

표적추적 시스템에서 동기가산법을 이용한 CSP계수 향상에 관한 연구

송도훈*, 김정호*, 차경환**, 김천덕***

*부경대학교 대학원 전기공학과, **동서대학교 정보통신공학부, ***부경대학교 전기·제어계측공학부

A Study of Improved CSP coefficient using Synchronous Addition Methods in Target tracking System.

Do-Hoon Song*, Jung-Ho Kim*, Kyung-Hwan Cha**, Chun-Duck Kim***

* Dept. of Electrical Eng. Graduate School Pukyong National Univ.

** Division of Information & Communication Eng. Dongseo Univ.

*** Division of Electrical & Control and instrumentation Eng. Pukyong National Univ.

E-Mail : dhsong@pine.pknu.ac.kr, khcha@kowon.dongseo.ac.kr, cdkim@dolphin.pknu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 표적 추적 시스템에서 센서 어레이에 입사되는 표적신호에 대한 센서 출력 신호간의 지연시간 추정(TDE: Time Delay Estimation)을 위해 백색상호상관법(CSP: Cross-Power Spectrum Phase Analysis)을 이용한다. 그러나 음파의 다중경로 전달특성 및 배경잡음의 영향으로 인해 CSP계수는 많은 클러터(Clutter)를 포함하게 되고 결국 방위 추정 오차의 요인이 된다. 따라서 센서 어레이 중심좌표를 기준으로 대칭 배열된 센서쌍(Pair)에 대한 CSP계수를 동기가산 하여 실제 표적 방향 이외의 방향정보를 제거하는 방법을 제안한다. 시간에 따라 각도를 변침하는 표적에 대한 표적기동분석(BOTMA: Bearings Only Target Motion Analysis)을 위해 매 관측시간마다 동기가산을 행한 CSP결과를 누적하여 방위각 궤적을 형성하였을 때 시간 Window에 따라 약간의 차이는 있지만 약 10dB의 궤적 추적 성능을 확인하였다.

I. 서 론

수동형 소나(Passive SONAR) 체계와 같은 표적추적 시스템에 있어서 센서 어레이를 통해 측정된 방위각

을 이용한 BOTMA는 표적의 위치와 속도를 추정하게 된다. 표적의 방향 정보는 센서 어레이에 입사되는 센서 출력 신호로부터 표적신호의 입사각(Direction of Arrival, DOA)을 추정하고, 센서 부어레이(Subarray)에 대한 공간상 교점에 의해 표적과의 거리를 추정하게 된다. DOA 추정은 센서 어레이에 입사되는 표적신호에 대한 매질에서의 전파속도와 센서간의 거리 d , 그리고 각 센서 출력신호 사이의 TDE에 의해 계산된다. 센서 어레이에 입사된 표적신호 사이의 시간지연 차를 구하기 위해서는 시간영역에서의 상호상관법과 평균 차 합수법, MCC법[3], 주파수 영역에서의 백색상호상관법 등이 있지만, 본 논문에서는 백색상호상관법을 이용한다.

클러터가 많이 존재하는 수중음향환경에서 BOTMA의 성능을 향상시키기 위해 전처리 필터를 통한 방위각 측정치의 필터링에 대해서는 많은 연구 결과가 제시되었다. 본 논문에서는 센서 어레이의 중심좌표를 기준으로 대칭 배열된 센서쌍에 대한 CSP계수의 동기가산[1]에 의해 열화된 방위각 측정치가 개선됨을 보인다.

한편, 센서 어레이에 입사된 표적신호사이의 TDE를 위해 백색상호상관법을 이용할 때 시간 Window형에

따라서 CSP계수는 영향을 받게 된다. 센서 출력신호 사이의 시간지연이 시간 Window 길이의 1/4이하일 때는 Half-Cosine Window와 Riesz Window가 높은 Coherence값을 가진다고 永田(1989)[2]등에 의해 보고되었다. 따라서 본 논문에서는 센서 어레이에 입사되는 표적신호에 대해 Riesz Window를 적용하여 CSP계수를 추정한다. 방위각 30°에서 60°사이를 시간에 따라 변침하는 표적에 대한 BOTMA를 위해 매 관측시간마다 동기가산을 행한 CSP결과를 누적하여 방위각 궤적을 형성하고 Hamming Window와 Riesz Window를 적용하였을 때의 방위각 궤적을 비교 분석한다.

