

音響波를 이용한 水中 測位 시스템 開發

李 淙 植

〈韓國海事技術研究所 責任研究員〉

〈목 차〉

- 1. 서 론
- 2. Sonar 신호의 전파 특성
- 3. 능동소나 시스템설계와 신호처리기법
- 4. 수중측위 시스템의 실제구현 및 실험효과

1. 서 론

수중에서 음향파를 이용하여 수중물체의 위치, 속도 등을 측정하는 장비를 통털어 sonar라 부르며, 이러한 sonar의 응용범위는 매우 넓다. 과거에는 주로 군사용 sonar의 연구개발이 주를 이루었으나, 현재에는 상용 및 민간용 해양 개발 활동의 급격한 증대에 따른 비군사용 sonar의 개발도 매우 활발하다.

Sonar 시스템은 능동소나 시스템과 수동소나 시스템 두가지로 대별할 수 있다. 능동소나 시스템은 소나의 사용자가 음향에너지를 송신하고, 이 송신된 음파의 수중전파되어 돌아온 수신파를 분석하여 목표물(target) 또는 전파매질 환경에 대한 정보를 얻어내는 시스템이다. 능동소나 시스템의 적용에는 다음과 같다.

- 목표물의 탐지 및 위치 측정
- 수중통신
- 항해
- 해저면 및 해저 지형 탐사

수동소나 시스템은 수중에 존재하는 각종 소음원으로 부터 발산되는 음파를 수신하여 소음원에 대한 정보를 수집하는 시스템이며 수동소나 시스템의 주요 응용범위는 군사용 감시 시스템이다.

본 논문은 능동 sonar 시스템의 설계 및 제작시 고려해야 하는 sonar신호의 수중전파현상, 신호분석기법에 대해 기술하였으며, 또한 본 연구의 결과로 개발된 간단한 수중측위 능동 sonar시스템의 실제구현 및 실험결과에 대해서도 기술하였다.

2. Sonar 신호의 전파 특성

해양에서의 음향에너지 전파 특성은 sonar 시스템 설계에 매우 큰 영향을 미친다. 이 장에서는 다중 경로 전달 현상, 해양환경소음, 해저면 및 수면에서의 반사 현상 등 sonar 시스템 설계시 고려해야 할 해양음향 환경에 논하였다.

2.1 음파의 수중 전파 현상

Sonar 시스템 설계시 고려해야 하는 세가지

중요한 전파현상은 다음과 같다.

- 발산현상(spreading)
- 흡음현상(absorption)
- 덕팅현상(ducting)

발산현상은 음파의 기하학적 전파에 따른 음향에너지의 감쇠현상이며, 음파에너지가 음파 전달거리의 자승에 반비례하는 구면 전파 모델 또는 음파전달 거리에 반비례하는 수평층 전파 모델을 이용하여 모델링 할 수 있다. 근거리 소나 설계시에는 구면전파 모델이 적합하며, 원거리 소나 설계시에는 수평층 전파 모델이 적합하다. 이외 해저면의 영향이 큰 천수(shallow water)에서 사용되는 소나 시스템 설계시에는 음파에너지가 음파 전달거리의 3/2승에 비례한다는 모델을 사용하는 것이 좋다.

발산현상에 의한 음향에너지의 감쇠는 흡음현상에 의한 감쇠가 비교적 적은 근거리 전파현상 해석시 중요하며, 음파의 원거리 전파시에는 흡음현상이 음향에너지의 감쇠를 지배한다.

능동소나 시스템의 경우 높은 각 해상도 및 광대역 신호를 얻기 위해서 가능한 높은 주파수의 신호를 사용해야 하나, 사용가능한 최고의 주파수는 고주파 음파의 높은 흡음율에 의해 제한된다. 능동소나 시스템에서 일반적으로 사용되는 주파수 범위는 2~40kHz이다.

덕팅현상은 해양수심이 음파의 파장에 비해 적을 경우 발생하는 현상으로, 저주파 음파의 전달현상 해석시 중요한 요소이다. 고주파 음파를 사용하는 능동소나 계통 설계시에는 일반적으로 무시할 수 있다.

2.2 소음(Noise)

소나 시스템의 성능에 영향을 미치는 소음은 다음과 같이 구분할 수 있다.

