

MCC를 이용한 TDE 분해능 향상에 관한 연구

송도훈*, 차경환**, 이채봉**, 김천덕***

*부경대학교 대학원 전기공학과, **동서대학교 정보통신공학부, ***부경대학교 전기공학과

A Study of High Resolution TDE using MCC

Do-Hoon Song*, Kyung-Hwan Cha**, Chai-Bong Lee**, Chun-Duck Kim***

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

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

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

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

요 약

신호 대 잡음비가 낮은 환경에서 센서 어레이에 입사된 입력 신호 사이의 지연시간 추정(Time Delay Estimation, 이하 TDE)은 높은 분해능이 요구된다.

본 연구에서는 높은 분해능의 TDE를 구하기 위해 상호상관함수(Cross-Correlation)에 평균 차 함수(Average Magnitude Difference Function, AMDF)의 역수를 가중한 MCC (Modified Cross-Correlation)알고리즘을 제안한다. 모의신호를 사용한 수치 시뮬레이션 실험으로 종래의 AMDF, Cross-Correlation 알고리즘과 본 연구에서 제안한 MCC 알고리즘의 분해능을 비교 분석하였다. 각 알고리즘의 TDE 결과에 대해 STFT(Short Time Fourier Transform)에 의한 시간 주파수 해석을 한 결과 MCC알고리즘을 사용하여 TDE 분해능이 향상되었음을 보고한다.

I. 서 론

SONAR나 RADAR와 같은 표적추적 시스템에 있어서 표적의 위치를 파악하기 위해서는 그 방향과 거리에 대한 정확한 정보가 요구된다. 표적의 방향 정보는 센서 어레이에 입사되는 센서 출력 신호로부터 도래각(Direction of Arrival, DOA) 추정을 하고, 센서 어레이의 센서 쌍에 대한 공간상 교점에 의해 표적과의 거리

를 추정하게 된다. DOA 추정은 센서 어레이에 입사된 신호의 전파속도와 각 센서 사이의 시간지연 추정(Time Delay Estimation, TDE)값으로 계산하게 된다. 센서 어레이에 입사된 신호 사이의 시간지연-차의 계산은 시간 영역에서의 Cross-Correlation법과 주파수 영역에서의 Cross Power Spectrum법 등이 있다.

이전 연구에서 자기상관함수(Auto-Correlation), cepstrum(Cepstrum)과 함께 신호의 기본 주파수 f_0 를 추출하기 위한 수법으로 알려진 평균 차 함수(Average Magnitude Difference Function, AMDF)를 이용한 시간지연 추정을 제안하여 수치 시뮬레이션과 실험으로 그 타당성을 보고한 바 있다. 그러나 평균 차 함수법은 연산량이 적은 대신 분해능이 저하되는 단점이 있다.

본 연구에서는 앞서 제안한 방법의 문제점을 보완하기 위해 i 번째 센서의 출력 파형과 j 번째 센서의 출력 파형을 시간 q 만큼 이동시켰을 때, 파형의 유사성이 높을수록 함수 값이 높아지는 상호상관함수의 성질과 함수 값이 0에 가까워지는 평균 차 함수의 성질에 착안하여, 분해능을 높이기 위한 방법으로 상호상관함수에 평균 차 함수의 역수를 가중한 MCC를 제안한다.

정현파 합성신호와 표적이 이동할 때 도플러 효과를 감안한 Chirp 신호를 입력 신호로 하여 각 알고리즘에 대한 TDE 분해능을 STFT를 통해 비교한다.

II. 센서 입력 신호 모델링

수중 청음기나 Passive SONAR에서와 같이 센서 어레이를 통해서 신호를 수신하는 경우 평면파로 가정된 수신신호는 센서 배열면의 법선 방향을 기준으로 어떤 입사각을 가지게 된다. 이때 각 센서에 수신되는 신호는 시간지연을 가지게 된다. 이 경우 신호원과 각 센서 사이의 시간지연 차는 직접 구할 수 없지만, 각 센서 사이의 시간지연 차는 여러 TDE기법을 통해 구할 수 있다.

