

논문 2014-51-4-19

수중음향렌즈 카메라에서 영상 품질 향상을 위한 SIR 분석 (SIR analysis for Enhancing Image Quality in Underwater Acoustic Lens System)

이 지 은*, 임 성 빈**, 심 태 보**

(Jieun Lee, Sungbin Im[Ⓢ], and Taebo Shim)

요 약

수중음향렌즈 시스템은 해저를 탐사하여 고해상도의 영상을 얻어내는 시스템의 하나로 음향렌즈를 이용하여 빔을 형성한다. 음향렌즈를 이용하여 빔을 형성함으로써 복잡도를 낮추고 구동전력을 절감시킨다. 음향렌즈로부터 들어오는 빔을 배열센서로 수신하려면 음향렌즈의 빔패턴을 분석하여 센서간격을 설정하는 문제를 해결해야 한다. 여기서 SIR (Signal to Interference Ratio)을 사용하여 센서간격과 빔패턴과 영상 품질과의 관계를 분석한다. 빔패턴의 모양에 따라 SIR은 변하므로 대체로 센서간격이 넓으면 사이드로브의 영향이 감소하므로 SIR이 개선된다. 사이드로브의 크기가 크면 전반적으로 SIR이 악화된다. Apodization 함수에 따라 빔패턴의 메인로브의 폭과 모양과 사이드로브의 모양과 준위가 바뀐다. 따라서 적절한 apodization 함수를 적용하여 SIR을 개선한다. 본 논문에서 예시된 빔패턴의 경우 센서간격이 13mm에서 SIR이 0-10dB로 안정이 되지만, 그 값이 높지 않다. 따라서 Chebyshev 함수를 적용하여 37mm 이상의 구간에서 80dB의 SIR을 얻는다. 센서간격이 더 작은 경우는 Hann 함수나 triangular 함수가 좋은 성능을 나타냈다.

Abstract

The underwater acoustic lens system is one of the systems getting high-resolution images on the seafloor by the beam forming method using acoustic lens. The beam forming using acoustic lenses reduces complexity and driving power. When receiving an incoming beam with the acoustic lens array, beam pattern analysis and arrangement problem of the array sensor must be addressed. Introducing SIR (Signal to Interference Ratio), the relationship among sensor interval, beam pattern and image quality would be analyzed. Generally if the sensor interval getting wider, the less effect of the side lobes makes SIR high. If the amplitude of a side lobe is high, SIR is generally getting low. The type of the apodization function changes the width, shape and amplitude of both main lobe and side lobes. Thus an appropriate apodization function can improve SIR. In this paper, SIR is stable at the sensor interval of 13mm with 0-10dB, which is not high relatively. By applying the Chebyshev function, the SIR becomes 80dB over the sensor interval of 37 mm or higher. The Hann and triangular functions demonstrate better SIR when the sensor interval becomes narrower.

Keywords : SIR, acoustic lens, sonar, beam pattern, apodization

* 학생회원, ** 정회원, 숭실대학교 정보통신공학과
(Department of Information & Telecommunication
Engineering, Soongsil University)

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

※ 본 연구는 국방과학연구소의 사업 지원
(ADD-11-01-01-01)을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

접수일자: 2013년12월9일, 수정일자: 2014년3월18일,
수정완료: 2014년4월3일

I. 서 론

수중에서 해저를 탐사하여 고해상도의 영상을 얻어내는 시스템은 사이드 스캔 소나, 음향렌즈 카메라 등이 있고, 이중 수중음향렌즈 카메라는 위상배열을 사용하는 다른 배열 소나 시스템에 비해 렌즈를 통해 빔형

성을 구현하므로, 신호처리 부분이 간단하여 복잡도와 비용을 절감시킨다. 또한 소형으로 UUV(Unmanned Underwater Vehicle)에 탑재하여 사용하거나, 군용은 물론 민수 분야에서도 강이나 호수의 탐사에 사용될 수 있어 그 유용성이 크다.

기존의 음향렌즈 카메라 시스템으로는 미국 APL-UW (the Applied Physics Laboratory, University of Washington)와 BlueView의 LIMIS (the Limpet Mine Imaging Sonar)와 DIDSON (the Dual-Frequency Identification Sonar)이 있다. LIMIS의 구동 주파수는 2MHz로 12m 깊이, 64빔으로 운용된다. DIDSON의 구동 주파수는 듀얼로 구동되어 1.8MHz 일 경우 15m 깊이, 96빔으로 운용되거나 1.1MHz일 경우 35m 깊이, 48빔으로 운용된다. GLACIS (Glendora Lake Acoustic Imaging System)는 미해군 Naval Surface Warfare Center의 Glendora Lake Facility에서 개발되어 750kHz, 수심 60m 또는 30m에서 64빔으로 운용된다. 그 외에 ABIS II (Acoustic Barnacle Imaging Sonar)와 MIRIS (Mine Reacquisition and Identification Sonar)가 있다^[1~2]. 특히 APL-UW에서는 렌즈 시뮬레이션에서부터 측정 데이터로부터의 3D영상화까지 연구가 많이 진행된 상태이다^[3~5]. 또한 참고문헌 [5]에서는 수중노이즈를 줄이기 위해 1차원 신호의 filtering 알고리즘, 2차원 영상의 모폴로지 기법의 적용 그리고 3차원 compounding, registration과정에서도 multipath에 의한 영향을 줄여 영상의 SIR을 향상시킨다.

