
LMS 알고리즘에서 최적 매개변수의 선택 폭 확대를 위한 초기치의 설정방법

조기량* · 안혁* · 추병윤** · 이춘재***

The Initial Value Setting-Up Method for Extending the Range of the Optimal Step Parameter under LMS Algorithm

Ki-Ryang CHO* · Hyuk An* · Byoung-Yoon Choo** · Chun-Jae Lee***

이 논문은 2002년도 여수대학교 연구비를 지원받았음

요약

본 논문에서는 LMS 알고리즘을 이용하여 적응 시스템을 제어하는 경우, 최적 매개변수의 선택 폭을 늘리기 위한 초기치의 설정방법의 수치적 검토를 행했다. 초기치 설정은 대략의 값을 임의적으로 선택하는 일반적인 방법과 직접법에 의해 얻어진 근사적인 해를 초기치로서 가하는 방법을 이용하였으며, 이들을 최적 지향성 합성 문제에 적용하여 초기치가 매개변수의 선택 폭, 자승평균오차의 수렴속도, 그리고 수렴과정에서의 안정성 등에 미치는 영향을 비교하였다. 수치실험결과, 직접법을 이용한 초기치 선택방법은 일반적인 선택방법에 비해 매개변수의 선택 폭이 넓어짐은 물론 수렴성, 안정성 그리고 오차 개선 능력도 탁월함을 나타내었다.

ABSTRACT

In this paper, we carried out the numerical examination of the initial value setting-up method to extend the range of optimal step parameter in a adaptive system which is controlled by LMS algorithm.. For initial value setting-up methods, the general method which select the initial value randomly and the other method which applies the approximate value obtained from the direct method to initial value, were used. And then, we compared to the ranges of step parameter setting, the convergence speeds of mean-square-error, and the stabilities during the convergence process when the initial values were applied to the optimal directivity synthesis problem. According to the numerical simulation results, the initial value setting-up method by means of the direct method provides wider range for the step parameter, more efficient capability for convergence and stability, and more error correction ability than the general method.

I. 서론

수치계산 기술의 진보와 더불어 다양한 종류의 적응 알고리즘^[1-5]이 개발되고, 이들을 이용하여 하드웨어 시스템을 제어하는 적응 시스템은 전동제어, 소음 제어, beam forming 등에 광범위한 응용^[6-9]이 기대

되고 있다. 이와 같은 적응 시스템에 이용하는 적응 알고리즘은 최적해에 이르기까지의 수렴속도, 수렴과정에서의 안정성, 적응성 등에 대해 각각 다른 특성을 가지고 있기 때문에 이의 선택은 적응 시스템의 성능을 결정하는 중요한 요소이다.

알고리즘이 갖는 간소함과 실현의 용이성 때문에

*여수대학교 전자통신공학과

**여수대학교 전산정보원

***남양정보기술(주)

접수일자 : 2003. 4. 8

다양한 신호처리 문제에 이용되고 있는 LMS(least mean square) 알고리즘^[10]은 반복계산에 의해 최적 해를 구하는 방법으로서 초기치와 매회의 반복과정에서 보정값의 크기를 제어하는 매개변수의 설정을 요구한다. 이들의 설정은 적용 시스템의 성능을 결정하는 중요한 요소로서, 초기치가 해의 근방에 적당하게 설정되지 않은 경우와 매개변수의 크기가 적절하게 설정되지 않은 경우에 수렴성, 안정성 등에 큰 영향을 미치게 된다. 일반적으로, LMS 알고리즘을 이용하여 적용 시스템을 제어하는 경우, 이러한 값을 목표로 하는 대상에 따라 다르기 때문에 실험 초기에 최적의 값을 설정하는 것은 불가능에 가깝다. 따라서, 초기치 및 매개변수는 대략의 값을 임의로 설정하고, 실험에 의한 시행착오를 거쳐 최적의 값을 결정하는 경우가 많다^[11].

본 논문에서는 LMS 알고리즘에서 초기치의 선택 방법이 매개변수의 선택 폭과 수렴성, 안정성 등에 미치는 영향을 비교하기 위하여 대략적인 값을 임의로 설정하는 경우(일반적인 설정방법)와 직접법^[12]을 이용하여 최적해에 근사적인 해를 구한 다음 이를 LMS 알고리즘(LMS 알고리즘과 같은 반복법은 해의 근방에 초기치를 설정하면 수렴속도가 빠르게 된다는 반복법의 특성을 고려)의 초기치로 설정하는 경우의 두 가지 초기치 선택방법을 예로 하였다.

