

CRLB를 이용한 수중운동 추적체계 설계성능 예측

Performance Estimation of Underwater Tracking System by Using CRLB

도 경 철*, 김 응 범*

(Kyeong Cheol Dho*, Eung Beom Kim*)

요 약

수중운동 추적체계의 추적성능은 표적에 부착된 핑거로부터의 송신음향이 수중센서에 도달하기 까지의 시지연(time delay)과, 해저에 부설된 각 센서가 시지연을 이용하여 기하학적으로 계산하는 LOP(Line-of-Position)를 얼마나 정확하게 추출하느냐에 달려있다. 본 논문에서는 수중운동 추적체계의 추적성능을 예측하기 위하여 먼저 CRLB(Cramer-Rao Lower Bound)를 이용한 시지연 예측오차의 기준 경계식을 유도하고, 임의 표적운동에 이를 적용시켜 추적 거리오차를 추출하였다. 시뮬레이션 결과, 표적이 원형 기동하는 경우보다 직선 기동하는 경우에 표적위치에 따라 오차의 변화가 더 심하고, 수중운동 추적체계의 이론적 설계성능은 주파수 대역에 의해 영향을 가장 많이 받음을 확인하였다. 한편, 4km*4km 범위의 수중센서 배열을 사용하고 주파수 대역폭을 200Hz로 취한 경우 시간지연에 의한 수중운동 추적체계의 이론적 추적오차는 0.24m 이내로 시뮬레이션 되었다.

Abstract

Accuracy of an underwater tracking system is dependent on the estimation of time delay from a target pinger to sea-bed hydrophones and of the line-of-position(LOP) of each hydrophone. For performance estimation of the underwater tracking system, this paper introduced a boundary equation given by Cramer-Rao Lower Bound(CRLB), and applies it to straight-moving and circle-moving targets to check its accuracy in position tracking. As a result of simulation, it is shown that variation in position tracking accuracy is greater for a straight moving-target than for a circle-moving target, and that bandwidth is a dominant parameter on the accuracy. In case of 200Hz bandwidth at 4km*4km area, position tracking has an error range less than 0.24m.

I. 서 론

수중운동 추적체계의 표적위치 추정은, 표적에 부착된 핑거가 약속된 신호를 송신하고 해저에 부설된 하이드로폰이 이를 수신하여 신호처리함으로써 수행된다[1]. 이는, 송신되는 음향의 특성을 수신부가 사

전에 알고 있으므로 예료가 한 방향으로만 전파되는 능동소나와 동일한 과정이다. 즉, 수중운동 추적체계 신호처리는 그림 1과 같이 필터 및 상관계수 검출을 이용한 시지연(time delay)추출이 기본절차를 이룬다.

그림 1에서, 필터를 거친 수신신호는 다수의 협대역 필터로 구성된 필터뱅크를 통하여 도플러 효과가 추출된다. 추출된 도플러 만큼 역보상이 이루어진 수

* 국방과학연구소

접수일자 : 1993년 3월 26일

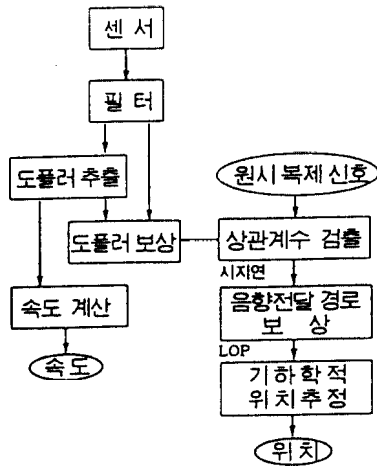


그림. 1. 추적 신호 처리
Fig 1. Signal Processing for Tracking Moving Target

신신호와, 수신부에 사전 기록된 원시 복제신호(replica signal)와의 상관관계 검출에 의해 시지연이 계산된다. 여기서 도플러 효과의 역보상은 시지연을 정확하게 산정하기 위해 필수적으로 요구되고, 계산된 도플러는 추적해야 할 표적의 속도를 구하는데 사용된다[2]. 일반적으로 능동소나와 마찬가지로 수중운동 추적체계에서의 도플러량은 협대역의 필터뱅크에 의해 계산된다. 그리고 추적하고자 하는 표적의 속도에 의해서만 도플러 효과가 발생하는 수중운동 추적체계에서는 도플러 영향이 최소화 되도록 코딩된 신호를 이용한다.