- 해양환경 소음(ambient noise)
- 자체 소음(self noise)
- 반향 소음(reverberant noise)
- 유체유기소음(flow noise)

해양환경 소음은 소나시스템 사용자가 관심을 갖고 있는 목표물 이외의 각종 소음원에서

발생하는 소음을 말한다. 자체소음은 소나시스템을 탑재하고 있는 선박에서 발생하는 소음을 말한다. 반향 소음은 능동소나 시스템의 경우 소나시스템 사용자가 관심을 갖고 있는 목표물 이외의 물체에서 반사되어 소나시스템에 들어오는 소음을 말한다. 이러한 반향현상의 발생에 대한 물리적 이해도 중요하지만 능동소나 설계시 가장 중요시 고려해야 할 사항은 반향현상이 음향에너지를 거리, doppler 등의 함수로 어떻게 산란시키는가를 분석하는 것이다. 이러한 산란현상의 분석을 위하여 scattering function이 자주 사용되며, 이 함수는 음파 전달 매체의 반향특성을 규정짓는다.

2.3 경계면에서의 반사현상

해저면과 수면은 음향에너지를 해수중에 가두어 두는 경계면으로 볼 수 있다. 해수면은 입사된 음향에너지를 180° 위상차로 전부 반사시키는 반사계수가 -1인 경계면으로 모델링되며, 해저면은 입사된 음향에너지가 부분적으로 반사되는 반사계수가 0.01에서 0.3(-40dB ~ -10dB)인 경계면으로 모델링된다.

해저면에서의 반사특성은 음향에너지 반사율과 음향에너지의 시간에 따른 퍼짐정도(dis-persion)로 특성지을 수 있다. 암반 또는 다져진 가는 모래로 형성된 해저면의 반사율이 가장 크며, 진흙으로 형성된 해저면의 반사율이 가장 작다. 음향파의 입사각(θ)에 따라서 반사율은 변하며, 이 반사율의 변화는 $\sin^2(\theta)$ 에 비례한다.

공기와 물의 큰 음향 임피던스 차이로 해수면은 매우 높은 반사율을 갖는다. 해수표면의 roughness는 time dispersion을 일으키며, 파도 운동에 의한 doppler spreading도 일어날 수 있다.

3. 능동소나 시스템 설계와 신호처리 기법

이 장에서는 능동소나 시스템 설계시 필요한 신호처리 기법에 대하여 다루었다. 능동소나

설계시 필요한 신호처리 기법은 다음과 같이 크게 두 분야로 나눌 수 있다.

- receiver design(수신부 설계)
- signal design(신호설계)

수신부 설계는 측정된 반사파로부터 어떻게 하면 사용자가 원하는 정보를 정확하게 얻어낼 수 있는가를 연구하는 분야이며, 신호 설계는 수신부의 성능을 최적화 시키기 위해 필요한 송신파를 설계하는 분야이다.

능동소나 시스템에서의 신호 처리는 다음과 같은 3단계로 구분할 수 있다.

- front-end processing
- environmental processing
- target analysis

front-end processing은 수신된 파에 matched filtering을 수행하는 단계이며, matched filtering에 대해서는 3.3절에 자세히 설명되어 있다. environmental processing은 front-end에서 자료를 전달받아 다경로 전달 및 doppler spreading 등 해양음향환경의 영향을 고려하는 단계이다. Target Analysis는 목표물의 운동 및 특성을 분석하는 단계이다.

3.1 능동소나 신호의 종류

능동소나에서 송신되는 신호의 형태는 송신부에서의 신호생성 기술 및 송신부에서의 신호처리 기술에 의해 결정된다. 이러한 기술의 계속적인 발전에서 불구하고 거의 모든 능동소나 시스템의 설계는 correlation에 그 기본을 두고 있다. 그러므로 능동소나 신호 설계는 어떻게 하면 송신 신호의 correlation 특성을 잘 이용할 수 있는가를 연구하는 것이다.

그림1은 현재 많이 사용되고 있는 능동소나 신호의 종류를 보여주고 있다. 가장 간단한 능동소나 신호의 하나로 식(1)과 같이 표현되는 gated continuous wave(cw) tone이 있다.(그림 1(a))

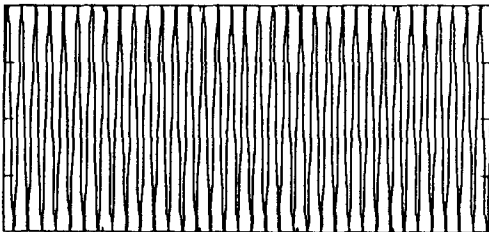
$$s_t(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2E_t}{T}} \cos(2\pi f_c t), & 0 \leq t \leq T \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (1)$$