수치실험은 직선상으로 음원을 배열하고, 이들 소자의 하중분포(진폭 및 위상)를 LMS 알고리즘에 의해 제어하여 설정된 목적지향성을 합성하는 최적 지향성합성 문제에 대해 검토하였다.

II. 배열 음원에 의한 지향성합성

그림 1과 같이 자유공간에 N 개의 음원을 배열길이 L 인 일직선상에 일정한 간격 d 로 배열할 때, 배열 음원으로부터 멀리 떨어진 원주상에 위치한 관측 점 m 에서의 음압 p_m 은

$$p_m = \sum_{n=1}^N s_{mn} w_n \quad (m=1, 2, \dots, M) \quad (1)$$

로 주어진다. 여기에서

$$s_{mn} = e^{jkd \frac{(2n-N-1)}{2} \sin \theta_m} \quad (2)$$

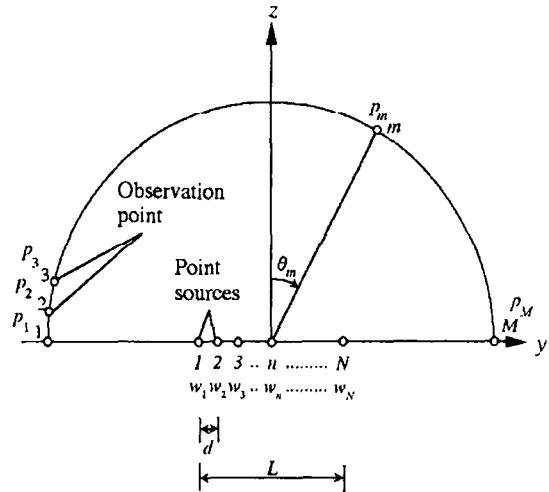


그림 1 배열 음원

Fig. 1 Source array

$$w_n = A_n e^{-j\phi_n} \quad (3)$$

이다. 식(2), (3)에서 A_n 및 ϕ_n 은 각각 n 번째 음원의 진폭 및 위상이고, nd 는 배열 음원의 중심으로부터 n 번째 음원까지의 거리이다. 또한 k 는 파수 ($=\omega/c = 2\pi/\lambda$, c 는 음속, λ 는 파장), m 과 n 은 각각 관측점수 및 음원수, 그리고 θ_m 은 z -축을 중심으로 한 관측점까지의 방위각이다. 식(1)은 행렬식으로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\{P\} = [S]\{W\} \quad (4)$$

식(4)에서 지향성 벡터 $\{P\}$ 는 음원의 위치와 관측점의 방향에 관계하는 행렬 $[S]$ 와 점음원을 구동하는 벡터 $\{W\}$ 와의 선형결합으로 표시할 수 있다. 식(4)에서

$$\{P\} = \{p_1 \ p_2 \ \dots \ p_M\}^T \quad (5)$$

$$[S] = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdot & \cdot & s_{1N} \\ s_{21} & s_{22} & \cdot & \cdot & s_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ s_{M1} & s_{M2} & \cdot & \cdot & s_{MN} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\{W\} = \{w_1 \ w_2 \ \dots \ w_N\}^T \quad (7)$$

이다. 행렬 $[S]$ 는 음원의 형상과 관측점의 방향에 관계하고, 벡터 $\{W\}$ 는 음원의 진폭 및 위상에 관계하기 때문에 각각 형상 행렬 및 하중 벡터라고 한다. 식(4)에서 음원의 형상이 변화하지 않는다고 하면,

형상 행렬 $[S]$ 는 일정하게 되고, 이에 따라 지향성 벡터 $\{P\}$ 는 하중 벡터 $\{W\}$ 만에 의해 지배된다.