한편, RADAR나 Active SONAR와 같이 신호원에 대한 정보를 알고 있는 경우에는 신호원과 표적에 반사된 수신신호 사이의 시간지연 차를 구할 수 있다.

이와 같이 여러 형태의 표적 추적 체계에서 TDE는 DOA나 표적까지의 거리를 판단하는 근거가 된다. 여러 TDE기법을 비교하기 위해 i 와 j 번째 센서 수신 신호를 모델링 하면 식(1)과 같다.

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

여기서 $S(n)$ 는 평면파로 가정된 신호원, α 와 β 는 매질과 거리에 따른 감쇄 상수, $h_i(n)$, $h_j(n)$ 은 공간상 전달함수, $n_i(n)$, $n_j(n)$ 는 신호원과 무상관인 백색 가우시안 잡음으로 가정한다. 식(1)과 같이 모델링된 모의신호가 각 센서에 수신되었을 때, 각 센서 쌍에 대해서 상대적 수신 시간지연 차를 식(2), (3)과 같은 Cross-Correlation, AMDF 함수를 사용하여 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} R(q) &= \sum_{n=0}^{N-1} P_i(n) \cdot P_j(n+q) \\ q_{ij} &= \arg \max R(q) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} AMDF(q) &= \sum_{n=0}^{N-1} |P_i(n) - P_j(n+q)| \\ q_{ij} &= \arg \min AMDF(q) \end{aligned} \quad (3)$$

식(2)의 Cross-Correlation 함수는 i 번째 센서에서 수신한 신호와 j 번째 센서에서 수신한 신호를 q 만큼 이동시켰을 때 파형의 유사성이 클수록 함수는 최대값을 가진다. 만약 입력 신호가 주기성을 가지게 되면 첫 번째 피크이후에 주기적인 피크를 가지게 된다. 식(3)의 AMDF 함수는 음성신호의 피치 검출에 많이 이용되고 파형의 유사성이 클수록 함수는 0에 가까운 최소값을 가지게 되며 Cross-Correlation 함수에 비해 연산량이 크게 줄어드는 장점이 있으나 시간 영역에서의 분해능은 떨어진다.

따라서 TDE 알고리즘의 분해능 향상을 위해 식(4)와 같이 Cross-Correlation 함수에 AMDF 함수의 역수를 가중한 MCC 알고리즘을 제안한다.

$$\begin{aligned} MCC(q) &= \frac{R(q)}{AMDF(q)+1} \\ &= \frac{\sum_{n=0}^{N-1} |P_i(n) \cdot P_j(n+q)|}{\left\{ \sum_{n=0}^{N-1} |P_i(n) - P_j(n+q)| \right\} + 0.1} \end{aligned} \quad (4)$$

각 센서에서 수신한 신호의 양자화 크기가 같을 경우 AMDF 함수는 0이 되고 MCC 알고리즘은 발산하게 되므로 AMDF 함수에 0.1을 가산한다. MCC 알고리즘을 이용한 신호처리 블록도는 Fig 1.과 같다.

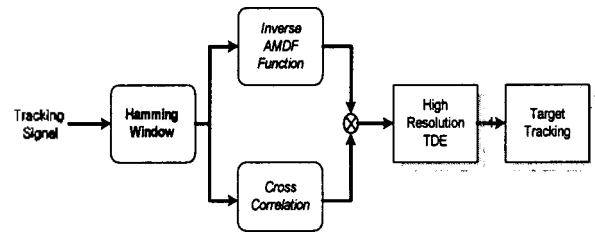


Fig. 1. MCC 신호처리 블록도

III. TDE에 기초한 표적 신호의 DOA 추정

Fig. 2.는 MCC 알고리즘을 이용하여 각 센서 사이의 상대적인 TDE를 계산하고 Cosine 법칙을 이용하여 음원의 DOA를 추정한다.