여기서, E_t : 송신파 에너지

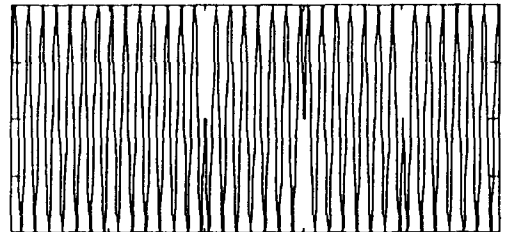
T : 펄스폭

f_c : carrier frequency

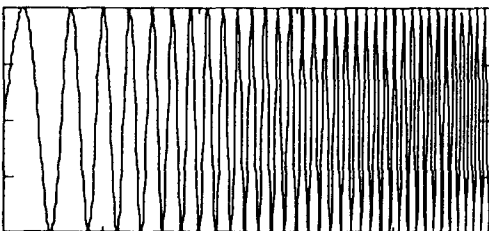
두번째로 pseudo-random noise(PRN)이라 불리는 형태의 신호가 있다. 이 신호는 주어진 규칙에 따라 위상이 변조된 gated tone의 연결



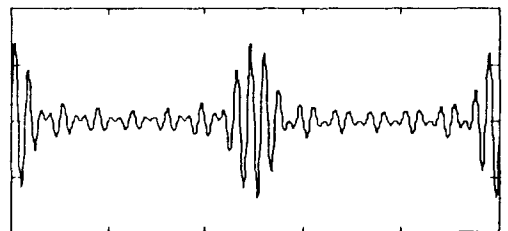
(a) Rectangular CW pulse



(b) Coded Pulse



(c) Frequency Modulated Chirp



(d) Frequency Shifted Coded Pulse

Fig1. Examples of Sonar Signals

로 구성되어 있다.(그림 1(b)) 세번째로 신호의 생성이 비교적 쉽고 거리 해상도가 뛰어난 주파수 변조(FM)신호를 들 수 있다.(그림1(c)) 마지막으로 수중통신에 많이 사용되는 frequency diversity coded 신호 유형이 있다. 이 신호는 전송하고자 하는 정보를 각기 다른 주파수를 갖는 tone에 실어 동시에 전송하는 방법이다.(그림 1(d)) 시간 영역에서의 이 신호는 매우 복잡해 보이나 주파수 영역에서는 각 해당 주파수에 존재하는 선의 집합으로 간단하게 표현된다.

3.2 능동소나 신호의 복소수 표현방법 (Complex envelope representation)

능동소나 시스템은 일반적으로 협대역 신호(주파수 대역이 carrier frequency의 10% 이하인 신호)를 사용하므로, 능동소나 시스템의 설계·해석시 실제 사용되는 협대역 고주파 신호를 사용하는 것보다 협대역 신호의 복소수 표현법(carrier frequency가 제거된 저주파 신호)을 사용하는 것이 편리하다. 복소수 표현법으로 표현된 협대역 신호는 complex envelope 또는 complex process라 불린다. 협대역 소나 신호 $n(t)$ 의 carrier frequency를 f_c Hz, Bandwidth를 W Hz라 할 경우, 이 협대역 신호는 저주파수 신호(baseband signal) $n_c(t)$ 와 $n_s(t)$ 를 이용하여 식(2)와 같이 표현될 수 있다.[1]

$$n(t) = \sqrt{2}n_c(t)\cos(2\pi f_c t) + \sqrt{2}n_s(t)\sin(2\pi f_c t) \quad (2)$$

$n_c(t)$ 와 $n_s(t)$ 는 그림2의 왼쪽부분(decomposition부)을 이용하여 $n(t)$ 로부터 얻어지며

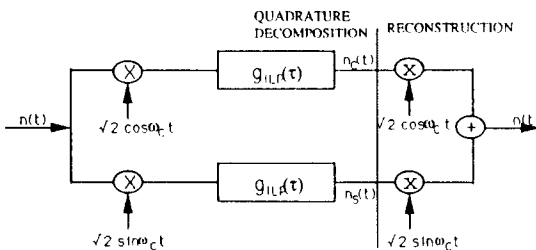


Fig2. Generation of complex envelope and reconstruction of bandpass process

식(3), 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$n_c(t) = [\sqrt{2}\cos(2f_c t)n(t)]LP \quad (3)$$

$$n_s(t) = [\sqrt{2}\sin(2f_c t)n(t)]LP \quad (4)$$

윗식에서 $[\cdot]LP$ 는 cut off frequency가 W Hz이고 gain이 1인 이상적인 low pass filter를 의미한다.