수신신호와 원시 복제신호와의 상관관계에 의하여 각 센서 수신신호의 시지연 τ 가 계산되면, 수중운동 추적체계는 센서마다의 LOP(Line of Position)를 산출하여 그 교점에 표적이 위치하는 것으로 추정한다.

그러므로 시지연과 LOP는 수중운동 추적체계의 정확도를 결정짓는 주요 요소가 되고, 따라서 수중운동 추적체계 설계 성능예측에 핵심적인 역할을 하게 된다. 앞에서 언급한 바와 같이 수중운동 추적체계의 시지연 추출개념은 일방향 능동소나와 동일하다. 능동소나에 대한 시지연 예측오차의 추정은 Helstrom [3], Woodward[4], Wahlen[5] 및 Quazi[6]에 의해 계산된 바 있다. 특히 Quazi는 신호대 잡음비, 운용 중심 주파수, 주파수 대역폭 및 수신 신호의 관찰시간으로 시지연 예측오차를 표현하였다. 그러나 수중운동 추적체계에서는 시지연 예측과 함께 기하학적

인 LOP가 추가되므로[2], 이를 고려한 성능예측이 이루어져야 한다.

본 논문에서는 수중운동 추적체계의 추적성능을 예측하기 위하여 먼저 CRLB를 이용한 시지연 예측오차의 기준 경계식을 유도하고, 수중운동 추적체계의 최적설계에 이를 적용시켜 시지연 예측오차의 이론적 최소값을 계산한다. 앞에서 언급한 바와 같이 수중운동 추적체계에서는 수신센서가 움직이지 않기 때문에 추적하고자 하는 표적의 속도에 의해서만 도플러 효과가 발생하고, 도플러의 영향이 최소화 되도록 코딩화된 신호를 사용한다. 그리고 수중운동 추적체계에서는 고성능 필터뱅크에 의해 도플러 효과를 매우 감소시킬 수 있으므로 본 논문에서는 도플러에 의한 오차를 고려하지 않는다.

또한 본 논문에서는, 임의 표적 운동을 설정하여 이에 대한 추적거리 오차를 추출함으로써 수중운동 추적체계의 이론적 설계성능을 예측한다.

II. 추적오차 예측

그림 1에서 보는 바와 같이 수중운동 추적체계 성능에 영향을 미치는 요소는 시지연과 LOP이므로 CRLB(Cramer-Rao Lower Bound)에 의해 시지연 예측오차를 먼저 추정하고, 기하학적인 LOP 오차를 예측한다.

2-1. 시지연 예측오차

시지연 예측이 편향되지 않는다(unbiased)고 가정하면 시지연 예측오차에 대한 CRLB는 식 (1)과 같다. 식 (1)에서 σ_{τ}^2 는 시지연 τ 에 대한 분산(variance)이고 F는 시지연 예측치의 오차에 대한 피셔함수(Fisher Matrix)이다[3, 4, 5].

$$\sigma_{\tau}^2 \geq F^{-1} \tag{1}$$

시지연 τ 에 대한 협대역 피셔함수는 다음 식 (2)로 주어진다[7, 8].

식 (2)에서 $\text{Re}(\cdot)$ 와 $\text{Tr}(\cdot)$ 은 실수부와 적(trace)을 각각 의미하고, m 과 Γ 는 평균(mean) 및 예측치 오차에 대한 공분산(covariance)을 각각 뜻한다.

$$F_{\tau} = -\text{Tr} \left[\frac{\partial \Gamma^{-1}}{\partial \tau} \cdot \frac{\partial \Gamma}{\partial \tau} \right] + 2\text{Re} \left[\frac{\partial m^+}{\partial \tau} \Gamma^{-1} \frac{\partial m}{\partial \tau} \right] \tag{2}$$

