[5] M. R. Azimi-Sadjadi, De Yao, Qiang Huang and G. J. Dobeck, "Underwater target classification using wavelet packets and neural networks," IEEE Trans. Neural Networks, Vol. 11, no. 3, pp. 784-794, May 2000.

[6] L. J. Mullen, A. J. C. Vieira, P. R. Herezfeld, V. M. Contarino, "Application of RADAR technology to aerial LIDAR systems for enhancement of shallow underwater target detection," IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques, Vol. 43, no. 9, pp. 2370-2377, Sep 1995.

[7] J.E. Lee, T.B. Shim, "Research on Segmentation for Sidescan Sonar Image by Morphological Method", Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea vol. 49SP, no. 2, pp. 143-148, 2012.

[8] E.C. Jeong, T.B Shim, "Underwater Acoustic Image Classification of a Cylindrical object using the Hough Transformation and Nth Degree Polynomial Interpolation," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea vol. 50, no. 2, pp. 193-200, 2013.

[9] Richard O. Nielsen, Sonar Signal Processing, Artech House, 1991, ch. 2.

[10] M. Stojanovic, "On the relationship between capacity and distance in an underwater acoustic communication channel," WUWNet 2006(ACM), Los Angeles, California, USA, Sept. 2006.

[11] Simon O. Haykin, Adaptive Filter Theory, Pearson, 2013, ch. 5.

저 자 소 개



온 백 산(학생회원)
2016년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
2016년~현재 숭실대학교 정보통신공학과 석사과정 재학중
<주관심분야: 수중음향 신호처리, 소나 표적탐지>



임 성 빈(정회원)-교신저자
1986년 서울대학교 전자공학과 학사
1988년 서울대학교 전자공학과 석사
1994년 University of Texas at Austin 전기 및 컴퓨터공학과 박사

1995년~현재 숭실대학교 전자정보공학부 정교수
<주관심분야: 수중신호처리, 비선형 신호처리, 통신시스템, 저장장치시스템>



이 지 은(정회원)
2003년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사
2004년~2007년 GE Ultrasound Korea
2012년 숭실대학교 정보통신공학과 석사

2016년 숭실대학교 정보통신공학과 박사 수료
2016년~현재 (주)소나테크
<주관심분야: 수중음향 영상처리, 수중음향 신호처리>