이러한 복소수 표현법은 능동소나 시스템에서의 신호처리 설계 및 해석을 간편한 식으로 표현할 수 있도록 해주며, complex envelope가 저주파 신호이므로 능동소나 시스템의 디지털 구현시 낮은 sampling rate를 사용할 수 있다는 장점이 있다.

그림3은 그림 1(c)에 주어진 FM신호의 complex envelope를 보여주고 있다.

3.3 능동소나 수신부에서의 신호처리 (Receiver Design)

능동소나에서 송신된 신호는 수중으로 전파되고 Target에서 반사되는 과정에서 변형되고 해양에 존재하는 소음과 함께 능동소나 수신부에 돌아올 것이다. 이러한 수신파를 모델링하는 가장 간단한 모델이 소위 slowly fluctuating point target 모델이며, 이 모델을 사용할 경우 능동소나 수신부 구조는 능동소나 수신부 종류 중 가장 중요한 correlation receiver 구조를 갖게 된다. slowly fluctuating point target model 이외에 doppler-spread target model 및 range-spread target model 등 더 복잡한 모델링 방

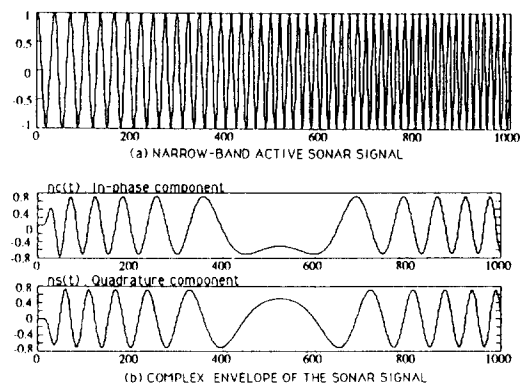


Fig3. Complex Envelope of a LFM Sonar signal

법이 있으나 이에 대해서는 참고문헌[1]을 참조하기 바란다.

Slowly fluctuating point target model은 능동 소나에 수신되는 신호가 target의 거리 및 속도에 따라 지연되고 doppler-shift된 송신신호와 해양소음으로 구성되어 있다고 가정하는 방법으로 수신된 신호 $r(t)$ 를 다음과 같이 표시한다.

$$r(t) = \sqrt{2E_r} \operatorname{Re}[\alpha e^{j\theta} \tilde{s}_t(t-\tau) e^{j2\pi f_d t} e^{j2\pi \alpha t}] + w(t) \quad (5)$$

여기서, τ : delay

f_d : doppler shift

α : attenuation, Rayleigh random variable (zero-mean, variance σ_α^2)

θ : phase, Uniformly distributed random variable

$w(t)$: interference noise

여기서 진폭의 감쇄 α 는 Rayleigh distribution을 갖는 random variable로, 위상 θ 는 uniform distribution을 갖는 random variable로 가정한다.

그림4는 Slowly fluctuating point target model의 탐지를 위한 Correlation Receiver의 구조를 보여준다. 이 Correlation Receiver의 기본 동작은 식(6)과 같이 표현된다.

$$l = \left| \int_0^T \tilde{r}(t) \tilde{s}_t^*(t; a) dt \right|^2 \quad (6)$$

여기서, \tilde{r} : 수신파의 complex envelope

l : likelihood function

$\tilde{s}_t(t; a)$: 미지변수 a 가 포함된 송신파의 복사

Target의 탐지가 목적일 경우 a 는 소나 사용자가 관심을 갖고 있는 target의 거리와 속도에 따라 결정되어, 식(6)에 따라 l 을 구한 후 l 값을 주어진 기준치(Detection Threshold, τ)와 비교하여 target의 존재 여부를 결정한다.

Target의 거리 및 속도를 추정하는 것이 목적일 경우 능동소나 시스템은 식(6)으로 표현되는 l 값을 delay 및 doppler-shift를 포함하는 a 의 함수로 구하여 l 의 값이 최대가 되는 a 를 이용하여 Target의 거리 및 속도를 추정한다.

3.4 수신부의 탐지성능

능동소나 수신부의 탐지 성능은 전통적으로 탐지확률(detection probability : P_D)과 거짓경보확률(probability of false alarm : P_F) 사이의 함수인 receiver operating characteristic(ROC)로 기술된다.