II. 백색상호상관법을 이용한 방위각 추정

II-1. 시간 Window를 고려한 CSP계수 추정

수동 소나 체계에서 표적의 방위각 추정을 위해 센서 어레이를 통해 표적에서 발생한 신호를 수음하는 경우 평면파(Plane Wave)로 가정한 표적신호는 센서 어레이의 법선 방향을 기준으로 어떤 입사각을 가지게 된다. 따라서 표적과 센서 어레이의 각 센서사이에 경로차가 생겨 센서 출력 신호는 상대적인 시간지연을 가지게 되고 다음 식(1)과 같이 모델링 된다.

$$\begin{aligned} p_i(n) &= \alpha S(n - q_i) + h_i(n) * s(n) + n_i(n) \\ p_j(n) &= \beta S(n - q_j) + h_j(n) * s(n) + n_j(n) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 S(n)는 원거리 표적의 발생 신호, α 와 β 는 음파 전달경로의 매질과 거리에 따른 진폭 감쇄 상수, $h_i(n)$, $h_j(n)$ 은 음파 전달경로의 공간상 전달함수, $n_i(n)$, $n_j(n)$ 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 백색 가우시안 잡음으로 표적 신호와 무상관이라고 가정한다. 식(1)과 같이 모델링된 표적신호가 각 센서에 수신되었을 때, N Point의 시간 Window $W_i(n)$, $W_j(n)$ 를 고려한 이산 푸리에 변환(DFT: Discrete Fourier Transform)은 다음 식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} P_i(k) &= \sum_{n=0}^{N-1} w_i(n) p_i(n) \exp(-j2\pi kn/N) \\ &= \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{l=0}^{N-1} W_i(l) \exp(j2\pi ln/N) \cdot p_i(n) \exp(-2\pi kn/N) \\ &= \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} W_i(l) \sum_{n=0}^{N-1} p_i(n) \exp\left(-2\pi \frac{n(k-l)}{N}\right) \\ &= \frac{1}{N} \sum_{l=0}^{N-1} W_i(l) p_i(k-l) \\ &= \frac{1}{N} W_i(k) * p_i(k) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_j(k) &= \sum_{n=0}^{N-1} w_j(n) p_j(n) \exp(-2j\pi kn/N) \\ &= \frac{1}{N} W_j(k) * p_j(k) \end{aligned} \quad (2)$$

CSP계수 추정을 위해 식(2)와 같이 시간 Window를 고려한 센서 출력신호의 DFT 결과인 $P_i(k)$, $P_j(k)$ 에 대한 Cross-Spectrum의 역 DFT는 다음 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} CSP_{ij}(q) &= DFT^{-1} \left[\frac{P_i(k) P_j(k)^*}{|P_i(k)| |P_j(k)|} \right] \\ q_{ij} &= \arg \max (CSP_{ij}(q)) \end{aligned} \quad (3)$$

식(3)에 의해 추정된 CSP계수는 음파의 다중경로 전달특성 및 배경잡음의 영향으로 인해 많은 클러터를 포함하게 되는데 Fig. 1.과 같이 센서 어레이 중심좌표를 기준으로 대칭 배열된 센서쌍 Pair A, Pair B, Pair C의 CSP계수에 대한 동기가산으로 CSP계수를 향상시킬 수 있다.

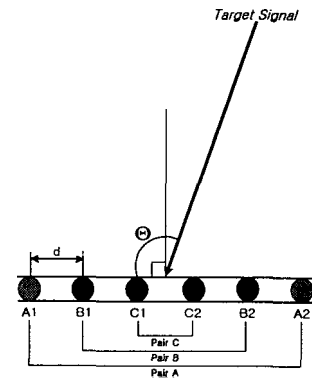


Fig. 1. 동기가산을 위한 대칭 센서 배열

II-2. 동기가산법을 적용한 DOA 추정

Fig. 1.에서 가장 방위각 분해능이 좋은 센서 어레이의 최외각 센서쌍 Pair A를 기준으로 방위각 θ 에 대해 Pair B, Pair C를 동기화하여 각 CSP계수를 다음 식(4)와 같이 동기가산 한다.

$$CSP_{SAM}(q) = [CSP_A(q) + CSP_B(q) + CSP_C(q)] \quad (4)$$

동기가산을 행한 CSP계수인 $CSP_{SAM}(q)$ 은 향상된 TDE를 제공하고 이 결과에 대해 다음 식(8)과 같이 Cosine 법칙을 이용하여 표적신호의 DOA를 추정한다. 표적과 각 센서 사이의 경로차에 의한 시간지연 q 는 다음 식(5)에 의해 계산된다.