III. 최적 지향성합성을 위한 LMS 알고리즘

그림 2는 LMS 알고리즘을 이용하여 최적 지향성 합성을 위한 적용 시스템이다. 이 적용 시스템에서는 i 번째 반복과정에서 계산된 지향성 $\{P\}_i$ 와 목적지향성 $\{Z\}$ 와의 2승평균오차(MSE : mean square error)를 계산하고, MSE가 최소가 되도록 하중 벡터 $\{W\}_i$ 를 조정한다. i 번째의 반복과정에서 지향성 오차 벡터 $\{\varepsilon\}_i$ 는 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

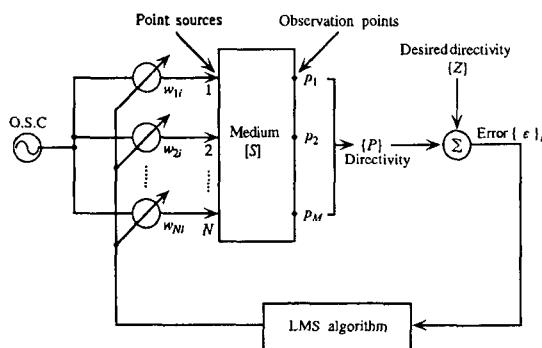


그림 2 최적 지향성합성 시스템

Fig. 2 Adaptive system for optimum directivity synthesis

$$\{\varepsilon\}_i = \{Z\} - \{|P|\}_i \quad (8)$$

여기에서, 목적지향성 $\{Z\}$ 는 크기만을 고려하였기 때문에, 오차에 대해서도 크기만을 고려하고 있다. 따라서 MSE E_i^2 은 식(9)과 같이 된다.

$$\begin{aligned} E_i^2 &= \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M (\varepsilon)_i^T (\varepsilon)_i \\ &= \frac{1}{M} (\{Z\}^T \{Z\} - 2 \{ |P| \}_i^T \{Z\} + \{ |P| \}_i^T \{ |P| \}_i) \end{aligned} \quad (9)$$

이 MSE가 최소가 되도록 하중 벡터 $\{W\}_i$ 를 조정하면, 이 때의 $\{W\}_i$ 가 구하는 배열음원의 하

중 벡터로 된다. 여기에서 $\{W\}_i$ 를 조절하기 위한 Gradient 벡터 $\{\nabla\}_i$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\{\nabla\}_i = \left\{ \frac{\partial E_i^2}{\partial w_{1i}} \frac{\partial E_i^2}{\partial w_{2i}} \dots \frac{\partial E_i^2}{\partial w_{Ni}} \right\} \quad (10)$$

식(10)에서

$$\frac{\partial E_i^2}{\partial w_{ni}} = -\frac{2}{M} \sum_{m=1}^M \frac{(\varepsilon)_i}{\{|P|\}_i} \{P\}_i [\bar{S}]_{mn} \quad (11)$$

이다. 식(11)에서 \bar{S} 는 공액 복소수를 표시한다. 이와 같이하여 Gradient 벡터 $\{\nabla\}_i$ 가 구해지면, LMS 알고리즘에서는 식(13)에 따라 하중 벡터를 반복적으로 갱신함에 따라 목적으로 하는 최적의 지향성합성을 실현할 수 있다.

$$\{W\}_{i+1} = \{W\}_i + \mu \{-\nabla\}_i \quad (12)$$

식(12)에서 μ 는 매회 반복에서 보정량의 크기를 제어하는 매개변수이다. 일반적으로 MSE가 수렴하기 위한 필요충분조건은 다음 식으로 표시된다.

$$0 < \mu < 1/tr[R] \quad (13)$$

$$[R] = [S]^T [S] \quad (14)$$

식(13)에서 $tr[R]$ 은 R 행렬의 대각요소의 합이다. 매개변수 μ 는 MSE의 수렴 속도와 시스템의 안정성에 관계하기 때문에 문제에 대응하여 최적의 값을 선택해야하나, 현실적으로 어렵다.

한편, 식(12)의 LMS 알고리즘을 이용하여 목적지향성에 대응하는 하중분포를 갱신하는 경우, 매개변수뿐만 아니라 초기치(초기 하중분포)도 설정해야 한다. 이 경우, 초기치의 설정방법에 따라 수렴성, 안정성, 적용성은 물론 매개변수의 선택 폭에도 영향을 미친다. 본 논문에서는 초기치 설정방법에 따른 위의 영향들을 확인하고, 직접법을 이용한 초기치 설정방법이 일반적인 설정방법에 비해 효과적이라는 것을 최적 지향성합성 문제를 통하여 확인하고자 한다. 그림 3의 a)는 일반적인 설정방법, b)는 직접법을 이용하여 초기치를 설정한 때의 최적 지향성합성을 실현하기 위한 순서도를 나타내고 있다.

