

도플러 효과의 보상을 통한 시간지연 차의 추정

Improved Time Delay Difference Estimation for Target Tracking using Doppler Information

염 석 원*, 윤 동 현*, 윤 동 욱*, 고 한 석*

(Dong Hun Youn*, Suk Won Yeom*, Dong Uk Yoon*, Han Seok Ko*)

요 약

본 논문에서는 한 쌍의 센서를 이용하여 미지의 수중 음향 신호의 시간지연의 차(Time Delay Difference)를 추정하고 탐지하는 알고리즘을 다루고 있다. 전형적인 시간지연 차의 최적화 추정 기법은 두 신호의 상관관계(Cross Correlation)에 의한 ML(Maximum likelihood)추정으로 구할 수 있지만, 실제 수중 음향 환경 하에서 시간 지연뿐만 아니라 표적의 이동에 의하여 발생하는 도플러 효과로 신호의 주파수도 변하게 된다. 이러한 신호 주파수의 올바른 고려 없이 단순히 두 신호의 시간지연만을 추정하는 방법은 불가피한 에러를 생성하게된다. 본 논문에서는 시시각각 변하는 시간지연의 차를 구하기 위한 준 최적화 기법인 확률분포 함수의 Recursive Filter에 시간 지연 차와 도플러효과의 2차원 확률분포 함수를 적용한 추정 알고리즘을 제안한다. 관측된 신호의 리샘플링(Resampling)을 통하여 도플러 효과를 보상한 후 2차원 Conditional likelihood 을 구하고 Projection과 Correction 과정을 통하여 시간지연과 도플러 효과에 대한 사후확률을 구한다. 그리고 이러한 알고리즘을 가상 시나리오에 대한 모의실험을 통하여 평가한다.

ABSTRACT

This paper is concerned with the detection and tracking of an unknown target by estimating the time delay difference between a pair of passive acoustic sensors. The conventional time delay estimation method uses the maximum likelihood estimation from the cross correlation of two signals. In the real acoustic environment, the frequency of the target signal becomes significantly distorted by the doppler effect caused by target's dynamics, resulting the received time delay difference nonstationary over the entire observed period. The proposed algorithm thereby uses the target's doppler information as an additional parameter to improve the estimation performance. Essentially, this approach generates a 2-D probability density function composed of two parameters(time delay difference, doppler ratio), which effectively enhances the performance of the recursive filter estimating the parameters. The posterior probability is recursively calculated by the 2-dimensional likelihood ratio obtained by cross-correlating the observed signals and processed through projection and correction steps. Simulation results of the tracking performances of the two estimates are presented under various operational scenarios.

I. 서 론

수중 음향 환경 하에서 표적 신호와 센서간의 시간 지연 차의 추정은 수동 소나 시스템에서 표적의 위치와 궤적을 추적하기 위한 방편으로 적극 활용되어 왔다. 과거 1970년대에서 1990년대 초까지 연구를 통하여 백색 잡음이 더해진 정상상태(Stationary) 신호에 대하여 최적 ML 추정은 두 신호의 상관관계에 기반을 두고 있으며[1] 다중 표적에 대한 추정기법으로 일반화되기도 하였다[2]. 하지만 실제 상황에서 표적의 이동으로 생기는 시간지연의 차는 시시각각 변하게 되고 이를 위하여 신호를 작은 관

측구간으로 나누어 추정을 하는 방법이 고안되었다[3]. 시간 지연 차의 추정이 여러 응용분야에 이용되기 위하여 실시간 알고리즘의 구현은 필수적이다. 시간지연의 연속적인 실시간 추적(tracking)을 위하여 [4]에서는 Adaptive Delay Line을 이용하는 방법이 제시되었고 [5]에서는 확률분포 함수의 Recursive Filter를 사용하여 시간지연을 추정하는 방법이 제시되었다.

본 논문에서는 신호와 잡음의 상관관계가 없을 경우 시간지연 차의 추정과 탐지를 다루며 표적의 이동에 의하여 발생하는 신호 주파수의 도플러의 변화로 생기는 오차를 줄이는 알고리즘을 연구한다. Bayesian 추정을 Kalman 필터에 적용하여 확률분포 함수의 Recursive 필터를 구성한 방법[5]과 확률분포 함수의 통합과 분산과정을 통하여 표적의 탐지와 추적을 동시에 하는 방법[6]은 단지 시간지

* 고려대학교 전자공학과

접수일자: 1998년 6월 12일

연 변수에 의존한 추정을 하므로 정확성이 떨어진다. 본 논문에서는 기본적으로 [5-6]의 알고리즘을 적용하지만 두 센서간의 시간 지연의 차와 더불어 표적의 이동 속도에 따라 달라지는 도플러효과와 특성을 추출하여 시간지연 차와 도플러효과 비를 동시에 추정한다. 표적으로부터 각 센서에 도달하는 신호를 시간적으로 지연되고 도플러효과에 의하여 주파수가 변화된 신호로 모델링하고 각 센서에서 표적신호는 백색잡음이 더해져 변형된다. 이러한 잡음은 표적에서 발산하는 신호와 다른 센서의 잡음과 서로 무상관(uncorrelated)하다고 가정한다.

