

수중음향신호 입사방위 추정을 위한 RLSLTDE 알고리즘

RLSLTDE Algorithm for Bearing Estimation of the Underwater Acoustic Signal

최재용*, 손권*, 도경철*

(Jae Yong Choi*, Kweon Son*, Kyeong Cheol Dho*)

요약

수중음향 측정 및 수동형 탐지에서는 표적 방사음향의 방위 탐지가 매우 중요하다. 표적의 방사음향이 다수 개의 청음 센서에 수신되면서 각 센서 마다 시간적으로 지연되어 도달한다. 이와 같은 시간지연을 추출함으로써 표적 방위 추출이 가능하다. 본 연구에서는 시간지연 추정을 위해 RLSL 적응필터를 이용한 새로운 RLSLTDE 알고리즘을 제안한다.

RLSLTDE는 표적 방사음향에 대한 정보가 제한적이거나 추정하려는 시간지연 정보가 시변인 경우에 효율적이다. 신호 대 잡음비에 따른 시뮬레이션에 결과, 기존 LMS 적응필터 알고리즘 보다 수렴특성 및 시간지연추정 속도면에서 우수하여 제안 알고리즘이 수중음향 입사방위 추정에 유용함을 확인하였다.

핵심용어: 시간지연추정, 적응필터, 순환최소자승격자

투고분야: 수중음향 분야(5.4)

ABSTRACT

The bearing detection of radiated target noise is very important at underwater acoustic measurement and passive detection. It differs the arrival times of received signal at each sensor. Therefore, the bearing can be obtained from the time delay. This paper proposes a new algorithm using the RLSL adaptive filter for TDE. The proposed method is particularly attractive when there is a limitation of priori information about the received signal spectra and when the delay is subject to variation. As the simulation results, it is shown that the proposed algorithm has better convergence characteristics and TDE speed, and so that the usefulness of proposed algorithm is confirmed.

Key words: Time-delay estimation, Adaptive-filter, Least square lattice.

1. 서론

음향탐지기(SONAR) 및 수중음향측정체계(Underwater Acoustic Measurement System)에서는 수신 신호의 신호 대 잡음비를 증대시키고자 다수 개의 청음센서 또는 센서배열(sensor array)을 이용한다. 특히 예인형 또는 헤지고정형 센서배열 음향탐지기는 표적의 저주파수 대역 방사음향을 장거리에서 탐지(detection)하므로 센서배열을 이용하여 약해진 표적음향의 신호대 잡음비를 증대시키며, 아주 미약한 소리를 발생시키는 표적의 방사음향을 측정하기 위한 수중음향측정체계 역시 최근에는 센서배열을 이용하여 신호대 잡음비를 증대시키고 있다. 초음파 진단기와 같은 의료공학 분야에서의 높은 주파수 대역 음향탐지기도 신호대 잡음비 증대를 위해 센서배열을 이용한다.

센서배열을 이용한 표적음향 탐지 또는 측정은 표적의

거리 및 방위를 찾아내는 일이다. 이 가운데 표적음향의 입사방위(bearing) 탐지는 그림 1과 같이하여 추출한다. 센서배열은 서브배열(sub-array)에 의해 두 개의 센서로 모델링되고, 모델링 된 센서의 표적음향 수신은 식 (1)과 같이 단순한 수학적 모델로 표현된다.

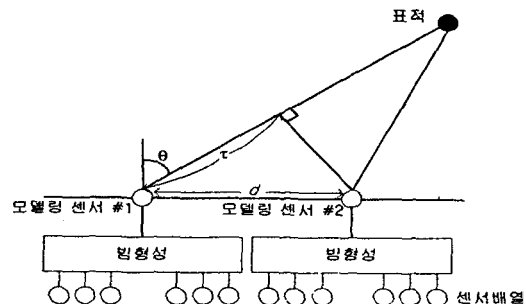


그림 1. 센서배열을 이용한 입사방위 추정

Fig 1. The estimation of incident bearing using sensors array.

* 국방과학연구소

접수일자: 2000년 4월 28일

$$\begin{aligned} x_1(n) &= s(n) + w_1(n) \\ x_2(n) &= \beta s(n-D) + w_2(n) \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $s(n)$ 은 음원신호이고, $w_1(n)$, $w_2(n)$ 은 각 센서에 유입되는 미지의 잡음신호로서 평균이 0인 랜덤 신호이며, 상호간에 상관관계를 가지지 않는다. β 는 신호의 거리에 따른 감쇄량이다. 음원과의 거리에 비해 센서간격이 매우 짧으므로 β 는 보통 1로 가정한다. 그리고 D 는 두 센서가 동일 음원신호를 수신하는 과정에서의 시간지연을 나타낸다. 시간지연 D 가 추정되면 표적의 입사방위 θ 는 다음의 식 (2)에 의해 구해진다.

$$\begin{aligned} \sin \theta &= \frac{f}{d} \\ \theta &= \sin^{-1} \frac{f}{d} = \sin^{-1} \frac{D}{cd} \end{aligned} \quad (2)$$

식 (2)에서 c 는 음향속도이다. 따라서 표적음향의 입사방위를 정확하게 추출하기 위해서는 시간지연을 정확하게 추정해야 하고, 이를 위한 시간지연 추정 TDE(Time Delay Estimation) 알고리즘이 수동형 음향탐지 및 수중음향 측정 분야에서 활발하게 연구되어 왔다[1-8].