또한 참고문헌 [6]에서는 파라볼릭 함수 방법을 사용하여 수치적인 시뮬레이션을 하면서 음향 렌즈를 이용한 실시간 소나 시스템을 개발하였다. 참고문헌 [7]에서는 두 개의 음향렌즈를 이용하여 디자인한 하이브리드 음향렌즈의 빔패턴의 성능을 수조에서 실험하여 이동하는 스틸 튜브의 2D 영상을 얻었다.

빔패턴의 수신 메인로브가 넓으면 자체가 옆 센서에 간섭으로 작용한다. 이와 같이 수중음향렌즈로부터 방사되는 빔패턴은 대체로 빔폭이 넓은 성향을 보인다. 따라서 센서단에서 이러한 영향을 충분히 감안해야 한다. 간섭을 줄여 영상품질을 개선하기 위한 다각적인 연구가 필요하다.

다수의 빔을 형성할 경우, 임의의 빔은 주위의 빔으로부터 간섭을 받게 된다. 이 간섭을 신호대 간섭비

(SIR: Signal to Interference Ratio)로 나타낼 수 있고, SIR은 영상품질을 가늠하는 척도가 될 수 있다. 음향렌즈 카메라에서 빔패턴을 생성하고 영상품질을 검증하는데는 많은 시간과 비용이 소요된다. 따라서 시뮬레이션 빔패턴이 주어졌을 때, 그에 따른 SIR을 계산해서 영상 품질을 예측하고 높은 SIR을 갖기 위해서 센서간격을 어떻게 조정해야 하는지, 빔패턴의 모양 및 센서간격에 따른 SIR과의 상관관계에 대해 살펴본다. 또한 빔패턴과 센서간격이 고정되어 있을 때 SIR을 높이는 방법 중의 하나인 apodization 함수의 적용에 대해서 살펴본다^[9~11].

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 선형배열 센서에서의 빔형성, apodization 및 SIR의 이론적 배경을 살펴보고, III장에서 선형배열센서로부터의 센서간격에 따른 SIR과 다양한 센서에서의 apodization의 변화 및 시뮬레이션 음향렌즈 빔패턴로부터의 SIR을 살펴본다. IV장에서는 결론을 맺는다.

II. 이 론

음향렌즈의 빔패턴으로 시뮬레이션하기 위해 선형배열센서의 빔패턴 모델을 이용한다. 이 빔패턴을 사용하고 SIR을 계산하고 apodization을 적용한 영상 품질을 예측한다.

1. 선형배열센서의 빔패턴

Aperture 함수가 $g(x)$ 로 주어졌을 때, x 를 배열센서상의 축, N 은 배열 센서 개수($N=2M+1$, N 은 홀수)이고, d 는 등간격으로 위치한 선형배열센서에서의 센서간격이다.

$$g(x) = \sum_{n=1}^N a_n \delta(x - nd) \quad (1)$$

이때의 빔패턴은 $G(u)$ 로 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} G(u) &= \int_{-\infty}^{\infty} g(x) e^{j2\pi ux} dx \\ &= \sum_{n=-M}^M a_n e^{j2\pi n d u} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 u 는 $\frac{f \sin \psi}{c}$, f 는 구동주파수, c 는 음속으로

1540m/s, ψ 는 x축에 수직인 빔패턴이 향하는 축을 중심으로한 빔패턴의 각도이다.

2. Apodization과 빔패턴

Apodization이 적용되지 않았을 때, $a_n = \frac{1}{N}$ 이다.

또한 $e^{j2\pi du}$ 을 r 로 치환하면,

$$G(r) = \frac{1}{N} \sum_{n=-M}^M r^n = \frac{1}{N} \frac{r^{N/2} - r^{-N/2}}{r^{1/2} - r^{-1/2}} \quad (3)$$

또는

$$G(u) = \frac{1}{N} \frac{\sin(\pi u N d)}{\sin(\pi N d)} \quad (4)$$

가 된다^[8].

Apodization이 적용되면, a_n 이 N point의 window함수 값으로 치환된다. 빔패턴 $G(u)$ 는 u 에 따라 즉 주파수에 따라 변하는 특성을 갖는다. 다음은 본 논문에서 고려하는 5 가지 window 함수를 정리하였다.

가. Chebyshev window

Chebyshev 다항식은 식 (5)와 같이 정의된다^[9].

$$T_n(x) = \begin{cases} \cos(n \cos^{-1} x), & \text{if } |x| \leq 1 \\ \cosh(n \cosh^{-1} x), & \text{if } |x| > 1 \end{cases} \quad (5)$$

정의로부터 식 (6)과 같은 반복적인 관계가 도출된다.

$$\begin{aligned} T_0(x) &= 1, \quad T_1(x) = x, \\ T_n(x) &= 2x T_{n-1}(x) - T_{n-2}(x), \quad n \geq 2 \end{aligned} \quad (6)$$

큰 x 에 대해, $T_n(x)$ 는 식 (7)과 같다.

$$T_n(x) \approx 2^{n-1} x^n \quad (7)$$

이때 a_n 은 식 (8)과 같다.

$$a_n = \frac{1}{N} \left[1 + 2r \sum_{m=1}^M T_{2M} \left(x_0 \cos \frac{\theta_m}{2} \right) \cos m \theta_m \right], \quad (8)$$

$$|n| \leq M, \quad N = 2M + 1, \quad \theta_m = 2\pi m / N$$

나. Hanning window

L point의 대칭 Hanning window의 a_n 은 식 (9)와

같다^[10].

$$a_n = 0.5 \left(1 - \cos \left(2\pi \frac{n}{N} \right) \right), \quad 0 \leq n \leq N \quad (9)$$

이때 window 길이는 $L=N+1$ 이다.