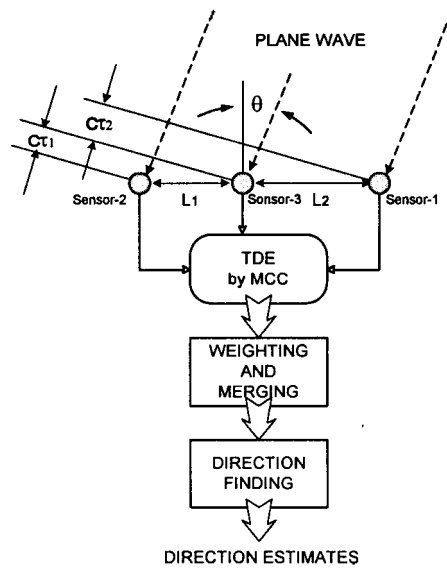


Fig. 2. MCC를 이용한 DOA 추정

각 센서 사이의 상대적인 시간지연 q 는 식(5)에 의해 계산된다.

$$q_1 = \frac{R_I - R}{c} = \frac{1}{c} \{ [L_1^2 + R^2 + 2L_1R\sin\theta]^{1/2} - R \}$$

$$q_2 = \frac{R - R_{III}}{c} = \frac{1}{c} \{ R - [L_2^2 + R^2 - 2L_2R\sin\theta]^{1/2} \}$$
(5)

여기서 R_I, R, R_{III} 는 신호원과 Sensor-2, Sensor-3, Sensor-1 사이의 거리이고 c 는 표적 신호의 전파속도이다. 입력 신호원을 평면파로 가정한다면 식(5)은 Taylor 급수 전개에 의해 식(6)과 같이 된다.

$$q_1 = \frac{1}{c} (L_1\sin\theta + L_1^2\cos^2\theta/2R)$$

$$q_2 = \frac{1}{c} (L_2\sin\theta - L_2^2\cos^2\theta/2R)$$
(6)

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

$$\sin\theta = \frac{c}{2L} \left[\frac{L_2}{L_1} q_1 + \frac{L_1}{L_2} q_2 \right]$$
(7)

$$\theta = \sin^{-1} \frac{c}{2L} \left[\frac{L_2}{L_1} q_1 + \frac{L_1}{L_2} q_2 \right]$$
(8)

식(8)에서 센서 어레이의 센서 배치가 비 선형일 경우 각 센서간 거리는 L_1, L_2 가 되고, MCC 알고리즘에 의해 센서간 상대적인 시간지연 차를 구하면 식(8)에 의해 표적 신호의 DOA를 추정할 수 있다.

IV. 모의신호에 대한 수치 시뮬레이션

수치 시뮬레이션을 하기 위해 표적 모의신호로서 SNR 20dB의 1kHz, 2kHz 정현파 합성신호와 이동 표적의 도플러 효과를 감안한 10Hz에서 4kHz까지 선형적 주파수 변화를 가지는 Chirp 신호를 사용하였다. 모의신호에 대한 Cross-Correlation, AMDF, MCC 등 TDE 알고리즘의 분해능을 비교하기 위한 수치 시뮬레이션 실험 조건은 다음과 같다.

모의 표적신호는 공기중 음향신호로서 속도는 340m/s, 임의의 i 와 j 번째 센서간의 거리는 0.33m, 표적은 센서 어레이의 +58°방향에 있다고 가정하였다. 샘플링 주파수는 12kHz, 샘플 데이터수 N 는 2048개, 창 함수는 128 Point의 Hamming Window, 가산잡음은 백색 가우시안 잡음을 사용하였다.