식 (1)의 CRLB는 식 (2)의 협대역 피서함수를 광대역으로 확대시켜 적용된다. 이는, 수중운동 추적체계가 에코가 한 방향으로만 전파되는 등동소나 형식이므로 핑(Ping) 신호의 길이와 핑 신호의 주파수 특성이 수중운동 추적체계의 설계성능에 크게 영향을 미치지 때문이다. 그러므로 수중운동 추적체계의 설계성능을 예측하기 위한 CRLB는 관찰시간 T 및 주파수 대역 B의 광대역 피서함수에 대한 값을 오차에 대한 분산의 최솟치로 갖는다[6, 8]. 여기서 관찰시간은 핑 신호의 길이와 몇 개의 핑 신호를 수신하여 신호처리 하는냐에 따라 선택적으로 설계된다.

$$F \text{ wide band} = T \int_{-B/2}^{B/2} F \text{ df} \quad (3)$$

서론에서 언급한 바와 같이 수중운동 추적체계의 각 센서가 수신한 신호와 사신에 기록한 복제신호와의 상관관계에 의해 시지연 τ 가 계산된다. 복제 신호를 $s(t)$ 라 하고, 시지연 τ 로 수신한 신호를 $A \cdot s(t - \tau) + n(t)$ 로 표현하면 각각에 대한 주파수 영역 신호는 식 (4)로 주어진다.

$$X_1(f) = S(f) \quad (4.a)$$

$$X_2(f) = A \cdot S(f) \exp(-j2\pi f\tau) + N(f) \quad (4.b)$$

식 (4)에서, $S(f)$ 와 $N(f)$ 는 $s(t)$ 와 $n(t)$ 의 주파수 영역 신호이며, $n(t)$ 는 수신신호에 포함되는 잡음성분을 의미한다. A 는 상수이다. 두 신호의 주파수 영역 평균을 m 이라 하고, 잡음에 대한 공분산을 Γ 로 표시하면 수신신호에 대한 잡음의 공분산은 시간지연과 독립적이다. 따라서 잡음에 대한 공분산을 $\sigma^2 = E\{|N(f)|^2\}$ 로 표현할 때 평균 m 과 잡음에 대한 공분산 Γ 은 다음의 행렬로 나타낸다.

$$m = S(f) \begin{bmatrix} 1 \\ A \exp(-j2\pi f\tau) \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$\Gamma = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & \sigma^2 \end{bmatrix} \quad (6)$$

잡음에 대한 공분산 Γ 이 시간지연과 독립적이므로, 시간지연에 대한 협대역피서함수는 식 (7)과 같이 유도될 수 있다.

$$\begin{aligned} F_{\tau} &= 2\text{Re}\left\{ \frac{\partial m^*}{\partial \tau} \Gamma^{-1} \frac{\partial m}{\partial \tau} \right\} \\ &= 2\text{Re}\left\{ 4\pi^2 f^2 |A \cdot s(f)|^2 \frac{1}{\sigma^2} \right\} \\ &= 8\pi^2 f^2 \cdot \text{SNR} \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)에서 신호대 잡음비 SNR은 규준화된 신호의 전력 스펙트럼과 잡음의 전력 스펙트럼에 대한 비율 $\text{SNR} = |s(f)|^2 / E\{|N(f)|^2\} (1/A)$ 을 의미한다. 주파수 영역 $-B/2 \sim B/2$ 의 광대역 피서함수에 대한 CRLB는 식 (3)과 식 (7)로부터 다음과 같이 구해진다.

$$\sigma_{\tau}^2 \geq \left[T \int_{-B/2}^{B/2} F \text{ df} \right]^{-1} = \frac{3}{2\pi^2} \cdot \frac{1}{TB^3} \cdot \frac{1}{\text{SNR}} \quad (8)$$

$$\sigma_{\tau} \geq \sqrt{\frac{3}{2\pi^2}} \cdot \frac{1}{B\sqrt{TB}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\text{SNR}}} \quad (9)$$

사지연 예측에 대한 표준편차를 나타내는 식(9)는, 표준편차가 관찰시간 T, 주파수 대역폭 B 및 신호대 잡음비 SNR의 제곱근과 반비례 관계를 가짐을 보여준다.