다. Kaiser window

Kaiser window는

$$a_n = \begin{cases} \frac{I_0[\beta(1 - [(n-\alpha)/\alpha]^2)^{1/2}]}{I_0(\beta)}, & 0 \leq n \leq N \\ 0 & \text{그 외의 경우} \end{cases} \quad (10)$$

로 정의된다. 여기서 $\alpha = N/2$ 이고, $I_0(\cdot)$ 는 0차의 변형 제1종 베셀함수이다. Kaiser window는 두 개의 파라미터, 즉 길이 $(N+1)$ 과 형상파라미터 β 로 조정된다. 여기서 β 는 2.5를 사용한다^[11].

라. Rectangular window

Rectangular window는 window를 취하지 않았을 때와 동일하다.

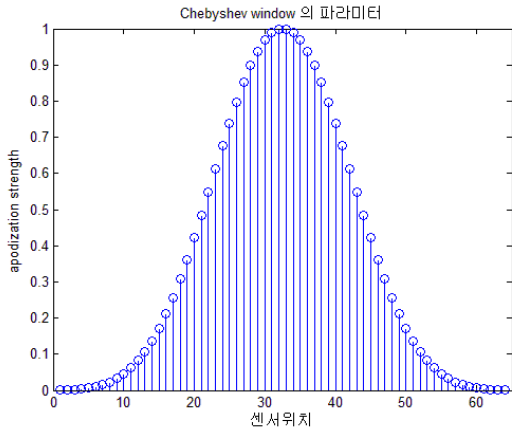
$$a_n = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \leq N \\ 0 & \text{그 외의 경우} \end{cases}$$

마. Triangular window

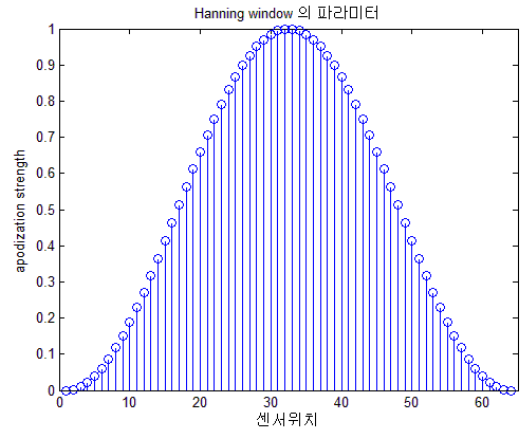
L point의 triangular window의 a_n 은 L이 짝수일 때 다음 식 (11)과 같다^[10].

$$a_n = \begin{cases} \frac{2n}{L}, & 1 \leq n \leq \frac{L+1}{2} \\ \frac{2(L-n+1)}{L}, & \frac{L}{2} + 1 < n \leq L \end{cases} \quad (11)$$

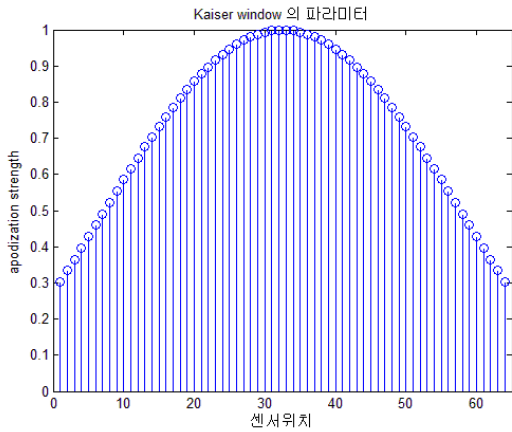
그림 1은 apodization이 각각 Chebyshev, Hanning, Kaiser, rectangular, triangular window가 적용되었을 때 apodization 가중치, a_n 을 도시하고 있다. 그림 2는 그때의 빔패턴을 도시한 그래프이다. 가중치에서 중심 값이 크고 양쪽 끝의 값이 낮을수록 사이드로브가 많이 감쇄된다.



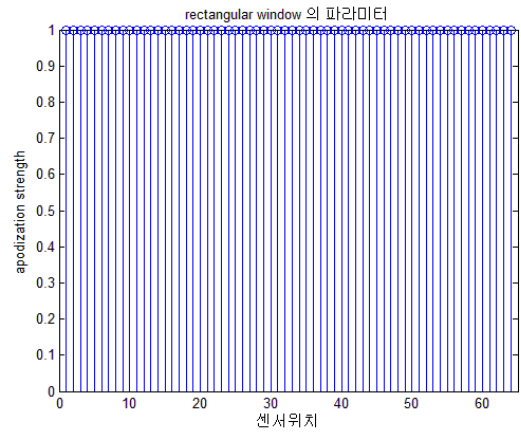
(a)



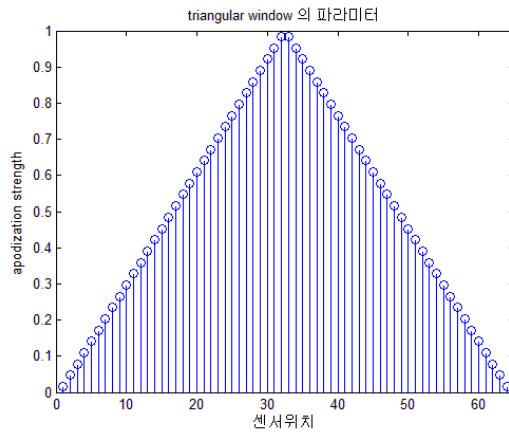
(b)



(c)



(d)



(e)

그림 1. Apodization 가중치 (N=64)

(a) Chebyshev window (b) Hanning window (c) Kaiser window (d) Rectangular window (e) Triangular window

Fig. 1. Apodization weighting value (N=64).