두 신호의 상관함수를 통하여 시간지연 차와 도플러 효과 비의 Conditional Likelihood를 추정하는 방식으로 각 관측구간마다 실시간 보정이 이루어진다. 이 과정에서 도플러효과와 보상을 위하여 측정된 신호의 리샘플링(Resampling)하는 과정이 필요하다. 도플러효과를 효과적으로 보상하는 방법은 과거에 많이 이용되어온 시간지연 차 하나만을 이용한 추정보다 계산량이 많아지지만 낮은 신호대 잡음비에 강하며, 도플러효과 비의 평가가 정확해짐에 따라 시간지연 차의 추적 성능이 향상됨을 알 수 있다. 또한 추적 확률평가와 표적 탐지 확률 평가를 동시에 수행함으로써 시스템의 능률을 향상시키고 불필요한 추적을 저감하게 된다.

II. 신호 모델

2.1 관측 신호 모델

두 센서에서 관측된 신호의 모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} r_1 &= A_1 s(\alpha_1 t - \beta_1) + n_1(t) \\ r_2 &= A_2 s(\alpha_2 t - \beta_2) + n_2(t) \end{aligned} \tag{1}$$

표적에서 방사된 가우시안 신호 s 는 감쇄상수 A_1 과 A_2 에 의하여 감쇠 되고 센서와의 거리에 따라서 시간 지연이 β_1 과 β_2 가 발생한다. 그리고 도플러효과에 의하여 주파수가 변화된다. 표적 신호는 각 센서에서 백색잡음이 더해진다고 가정하고 만약 표적이 움직이지 않는다면 시간지연 β 상수이고 도플러효과로 인한 α 가 1이 된다.

Doppler effect에 의한 주파수의 변화는

$$f = \frac{f_0}{(1 \pm v/V_s)} \tag{2}$$

($v/V_s \ll 1$)

- v : 소나에서 본 표적의 속도
- V_s : 음속
- f_0 : 신호의 주파수

으로 해석된다. 그러므로

$$\begin{aligned} \alpha &= 1 + |v/V_s| \text{ (표적이 접근하는 경우)} \\ \alpha &= 1 - |v/V_s| \text{ (표적이 멀어지는 경우)} \end{aligned} \tag{3}$$

임을 알 수 있다.

표적이 사라지거나 센서의 측정영역 밖으로 벗어나면 오직 잡음만이 측정된다. 다음은 표적이 없을 때의 관측 신호 모델이다.

$$\begin{aligned} r_1 &= n_1(t) \\ r_2 &= n_2(t) \end{aligned} \tag{4}$$

도플러효과와 시간지연은 독립적으로 평가할 수 없고 단지 도플러효과 비와 시간지연의 치환이 추정 가능하다.

$$\begin{aligned} a &= \frac{\alpha_1}{\alpha_2} \text{ : 도플러효과 비} \\ d &= (\beta_2 - \beta_1) \text{ : 시간지연 차} \end{aligned} \tag{5}$$

그러므로 관측되는 신호는 다음과 같이 모델링이 된다.

$$\begin{aligned} r_1 &= s(at) + n_1(t) \\ r_2 &= s(t-d) + n_2(t) \end{aligned} \tag{6}$$

표적에 대한 정보가 없으므로 a 와 d 를 모를뿐더러 신호와 잡음의 PSD(power spectral density)를 알 수 없고 백색 잡음을 가정해도 잡음의 Power를 모른다.

그러므로 이러한 non-parametric 접근 방식에서 최적의 해는 모든 미지변수의 동시 추정(Joint Estimation)을 요구한다. 본 연구에서는 이중 몇 개의 변수들에 대해서만 추정을 수행한다. 이렇게 구한 해가 최적의 해는 아니지만 좋은 결과를 보여준다.

측정된 신호는 샘플링과정을 거쳐 이산적인 신호로 바뀌게 되고 그림 1의 짧은 관측구간(Block)으로 나누어진다. 이때 시간지연 차의 해상도는 샘플링 시간과 동일하다. 실제 신호는 표적의 이동에 따라 두 변수가 서서히씩 변하지만 각 관측구간에서 이러한 변화가 없는 정상상태 신호라고 가정한다.

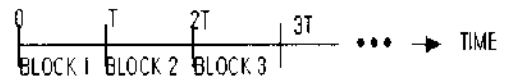


그림 1. 신호벡터의 관측구간
Fig. 1. Observation block of received signal vector.

즉 각 관측구간에서 구하고자 하는 표적신호의 존재여부와 시간지연 차, 도플러효과 비를 일정하다. 또한 구간의 변화에 따라 탐지확률 분포함수와 추적확률 분포함수는 First-order Markov process의 특성을 포함한다고 가정한다.

확률 분포함수는 두 파라미터의 2차원 벡터의 형태를 취하고 Bayesian Rule을 이용하여 Projection과 Correction 과정을 수행하는 Recursive 필터를 구성한다.

Projection 과정은 각 관측구간에서 First order Markov process의 특성을 포함한다: 가정 하에서 이차원 사후확률 분포함수는 다음시간의 사전확률 분포함수로 변화되고 Correction 과정에서 두 신호의 상관함수를 이용한 Conditional likelihood에 의하여 현재시각의 사후확률 분포함수로 수정된다. 두 신호의 상관관계를 통하여 실시간 수정이 이루어지며 이 과정에서 도플러 효과의 보상을 위하여 주어진 가설 하에서 측정된 신호의 리샘플링이 필요하다. 이러한 도플러 가설은 신호의 변화를 포함할 수 있을 만큼 충분히 커야한다. 또한 신호의 존재 여부를 확인하기 위한 탐지평가 작업을 동시에 수행하며 이를 위해 추적확률 분포함수를 합성하는 작업을 추적평가 수행과 더불어 병행하게 된다. 최적의 추정(Optimal Estimation)은 이차원 사후 확률분포 함수의 MMSE(Minimum Mean Estimation)과 MAP(Maximum a posterior)을 구함으로 가능해진다. 두 파라미터의 동시 추정은 과거에 많이 이용되어온 시간 지연 변수만을 이용한 추적보다 낮은 신호 대 잡음비에 좋은 결과를 보여주며, 도플러 효과 비의 평가가 정확해질수록 시간 지연의 추적 성능이 매우 향상됨을 알 수 있다.