2-2. LOP 예측 오차

i번째 센서에 대한 시지연 예측오차의 표준편차를 σ_i 라하면, 수중운동 추적체계 좌표상에서 x축과 y축 오차는 기하학적으로 구해진다. 이는 그림 2와 같다. 즉 i번째 센서와 x축과의 사이각을 θ_i 라 할 때, x축과 y축 오차의 표준편차는 식 (10)으로 표현된다.

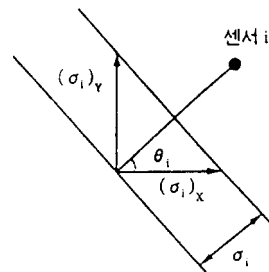


그림 2. 시지연 예측오차의 XY분할
Fig 2. XY of Time Delay Estimation Error

$$\frac{1}{(\sigma_x)_x} = \frac{\cos \theta_i}{\sigma_i} \quad (10.a)$$

$$\frac{1}{(\sigma_x)_y} = -\frac{\cos \theta_i}{\sigma_i} \quad (10.b)$$

수중운동 추적체계에서의 표적위치 추정은 다중센서의 LOP를 교차시킴으로써 수행된다. 그러므로 수중운동 추적체계의 기하학적 위치추정에 대한 오차의 분산은 식 (10)으로부터 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{1}{\sigma_x^2} = \sum_{i=1}^K \frac{\cos^2 \theta_i}{\sigma_i^2} \quad (11.a)$$

$$\frac{1}{\sigma_y^2} = \sum_{i=1}^K \frac{\cos^2 \theta_i}{\sigma_i^2} \quad (11.b)$$

여기서 i 는 센서번호를, K 는 총 수신센서 갯수를 각각 나타내고, σ_x 와 σ_y 는 x 축 및 y 축상의 기하학적 표준편차를 의미한다.

한편, 수중운동 추적체계에서 해저에 부설된 각각의 센서는 시지연 예측오차에 대한 식 (9)의 표준편차를 갖는다. 신호대 잡음비는 각 센서마다 조급적 상이하지만, 센서가 부설된 해역에서는 각 센서가 유사한 값을 가진다고 가정할 수 있다. 따라서 식 (11)의 분산은 식 (8)로 표현되는 σ_r^2 로 대표하여 나타낼 수 있다. 식(12)는 이를 나타낸다.

$$\frac{1}{\sigma_x^2} = \frac{1}{\sigma_r^2} \sum_{i=1}^K \cos^2 \theta_i \quad (12.a)$$

$$\frac{1}{\sigma_y^2} = \frac{1}{\sigma_r^2} \sum_{i=1}^K \sin^2 \theta_i \quad (12.b)$$

III. 수중운동 추적체계 설계성능 예측

3-1. 시지연 예측성능 추정

평거를 사용하는 수중운동 추적체계의 시지연 예측오차는 식 (9)의 표준편차로 표현된다. 이는 이론적인 추정치로서 시스템의 설계성능을 추정하기 위한 최소치의 의미를 갖는다. 여기서 이론적이라 함은 다음의 다섯가지 환경이 반복되는 이상적인 경우를 뜻한다.

첫째, 구형의 음파전달 특성

둘째, 해수 또는 해저면의 반사에 대한 무영향

셋째, 산란손실 없는 흡수손실만 존재

넷째, 등방향성의 잡음 특성

다섯째, 송수신 신호의 동기화

이상적인 다섯 가지의 조건 가운데 해수 또는 해저면의 반사에 의한 영향은 음파전달 경로보상에 의해 가능하고, 송수신 신호의 동기화는 송수신의 기준시가 뿐만 아니라 도플러 효과의 역보상까지도 포함한다.

이와 같은 이상적인 환경을 가정하여 수중운동 추적체계의 최적설계를 위한 성능추정은 식 (9)를 시뮬레이션 함으로써 수행된다. 식 (9)에서 주파수 대역폭 B 와 관찰시간 T 는 설계하려는 시스템의 고유특성에 따라 어느 정도 범위가 정해지므로, 사선에 정해진 범위내에서 시뮬레이션 한다.

3-2. 추적성능 예측

수중운동 추적체계는 각 센서의 시지연에 대한 LOP를 그리고 그 교점에 표적이 위치한다고 추정하므로, 수중운동 추적체계의 추적성능은 식(12)의 기하학적인 오차까지를 포함하여야 한다.