IV. 지향성합성 시뮬레이션

초음파 트랜스듀서를 설계할 때에 고려해야 할 중요한 사양으로서 주엽(main lobe) 및 부엽(side lobe level ; SLL)의 억압능력이 있다. 일반적으로 설계 사양에서는 SLL이 몇 dB 이하이면 양호하다고 하는 허용 범위만을 지정한다. 이러한 설계 조건을 고려한 지향성합성을 검토하기 위하여 식(8)을 이용하여 오차를 평가할 경우, 합성된 지향성이 목적지향성보다 크거나 작아도 오차는 증대되는 방향으로 평가한다. 또한, 식(8)에서 SLL이 허용 범위 내에 있어도 오차가 과대 평가될 염려가 있다. 이러한 경우에 대처하기 위하여 어느 관측점에서 합성된 지향성이 다음의 사양을 만족하고 있으면 그 관측점의 오차를 완화한다고 하는 방법(오차의 크기를 1/100로 완화)을 채택한다.

1. Main lobe에서는 지정한 -3dB 반지각내에서 감소의 변화량이 -3dB이내
2. SLL은 미리 정한 값 이하(본 논문에서는 실용성을 고려하여 -30dB 이하로 설정) 목적지향성은 실용성을 고려하여 SLL을 -30dB 이하로 제한한 임의의 반지각을 갖는 준이상(quasi-ideal) 빔, 회전 빔을 대상으로 하여 2차원 음장내의 지향성합성문제를 검토했다.

배열음원은 Fig. 1에서 배열길이 $L = 5.0\lambda$ 에 음원 20개 (음원간격 $d = 0.263\lambda$)를 등간격으로 배열하고, 관측점수는 1° 간격 ($M = 181$)으로 배치되어 있는 것으로 가정했다.

초기 하중분포의 설정은 일반적인 방법의 경우에 10, 11번째의 음원에만 진폭 1을 가하고, 그 나머지는 가하지 않는 것으로 하였다. 위상 분포는 음원의 전부에 대해 0으로 하였다. 반면에 직접법을 이용한 경우에는 따로 초기치를 설정할 필요가 없다.

매개변수는 일반적인 방법의 경우에 수렴성, 안정성 그리고 오차 개선도 등을 고려하여 수치실험을 통하여 최적치를 결정하였으며, 최적치에 비해 크고, 작은 값을 임의로 설정하여 매개변수의 크기에 따른 영향 등을 비교하였다. 직접법을 이용한

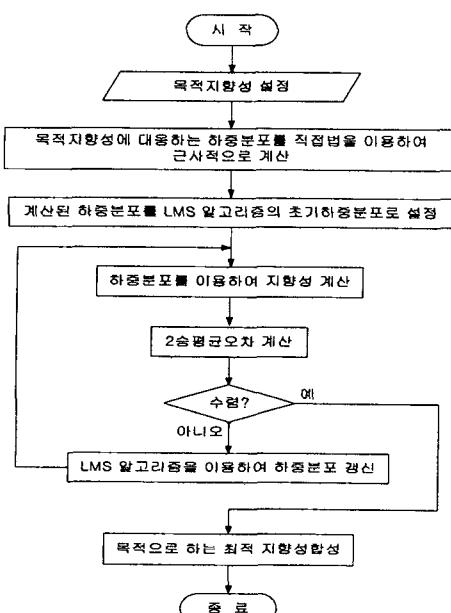
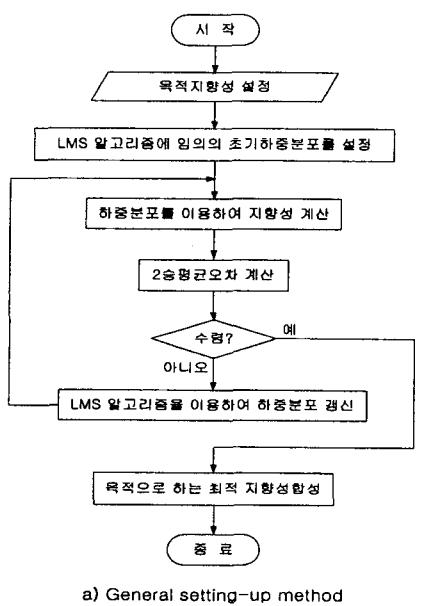