III. 탐지평가, 추적수행 알고리즘

3.1 탐지확률과 추적확률 분포함수

이차원 확률분포 함수의 영역은 실제 시간지연과 도플러효과를 충분히 포함하도록 삼아야한다. 만약 M개의 시간지연의 차와 L개의 도플러효과 비가 있다고 가정하면 탐지, 추적수행 과정에서의 세울 수 있는 가설은 표적이 존재하지 않는다는 가설과 추적확률 분포함수의 M×L개의 가설이 더해져 총 M×L+1개가 형성된다. 미리 가설로 세워진 시간차와 도플러효과 비의 이차원 셀 영역은 실제의 값을 포함할 수 있을 만큼 충분히 커야하며 도플러효과를 감안하여 각 관측구간마다 새로운 샘플링시간으로 리샘플링하는 과정이 필요하다. 그러므로 컴퓨터 메모리의 용량을 감안하고 CPU 계산 속도를 빠르게 하기 위하여 시간차의 셀보다 도플러 비의 셀의 크기를 작게 삼는다.

표적이 있다는 가설은 H_1 이고 가설은 H_0 이고 H_{mi} 을 m 시간지연 차와 l 도플러효과 비를 가지는 가설이라고 본다면 i 구간에서 각 확률분포 함수는 다음과 같이 되고

$$P_{di}(H_1), P_{di}(H_0) : \text{탐지 확률 분포 함수} \quad (7)$$

$$P_{ii}(H_{mi}) : \text{추적 확률 분포 함수}$$

아래와 같은 관계가 성립된다.

$$P_i(H_0), P_i(H_{mi}) : \text{통합확률 분포함수 } (m=1\sim M, l=1\sim L)$$

$$P_{di}(H_0) = P_i(H_0) \quad (8)$$

$$P_{di}(H_1) = \sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L P_i(H_{mi})$$

$$P_{ii}(H_{mi}) = \frac{P_i(H_{mi})}{\sum_{m=1}^M \sum_{l=1}^L P_i(H_{mi})}$$

만약 이산된 시간지연 차와 도플러효과 비가 한정된 영역에서 충분히 큰 해상도를 갖는 M, L개의 값들 중에서 하나가 될 수 있다면 Bayesian Rule에 의하여 다음과 같은 식이 전개될 수 있다.

$$P(H_{mi}|R_i) = \frac{P(r_i|H_{mi}, R_{i-1})P(H_{mi}|R_{i-1})}{P(r_i|R_{i-1})} \quad (9)$$

r_i : 각 구간의 신호 벡터

R_i : i 구간을 포함한 모든 신호 벡터

(= $[r_i, r_{i-1}, r_{i-2}, \dots]$)

H_{mi} : 관측 가능한 탐지, 추적 가설

$p(H_{mi}|R_i)$: i 구간까지 측정된 신호로부터 계산한 사후확률

$p(H_{mi}|R_{i-1})$: i-1 구간까지 측정된 신호로부터 계산한 i 구간의 사전확률

$P(r_i|R_{i-1})$ 은 정규화 상수로 대체될 수 있다. 그러므로 위의 식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P(H_{mi}|R_i) = C_0 P(r_i|H_{mi})P(H_{mi}|R_{i-1}) \quad (10)$$

$P(r_i|H_{mi})$: 가설 H_{mi} 에 대한 r_i 신호 벡터의 Likelihood 함수

C_0 : 정규화 상수

3.2 Projection 과정

이전 관측구간의 사후확률 함수를 현재 구간의 사전확률 함수로 수정하는 과정이다. 이를 위하여 통합확률 분포함수는 탐지확률과 추적확률 분포함수로 나누어진다.

탐지 수행과 추적수행 과정은 독립적인 확률 연산적용이라고 생각할 수 있고[9] 각각 관측구간 사이의 First order Markov Process라고 가정한다.

그러면 탐지확률의 Projection 과정은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} P_{di}(H_0) \\ P_{di}(H_1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q & 1-q \\ 1-q & q \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_{di-1}(H_0) \\ P_{di-1}(H_1) \end{bmatrix} \quad (11)$$

시간지연 차와 도플러효과 비 역시 이산적인 관측구간에서 이산적인 First order Markov Process이고 다음과 같은 모델링된다.

$$d_i = d_{i-1} + w_{i-1}$$

$$a_i = a_{i-1} + w_{i-1} \quad (12)$$

d_i 와 a_i 는 관측구간 i에서 시간지연 차와 도플러효과 비이고 w_i 는 독립적인 가우시안 랜덤 변수이다. 각 파라미터에 가우시안 변수를 더하는 과정이 추적 확률분포 함

수를 Projection 하는 과정이다.