$$q_i = \frac{R_i - R_0}{c} = \frac{1}{c} \{ [L_i^2 + R_0^2 + 2L_i R_0 \sin \theta]^{1/2} - R_0 \}$$

$$q_j = \frac{R_0 - R_j}{c} = \frac{1}{c} \{ R_0 - [L_j^2 + R_0^2 - 2L_j R_0 \sin \theta]^{1/2} \}$$
(5)

여기서 R_i, R_0, R_j 는 표적과 센서 i , 대칭 기준점, 센서 j 사이의 거리이고 c 는 표적신호의 매질내 전파 속도이다. 원거리 표적에 의해 $R_i, R_j \gg L_i, L_j$ 이면 식 (5)는 Taylor 급수 전개에 의해 다음 식(6)과 같이 전개 된다.

$$q_i = \frac{1}{c} (L_i \sin \theta + L_i^2 \cos^2 \theta / 2R_0)$$

$$q_j = \frac{1}{c} (L_j \sin \theta - L_j^2 \cos^2 \theta / 2R_0)$$
(6)

식(6)에서 $\cos^2 \theta / 2R_0$ 을 연립하여 풀면 다음 식(7),(8)과 같다.

$$\sin \theta = \frac{c}{2L} \left[\frac{L_j}{L_i} q_i + \frac{L_i}{L_j} q_j \right]$$
(7)

$$\theta = \sin^{-1} \frac{c}{2L} \left[\frac{L_j}{L_i} q_i + \frac{L_i}{L_j} q_j \right]$$
(8)

식(8)에서 센서 어레이의 센서 배치가 비선형일 경우 각 센서간 거리는 L_i, L_j 가 되고, 동기가산을 행한 CSP계수 $CSP_{SAM}(q)$ 에 의해 센서간 상대적인 시간 지연 차를 구하면 식(8)에 의해 표적신호의 DOA를 추정할 수 있다.

III. 수치 시뮬레이션

수치 시뮬레이션을 하기 위해 모의 표적신호로써 기동 표적의 도플러를 감안한 10Hz에서 4kHz까지 선형적 주파수 변화를 가지는 Chirp 신호를 사용하였다. 모의신호에 대해 백색상호상관법에 의한 CSP계수를 추정하고 유효한 동기가산 횟수를 확정하기 위한 수치 시뮬레이션 조건은 다음과 같이 설정한다.

모의 표적신호는 수중 음향신호로써 매질내 속도는 1500m/s, 샘플링 주파수는 12kHz, 샘플 데이터수 N 는 4096개, 시간 Window는 128Point의 Hamming Window와 Riesz Window, 배경잡음은 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 백색 가우시안 잡음을 사용하였다.

방위각 30° 에서 60° 사이를 시간에 따라 변침하는 표적에 대한 BOTMA를 위해 매 관측시간마다 동기가산을 행한 CSP결과를 누적하여 방위각 궤적을 형성하고 Hamming Window와 Riesz Window를 적용하였을 때의 방위각 궤적을 비교 분석한다.

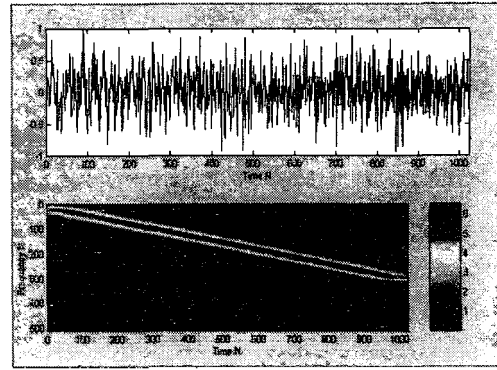


Fig. 2. SNR 0dB의 Chirp 신호와 STFT

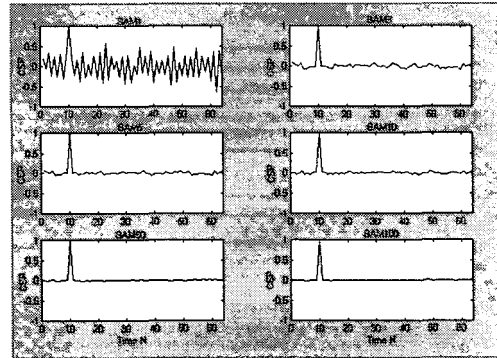


Fig. 3. 동기가산 횟수에 따른 CSP계수 (Hamming Window)

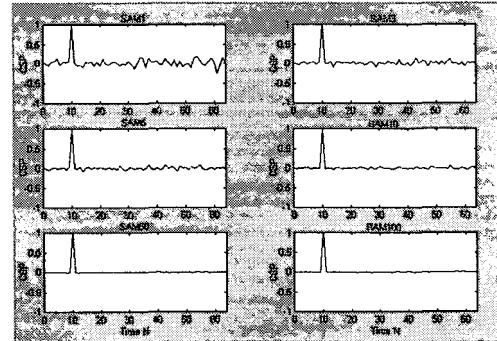


Fig. 4. 동기가산 횟수에 따른 CSP계수 (Riesz Window)