(a) Chebyshev window (b) Hanning window (c) Kaiser window (d) Rectangular window (e) Triangular window.

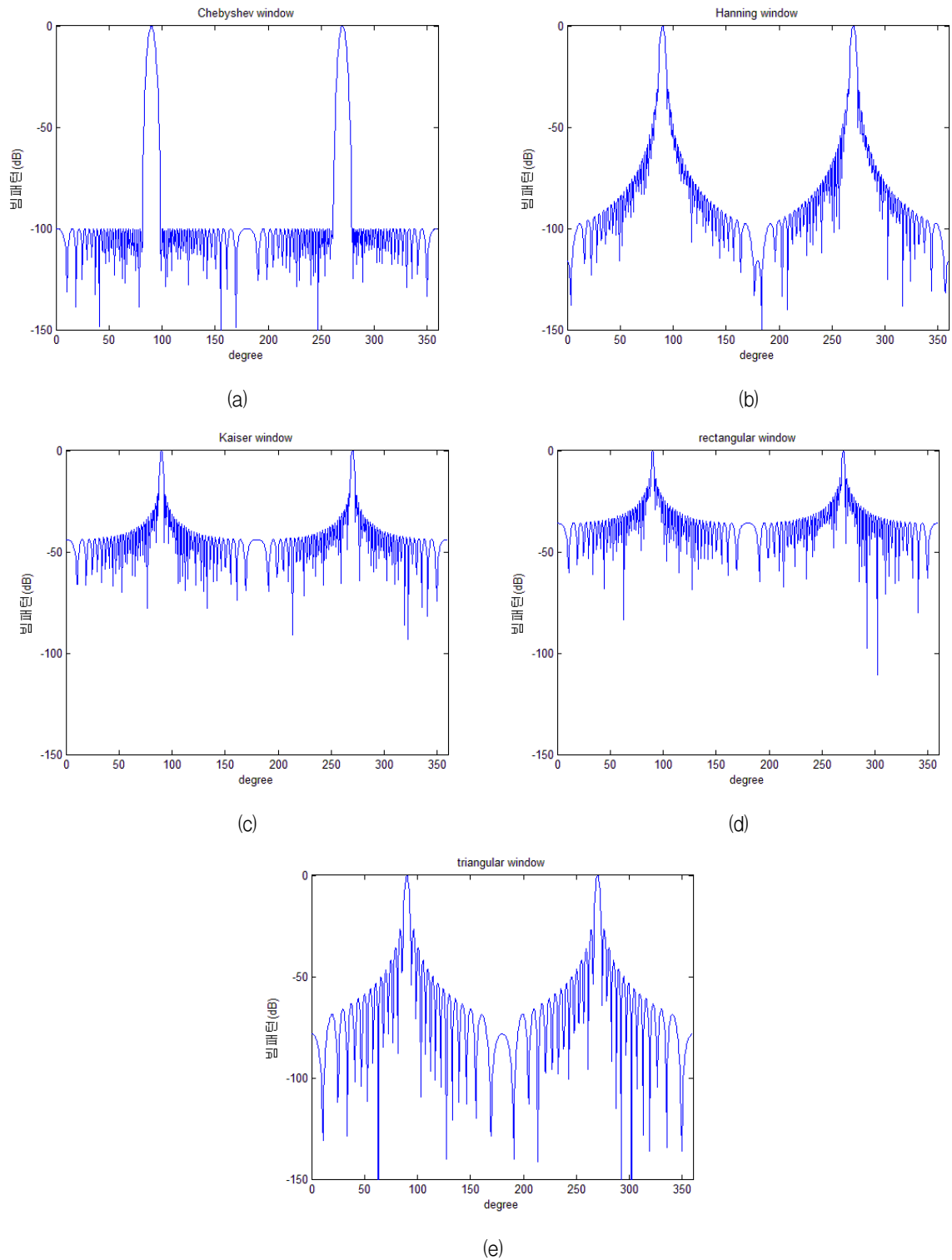


그림 2. Apodization 함수에 따른 빔패턴

(a) Chebyshev window, (b) Hanning window, (c) Kaiser window, (d) Rectangular window, (e) Triangular window

Fig. 2. Beampattern according to the apodization function.

(a) Chebyshev window, (b) Hanning window, (c) Kaiser window, (d) Rectangular window, (e) Triangular window.