전형적으로 각 센서에 입사되는 표적 음향신호의 상호 상관관계(cross-correlation)를 검출하여 시간지연을 추정하여 왔다. 이와 같은 상호 상관관계 검출 방식은 환경적인 영향에 의해 TDE 분해능이 저하되는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 개발된 GCC(Generalized Cross Correlation) 알고리즘은 Roth, SCOT, PHAT, Eckart 및 ML 등의 백색화 필터(whitening filter)를 상관관계 검출 전에 적용시켜 시간지연 추정 분해능을 향상시켰다[1]. 그러나 GCC는 수신된 음원 신호와 잡음에 대한 정보를 사전에 충분히 알아야 양호한 결과를 얻을 수 있다. 일반적으로 수동 추적에서 수신 신호는 시변(time varying)이며 음원 신호와 잡음에 대한 사전 정보의 정확한 파악이 쉽지 않으므로 실제 적용 면에서 GCC는 제한점을 가진다.

따라서 신호에 대한 제한된 정보를 기초로 두 센서 사이의 시간지연을 추정하기 위해 적응 알고리즘이 적용되었다[3-8]. 가장 대표적인 방법은 최소평균자승 시간지연 추정 LMSTDE(Least Mean Square Time Delay Estimation) 알고리즘이다. LMSTDE에서 필터 계수의 수차 변화는 두 센서 수신 신호간의 시간지연 변화를 의미하며, LMS 필터는 궁극적으로 최적의 해에 수렴한다. 그러나 입력신호 상관관계 행렬의 고유치 불균등(eigenvalues disparity) 현상으로 인하여 LMS 필터는 최적의 해에 수렴하는 속도가 일정하지 않고, 급하강(steepest descent)에 의해 수렴 속도가 느린 문제점을 가지고 있다[9, 10].

그러므로 본 연구에서는 입력신호의 고유치 불균등에 둔감한 격자필터를 이용하여 수렴속도를 증가시키며 순환최소자승격자 RLSL(Recursive Least Square Lattice) 적응필터를 입력신호에 대한 선행필터로 이용하여 시간지

연 추정 해상도를 높이도록 새로운 RLSLTDE 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘의 특징은 시뮬레이션에 의해 기존 LMSTDE와 비교한다.

서론에 이어 2장에서는 LMSTDE 알고리즘을 정립하고, 3장에서 RLSLTDE 알고리즘을 이론적으로 제안하여 성능을 분석한다. 그리고 4장에서 시뮬레이션을 수행하고 결과를 고찰한다.

II. LMSTDE 적응 알고리즘

LMS 필터를 이용한 시간지연 추정 알고리즘은 다음의 그림 2와 같이 표현된다[4-8].

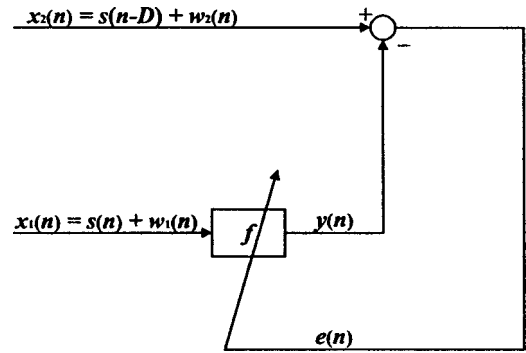


그림 2. 최소평균자승 시간지연 추정(LMSTDE) 알고리즘
Fig 2. LMS time-delay estimation(LMSTDE) algorithm.