식 (12)에서의 θ_i 는 i 번째 센서와 좌표상의 x 축이 이루는 사잇각이다. 이는, 센서와 표적이 이루는 기하학적인 형태에 의해 추적성능이 달라짐을 의미한다. 예를 들어 표적이 정삼각형의 중앙에 위치하는 경우와 정육각형 중앙에 위치하는 경우는 오차의 정확도가 $\sqrt{2}$ 배 차이가 난다.

그러므로 추적성능 예측을 위하여는 표적의 운동 상태에 대한 사전경로를 정하고, 표적의 위치 변화에 따른 방위를 변화시킴으로써 전반적으로 성능을 예측한다. 본 논문에서는 두 가지의 표적 운동상태를

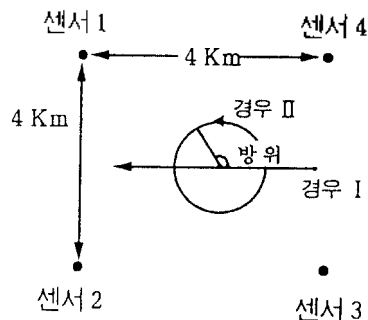


그림 3. 추적 모델
Fig 3. Tracking Model

그림 3과 같이 가정한다. 즉, 4개의 센서 중앙으로 직선 기동하는 경우와, 4개의 센서중앙에서 표적이 지름 1km의 원을 그리는 경우이다.

IV. 시뮬레이션

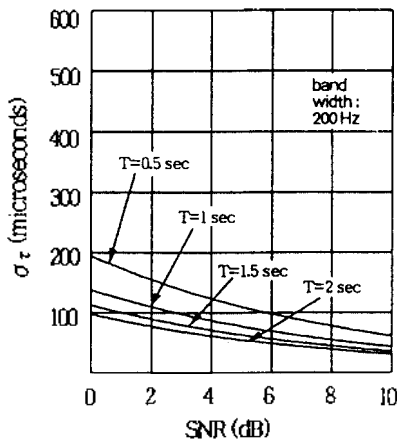
수중운동 추적체계 설계성능은, 시지연 예측오차를 먼저 시뮬레이션하고 그 결과를 기하학적인 LOP 예측오차에 적용시켜 시뮬레이션함으로써 수행된다.

그림 4와 그림 5는 수중운동 추적체계에서 일반적으로 사용하는 주파수 대역폭과 관찰시간을 고려하여 시지연 예측오차의 표준편차를 시뮬레이션한 결과이다. 여기서, 예료가 한 방향으로만 전파되는 능동소나 형식이 곧 수중운동 추적체계이므로, 핑 (ping) 신호의 길이와 몇 개의 핑 신호를 수신하여 신호처리하느냐에 따라 관찰시간은 선택적으로 달라진다. CRLB를 이용한 식(9)의 시뮬레이션에서, 주파수 대역폭 B가 클수록 시지연 예측오차가 현저하게 줄어들음을 확인할 수 있으며, 동일한 관찰시간 T라 하더라도 신호대 잡음비 SNR에 따라 오차의 차가 큼을 알 수 있다. 특히 표적관찰 시간이 짧을수록 대역폭의 증가에 따른 정확도 향상이 두드러짐을 그림 4와 그림 5에서 볼 수 있다.

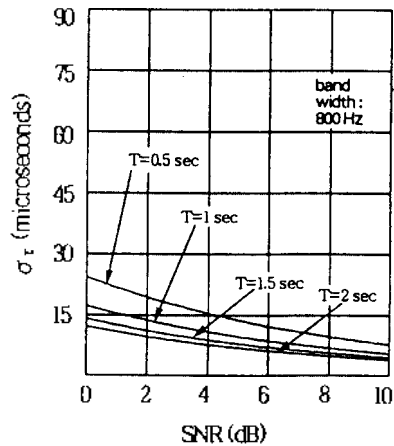
예를 들어, 관찰시간을 0.5초로 하고 신호대 잡음비를 5dB로 표준화시키는 경우에 주파수 대역폭을 100Hz로 선정하면 예측오차는 300 μ sec 정도이다. 그러나 이 경우 주파수 대역폭을 800Hz로 넓혀 신호 처리하면 오차가 1/20 정도 줄어들어 15 μ sec 정도가 된다.