3. 센서배열의 구조와 SIR

SIR은 신호와 간섭의 비율을 dB로 환산한 것으로, 그 값에 따라 수중음향렌즈 카메라의 영상 품질이 좌우된다. 본 논문에서는 센서들에서의 신호와 간섭에 주안점을 둔다. 센서로 입력되는 신호의 전력값은 1로 정규화한다. 간섭은 n 번째 배열센서에 주위의 다른 센서로 입력되는 신호들의 합이다. SIR의 정의는 식 (12)와 같다. $S(n)$ 은 배열센서 n 에서의 신호전력, $I(n)$ 은 배열센서 n 에서의 다른 센서로부터의 간섭이다.

$$SIR_n = \frac{S(n)}{I(n)} \quad (12)$$

SIR_{avg} 는 모든 센서에서 신호 대 간섭의 비를 합한 뒤 센서의 개수로 나눠주어 로그를 취한 값이다. 여기서 N 은 센서의 개수, SIR_n 는 센서 n 에서의 SIR이다.

$$SIR_{avg} = 20\log_{10}\left(\frac{\sum_{n=1}^N SIR_n}{N}\right) \quad (13)$$

SIR을 계산할 때, 바로 옆 센서는 방사 빔패턴에서 90° 를 의미하므로 센서의 위치에서 바로 계산하지 않고, h_{out} 지점에서의 신호대 간섭의 비로 계산한다.

선형배열센서로부터의 빔패턴을 이용한 SIR의 계산시, 빔패턴은 이를 이용하지만, 수중음향렌즈 카메라에 빔패턴들은 방사되는 안쪽을 중심으로 하여 원형으로 방사한다. 즉 빔패턴을 빔조종처럼 방사시키기 위해 배열센서를 방사형으로 배치한다. 이때 센서 중심으로부터 센서까지의 거리는 h_{in} 이고, 초점거리는 h_{out} 이다.

그림 3은 배열센서가 방사형으로 위치되고, 배열센서

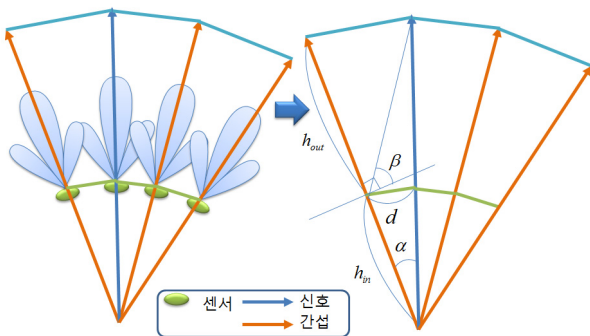


그림 3. 수중음향렌즈 카메라에서 배열 센서와 빔패턴
Fig. 3 Sensor arrays and beampattern in the acoustic lens camera.

의 중심에서 배열센서간의 간격 α , 중심에서 센서까지의 거리 h_{in} , 센서에서 초점까지의 거리 h_{out} , interference angle β 로서 수중음향렌즈 카메라의 방사하는 빔패턴으로부터 SIR을 구하기 위한 빔패턴 방사 구조를 표현한 그림이다.

$$\alpha = 2\sin^{-1}\left(\frac{d}{h_{in}}\right) \quad (14)$$

여기서 식 (14)는 배열센서가 그림 3과 같이 방사형으로 존재한다고 가정할 때, 그 각도인 α 의 수식이다. 식 (15)는 interference angle, 즉 간섭신호의 원신호에서의 각도이다.

$$\beta = \pi/2 - \left(\alpha + \tan^{-1}\left(\frac{h_{in}\sin\alpha}{(h_{in} + h_{out}) - h_{in}\sin\alpha}\right)\right) \quad (15)$$

III. 빔패턴과 SIR

본 연구의 목적은 임의의 빔패턴이 주어졌을 때 SIR을 계산하여 음향렌즈의 영상품질을 예측하는 것이다. 먼저, 위상배열센서 빔패턴으로 SIR을 도출하고 apodization 및 센서간격에 대해 조사한다. 또한 유한요소 방법으로 구한 음향렌즈 시뮬레이션 빔패턴으로 센서간격에 따른 SIR을 계산한다.

1. 센서간격과 SIR

배열센서의 센서간격을 어떻게 설정하느냐에 따라 SIR은 변한다. 빔패턴이 3dB일때의 각도는 α_{3dB} 이다. 이때 L 은 Nd 이다.

$$\alpha_{3dB} = 50\lambda/L(\text{degree}) \quad (16)$$

이 각도를 중심각으로 잡았을 때 센서간격을 변화시키면서 센서 간격에 따른 SIR의 변화를 살펴본다. 여기서 f 는 5kHz, N 은 64개, h_{out} 은 300mm로 설정하였다. 위상배열센서의 α_{3dB} 은 0.3008° 이다. 빔폭의 초기 값,

표 1. SIR 추정을 위한 파라미터
Table 1. Parameters for estimating SIR.

f	N	h_{out}	α_{3dB}	α_i
5kHz	64개	300mm	0.3008°	0.15°

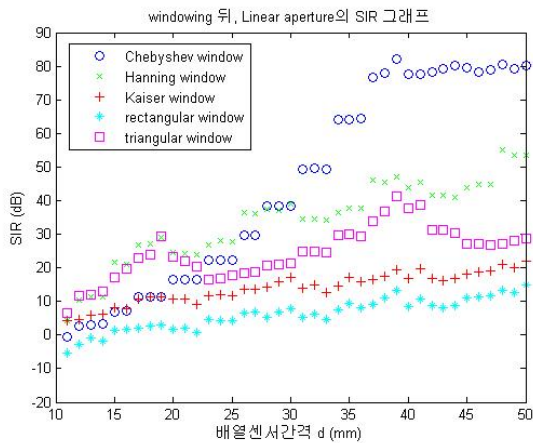


그림 4. 센서의 간격(mm)에 따른 SIR 변화 (window 취함)
Fig. 4. SIR according to the sensor interval (mm) with windowing.