두 입력 신호 $x_1(n)$ 과 $x_2(n)$ 는 적응필터의 기준 입력과 원하는 입력으로 각각 주어지고, LMS 알고리즘의 필터 계수는 방정식 (3)에 의해 갱신된다.

$$f_{n+1} = f_n + \alpha e(n) x_n \quad (3)$$

여기서 $x_n = [x_1(n), x_1(n-1), \dots, x_1(n-L+1)]'$ 는 L 개의 입력 신호이며, α 는 적응상수로서 적응 연산의 수렴과 안정도를 제어하는 변수이다. 오차 $e(n)$ 은 원하는 입력 $x_2(n)$ 과 필터 출력 $y(n)$ 과의 차이로 정의하며, 이는 식 (4)와 같이 표현된다.

$$e(n) = x_2(n) - y(n) = x_2(n) - f_n' x_n \quad (4)$$

식 (4)에서 $f_n = [f_n(0), f_n(1), \dots, f_n(L-1)]'$ 은 L 개의 필터계수 벡터를 나타내고, 식 (3)과 같이 Widrow의 LMS 알고리즘에 따라 평균자승오차(mean square error) $E[e^2(n)]$ 의 최소화에 의해 갱신된다. 그리고 시간지연 추정은 f_n 의 최대값을 취함으로써 얻어진다.

입력신호가 서로 상관관계를 가지지 않는다는 가정 하

에서 식 (3)은 식 (5)와 같이 표현될 수 있다[9].

$$f_{n+1} = (I - \alpha x_n x_n') f_n + \alpha x_2(n) x_n \quad (5)$$

LMSTDE의 성능을 분석하기 위해 식 (5)의 양변에 기대값을 취하면 식 (6)을 얻는다.

$$E\{f_{n+1}\} = (I - \alpha R)E\{f_n\} + \alpha R f^* \quad (6)$$

여기서 $f^* = R^{-1} g$ 는 최적해이며, $R = E[x_n x_n']$, $g = E\{x_2(n) x_n\}$ 이다. 식 (6)을 평균오차 벡터 $v_n = E\{f_n\} - f^*$ 에 대입하면 식 (7)의 평균오차 벡터가 구해진다.

$$v_n = (I - \alpha R) v_{n-1} \quad (7)$$

식 (7)에서 $R = Q \Lambda Q'$ 은 입력신호 $x_1(n)$ 의 자기 상관관계 행렬이고 Q 는 R 의 고유벡터로 구성된 정규직교 행렬이다. 그리고 Λ 는 R 의 고유치를 가지는 대각행렬이다. 따라서 식 (7)은 다음과 같이 분리할 수 있다.

$$v_n(j) = (1 - \alpha \lambda_j) v_{n-1}(j) \quad (8)$$

여기서 $v_{n-1}(j)$ 는 정규직교 행렬 Q 를 사용한 회전 오차 벡터로서 j 번째 인자를 나타내며, λ_j 는 R 의 j 번째 고유치이다. 그러므로 식 (8)은 다음의 조건을 만족할 때 0으로 수렴한다.

$$0 < \alpha < \frac{2}{L \times \text{power of the input}} \quad (9)$$

식 (9)는 안정도 조건이 필터 길이 L 에 의존함을 보여준다. 식 (8)에서 오차 벡터의 모든 계수는 식 (9)에 의해 감소한다. 그러나 오차 벡터의 개별 인자 $v_n(j)$ 의 감소율은 $|(1 - \alpha \lambda_j)|$ 의 크기에 의존한다. 일반적으로 고유치는 서로 다른 크기를 가지기 때문에 어떤 모드에서는 다른 모드보다 더 빠르게 수렴할 수 있다. 만약 입력신호가 백색잡음이면 상관관계 행렬의 고유치는 모두 동일하여 수렴속도가 일정하다. 그러므로 LMSTDE의 일정하지 않는 수렴 현상은 고유치 불균등에 의해 발생함을 알 수 있다. 또한 급하강 방식으로 해를 구함으로써 수렴 속도는 느려진다.

III. RLSLTDE 적응 알고리즘 제안

3.1. RLSL 특성 고찰 및 제안배경

RLSL 필터는 RLS기법과 격자구조 필터가 결합된 형태로서, 각각의 개별적인 특징에 의해 LMS의 고유치 불균

등과 급하강에 의한 수렴특성 문제점을 해결할 수 있다.

RLS는 Newton방법과 행렬 역전환 보조정리에 의해 유도되어 수렴속도가 빠르고, 입력신호 상관행렬의 고유치 불균등에 영향을 받지 않으므로 수렴속도가 일정하지만, 필터 길이의 자승에 비례하는 과도한 연산량을 가진다.

한편, 격자구조 필터는 다차원 격자필터에서 발생한 역행 예측 오차들이 광의의 정상상태 신호에 대해 서로 직교하는 성질을 가지므로 원하는 응답 추정이 용이하다. 또한 격자구조 필터는 모듈 구조를 가지므로 선행 계산의 영향 없이 요구되는 격자필터 수의 추가 및 삭제가 가능하며, 예측 오차 필터가 백색 필터의 성질을 가진다.