만약 현재 관측구간의 변수가 이전 관측구간의 값과 크게 다르다면 w_i 역시 커야한다. 반면 두 값 사이의 차가 적다면 w_i 는 작아야 한다. 이러한 과정은 확률분포 함수의 필터링으로 다음과 같이 표현된다.

$$P_{i+1}(H_{mi}) = P_i(H_{mi}) * q(H_{mi}) \tag{13}$$

$P_{i+1}(H_{mi})$: $i+1$ 번째 관측구간의 추적수행 사전확률

$P_i(H_{mi})$: i 번째 관측구간의 추적수행 사후확률

$q(H_{mi})$: m, l 번째 셀의 w_i 의 확률분포

가우시안 확률밀도 함수인 $q(H_{mi})$ 를 효과적으로 표현하기 위하여 순방향과 역방향의 IIR(Infinite Impersc Response) 필터를 사용한다[5].

$$P(m) = P(m-1) + \gamma(P(m) - P(m-1))$$

$m=2, 3, \dots, M$ Forward Filter

$$P(m) = P(m+1) + \gamma(P(m) - P(m+1))$$

$m=M-1, \dots, 1$ Backward Filter

γ : gain constant ($0 < \gamma < 1$)

확률분포 함수는 이차원이므로 Projection 과정은 각 도플러 셀에서의 시간차 영역과 각 시간 셀에서의 도플러 비 영역으로 순차적으로 이루어져야한다.

각 필터의 임펄스 응답특성은 다음과 같고

$$\begin{aligned} \text{Forward Filter } h_f(l) &= a(1-a)^l : i \geq 0 \\ &0 : i < 0 \end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned} \text{Backward Filter } h_b(l) &= a(1-a)^{-l} : i \leq 0 \\ &0 : i > 0 \end{aligned}$$

$q(l)$ 는 각 필터의 연속적인 결합으로 이루어진다.

$$q(l) = h_f(l) * h_b(l) * h_f(l) * h_b(l) \tag{16}$$

그림 2와 3은 $q(l)$ 의 임펄스와 유니폼 응답특성이다. 심선(낮은 곡선)의 같은 값의 분산을 갖는 가우시안 확률분포 함수와 비슷한 모양을 보임을 알 수 있다. 그러므로 IIR 필터를 사용하여 확률분포 함수를 Projection 하는 과정은 가우시안 함수를 Convolution할 때와 비슷한 결과를 얻지만 실제 계산은 훨씬 빠르게 할 수 있다.

그림 4와 5는 이차원 확률분포 함수를 Projection한 결과이다. 75 개의 시간지연 차의 셀과 15 개의 도플러효과 비의 셀이 있을 때 임펄스와 유니폼 응답특성을 명암을

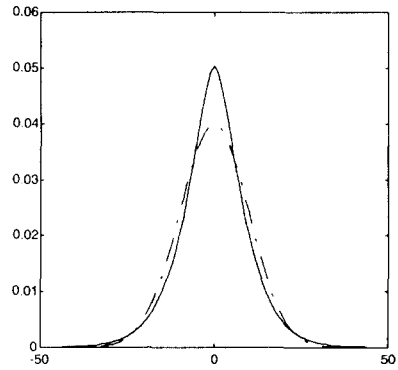


그림 2. $q(l)$ 의 임펄스 응답특성
Fig. 2. Impulse response of $q(l)$.

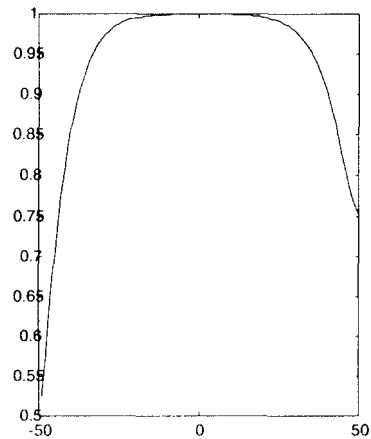


그림 3. $q(l)$ 의 유니폼 응답특성
Fig. 3. Unit step response of $q(l)$.



그림 4. 이차원 임펄스 응답특성
Fig. 4. 2-D impulse response of $q(l)$.

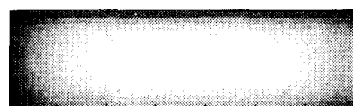


그림 5. 이차원 유니폼 응답특성
Fig. 5. 2-D unit step response of $q(l)$.

이용해서 나타내었다. 시간지연 축(수평축)의 분산은 100 셀이고 도플러축(수직축)의 분산은 5 셀이다. 그림 4의 인펄스 응답특성의 경우 중앙에 가장 밝은 색의 높은 확률분포 함수 값을 나타내며 유니폼 응답특성의 경우는 가장자리로 갈수록 점차적으로 어두워지는 전체적으로 동심원의 모양을 보인다.