그림 3. LMS 알고리즘을 이용한 최적 지향성 합성 순서도

Fig. 3 Flowchart for optimal directivity synthesis using LMS algorithm

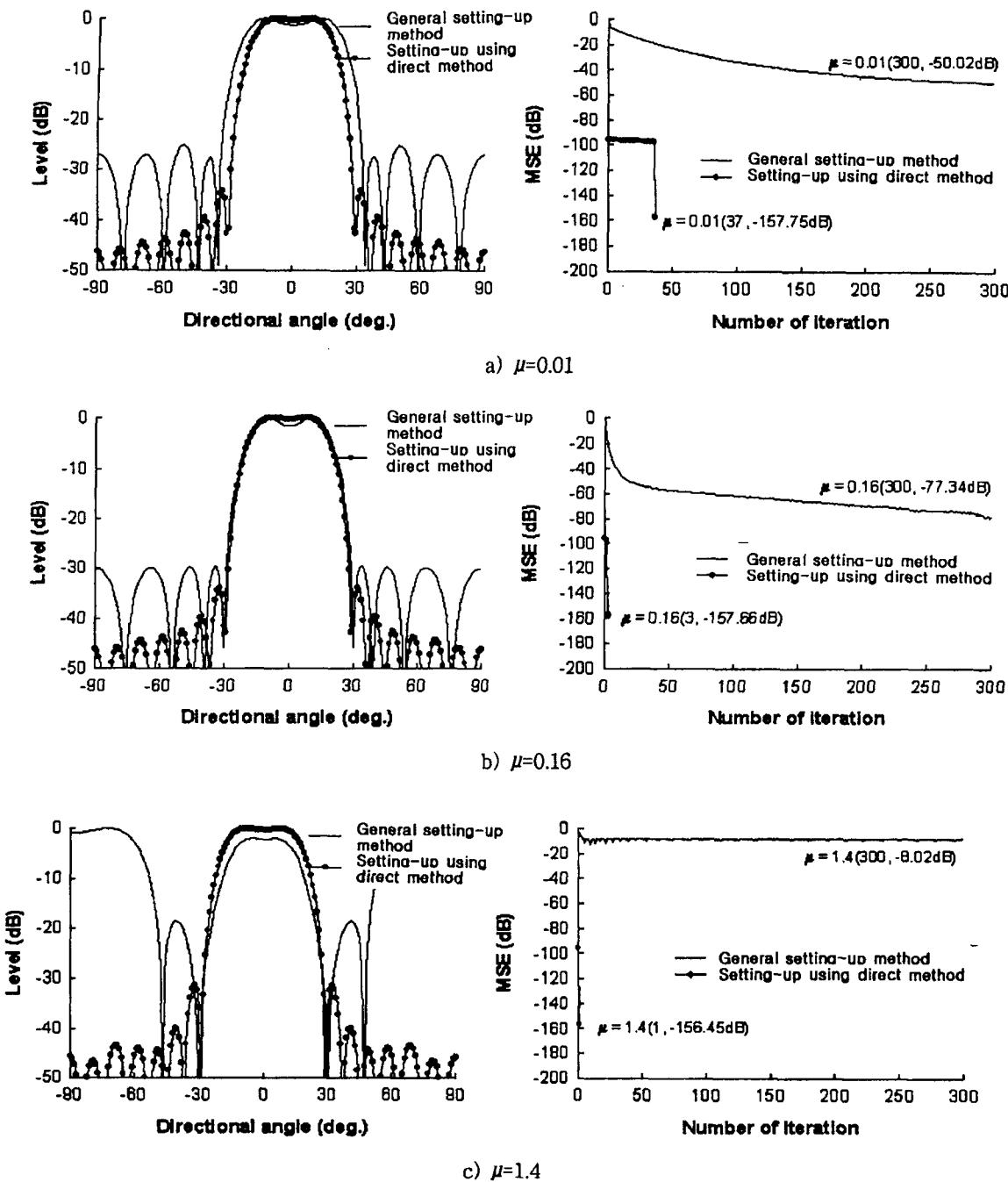


그림 4. 준이상 빔의 합성과 수렴특성 (반지각=25°, N=20, M=181, $\theta_m=0^\circ$)

Fig. 4 Synthesis of quasi-ideal beam and convergence characteristics
(Beam width=25°, N=20, M=181, $\theta_m=0^\circ$)

경우에도 일반적인 설정방법과의 비교를 위하여 동일한 매개변수를 이용하였다.