따라서 이러한 두 가지 알고리즘이 결합된 RLSL 필터는 각각의 장점을 그대로 유지함과 동시에 필터 길이에 비례하는 감소된 연산량을 가짐으로서 RLS의 단점인 연산량 과다를 극복한다. 그러므로 RLSL 필터를 입력신호에 대한 선행백색 필터로 적용하면 기존 시간지연 추정 알고리즘의 제한점들이 해소될 수 있을 것으로 보여지므로, 본 연구에서는 이를 이용한 시간지연 추정 알고리즘을 제안하고자 한다.

3.2. RLSLTDE 기법 제안

본 논문에서는 RLSL 적용필터를 이용한 시간지연 추정 알고리즘 RLSLTDE를 그림 3과 같이 제안한다.

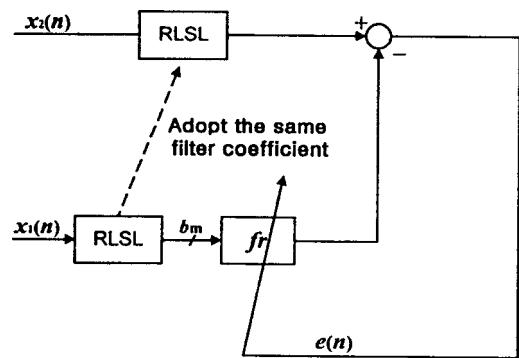


그림 3. 순환 최소자승 격자 시간지연 추정(RLSLTDE) 알고리즘
Fig. 3. Recursive least square lattice time-delay estimation-(RLSLTDE) algorithm.

RLSLTDE 알고리즘에서는 RLS 필터에 앞서 입력신호에 대한 선행 백색필터 역할을 수행하는 격자 구조 필터가 도입된다. 그림 3에서 $x_1(n)$ 에 적용된 격자 필터는 다음 식 (10)과 같이 정의된다[10].

$$\zeta_m^{ff}(n) = \lambda \zeta_m^{ff}(n-1) + \gamma_m(n-1) f_m^2(n) \quad (10a)$$

$$\zeta_m^{bb}(n) = \lambda \zeta_m^{bb}(n-1) + \gamma_m(n) b_m^2(n) \quad (10b)$$

$$k'_{m+1}(n) = k'_{m+1}(n-1) - \frac{\gamma_m(n-1) b_m(n-1)}{\zeta_m^{bb}(n-1)} f_{m+1}(n) \quad (10c)$$

$$k_{m+1}^b(n) = k_{m+1}^b(n-1) - \frac{\gamma_m(n-1)f_m(n)}{\zeta_m^{ff}(n)} b_{m+1}(n) \quad (10d)$$

$$f_{m+1}(n) = f_m(n) + k_{m+1}^f(n-1) b_m(n-1) \quad (10e)$$

$$b_{m+1}(n) = b_m(n-1) + k_{m+1}^b(n-1) f_m(n) \quad (10f)$$

$$\gamma_{m+1}(n) = \gamma_m(n) - \frac{\gamma_m^2(n) b_m^2(n)}{\zeta_m^{bb}(n)} \quad (10g)$$

여기서 ζ_m^{ff} , ζ_m^{bb} 는 선행 예측 오차(forward prediction errors) 및 역행 예측 오차(backward prediction errors)의 자기 상관관계를 각각 나타내며, k_{m+1}^f , k_{m+1}^b 는 격자 구조의 투영 계수(reflection coefficient)이다. γ_m 은 전환 인자(conversion factor)라 한다. λ 는 망각 인자(forgetting factor)로서 1보다 작지만 1에 가까운 양의 상수이다.

식 (10)은 RLSL 필터의 투영 계수를 직접적으로 갱신하며, 각 변수들은 다음의 초기치 설정에 의해 갱신된다.

$n = 0$ 에서

$$\zeta_m^{ff}(0) = \zeta_m^{bb}(0) = \delta, \quad \delta = \text{small positive constant} \quad (11a)$$

$$k_m^f(0) = k_m^b(0) = 0 \quad (11b)$$

$$\gamma_0(0) = 1 \quad (11c)$$

$n \geq 1$ 일 경우

$$f_0(n) = b_0(n) = x_1(n) \quad (11d)$$

$$\zeta_0^{ff}(n) = \zeta_0^{bb}(n) = \lambda \zeta_0^{ff}(n-1) + |x_1(n)|^2 \quad (11e)$$

$$\gamma_0(n) = 1 \quad (11f)$$

$x_2(n)$ 에 적용된 격자필터는 $x_1(n)$ 에 적용된 격자필터의 계수를 그대로 도입한다. 즉, $x_2(n)$ 에 적용된 격자필터 계수를 얻기 위해 독립적인 연산을 수행하지 않는다. 이는 $x_1(n)$ 과 $x_2(n)$ 에 측정된 신호의 스펙트럼 특성이 유사하다고 가정하기 때문이다. 이렇게 함으로서 계산량을 줄이는 효과를 얻을 수 있다.