표적이 직선 또는 원형기동하는 그림 3의 경우 LOP 예측오차를 포함한 수중운동 추적체계 추적성능은 그림 6~9와 같다. 그림 3에서 보는 바와 같이 그림 8과 그림 9에서의 방위는, 센서 중심점을 기준으로 하여 센서간 황 중심축과 표적이 이루는 각을 나타낸다. 그림 5에서와 마찬가지로 이들 그림에서도 주파수 대역폭 변화에 따라 오차의 폭이 넓은 것은 식(9)의 시지연 예측오차에 대한 주파수 대역폭의 영향이 크기 때문이다. 즉, 표적이 직선 기동하는 경우, 주파수 대역폭이 200Hz인 그림 6에서는 X축 예측오차가 40~240 μ sec인데 반하여, 주파수 대역폭이 그림 7과 같이 800Hz로 늘어지면 X축 예측오차는 4~30 μ sec로 감소됨을 알 수 있다.

그리고 그림 6~그림 9에서 보는 바와 같이, Y방향으로는 원형으로 기동하는 표적을 추적하는 오차가 직선 기동표적 추적시 보다 더 크고, X 방향으로서는 이와 반대이다. 그러나 원형 기동표적 추적시 보다,



(a)



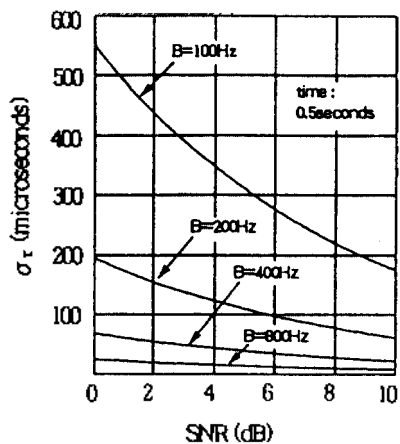
(b)

그림 4. 대역폭에 따른 시지연 예측오차

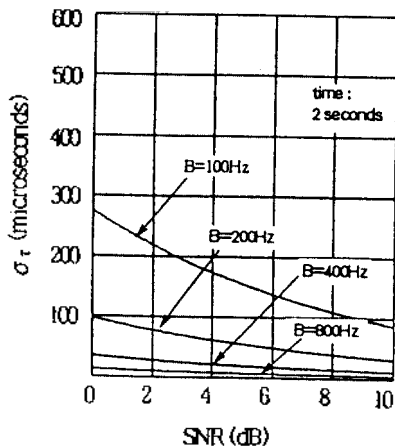
(a) 대역폭 200Hz (b) 대역폭 800Hz

Fig 4. Estimation error of time delay depending on bandwidth

(a) bandwidth 200Hz (b) bandwidth 800Hz



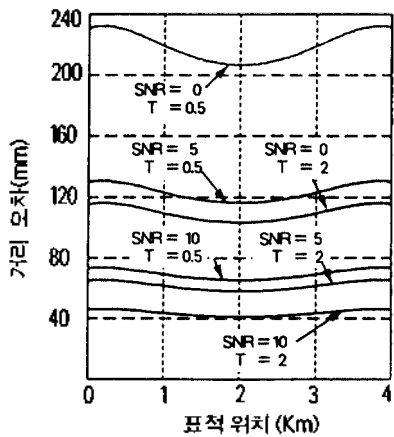
(a)



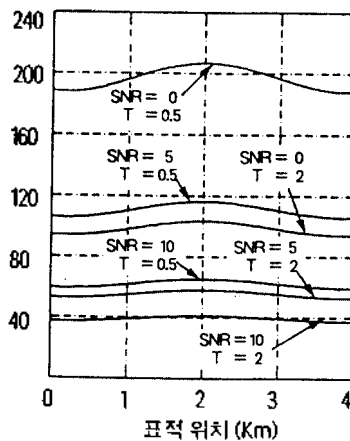
(b)

그림 5. 관찰시간에 따른 시지연 예측오차
(a) 관찰시간 0.5초 (b) 관찰시간 2초

Fig 5. Estimation error of time delay depending on observation time
(a) observation time 0.5sec
(b) observation time 2sec