한편, 수치계산에서 MSE가 -100dB 이하로 되면, 목적으로 하는 지향성합성이 충분히 만족되었다고 가정하여 반복계산을 종료하는 것으로 하였다. 또한, 수치계산에서 최대 반복회수는 300회로 하고, 그 이상의 계산은 행하지 않는 것으로 하였다. 수치계산은 배정도(double precision)로 PC (Pentium III 550MHz, RAM 128 Mbyte)를 이용하여 행했다.

1. 임의의 반치각을 갖는 준이상 빔에 대한 지향성합성

그림 4는 앞에서 기술한 매개변수의 크기에 따른 수렴성, 안정성 오차 개선도 등을 비교하기 위하여 최적치보다 작은 값, 최적치 그리고 최적치보다 큰 값을 각각 0.01, 0.16, 1.4로 설정한 경우의 합성된 준이상 빔(반치각 25° , 방사방향 $\theta_m=0^\circ$)과 MSE의 수렴특성을 나타내고 있다.

그림 4의 a)는 두 방법 모두 $\mu=0.01$ 로 설정한 경우의 결과로서, 직접법을 이용한 초기치 설정방법의 경우에는 반복 37회(MSE=-157.75dB)에서 수렴판정치를 만족하나, 일반적인 방법의 경우에는 반복에 따라 MSE가 완만하게 감소하여 반복 300회에서 -50.02dB를 나타내고 있다. 또한, 초기치 설정방법으로 직접법을 이용한 경우에는 목적으로 하는 주엽의 반치각을 만족하고, SLL의 억압능력도 일반적인 설정방법에 비해 매우 뛰어남을 알 수 있다.

그림 4의 b)는 두 방법 모두 $\mu=0.16$ 으로 설정한 경우의 결과로서, 직접법을 이용한 초기치 설정방법의 경우에는 반복 3회(MSE=-157.66dB)에서 수렴판정치를 만족하여 그림 4의 a)에 비해 수렴속도가 빠름을 알 수 있으며, 일반적인 방법의 경우에는 수렴과정에서 약간의 불안정성을 나타내고 있으나, 전반적으로 완만하게 감소되어 반복 300회에서 -77.34dB를 나타내어 그림 4의 a)에 비해 MSE가 27dB 이상 개선됨을 알 수 있다. 이 경우에도 직접법을 이용한 초기치 설정방법이 일반적인 방법에 비해 수렴성, 안정성이 뛰어나고, 목적으로 하는 사양을 만족하는 최적의 지향성합성이 이루어짐을 알

수 있다.

그림 4의 c)는 두 방법 모두 $\mu=1.4$ 로 설정한 경우의 결과이다. 일반적인 설정방법에서는 전혀 수렴되지 않고 발산되나, 직접법을 이용한 초기치 설정방법은 반복 1회 (MSE=-156.45dB)에서 수렴이 됨을 알 수 있다.

이와 같이, 일반적인 설정방법의 경우에 매개변수의 최적치인 $\mu=0.16$ 보다 작게 설정되면(그림 4 a)), 수렴과정에서 안정성은 나타내나, 수렴속도가 느리게 되어 실시간 처리에 의한 목적 지향성합성이 어렵게 된다. 반대로, 최적치 보다 크게 설정되면(그림 4 c)), 수렴과정에서 불안정성을 나타내거나, 발산하여 전혀 목적으로 하는 지향성합성이 이루어 질 수 없게 된다.

반면에, 직접법에 의해 얻어진 하중분포를 초기치로서 가한 경우에는 매개변수의 크기에 따라 수렴속도에 약간의 차이를 나타내고 있으나, 다양한 크기의 매개변수에 대해서도 수렴과정에서 안정성을 유지하며, 일반적인 초기치 설정방법에 비해 매우 빠른 속도로 수렴되는 것으로부터, 최적 지향성합성을 가능하게 하는 매개변수의 선택폭도 넓음을 알 수 있다.

2. 회전 빔에 대한 지향성합성

그림 5는 반치각 10° 의 준이상 빔을 반시계 방향으로 30° 회전시킨 경우의 합성된 지향성 패턴과 MSE의 수렴특성을 나타낸 결과이다. 매개변수의 설정은 두 방법 모두 앞의 예(그림 4)와 같은 조건을 고려하여 설정하였다. 또한, 직접법을 이용한 초기치 설정방법의 경우에도 일반적인 설정방법과의 비교를 위하여 동일하게 설정하는 것으로 하였다.