결과적으로 식 (10)을 이용한 시간지연 추정은 식 (11)의 초기값으로부터 계산된 역행 예측 오차를 이용하여 다음과 같은 탭 가중치의 최대값을 구함으로써 얻어진다.

$$e_{m+1}(n) = e_m(n) - fr_m(n-1) b_m(n) \quad (12a)$$

$$fr_m(n) = fr_m(n-1) + \frac{\gamma_m(n) b_m(n)}{\zeta_m^{bb}(n)} e_{m+1}(n) \quad (12b)$$

여기서 $e_m(n)$ 은 오차이고, $fr_m(n)$ 은 탭 가중치이다. 식 (12)와 같이 얻어진 RLSLTDE는 입력신호의 고유치 불균등에 영향을 받지 않으며, Newton 방식 적용에 의해 LMSTDE보다 빠르게 최소자승 해에 수렴한다. 이는 다음의 RLSLTDE 성능분석을 통하여 살펴본다.

3.3. RLSLTDE 성능 분석

제안된 RLSLTDE 알고리즘의 성능 분석을 위해 평균 오차 벡터를 식 (13)과 같이 재 정의한다.

$$v_n = E\{fr_n\} - f^* \quad (13)$$

그리고 식 (12)의 탭 가중치는 식 (14)와 같이 표현된다.

$$fr_n = \left(1 - \frac{\gamma_n b_n b_n^t}{\zeta_n^{bb}}\right) fr_{n-1} + \frac{\gamma_n b_n}{\zeta_n^{bb}} e_n \quad (14)$$

식 (14)에서 $e_n = [e_0(n), e_1(n), \dots, e_m(n)]^t$ 이고 ζ_n^{bb} 는 가중된 역행 예측 오차의 자기상관함수로서 다음과 같다.

$$\zeta_n^{bb} = [b_n b_n^t] / (1 - \lambda) \quad (15)$$

식 (15)를 이용하여 식 (14)의 양변에 기대값을 취하면 식 (16)이 구해진다.

$$E\{fr_n\} = [1 - \gamma_n(1 - \lambda)] E\{fr_{n-1}\} + \gamma_n(1 - \lambda) \frac{R}{R} \quad (16)$$

그러므로 식 (16)을 식 (13)의 평균오차 벡터에 적용하면 다음 식 (17)을 얻을 수 있다.

$$v_n = [1 - \gamma_n(1 - \lambda)] v_{n-1} = [1 - \gamma_n(1 - \lambda)]^n v_0 \quad (17)$$

따라서 식 (17)로부터 다음과 같은 중요한 결론을 얻을 수 있다.

첫째, 전환인자 γ_m 이 1보다 같거나 작은 $0 < \gamma_m \leq 1$ 범위 내에 있으므로 RLSLTDE 알고리즘은 항상 수렴한다. 그리고 γ_m 은 입력신호의 고유치 불균등에 독립적이다 [10].

둘째, 각 계수의 수렴속도는 동일하다. 즉, 수렴은 입력신호의 상관행렬 고유치 불균등에 영향을 받지 않는다.

이와 같은 결과로, 시변·시간지연 추정에서 제안 RLSLTDE 알고리즘이 LMSTDE 알고리즘 보다 우수함을 알 수 있다.

IV. 시뮬레이션 및 고찰

4.1. 시뮬레이션 사양 및 절차

본 논문에서는 제안 알고리즘에 대한 타당성 검토를 위하여 그림 4와 같이 시뮬레이션을 수행한다.

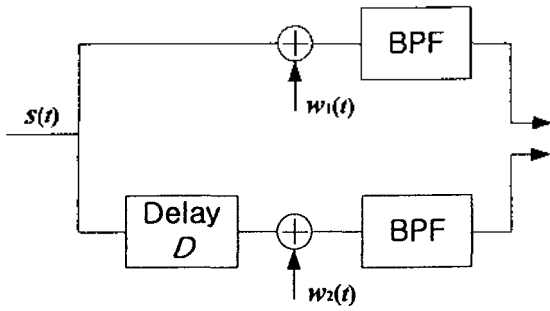


그림 4. 시뮬레이션 절차
Fig. 4. Simulation Procedure.