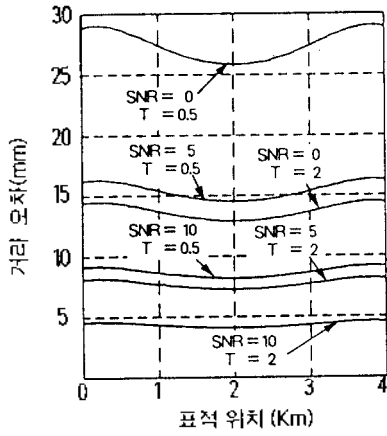
(a)



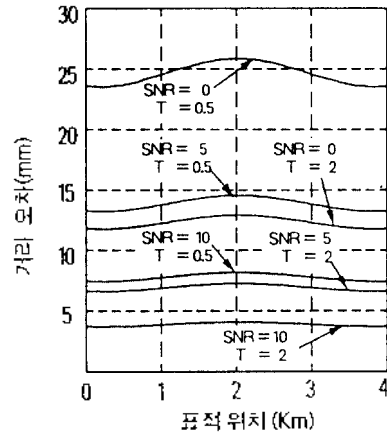
(b)

그림 6. 대역폭 200Hz 및 직선기동시 추적 거리오차
(a) X축 방향오차 (b) Y축 방향오차

Fig 6. Tracking range error in bandwidth 200Hz at CASE I
(a) X direction (b) Y direction



(a)



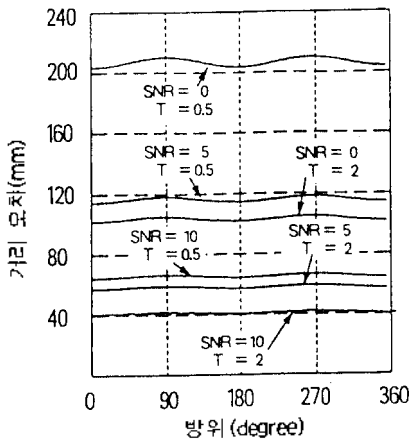
(b)

그림 7. 대역폭 800Hz 및 직신기동시 추적 거리오차

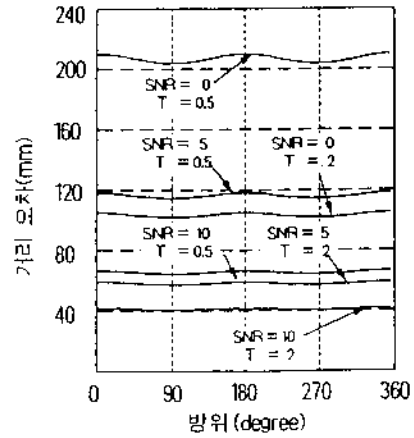
(a) X축 방향오차 (b) Y축 방향오차

Fig 7. Tracking range error in bandwidth 800Hz at CASE I

(a) X direction (b) Y direction



(a)



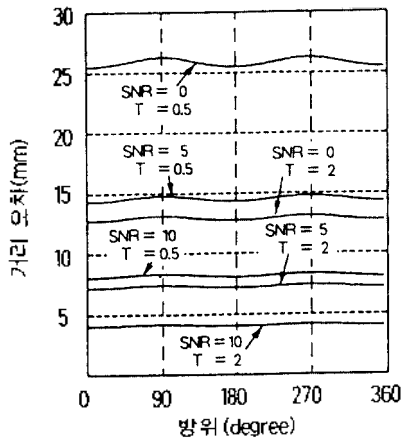
(b)

그림 8. 대역폭 200Hz 및 위성 기동시 추적 거리오차

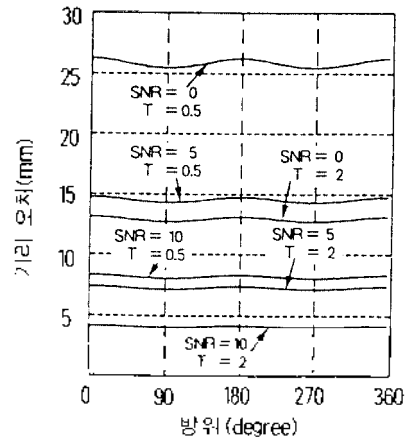
(a) X축 방향오차 (b) Y축 방향오차

Fig 8. Tracking range error in bandwidth 200Hz at CASE II

(a) X direction (b) Y direction



(a)