그림 5의 a)는 두 방법 모두 $\mu=0.01$ 로 설정한 경우에 두 설정방법을 비교한 것으로, 일반적인 설정방법에서는 반복 300회에서도 MSE=-44.01dB로 수렴속도가 매우 느림을 알 수 있다. 반면에 직접법을 이용한 설정방법의 경우에는 반복 20회 (MSE=-101.77dB)에서 수렴완료를 나타낸다.

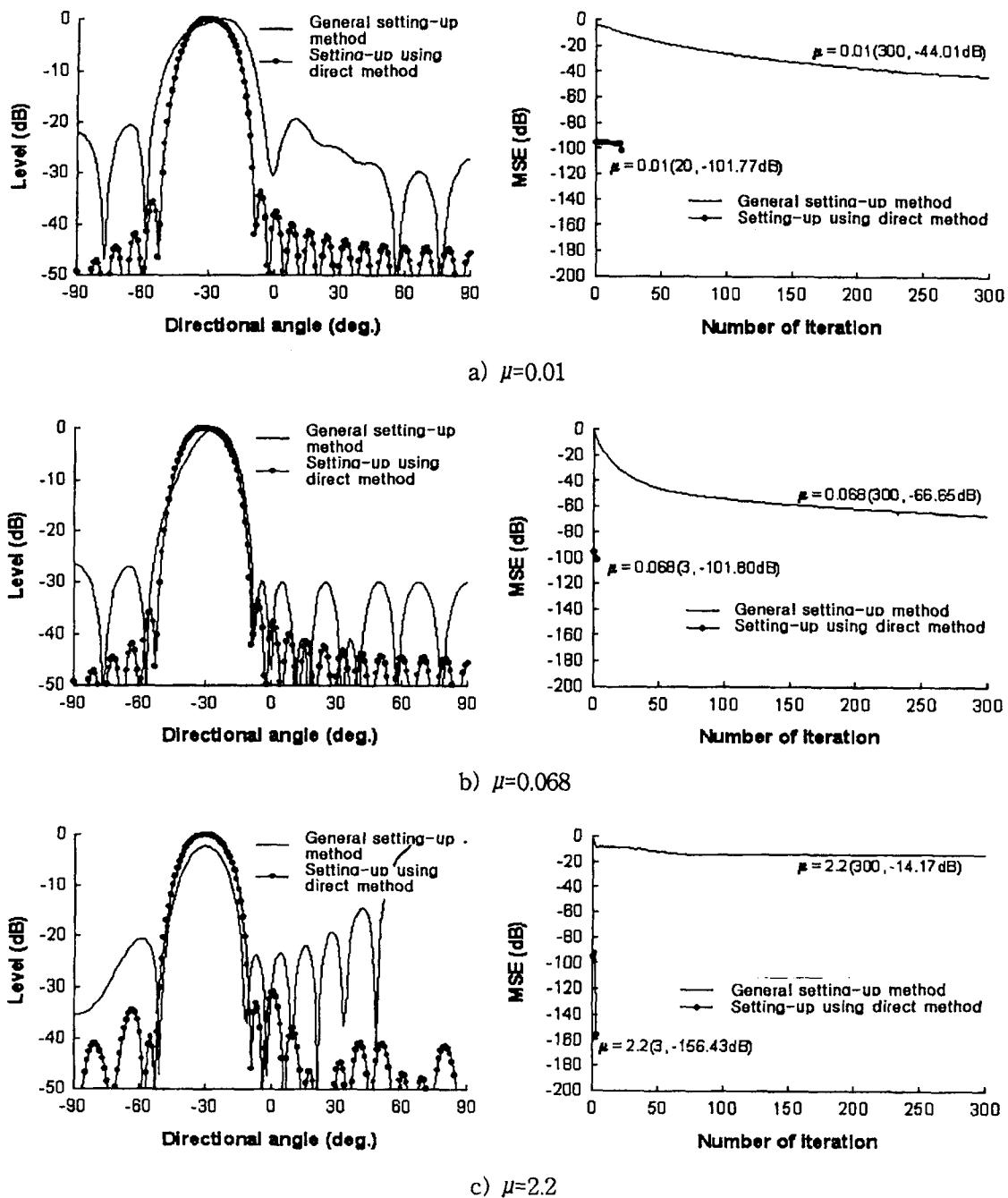


그림 5. 회전 빔의 합성과 수렴 특성 (반지각=10°, N=20, M=181, $\theta_m=-30^\circ$)

Fig. 5 Synthesis of steering beam and convergence characteristics
(Beam width=10°, N=20, M=181, $\theta_m=-30^\circ$)

또한, 지향성합성에서 직접법을 이용한 설정방법은 목적으로 하는 방향으로의 범 방사와 주엽의 반 치각 10° 를 만족하는 것은 물론 SLL의 억압능력도 매우 탁월함을 나타내고 있는 반면에 일반적인 초기치 설정방법에서는 설정한 사양을 거의 만족시키지 못함을 알 수 있다.