입력 신호는 3개의 광대역 램덤 신호에 대해 하나의 표적 신호 $s(n)$ 이라고 두며, 나머지 두 신호는 잡음신호 ($w_1(t), w_2(t)$)로 간주한다. 신호의 최적 최소자승 해 (optimal least square solution)에 대한 수렴을 살펴보기 위해 다음과 같은 측정 방정식을 설정한다.

$$J_n = \sum_{j=1}^L (f_n(j) - f'(j))^2 \quad (18)$$

식 (18)에서 $f'(j)$ 은 다음과 같이 주어지는 최적 최소자승 해를 나타낸다.

$$f'(D) = 1, \quad f'(i) = 0; \quad i \neq D$$

그리고 $f_n(j)$ 은 최소자승 필터 계수이며, 파라미터 J_n 은 수렴 특성을 살펴보기 위해 데이터 반복 회수 n 의 함수로 나타낸다. 데이터 측정 길이에 대한 전체 평균자승 오차 측정은 다음과 같이 정의한다.

$$J = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N J_n \quad (19)$$

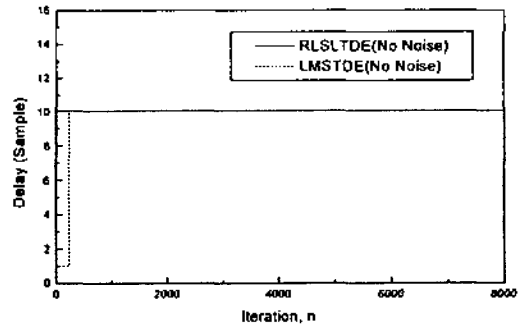
신호에 대한 샘플링 주파수와 데이터 길이는 $f_s = 2000\text{ Hz}$ 및 4초($N=8000$)로 한다. 시간지연 샘플은 $10(D = 10)$, 필터 길이는 $16(L = 16)$ 으로 하며 시뮬레이션 파라미터는 $\delta = 0.05$ 및 $\lambda = 0.99999$ 로 설정한다.

4.2. 시뮬레이션 결과 및 고찰

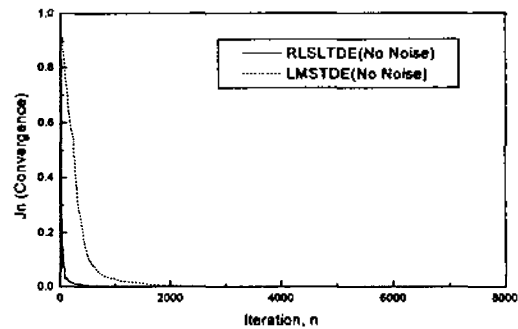
본 논문에서 시뮬레이션 결과들은 제안 RLSLTDE 및 LMSTDE 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 동일 조건으로 표현하였다.

그림 5는 잡음이 존재하지 않는 경우의 시간지연 추정 및 수렴특성이다. 두 알고리즘의 성능은 큰 차이를 보이지 않지만 제안 RLSLTDE 알고리즘이 기존의 LMSTDE 알고리즘 보다 성능이 개선되었음을 볼 수 있다. 즉, 그림 5(a)는 반복 회수에 따른 시간지연 결과로서 잡음이

존재하지 않을 경우 두 알고리즘 모두 샘플 시간지연 $D = 10$ 을 빠르게 추정하고 있다. 그리고 5(b)는 두 알고리즘의 최적 최소자승 해에 대한 수렴 특성으로 RLSLTDE 알고리즘이 더 빠른 수렴속도를 가진다. 이때, J_n 은 기준화된 수치를 나타내고 있다.



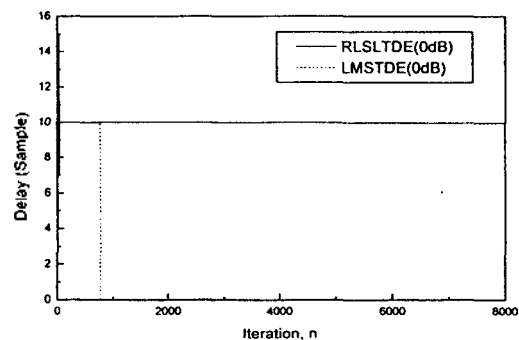
(a) 시간지연 추정



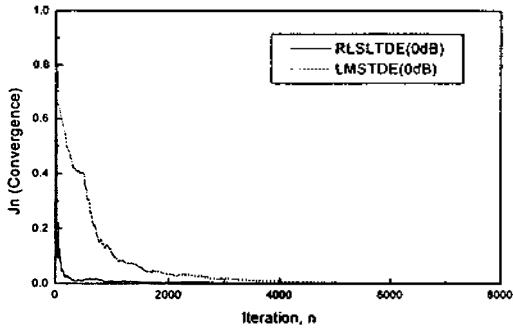
(b) 수렴특성

그림 5. 잡음이 없는 경우의 TDE 특성 비교
Fig. 5. Comparison of TDE characteristic in case of noise free trials.