참고문헌[1]에 의하면 식(5)에 표시된 interference noise를 zero-mean white Gaussian noise(variance = N_0)라 가정할 경우 그림4에 주어진 correlation receiver의 P_F 와 P_D 는 식(7)과 식(8)과 같이 표현되며,

$$P_F = \exp(-\tau/N_0) \quad (7)$$

$$P_D = \exp\left[-\frac{\tau}{E_r + N_0}\right] \quad (8)$$

식(7)과 식(8)로 부터 ROC를 식(9)와 같이 구할 수 있다.(그림5)

$$P_F = (P_D)^{1 + E_r/N_0} \quad (9)$$

윗 식에서 E_r 은 수신파의 에너지 기대치이다. 식(9)로 주어진 correlation receiver의 ROC에서 특기할 사항은 correlation receiver의 탐지 성능은 오직 수신파의 signal-to-noise ratio E_r/N_0 만의 함수일 뿐 송신파형에는 아무런 영향을 받지 않는다는 사실이다. 이러한 특

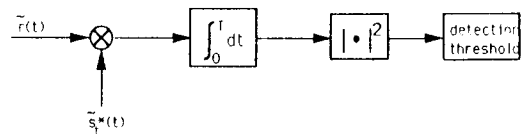


Fig4. Correlation receiver (complex operation)

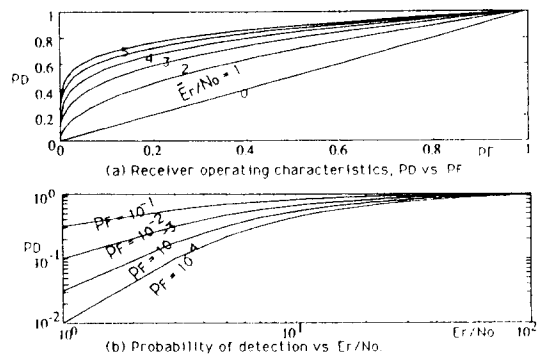


Fig5. Receiver operating characteristics, Rayleigh channel

정은 interference noise가 white Gaussian일 경우에만 해당되는 특징이며, interference noise가 colored noise일 경우, 또는 음향전달 경로가 반향성을 가지고 있거나 target거리나 속도를 추정할 경우에는 송신파형이 능동소나의 성능에 영향을 미친다.

3.5 변수 추정 성능(Estimator Performance)

변수 추정 성능은 signal-to-noise ratio (SNR)가 높을 경우와 낮을 경우를 구분하여 평가하는 것이 편리하다. SNR가 높을 경우 변수 추정 성능은 ambiguity function의 원점(추정치와 실제값이 일치하는 점) 근처에서의 특성에 의해 좌우되며, SNR가 낮을 경우 ambiguity function의 side lobe 특성이 중요해진다. 첫번째 경우를 local accuracy라 부르며 두번째 경우는 global accuracy라 부른다.

참고문헌 [1] page 294~299에 따르면 local accuracy는 식(10), 식(11)로 주어진다.

$$\text{Var}[\hat{\tau} - \tau] \geq \left[\frac{2\sigma_b^2 E_t}{N_o} \int_{-\infty}^{\infty} f^2 |\hat{\zeta}_t(f)|^2 df \right]^{-1} \quad (10)$$

$$\text{Var}[\hat{f}_d - f_d] \geq \left[\frac{2\sigma_b^2 E_t}{N_o} \int_{-\infty}^{\infty} t^2 |\hat{\zeta}_t(t)|^2 dt \right]^{-1} \quad (11)$$

SNR이 낮을 경우 ambiguity function의 side lobe에 의한 추정오류가 발생할 가능성이 높으며, 이 경우 target의 range 및 doppler에 대한 사전 정보가 매우 중요하다.

3.6 Pulse Sequence의 이용

지금까지는 한개의 pulse를 송신했을 경우에 대해서만 고려하였다. 능동소나 시스템에서 한개의 pulse만을 송신하는 경우는 거의 없으며 여러 개의 pulse를 계속적으로 송신하여 target를 탐지하거나 target의 특성을 추정한다.

Target 탐지의 경우 개별 pulse로 부터의 correlator 출력을 다 더하여 SNR을 높인 후 탐지 기준치와 비교하는 방법이 일반적으로 채택되고 있다. 합산되는 pulse의 갯수는 일반적으로 10~100개이다.

Target의 range나 doppler의 추정이 문제인 경우 각 개별 Pulse로 부터의 range 및 Do-

ppler estimates를 least-squares방법이나 Kalman filter의 입력으로 사용하여 target의 위치 추적을 하는 방법이 사용된다.