3.3 Correction 과정

현재 관측된 신호벡터를 이용하여 Conditional Likelihood를 구한 후 이전 구간의 사전확률로부터 현재 시각의 사후확률을 구하는 과정이다. 이러한 사후확률은 최적의 평가 과정을 거쳐 시간 차와 도플러 비의 최종 결과가 된다. 이를 위하여 탐지평가 확률과 추적확률로 나누어진 분포함수는 통합이 되어야 하고 정규화 된다. 일반적으로 Likelihood 함수를 근사하려는 시도가[1],[7],[10],[11] 많았고 이를 토대로 상관관계의 적절한 필터링을 통하여 다음과 같이 근사할 수 있다.

$$P(r_i | H_m) = C_1 \exp(\lambda_i(m)) \quad m=1, \dots, M \quad (17)$$

시간지연 차에 따른 상관관계는 다음 식으로 표현된다.

$$\lambda_i(m) = C_2 \sum_{k=1}^K r_{1j}(k) r_{2j}(k-m) \quad (18)$$

K : 관측 구간의 신호 벡터 수

그림 6은 일반적인 상관관계를 구하는 방법이지만 보다 빠른 계산을 위하여 FFT(Fourier Fast Transformation)와 Inverse FFT를 이용한다. Y₂는 도플러 비의 가설에 의하여 리샘플링 된 신호이다. Projection과 Correction 과정을 반복하므로 미지의 표적에 대한 시간지연을 평가하는 방법은 그림 7을 통하여 전체적인 흐름을 알 수 있다. Correction 과정을 거친 후 사후 확률에서 시간차와 도플러 비를 평가하는 방법은 MAP와 MMSE가 있지만 정확도를 향상시키기 위하여 MMSE를 이용한다. 만약 이차원 사후 확률의 최대 값으로 결과를 추정한다면 해상도는 셀의 해상도로 한정되지만 전체 사후확률의 평균을 구하면 해상도의 향상을 기대할 수 있다.

그림 8과 9는 도플러효과를 고려하여 만든 사각파의 상관관계를 구한 결과이다. 그림 8에서 각각 다른 도플러효과를 감안하여 생성된 신호들간의 차이를 볼 수 있다. 시간지연은 11 sec로 주었고 기본 샘플링 시간은 0.5sec이다.

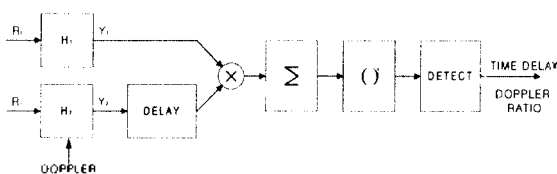


그림 6. 상호상관함수를 위한 알고리즘
Fig. 6. Cross-correlation method.

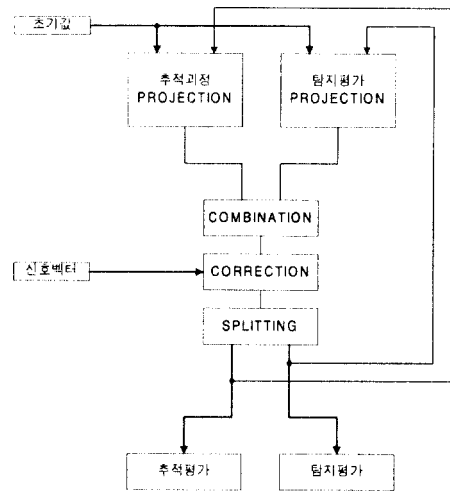


그림 7. 탐지와 추적수행을 위한 알고리즘
Fig. 7. Detection and tracking algorithm.

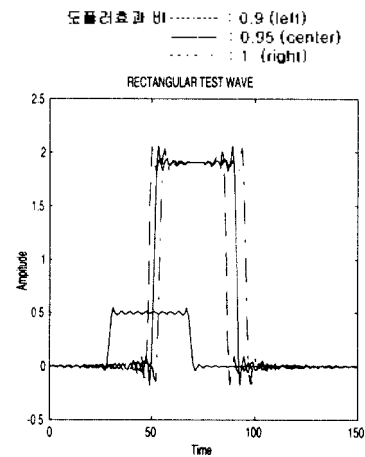


그림 8. 시험을 위한 사각파
Fig. 8. Rectangular test waveform.

기준점(0 sec) = 151
 도플러 가설 = 1 MAX = 0.9868
 시간지연 = 13 sec (left)
 도플러 가설 = 0.95, MAX = 0.9998
 시간지연 = 11 sec (center)
 도플러 가설 = 0.9, MAX = 0.9859
 시간지연 = 9 sec (right)

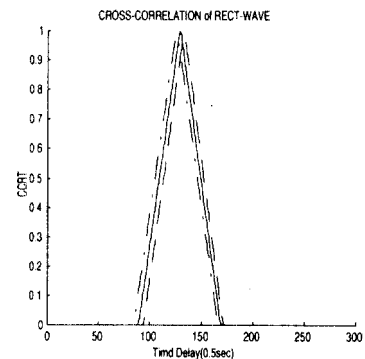


그림 9. 사각파의 상호상관 함수
Fig. 9. Cross-correlation function of rectangular waveform.

그림 9는 위에서 생성된 도플러효과 비가 0.95인 실선의 사각파(center)를 도플러 비를 보상하여 직은 사각파와 상관관계를 구한 결과이다. 가장적인 도플러효과 비, 0.9, 0.95, 1.0을 적용하여 리샘플링 한 후 구한 결과는 도플러 보상의 중요성을 보여준다. 신호를 만들 때 삼안한 도플러 효과와 가설로 정한 값이 일치할 때 정확한 시간지연에서 최대의 상관관계 값을 갖는다는 것을 볼 수 있다.