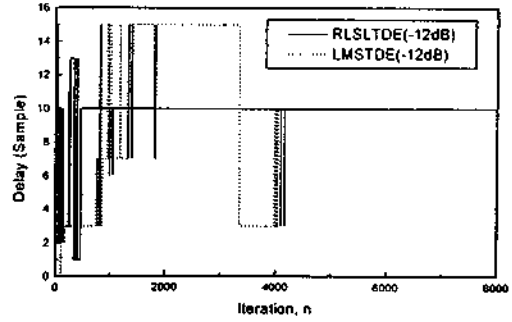
그림 6은 신호대 잡음비가 0dB인 환경에서의 시간지연 추정 및 수렴특성을 나타낸다. 그림 5의 잡음이 존재하지 않는 경우와 비교하면, 이 결과에서 RLSLTDE 알고리즘은 거의 성능 변화를 보이지 않고 있으나 LMSTDE 알고리즘은 시간지연 추정 속도 및 수렴속도가 늦어짐을 알 수 있다.



(a) 시간지연 추정



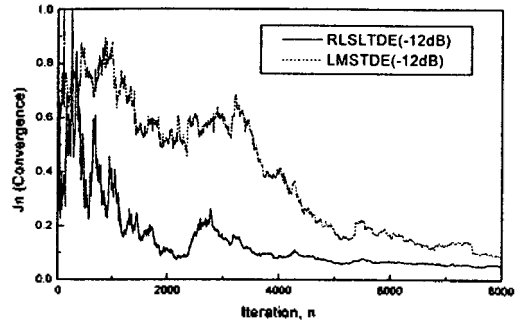
(b) 수렴특성



(a) 시간지연 추정

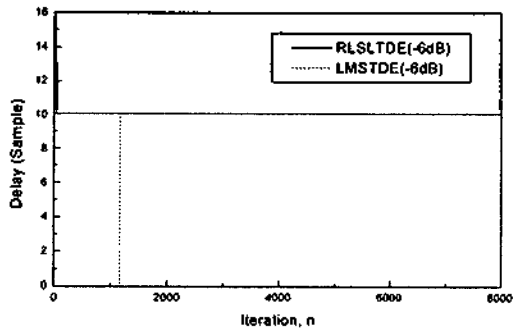
그림 6. 신호대 잡음비가 0dB 경우의 TDE 특성 비교
Fig. 6. Comparison of TDE characteristic at SNR = 0dB.

그림 7과 8은 신호대 잡음비가 -6dB, -12dB에 대한 결과이다. 제안 RLSLTDE 알고리즘은 여전히 빠른 시간 지연 추정 및 수렴특성을 보이고 있으나 LMSTDE 알고리즘은 시간지연 추정 및 수렴특성이 상대적으로 크게 느리다. 즉, 신호대 잡음비가 낮아질수록 두 알고리즘의 성능 차이가 상당히 커지고 있음을 알 수 있다. 특히 -12dB의 경우 LMSTDE의 시간지연 추정은 약 2초의 시간이 소요되는 반면에 RLSLTDE는 약 0.3초만에 시간지연이 추정되고 있다. 이러한 결과는 기존의 LMSTDE보다 제안 RLSLTDE의 성능이 개선되었음을 확인시켜 준다.

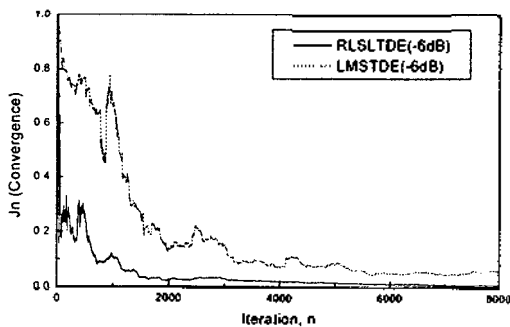


(b) 수렴특성

그림 8. 신호대 잡음비가 -12dB 경우의 TDE 특성 비교
Fig. 8. Comparison of TDE characteristic at SNR = -12dB.



(a) 시간지연 추정



(b) 수렴특성

그림 7. 신호대 잡음비가 -6dB 경우의 TDE 특성 비교
Fig. 7. Comparison of TDE characteristic at SNR = -6dB.

신호대 잡음비에 따른 전체 평균자승 오차는 표 1에 나타내었다. RLSLTDE는 신호대 잡음비가 감소함에 따라 LMSTDE보다 상대적으로 더 낮은 편차를 가진다.

표 1. 신호대 잡음비에 따른 평균자승 오차
Table 1. Mean-squared error as a function of input SNR.

SNR	J_{LMS}	J_{RLSL}
No Noise	0.0742	0.0136
0dB	0.2831	0.0421
-6dB	0.4128	0.2141
-12dB	2.5712	1.0556

그림 9는 신호대 잡음비가 -6dB의 경우, 부분적인 정상상태(Piecewise Stationary) 신호에 대해 두 알고리즘의 성능 측정을 수행하였다. 적용된 시간지연이 반복 회수 4000(2초)지점에서 시간지연 $D = 10$ 에서 $D = 5$ 로 바뀔 때 따른 두 알고리즘의 수렴특성은 앞의 결과와 유사한 특성을 가진다. 따라서 두 알고리즘에서 시간지연 변화시 RLSLTDE는 LMSTDE보다 우수한 성능을 가짐을 쉽게 알 수 있다.