4. 수중측위 시스템의 실제구현 및 실험결과

앞장에서 논한 능동소나 시스템 설계 이론을 바탕으로 간단한 수중측위시스템을 설계·제작하여 실험을 수행하였다. 제작된 능동소나 시스템은 현재 상태 그대로 측정기 및 수중거리 측정기로 사용할 수 있으나, 입력 채널수의 증가 및 약간의 소프트웨어 추가를 하면 수중 작업선 등의 위치 확보 계통 및 수중 항해 장비로 사용할 수 있을 것이다.

제작된 능동소나 시스템은 송·수파용 초음파 트랜스 듀서, pre-amp, 송파 트랜스 듀서용 Power-amp, D/A 및 A/D변환기 및 능동소나 시스템의 모든 작동을 제어하고 각종 신호처리 알고리즘을 처리하는 TI(Texas Instrument)사의 신호처리 전문용 Micro Processor (Digital Signal Processor : DSP)TMS320C25로 구성되어 있다.

그림6은 본 수중측위 시스템의 구성을 보여준다.

4.1 송출파형 설계

송출파로 range 추정성능이 좋고, 송파 트랜스 듀스 및 Power-amp의 최대 출력 변화없이도 높은 에너지를 갖는 신호를 송출할 수 있는 LFM(Linear Frequency Modulated)펄스 신호를 선정하였다. 또한 연속적인 측정을 가능케

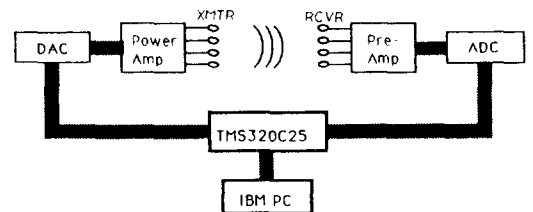


Fig6. Block diagram of the developed active sonar system

하고 측정치의 정확도를 높일 수 있도록 개개의 LFM 펄스를 연속적으로 송출할 수 있도록 설계하였다.

LFM 펄스신호는 식(12)와 같이 표현된다.

$$s(t) = p(t)\cos(\phi(t)) \quad (12)$$

여기서,

$$p(t) = \begin{cases} 1 & \text{for } 0 \leq t \leq T_p \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

$$\phi(t) = \pi \frac{Wt(t-T_p)}{T_p} + 2\pi f_c t$$

T_p = pulse width

f_c = carrier frequency

식(12)에 주어진 LFM 신호는 rectangular window를 갖는다. 그러나 실제 송파용 트랜스듀서의 효율적 작동 주파수 대역이 한정되어 있고, power-amp가 급격한 에너지의 변화에 따라갈 수 없으므로 식(12)에 주어진 송출파형은 송파용 트랜스 듀서에 보내도 동일한 파형의 음파가 생성되지 못한다. 그러므로 현재 개발된 능동소나 시스템은 송출펄스의 시작과 끝부분의 에너지 변화율을 줄이기 위하여 식(13)에 주어진 Gaussian envelope를 사용하였다.

$$g(t) = \begin{cases} \exp[-(t-T_p/2)^2/(2T_g^2)], & 0 \leq t \leq T_p \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (13)$$

여기서 T_g 는 Gaussian envelope 각점에서의 크기를 조종하는 변수이다. 그림 7은 $T_g=5$ 일 경우 Gaussian envelope를 보여준다.

LFM 펄스의 캐리어 주파수 f_c 와, f_p 주파수 폭 W 는 개발된 능동소나 시스템에서 사용한 송파용 초음파 소자의 수중 공진 주파수와 29, 5kHz와 3dB 공진주파수 대역인 2kHz로 각각 결정하였다.

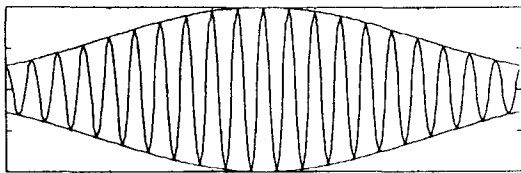


Fig7. Gaussian Envelope pulse

4.2 Pulse Sequence 설계

그림8은 pulse sequence 설계시 결정해야 할 각종 변수를 보여 주고 있다.

4.2.1 Pulse폭(T_p)과 최소 탐지거리(R_{min})

Pulse폭 T_p 는 요구되는 최소 탐지거리에 의해 결정된다. 최소 탐지거리 요구에 맞춰 T_p 를 줄일 경우 송출파 energy의 감소로 인한 수신파의 SNR가 떨어져 거리측정치의 정확도가 감소하므로 거리측정치 정확도와 최소탐지거리 사양사이의 역비례 관계를 설계시 고려해야 한다.