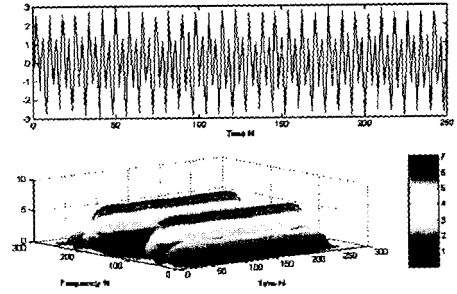


Fig. 3. SNR 20db 정현파 합성신호의 SIFT

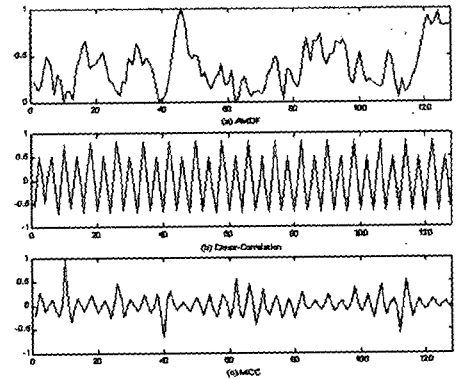


Fig. 4. 각 알고리즘에 의한 TDE 결과

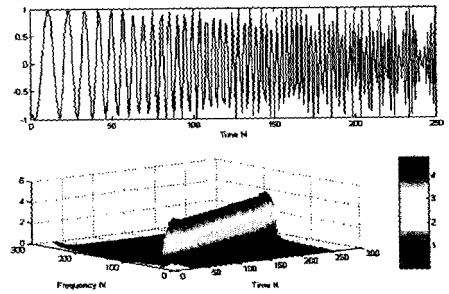


Fig. 5. Chirp 신호의 SIFT

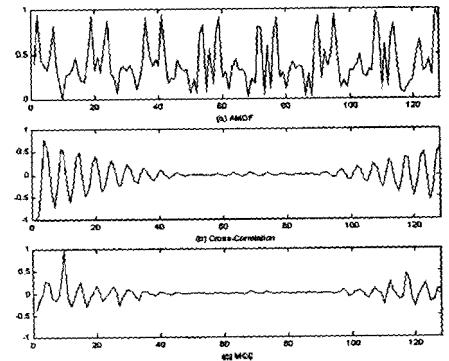


Fig. 6. 각 알고리즘에 의한 TDE 결과

<참 고 문 헌>

[1]小林 載, 島村 徹也, "AMDF關數を 重みとした 自己 相 關 關 數 法 に よ る 基 本 周 波 數 抽 出 法", 日 本 音 響 學 會 講 演 論 文 集, 平 成 10 年 9 月

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

[3]송도훈, 차경환, 김천덕, "AMDF를 이용한 화자 위치 추정", 한국음향학회 학술발표회 논문집 Vol 17, p193-196, 1998.

[4]송도훈, 차경환, 김천덕, "음원위치 추정 시스템에서 속도향상을 위한 AMDF의 적용", 한국음향학회 영남 지회 학술발표회 논문집 Vol 5, p64-67, 1998.

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

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

[7]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.

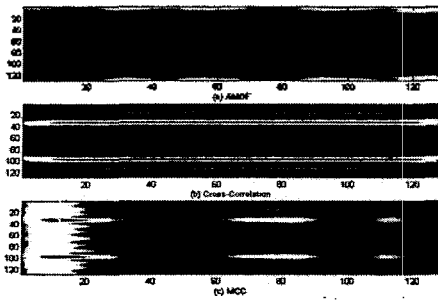


Fig. 7. 정현과 합성신호의 TDE 결과에 대한 STFT

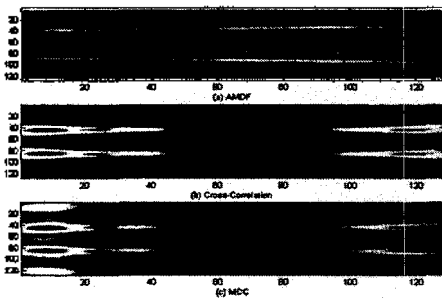


Fig. 8. Chirp 신호의 TDE 결과에 대한 STFT

Fig. 7.과 Fig. 8.에서 모의신호의 TDE 결과에 대해 STFT를 했을 때, MCC 알고리즘의 경우 10 Point에서 에너지가 집중되는 것으로 나타났다.

V. 결 론

표적 추적에서 DOA 추정의 기초가 되는 TDE알고리즘(AMDF, Cross-Correlation, MCC)을 모의 신호에 대해서 수치 시뮬레이션 하였다.

모의신호에 대한 TDE 추정 결과를 보면 주기신호의 경우 AMDF가 Chirp 신호의 경우 Cross- Correlation이 오차를 가지나 MCC 알고리즘은 정확하게 추정하고 있다.

제한한 MCC 알고리즘에 의해 TDE 분해능이 향상되었으나 가중함수인 AMDF에 의한 추정 오차의 영향에 대해 앞으로 연구되어야 할 것이다.