Fig. 2는 표적의 도플러를 감안한 SNR 0dB의 Chirp 신호이고 STFT결과를 보면 시간에 따라 선형적인 주파수 특성을 가진다. Fig. 3.과 Fig. 4.는 동기가산 횟수를 1, 3, 5, 10, 50, 100으로 가변하며 수치 시뮬레이션한 결과이다. 동기가산을 하지 않았을 때 Hamming Window와 Riesz Window에 대한 CSP계수 추정결과이다. 클러터에 의한 거짓 방위 정보에 Riesz Window가 강함을 알 수 있고 시간 Window에 상관없이 동기가산 3회부터는 비슷한 추정결과를 보이므로 방위각 추정을 위한 동기가산 횟수는 3회가 적당하다고 판단된다.

<참 고 문 헌>

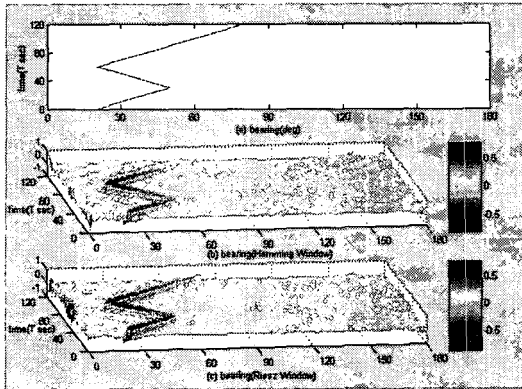


Fig. 5. 시간에 따라 방위각을 변침하는 표적의 방위각 궤적

Fig. 5.(a)는 시간에 따른 표적의 방위각 변침을 나타낸다. (b), (c)는 Hamming Window와 Riesz Window를 적용하여 매 관측시간(kT , $k=1, 2, \dots, 120$)마다 CSP계수를 누적한 방위각 궤적이다. (b), (c) 모두 10dB 정도의 강도로 표적의 방위각 궤적을 추정하고 있지만, (b)는 관측시간 100T부터 표적 방위각의 강도가 점차 약해짐을 보인다.

IV. 결 론

표적 방위각 추적을 위한 TDE를 위해 백색상호상관법을 사용하였고 수중 클러터에 의해 열화된 표적 방위각을 위해 CSP계수의 동기가산을 제안하였다.

수치 시뮬레이션 결과 3회의 동기가산부터는 비슷한 방위각 추정을 하므로 3회의 동기가산이 적당하다고 판단되고, CSP계수에 대한 시간 Window의 영향을 고려하여 Hamming Window와 Riesz Window를 적용하여 CSP계수를 추정하고 방위각 궤적을 형성한 결과 Riesz Window가 Hamming Window보다 약간 우수한 성능을 보임을 확인하였다.

[1]西浦 敬信, 山田 武志, 中村 哲宏, 麗野 清平, "白色相互相關의 同期加算による 複數音原位置推定", 日本音響學會講演論文集, p485-486, 1999년3월

[2]永田 仁史, 劉 家 祥, 安倍正人, 城戸健一, "クロススペクトル法による コヒーレン스關數 及び インパルスレスポンス推定の際の 窓關數の 影響", 日本音響學會誌 45卷 12号, p950-956, 平成元年 5月.

[3]송도훈, 차경환, 김천덕, "MCC를 이용한 TDE 분해능 향상에 관한 연구", 한국음향학회 학술발표회 논문집 Vol 18, p113-116, 1999.

[4]V.J.Aidala and S.E.Hammel, "Utilization of modified polar coordinates for bearings-only tracking." IEEE Trans. Automat. Contr, Vol AC-28. no. 3, p283-294, Mar. 1983.

[5]Shie Qian and Dapang Chen, Joint Time-Frequency Analysis Methods and Applications, Prentice Hall, 1996.

[6]L.R.Rabiner and R.W.Schafer, Digital processing of speech signals, Englewood Cliffs, Prentice Hall, New Jersey, 1978.

[7]G.Clifford Carter, "Coherence and Time Delay Estimation", proceedings of the IEEE, Vol. 75, no. 2, p236-255, Feb. 1987.

[8]C.H.Knapp and G.C.Carter,"The Generalized Correlation Method for Estimation of Time delay", IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Vol 24. ASSP, August 1976.