실제 시스템에서 송파기와 수파기로 동일한 소자를 사용하는 것이 일반적이고, 별도의 송파기와 수파기 소자를 사용할 경우에도 송파기로 부터 수파기로 직접 전달되는 파를 측정하지 않기 위해서 송파가 진행되는 동안 수파기를 작동하지 않는것이 상례이다. 그러므로 수파를 시작하는 시점(τ_{min})은 pulse폭 T_p 보다 커야하므로 최소탐지거리(R_{min})은 다음과 같이 결정된다.

$$R_{min} = c\tau_{min}/2 > cT_p/2 \quad (14)$$

한예로, T_p 가 128points(1.4msec at SR=90kHz)일 경우 최소 측정거리 R_{min} 은 1m이다.

4.2.2 최대 측정 거리(R_{max})

최대 측정거리(R_{max})는 펄스간 시간 간격(inter-pulse period)에 의해 결정된다. 본 능동소나 시스템의 경우 TMS320C25가 다룰 수 있는 data memory 주소중(최대 64k word) 8,000부터 9FFF까지의 8k words를 수신파 저장에 사용하였으므로 그림8에 표시되어 있는 receive window의 최대길이(T_R)는 식(15)와 같이 결정된다.

$$T_R = (8192 - 1)/SR \quad (15)$$

또한 최대 측정거리(R_{max})를 결정하는 τ_{max} 는 식(16)과 같이 결정되므로,

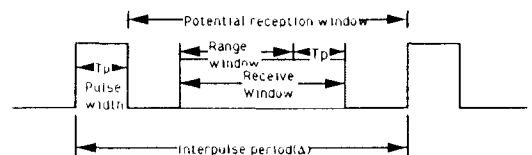


Fig8. Timing of events in a pulsed sonar

$$\tau_{max} = \tau_{min} + T_R - T_P \quad (16)$$

최대 측정거리(R_{max})는 식(17)과 같이 계산된다.

$$R_{max} = c\tau_{max}/2 \quad (17)$$

예를 들어 $SR=90kHz$, $T_P=1.4msec$ (128points) $\tau_{min}=1.5msec$ 일 경우 $\tau_{max}=1.5+91-1.4=91.1msec$ 이며 $R_{max}=68meter$ 가 된다.

4.3 능동소나 시스템의 제어 프로그램

본 능동소나 시스템의 제어부는 TMS320C25용 어셈블러 프로그램과 TMS320C25와 PC사이의 통신 및 측정결과의 그래픽 처리를 위한 C프로그램으로 구성되어 있다.

TMS320C25용 어셈블러 프로그램은 다음에 나열한 작업을 수행한다.

- A/D 변환기를 통한 송신파형의 송신소자로의 전송
- D/A 변환기를 통한 수신파형의 측정 및 저장
- matched filtering
- range 추정 결과의 PC로의 전송

PC용 C프로그램은 다음에 나열한 작업을 담당한다.

- 송신파형의 계산 및 TMS320C25로의 download
- TMS320C25용 어셈블러 프로그램의 download
- 각종 능동소나 시스템 설계 변수의 download

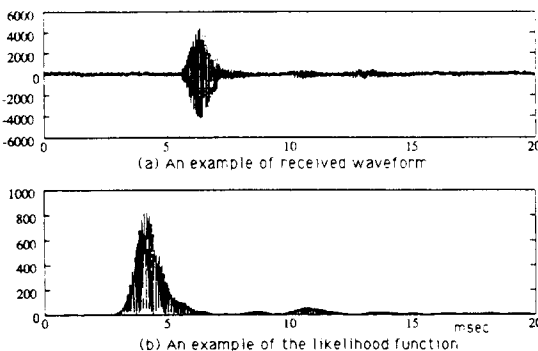


Fig9. An example of received waveform and the likelihood function

- TMS320C25의 시동 및 정지
- TMS320C25로 부터 받아들인 range 추정 결과의 그래픽 처리

4.4 시험결과

송신파형은 Gaussian envelope를 찾는 LFM 펄스이며 사용된 변수들의 값은 다음과 같다.

- sampling rate=90kHz
- carrier frequency=29.5kHz
- sweep bandwidth=2kHz

그림9(a)는 송신소자와 수신소자를 1.8m 간격을 두고 설치하고 송신파를 전송한 후 수신소자에 들어오는 파형을 20m sec동안 측정한 결과를 보여준다. 그림9(b)는 저장된 송신파형과 수신파형을 이용하여 얻어진 3.3절에서 설명한 matched filter receiver의 출력인 likelihood function을 보여준다.