α_i 은 0.15°로 설정하였고, 그 값은 표 1과 같다. 이때의 빔패턴은 그림 2-(d)와 같고, SIR은 그림 4에서의 rectangular window의 예와 같다. 기본 빔패턴은 빔폭이 좁고 급격히 감소하지만 사이드로브 값이 크다. 따라서 SIR이 13mm에서 0-10dB로 안정이 되지만, SIR이 크게 높지 않다. SIR은 센서의 간격이 증가할수록 증가하므로, 물리적으로 가능한 센서간격의 범위를 정

한 뒤, 그 범위에서 SIR이 가장 낮은 위치에서의 센서간격을 최적의 센서간격으로 선정하는 것이 영상품질향상에 유리하다. 여기서는 13mm이상에서 물리적으로 적정한 선에서 SIR이 최고값을 갖는 센서간격을 선정하는 것이 영상품질향상에 도움이 된다.

2. Apodization을 통한 SIR 향상

그림 2-(a)의 Chebyshev 윈도우 빔패턴의 경우, 메인로브가 넓은 편이고 사이드로브가 급격히 낮아지는 형태를 취한다. 따라서 SIR도 메인로브의 영향에서는 낮다가, 급상승하여 사이드로브의 영향을 받는 곳에서는 일정값을 유지한다. 그림 2-(b)의 Hanning 윈도우와 (c)의 Kaiser 윈도우 빔패턴을 비교하면, (b)는 메인로브가 넓고 (c)는 (b)에 비해 사이드로브가 완만히 떨어지지만 사이드로브의 준위가 높다. 따라서 그림 4에서 SIR은 (b)의 메인로브의 영향에서 가파르게 상승하고, (c)는 SIR이 전체적으로 낮은 값을 가진다. 그림 2-(e), 그림 4에서 triangular 윈도우 빔패턴의 경우, SIR이 메인로브의 영향으로 증가하다가 다시 떨어지는 것은 두 번째 사이드로브가 영향력이 다시 커지기 때문이다. 이와 같이 빔패턴은 SIR에 밀접한 영향이 있고 apodization 함수에 따라 SIR이 변한다.

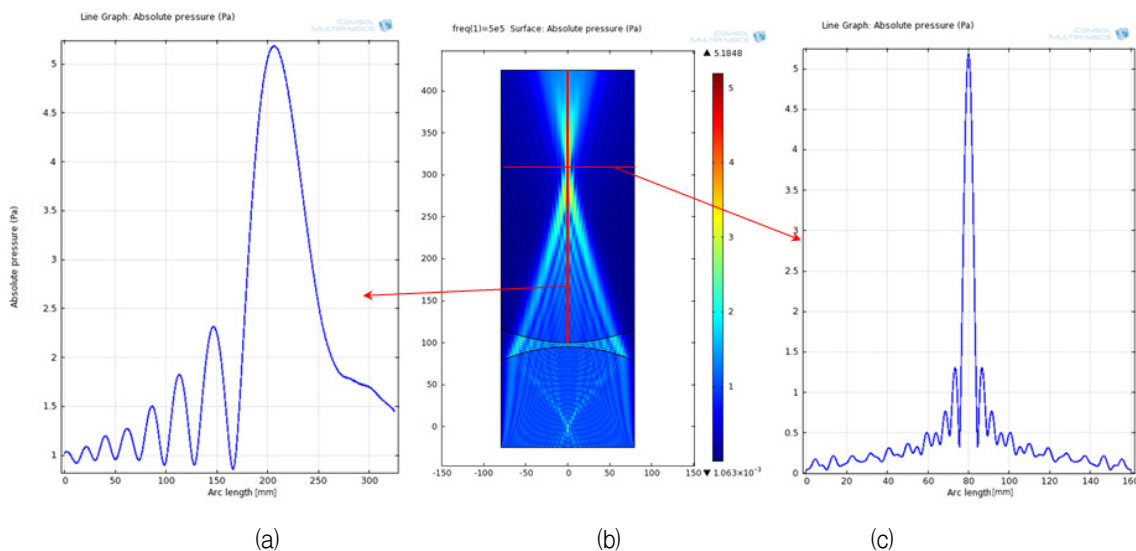


그림 5. (a) 그림 (b)의 y축 방향(빨간선)에서의 음압, (b)음향렌즈를 통한 유한요소법으로 구현한 음압 분포 (x, y축의 단위는 mm), (c) 그림 (b)의 x축 방향(빨간선)에서의 음압
Fig. 5. (a)Acoustic pressure along the direction of y axis(Red line) in Fig. 5-(b), (b)Distribution of acoustic pressure using the finite elements method (The unit of each axis is mm), (c)Acoustic pressure along the direction of x axis(Red line) in Fig. 5-(b)

3. 수중음향렌즈의 빔패턴과 SIR분석

그림 5는 COMSOL을 이용한 수치 해석 적용으로부터 얻어진 음향렌즈의 시뮬레이션 빔패턴이다. 이에 대한 SIR 분석을 수행하였다. 그림 5의 음향렌즈 시뮬레이션 빔패턴은 방사각에 따른 빔패턴이 아닌 초점거리에서 x축에서의 빔패턴 자체이므로 II-3절에서 설명된 과정없이 직접 SIR을 계산한다. 그림 5-(a)는 focal depth (y축 방향 빨간선에서의 음압)에서의 음압을 나타내며 그림 5-(b)는 위에서 바라본 음압이다. 그림 5-(c)는 그림 5-(b)의 focal plane(x축 방향 빨간선에서의 음압)에서의 음압이다.