IV. 시나리오 전개 및 모의실험

모의 실험을 위하여 다음과 같은 시나리오를 가상적으로 만들었다. 그림 10은 두개의 센서가 임의의 지역에 배치되어 있고 그 사이로 750초 동안 비지의 표적이 이동하는 이차원 시나리오를 도식한 것이다. 두 개의 원은 각 센서의 측정 가능한 영역을 뜻하며 공동된 원의 부분에서 표적의 측정이 가능하게 된다. 센서 1과 2의 거리는 약 2 km이고 표적은 125초부터 관측이 가능하다. 비지표적은 55 km/h의 속력으로 100초 동안 접근한 후 140초 동안 센서 1을 향해서 오게된다. 그 후 70초간 직진하다가 180초 동안 방향을 바꿔서 센서 2에서 멀어져 647초 후에 관측 불가능한 영역으로 들어선다.

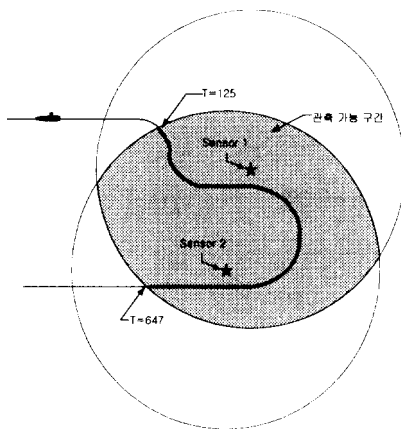


그림 10. 센서-표적 가상 시나리오
Fig. 10. Simulation scenario.

표적에서 발산하는 신호는 가우시안 잡음으로 랜덤하게 발생시키고 각 센서에서 백색잡음이 더해진다. 한 쌍의 센서에서 관측되는 신호로 모델링하기 위하여 각각 시간지연과 도플러 효과를 계산하여 각 관측구간마다 변화할 수 있다. 샘플링 시간은 4.88 msec로 하나의 관측구간 5 sec 동안 1024개의 신호가 생성된다. 이차원 확률분포 함수의 총 셀의 범위 중 시간지연 차의 영역은 상관관계를 구하는 과정에서 2배로 늘어나 2047 개가되지만 센서와의 거리를 감안하여 셀의 영역을 축소하기 위하여 1023개의 셀을 사용하였다. 즉 시간지연 셀의 시간 추정 범위는 ± 2.5 sec 가 된다. 도플러 영역은 리샘플링하는 부담을 줄이기 위하여 도플러효과 비의 가설이 0.004의 크기로 0.98에서

1.02까지의 총 11개의 값을 갖는다고 가정하였다. 그러므로 총 이차원 셀의 수는 10,000 여 개에 달한다.

그림 11은 SNR이 7 dB인 경우 평가과정을 수행한 결과이다. 관측구간인 5 sec 마다 추정결과를 계산하여 총 구간 750 sec 동안 150번의 결과를 산출하였다. 실선은 실제 발생하는 신호간의 시간 지연 차와 도플러효과 비이며 점선이 추정된 결과이다.

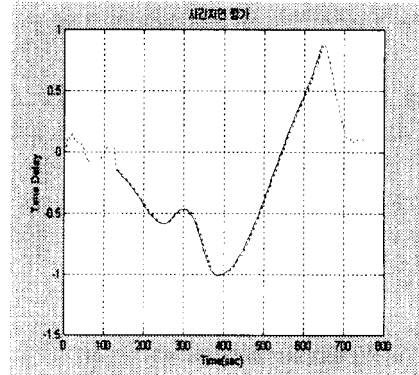


그림 11. 시간 지연 차의 추적 (SNR 7 dB)
Fig. 11. Estimator of Time delay difference.

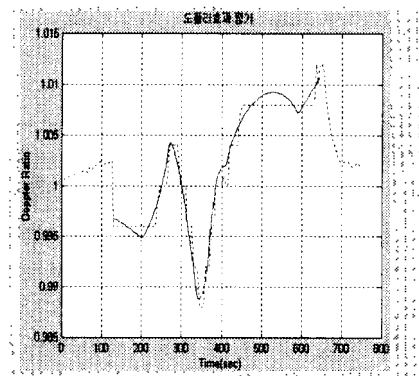


그림 12. 도플러 효과 비의 추적 (SNR 7dB)
Fig. 12. Estimator of Doppler Ratio.

그림 13과 14는 SNR이 5 dB 일 때 각 관측구간으로부터 얻은 Conditional Likelihood(17)의 최대값을 취한 결과이다. 급격하게 변화하는 추정의 부정확성과 탐사문턱 효과(Threshold Effect)는 사선확률 계산의 중요성을 보여준다. 그림 15와 16은 MMSE 방식으로 얻은 결과이지만 모든 가능한 셀 영역을 평균할 경우 중심을 향하여 바이어스가 생기고 이차원 셀영역 밖에서의 확률분포는 0이라는 가정으로 인하여 오차가 발생한다.

그림 17과 18은 이차원 확률분포 함수영역 중 국소지역 셀에 대하여 평균을 취한 결과이다. 즉 시간지연 영역과 도플러 비 영역에서 Correction과정에서 사용한 임펄스 응답특성의 분산과 같은 크기의 영역의 확률분포에 대하여 평균을 계산한 결과이다.

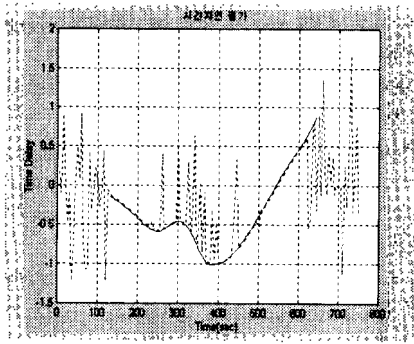


그림 13. Likelihood의 최대값 (시간지연 차)
 Fig. 13. The maximum of Likelihood (Time delay difference).