송·수신 소자간의 거리를 추정하기 위해 이 likelihood function이 최대가 되는 위치를 찾아 그 위치에 해당하는 음파 전달 경과시간을 거리로 환산한다. 이 거리 추정 과정에서 A/D, D/A 변환기, preamp, poweramp 및 개발된 능동소나 시스템에서 사용된 필터의 시간지연을 보상해 주어야 한다. 실험결과 능동소나 시스템 시간지연은 damping rate가 90kHz일때 28points(약 0.3msec)임이 밝혀졌다.

그림10은 이러한 과정을 거쳐 추정된 송·수신소자간의 거리를 보여준다. 그림10(a)는 거리추정실험 250회를 수행한 결과를 보여주고 있으며, 이중 전달 경로, 개발된 능동소나 시스

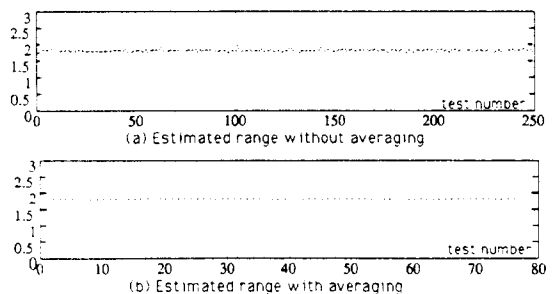


Fig10. Experiment result of range estimation

템 자체소음 및 IBM PC로 부터의 전자간섭에 의한 약간의 오차를 포함하고 있다. 그림 10(b)는 그림 10(a)에 나타난 거리 추정 오차를 감소시키기 위해 측정치 10개씩을 이용하여 구한 송·수신소자거리 기대치를 보여주며, 오차가 거의 없어졌음을 알 수 있다.

5. 결 언

본 연구를 통하여 해양 음향이용기술, 음향 신호처리기술, 수중음향실험기술 및 수중음향 트랜스듀서 관련 기술 등 해양탐사 개발의 필수장비인 능동소나 시스템 개발에 소요되는 각종 기술의 기반을 확보하였다.

또한 본 연구의 결과로 개발된 수중측위 시스템은 현재 상태 그대로 측심기 및 수중거리 측정기로 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 입·출력 채널수를 증가시키고 추가 소프트웨어를 추가시킬 경우 수중탐사 작업선의 위치 확보시스템, 수중항해시스템 및 방해물 탐지소나 등으로의 확대 사용도 가능하다.

현재 개발된 능동소나 시스템의 성능 및 효율성 증대를 위해 앞으로 더욱 연구되어야 할 분야는 다음과 같다.

○ sensor array를 이용한 송·수파기 설계

및 이에 따른 beam forming 및 beam steering 기술 확보(다중음향파 생성 및 신호처리기술, SNR 증대기술)

○ 수중 운동에 위체 추적시스템 개발을 위한 능동소나 시스템으로 부터의 range 및 doppler 추정치를 입력으로 하는 kalman filter 알고리즘 연구

○ 능동소나 시스템 탑재선박의 pitch, roll, 전진운동 및 수중음파 굴절 현상에 의한 능동소나 시스템 성능저하 보상방법 연구

○ 다중경로 및 반향 등이 존재하는 복잡한 해양음향 환경에서의 최적 receiver 설계

〈참 고 문 헌〉

- [1] Vantrees, H.L., *Detection, Estimation and Modulation Theory*, John Wiley, New York, 1970.
- [2] Oppenheim, A.V., *Application of Digital Signal Processing*, Prentice Hall, New York, 1978.
- [3] 김재승, “수중음향의 특성 분석 및 탐지법 연구”, 한국기계연구소 보고서 UDC629-182, 1985.
- [4] Texas Instruments, *TMS320 User's Guide*, Texas Instruments Incorporated, New York, 1988.
- [5] 이종식, “다중음향파를 이용한 정밀측심기 개발 연구”, 해사기술연구소 보고서 UCE454-1384.D, 1990.

造船工學徒의 바이블!

船舶用語辭典

造船工學概論

標準 船舶製圖 (別冊附錄附)

標準 船舶計算

造船工學演習



圖書 東明社
出版

서울特別市 鐘路區 淸進洞 245番地
電話: (732) 3455·7497·7731 (739) 5240番
對替□座: 010041-31-510123番