그림 6은 그림 5-(c)의 COMSOL을 이용한 수치 해석 적용으로부터 얻어진 음향렌즈의 시뮬레이션 빔패턴을 x축 방향으로 센서를 배치시켰을 때, 각 센서(빔패

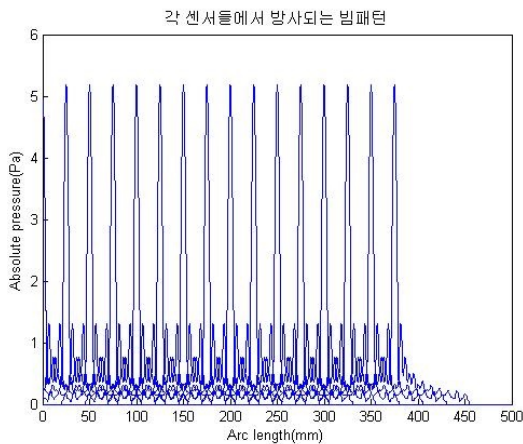


그림 6. x축 방향에서 센서들의 빔패턴들
Fig. 6. Beampatterns in sensors on x-axis

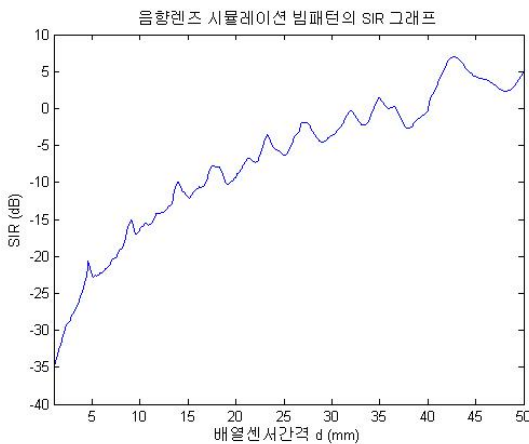


그림 7. 센서 간격(mm)에 따른 SIR의 변화
Fig. 7. Changing in SIR according to the sensor interval (mm).

턴에서 최대값들의 위치)로부터의 빔패턴들이다. 각 센서들의 위치 사이의 간격이 배열센서간격을 의미한다. 16개의 센서로 구성되어 있고 각 센서의 위치에 메인로브가 솟아있고, 사이드로브들이 간섭을 이룬다. 메인로브의 최대값은 약 5Pa를 상회한다.

그림 7은 그림 5-(c)의 COMSOL을 이용한 수치 해석 적용으로부터 얻어진 음향렌즈의 시뮬레이션 빔패턴으로부터 배열센서간격에 따른 SIR의 변화를 도시한 그래프이다. SIR 그래프가 계속 상승하지 않고 상승과 하강을 반복하므로 센서의 대략적인 간격이 정해지면, 그래프를 참조하여 정확한 센서간격을 설정한다.

빔패턴의 모양, 즉 메인로브의 폭과 사이드로브의 크기 및 모양에 따라 SIR이 변한다. 메인로브의 폭이 크면, 메인로브가 옆신호의 간섭으로 간주되어 SIR이 큰 폭으로 떨어진다. 하지만, 그 구간을 벗어나면서 SIR은 상승하고, 사이드로브의 모양에 따라 SIR의 상승률이 바뀌고 상승과 하강을 반복한다. 따라서 메인로브의 영향에서 벗어나는 센서의 간격부터를 유효 센서간격으로 보고 그보다 큰 센서간격중 물리적인 적정선을 선정할 후 SIR이 커지도록 센서간격을 선택한다.

Apodization을 적용하지 않으면 그림 2-(d), 즉 그림 4의 rectangular 윈도우에서처럼 SIR이 낮으므로 사이드로브를 낮추는 apodization 함수를 적용하여, SIR을 높인다. 즉 빔패턴이 고정되더라도 apodization 함수를 이용하여 SIR을 높일 수 있다. 또한 센서의 간격이 고정되더라도 다른 apodization 함수를 적용하여 SIR을 높인다.

apodization 함수에 따라 SIR의 변화가 심하므로 적절한 함수 선정에 유의한다. 메인로브를 넓게 혹은 좁게하거나 사이드로브 준위가 선형적으로 감소하거나 급격히 낮아지거나 사이드로브 준위가 확연히 낮거나 높거나 등의 선택을 한다. 예를 들어, 센서간격이 넓어도 되고 높은 SIR을 요구할 경우에는 그림 2-(a)의 Chebyshev 윈도우를 선정하는 것이 낮고, 센서간격이 좁아야 할 경우는 SIR이 낮은 값에서 높은 값을 가지는 그림 2-(e)의 triangular 윈도우를 선정하는 것이 영상 품질을 향상시킨다.