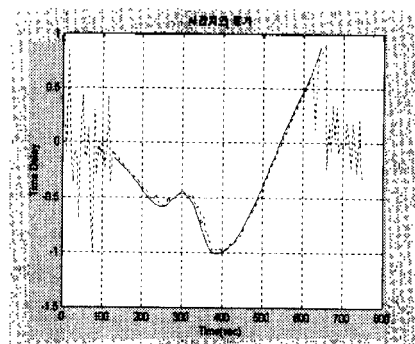


그림 17. 시간지연 차 추정 (부분평균, SNR : -5 dB)
 Fig. 17. Estimator of Time delay difference(partial-mean, SNR: -5dB).

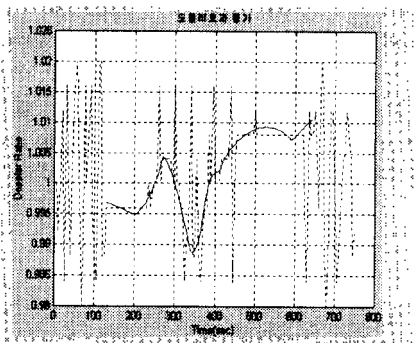


그림 14. Likelihood의 최대값 (도플러 효과 비)
 Fig. 14. The maximum of Likelihood (Doppler Ratio).

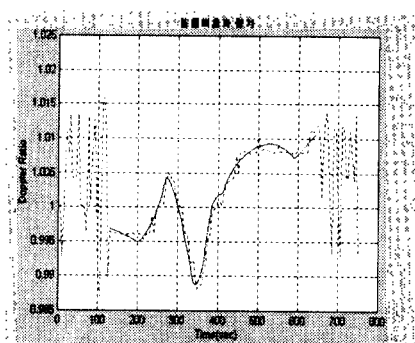


그림 18. 도플러효과 비 추정 (부분평균, SNR : -5 dB)
 Fig. 18. Estimator of Doppler Ratio(partial-mean, SNR: -5dB).

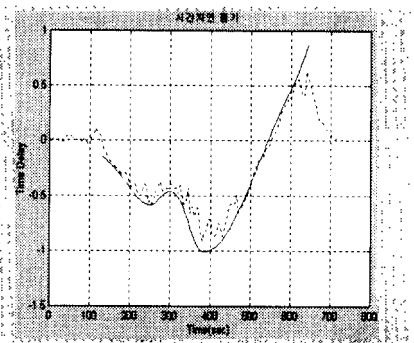


그림 15. 시간지연 차 추정 (MMSE, SNR : -5 dB)
 Fig. 15. Estimator of Time delay difference (MMSE, SNR: -5dB)

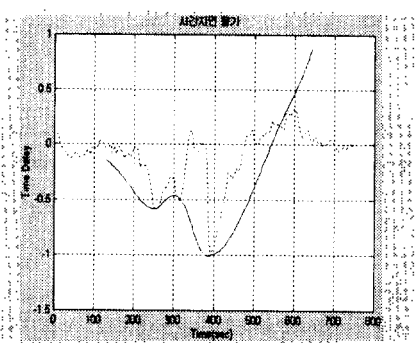


그림 19. 시간지연 차 추정 (MMSE, SNR : -5 dB)
 Fig. 19. Estimator of Time delay difference(MMSE, SNR: -5dB).

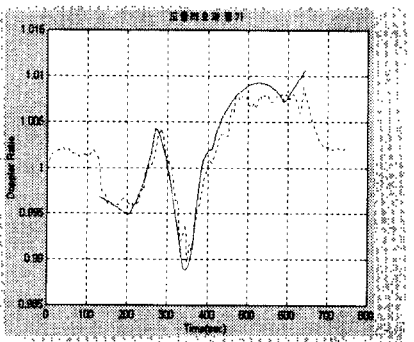


그림 16. 도플러효과 비 추정 (MMSE, SNR : -5 dB)
 Fig. 16. Estimator of Doppler Ratio (MMSE, SNR: -5 dB)

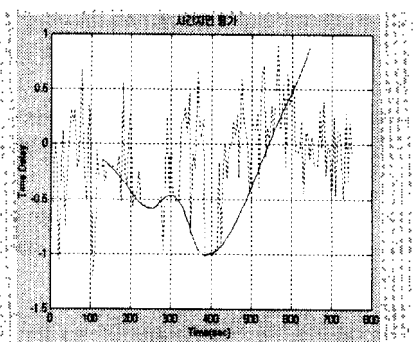


그림 20. 시간지연 차 추정 (부분평균, SNR : -5 dB)
 Fig. 20. Estimator of Time delay difference(partial-mean, SNR: -5dB).

V. 결 론

본 논문에서 비지의 표적의 존재 유무와 각 센서에 도달하는 시간 지연을 평가하기 위하여 신호의 도플러효과를 고려하여 이차원 확률분포 함수를 구하고 탐지와 추적을 동시에 수행하였다.