(b)

그림 9. 대역폭 800Hz 및 원형기동시 추적 거리오차

(a) X축 방향오차 (b) Y축 방향오차

Fig 9. Tracking range error in bandwidth 800Hz at

CASE II

(a) X direction (b) Y direction

직선 기동표적 추적시에는 오차변화량의 정도가 더 크다. 이는 표적 추적성능을 증대시키고 추적오차의 변화량을 줄이기 위하여는 표적의 기동패턴에 따라 센서 부설 패턴을 최적화 시켜야함을 의미한다. 또한 신호대 잡음비가 증가할수록 표적의 위치 또는 방위에 따라 오차가 크게 변화하지 않음을 이들 그림에서 볼 수 있다.

한편, 그림 6~그림 9에서는, 4km*4km의 간격으로 센서를 부설한 경우에 주파수 대역폭을 200Hz로 좁게 취하더라도 시간예측에 의한 수중운동 추적체계의 이론적 추적오차가 0.24m임을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 수중운동 추적체계의 설계성능을 예측하기 위하여 CRLB를 이용한 기준 경계식을 유도하고 이를 제안하였다. CRLB에 의한 이론적 최저 시지연 예측오차는 수신 주파수 대역폭에 대하여 B³의 제곱근에 반비례하고, 수신신호 관찰시간 및 신호대 잡음비의 제곱근에 반비례한다.

설계된 수중운동 추적체계의 추적성능을 확인하기 위하여 본 논문에서는 CRLB를 이용한 시지연 예측

오차를 기하학적 위치추적 오차와 결합시킴으로써 관련 경계식을 유도하고, 표적이 직선 또는 원형으로 운동하도록 패턴을 가정하여 추적거리 오차의 양을 이론적으로 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션 결과, 수중운동 추적체계가 추적하고자 하는 표적이 직선으로 기동하는 경우에 표적의 위치변화에 따른 오차의 변화폭이 원형 기동시 보다 더 크고, 4km*4km 간격으로 수중에 센서를 부설한 경우에는 주파수 대역폭을 200Hz까지 좁게 취하더라도 시간지연에 의한 수중운동 추적체계의 이론적 추적거리 오차가 0.24m임을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 김용범, 송준태, "수중운동 추적체계 현황과 발전방향," 한국음향학회지, 제11권 5호, 1992.
2. TSASM, KORAL PROCESSING FUNCTIONAL ANALYSIS BASELINE, Thomson Sintra ASM, 1992.
3. C.W. Helstrom, STATISTICAL THEORY OF SIGNAL DETECTION, Pergamon, N.Y., 1968.
4. P.M. Woodward, PROBABILITY AND INFORMATION THEORY WITH APPLICATION TO

- RADAR, Pergamon, N.Y., 1953.
5. D.A. Whalen, DETECTION OF SIGNALS IN NOISE. Academic Press, N.Y., 1971.
 6. A.H. Quazi, "An Overview on the Time Delay Estimate in Active and Passive Systems for Target Localization," IEEE. Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-29, No.3, pp.527-533, June 1981.

7. G. Bienvenu and L. Kopp, "Optimality of High Resolution Array Processing Using the Eigensystem Approach," IEEE. Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, Vol. ASSP-31, No. 5, pp.1235-1248, October 1983.
8. L. Kopp and D. Thubert, "Cramer-Rao Bounds and Array Processing I: Formalism," Traitement du Signal, Vol. 3, No. 3, pp.111-125, 1986.

▲도 경 철(정회원, 종신회원) 1958년 8월 6일생



1984년 2월: 부산대학교 전기기
계공학과 졸업(학사)

1986년 2월: 부산대학교 대학원
전자공학과 졸업(석
사)

1986년 2월~1993년 현재: 국방
과학연구소 선임연
구원

※주관심분야: 통계학적 수중음향 신호처리

▲김 응 범(정회원): 11권 5호 참조