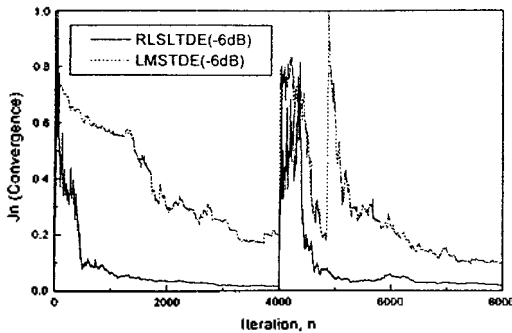


그림 9. -6dB의 부분 정상상태 신호에 대한 시변 시간지연의 수렴특성 곡선
 Fig. 9. Convergence curve(J_n) of time varying at -6dB (Piecewise Stationary).

V. 결 론

시변 시간지연 추정을 위해 본 연구에서는, LMSTDE 알고리즘의 고유치 불균등에 의한 수렴특성 단점을 극복하기 위해 RLSL 적용필터를 도입한 새로운 방식의 RLSLTDE 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션에 의해 성능을 분석하였다.

시뮬레이션 결과, 기존의 LMSTDE 알고리즘과 비교하여 제안 RLSLTDE 알고리즘의 시간지연 추정속도 및 수렴속도가 증가하였다. 특히 신호대 잡음비가 낮은 경우에 제안 RLSLTDE 알고리즘의 시간지연 추정 성능이 상대적으로 많이 개선되었으며, RLSLTDE는 신호대 잡음비가 감소함에 따라 LMSTDE보다 상대적으로 더 낮은 편차를 가져 시간지연 변화시 제안 RLSLTDE 알고리즘이 LMSTDE 알고리즘 보다 우수한 성능을 보여 주었다.

그러므로 본 논문에서 제안한 RLSLTDE 알고리즘이 수신 신호의 사전 정보가 제한적인 환경에서 시변 시간지연 추정에 유용하게 사용될 수 있음이 확인되었다.

참 고 문 헌

1. C. H. Knapp and G. C. Carter, "The Generalized Correlation Method for Estimation of Time Delay," IEEE Trans. Acoust. Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-24, pp. 320-327, 1976.
2. 이장식, 노경호, "상관 관계를 이용한 선형 방위 탐지의 설계," 한국음향학회 학술발표회 논문집, pp. 197-201, Oct. 1989.
3. D. H. Youn and V. J. Mathews, "Adaptive Realizations of the Maximum Likelihood Processor for Time Delay Estimation," IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-32, No. 4, pp. 938-940, 1984.
4. F. A. Reed, P. L. Feintuch, and N. J. Bershad, "Time Delay Estimation Using the LMS Adaptive Filter-Static Behavior," IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-29, pp. 561-571, 1981.

5. F. A. Reed, P. L. Feintuch, and N. J. Bershad, "Time Delay Estimation Using the LMS Adaptive Filter-Dynamic Behavior," IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-29, pp. 571-576, 1981.
6. D. H. Youn, N. Ahmed, and G. C. Carter, "On Using the LMS algorithm for Time Delay Estimation," IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-30, pp. 798-801, 1982.
7. D. H. Youn and N. Ahmed, "Comparison of Two Adaptive Methods for Time-Delay Estimation," In Proc. ICASSP, pp. 883-886, 1983.
8. J. Krolik, M. Eizenman, and S. Pasupathy, "Time-Delay Estimation of Signals with Uncertain Spectra," IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-36, pp. 1801-1811, 1988.
9. P. M. Clarkson, *Optimal and Adaptive Signal Processing*, CRC Press, Inc., Florida, 1993.
10. B. Farhang-Boroujeny, *Adaptive Filters-Theory and Application*, John Wiley & Sons, Chinchester, U.K., 1998.
11. A. H. Gray and J. D. Markel, "Digital Lattice and Ladder Filter Synthesis," IEEE Trans. Audio and Electroacoustics, Vol. AU-21, No. 6, pp. 491-500, 1973.
12. M. L. Honig and D. G. Messerschmitt, "Convergence Properties of an Adaptive Digital Lattice Filter," IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Processing, Vol. ASSP-29, No. 3, pp. 642-653, 1981.

- ▲ 최 재 용(Jae Yong Choi)
한국음향학회지 제 17권 8호 참조
- ▲ 손 권(Kweon Son)
한국음향학회지 제 18권 8호 참조
- ▲ 도 경 철(Kyeong Cheol Dho)
한국음향학회지 제 17권 8호 참조