추정된 신호 안에는 알고자하는 변수에 대한 정보가 들어있지만 실제상황에서는 잡음으로 인하여 정확한 추정이 어렵고 불가피한 오차를 만든다. 이러한 잡음환경 하에서 시간에 따라 달라지는 변수에 대한 오차를 최소화하는 실시간 추적 알고리즘의 구현이 필수적이다. 모의 실험을 통하여 시간지역의 차와 도플러효과 비 역시 동시에 추적할 수 있으며 두 변수의 평가를 통해 더욱 안정적인 추적을 수행할 수 있음을 보였다. 즉 표적 속도에 대한 도플러효과를 보상함으로써 이를 무시했을 경우보다 탐지의 질이 향상됨을 알 수 있었다. 그러나 정확한 도플러의 보상을 위해서는 계산량의 증가가 불가피하며, 따라서 프로그램 처리 속도의 문제를 해결해야 한다. 수신단의 성능향상을 위한 적절한 구현(Implementation) 기법을 개발하거나 특수 목적의 신호처리기의 사용을 통해 속도를 실시간에 부합되도록 하는 방안을 생각할 수 있다. 또한 저속의 표적이거나 센서에 대한 표적의 상대방위가 작각 방향으로 되어 도플러 효과 비가 작은 상태에서 이와 같은 방법의 성능을 향상시키기 위한 연구가 필요하다. 점차 표적들이 빠르고 조용해짐에 따라 이를 탐지하기 위하여 실제 상황에서의 적용이 더욱 요구된다.

참 고 문 헌

1. C. H. Knapp, G. C. Carter, "The generalized correlation method for estimation of time delay," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 34, pp. 320-327, Aug. 1976.
2. L. C. Ng, Y. Bar-Shalom, "Multisensor Multitarget Time delay vector estimation," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 34, pp. 669-678, Aug. 1986.
3. R. L. Kirlin, D. F. Moore, R.F. Kubichck, "Improvement of delay measurements from sonar arrays via sequential state estimation," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 29, pp. 514-519, June. 1981.
4. J. O. Smith, B. Friedlander, "Adaptive interpolated time delay estimation," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic systems*, vol. 21, pp. 180-199, March. 1985.
5. R. E. Bethel, R. G. Rahikka, "An optimum first-order delay tracker," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System*, vol. 23, pp. 718-725, Nov. 1987.
6. R. E. Bethel, R. G. Rahikka, "Optimum time delay detection and tracking," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic System*, vol. 26, pp. 700-711, Sep. 1990.
7. J. N. Bradley, R. L. Kirlin, "Delay estimation by expected value," *IEEE Trans on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 32, pp. 19-27, Feb. 1984.
8. J. A. Stuller, "Maximum-likelihood estimation of time-varying

- delay-part 1," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 35, pp 300-313, Mar. 1987.
9. H. J. Larson, B. O. Shubert, "Pprobabilistic Models In Engineering Sciences," 1979.
10. J. C. Hassab, R. E. Boucher, "Optimum estimation of time delay by a generalized correlator," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 27, pp. 373-380, Aug. 1979.
11. W. H. Haas, C. S. Lindquist, "A synthesis of frequency domain filters for time delay estimation," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 29, pp. 540-548, June. 1981.
12. H. L. Van Trees, *Detection, Estimation and Modulation Theory. Part I*, New York : Wiley, 1968.
13. C. P. Hastell, "Optimal detection of a signal with time-varying carrier phase," *IEEE Transaction on AES*, vol. 10, Nov 1974.
14. E. Weinstein, "Delay and doppler estimation by time-space partition of the array data," *IEEE Trans on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 31, pp. 1523-1535 Dec. 1983.

▲ 엄 석 원 (Suk-Won Yeom)

1970년 9월 12일생



1989년 3월 ~ 1991년 5월 : 인하대학교
물리학과 이학사
1995년 3월 ~ 1997년 2월 : 고려대학교
전자공학과 공학사
1997년 1월 ~ 1997년 8월 : 한국전력공사
1997년 9월 - 현재 : 고려대학교 전자
공학과 석사과정
※ 주관심분야 : 신호처리, 표적신호 탐지/추정/추적

▲ 윤 동 현 (Dong-Hun Youn)

1974년 9월 12일생



1993년 3월 ~ 1997년 2월 : 고려대학교
전자공학과 공학사
1997년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 전자
공학과 석사과정
※ 주관심분야 : 신호처리, 표적신호 탐
지/추정/추적

▲ 윤 동 목 (Dong-Uk Yoon)

1975년 10월 26일생



1994년 3월 ~ 1998년 2월 : 고려대학교
전자공학과 공학사
1998년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 전자
공학과 석사과정
※ 주관심분야 : 신호처리, 표적신호 탐
지/추정/추적

▲고 한 석(Hanseok Ko)

1960년 8월 10일생



1978년 9월~1982년 5월 : Carnegie-Mellon Univ. Electrical Engineering 공학사

1982년 9월~1986년 5월 : Univ. of Maryland System Engineering 공학석사

1986년 9월~1988년 5월 : Johns Hopkins Univ. Electrical Engineering 공학석사

1988년 9월~1992년 5월 : Catholic Univ of America Electrical Engineering 공학박사

1983년 9월~1995년 2월 : White Oak 연구소 Principal Engineer

1992년 9월~1995년 2월 : Univ. of Maryland Part-time Asst. Professor

1995년 3월~현재 : 고려대학교 전기·전자·전파공학부 부교수

※주관심분야: 음성신호처리, 이미지 데이터 융합, 표적신호 탐지/추정/추적