IV. 결론

빔패턴의 모양, 센서의 간격, apodization window 등

은 SIR에 영향을 주는 주요 요소들이다. 음향렌즈의 빔패턴은 물리적인 한계로 빔패턴이 넓은 경우가 일반적이다. 따라서 가능한 좁게 만드는 것이 중요하며, 그런 뒤 빔패턴의 메인로브가 사이드로브의 영향을 받지 않는 범위에서 센서의 간격을 설정한다. 메인로브가 넓거나 사이드로브가 너무 크기가 크다면 적절한 apodization을 적용하여 이의 영향을 감소시킨다. 기본 빔패턴은 그림 2-(d)의 rectangular 윈도우 빔패턴에서와 같이 빔폭이 좁고 급격히 감소하지만 사이드로브 준위가 높다. 따라서 그림 4와 같이 SIR이 13mm에서 0-10dB 로 안정이 되지만, SIR이 크게 높지는 않다. 따라서 SIR을 높이기 위해서는 사이드로브를 낮춰야 한다. 그림 2-(a)에서와 같은 Chebyshev 함수를 적용할 경우, SIR은 80dB 까지 높아지지만, 메인로브가 넓어지므로 이 영향을 받지 않는 구간인 37mm이상인 구간까지 센서간격을 유지해야한다. 이 예에서는 SIR이 10dB에서 80dB까지 상승하지만, 센서간격도 13mm에서 37mm정도까지는 넓히는 경우에 한한다. 센서간격이 그보다 좁아지면 작은 SIR을 얻는다. 따라서 물리적으로 센서를 넓게 배치해도 되는 경우에는 높은 SIR을 얻기 위해 최소 37mm까지 센서간격을 넓히는 것이 영상품질 향상에 도움이 된다. 작은 센서간격에서 더 높은 SIR을 얻기 위해서 그림 2-(b)의 Hanning 함수나 그림 2-(e)의 triangular 함수를 사용한다.

REFERENCES

- [1] Edward O. Belcher, Dama C. Lynn, Hien Q. Dinh, Thomas J. Laughlin, "Beamforming and Imaging with Acoustic Lenses in Small, High-frequency Sonars", The Proceedings of Oceans '99 Conference, vol.3, pp. 1495-1499, 1999, Seattle WA
- [2] Edward O. Belcher, CWO2 Jeffery R. Barone, Dennis G. Gallagher, Robald E. Honaker, "Acoustic Lens Camera and Underwater Display Combine to Provide Efficient and Effective Hull and Berth Inspections", Oceans Conference 2003, vol. 3, pp. 1361-1367, 2003, San Diego, CA
- [3] Edward O. Belcher, Brian Matsuyama, Gary Trimble, "Object Identification with Acoustic Lenses", OCEANS, 2001. MTS/IEEE Conference and Exhibition, vol.1, pp.6-11, 2001, Honolulu, HI
- [4] Kevin Fink, "Computer Simulation of Pressure Fields Generated by Acoustic Lens Beamformers", M.S. Thesis. University of Washington, 1994
- [5] Anthony J. Bladdek, "Visualization of Acoustic Lens Data", Visualization '93, Proceedings., IEEE Conference on, pp.316 - 323, San Jose, CA, 1993
- [6] Y. Takase T. Anada T. Tsuchiya N. Endoh N. Nakamwa T. Tukioka, "Real-Time Sonar System using Acoustic Lens and Numerical Analysis based on 2D/3D Parabolic Equation method", Japanese Journal of Applied Physics. vol 41, pp. 3509-3512, 2002
- [7] Ju Wu, Hongyu Bian, "Beam-forming and Imaging Using Acoustic Lenses: Some Simulation and Experimental Result", Signal Processing Systems (ICSPS), 2010 2nd International Conference on, vol. 2, pp. V2-764 - V2-768, 2010, Dalian
- [8] Matthias Woelfel, John McDonough, Distant Speech Recognition, Wiley, 2009, Chap 13. Beamforming
- [9] Peter Lynch, "The Dolph-Chebyshev Window: A Simple Optimal Filter", Monthly weather Review, Vol 125, pp. 655-660, 1996
- [10] Oppenheim, A.V., R.W. Schaffer, Discrete-Time Signal Processing, Prentice-Hall, 1989, pp. 447-448
- [11] Oppenheim, A.V., R.W. Schaffer, Discrete-Time Signal Processing, Prentice-Hall, 1989, pp. 453
- [12] Sophocles J. Orfanidis, *Electromagnetic Waves and Antennas*, 2002, Chapter 17.
- [13] Emilson Pereira Leite, *Matlab - Modelling, Programming and Simulations*, Sciyo, 2010, Chapter 13.
- [14] Dundgeon, Dan E. and Don H. Johnson, *Array Signal Processing, Concepts and Techniques* PRT Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993. Chapter 3.

저 자 소 개



이 지 은(학생회원)
 2003년 숭실대학교 정보통신전자
 공학부 학사
 2004년~2007년 GE Ultrasoud
 Korea
 2012년 숭실대학교 정보통신
 공학과 석사

2010년~현재 숭실대학교 전자공학과 박사 과정.
 <주관심분야 : 수중음향 영상처리, 수중음향 신호
 처리>



임 성 빈(정회원)-교신저자
 1986년 서울대학교
 전자공학과 학사
 1988년 서울대학교
 전자공학과 석사
 1994년 Univ. of Texas at Austin
 전기및컴퓨터공학과 박사

1995년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
 교수
 <주관심분야 : 비선형 신호처리, 통신 시스템>



심 태 보(정회원)
 1974년 서울대학교 문리대
 학사
 1980년 서울대학교 물리해양학
 석사
 1986년 루이지애나 주립대학교
 물리해양학 박사

<주관심분야 : 수중음향, 통신, 신호처리, 수중음
 향 영상처리>