그림 5의 b)는 목적으로 하는 회전 범에 대한 최적의 매개변수 값(일반적인 설정방법에 대해 $\mu=0.068$)을 설정한 때의 결과이다. 일반적인 초기치 설정방법의 경우, MSE는 반복 300회에서 -66.65 dB를 나타내나, 직접법을 이용한 설정방법의 경우에는 반복 3회째(MSE=-101.80dB)에서 수렴완료됨을 알 수 있다. 지향성합성에 있어서 직접법을 이용한 설정방법을 이용하면 목적의 사양을 만족하는 합성이 가능하나, 일반적인 설정방법을 이용하면 목적 사양과 약간의 차이를 나타낸다. 또한, SLL도 -30dB를 상회함을 알 수 있다.

그림 5의 c)는 $\mu=2.2$ 로 설정한 때의 결과를 나타내고 있다. 임의의 값을 초기치로 가하는 일반적인 설정방법은 전혀 수렴되지 않으나, 직접법을 이용한 설정방법을 이용한 경우에는 반복 3회(MSE=-156.43dB)에서 수렴 판정치를 만족하여 수렴완료된다.

이상과 같이, 일반적인 초기치 설정방법은 매개변수의 크기에 따라 수렴성 및 안정성에 큰 영향을 미침은 물론 최적 매개변수의 선택 폭이 매우 좁음을 알 수 있다. 반면에, 직접법을 이용한 초기치 설정방법은 매개변수의 크기에 따라 수렴속도에 약간의 차이는 있으나, 일반적인 설정방법에 비해 수렴성, 안정성 및 지향성합성을 평가하는 오차 개선도가 뛰어나고, 매개변수의 설정 폭도 넓음을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 LMS 알고리즘에서 요구되는 초기치의 선택방법으로 대략의 값을 임의로 설정하는 일반적인 방법과 저자들이 제안한 직접법을 이용하여 얻은 해를 초기치로 이용하는 두 가지 방법에 대해 최적 지향성합성문제를 통하여 수렴성, 안정

성, 오차 개선도 그리고 매개변수의 선택 폭에 대해 수치적으로 검토했다. 수치실험 결과,

- 1) 일반적인 초기치 설정방법은 최적 매개변수의 결정이 매우 힘들며, 수렴에 이르는 최적 매개변수의 설정 폭이 매우 좁다.
- 2) 목적지향성에 대응하는 근사적인 하중분포를 직접법에 의해 구하여, 이를 초기치로 이용하면, 수렴성과 안정성이 뛰어남은 물론 최적 매개변수의 선택 폭도 넓다.
- 3) 직접법을 이용한 초기치 설정방법은 일반적인 설정방법에 비해 오차 개선도가 뛰어나며, 주엽과 부엽에 대한 사양을 만족하는 최적 지향성합성이 가능하다.

등이 확인되었다.

향후에는 음원내부의 임피던스를 고려한 배열음원의 제어에 적용 알고리즘을 이용한 실용적인 적용 지향성합성 시스템을 구축할 예정이다.

참고문헌

- [1] Bernard Widrow & Samuel D. Stearns, "Adaptive Signal Processing", Prentice-Hall Inc. 1985.
- [2] 金田 豊, "適應フィルタの概要", 日本音響學會誌, 48(7). pp. 489-492. 1992.
- [3] 酒井英昭, "最近の適應アルゴリズムの動向 — RLS 法を中心として", 日本音響學會誌, 48(7). pp. 493-500. 1992.
- [4] K. C. Park-Y. Kagawa-T. Takao-K. R. Cho, "Optimization of the Frequency Characteristics in SAW Filter Design", Inverse Problem in Engineering, Vol. 8, pp. 473-493, 2000.
- [5] 萩木俊秀福島雅夫, "最適化プログラミング", 岩波書店. 1991.
- [6] 背戸一登, "振動のアクティブ制御", 日本音響學會誌, 47(9). pp. 668-677. 1991.
- [7] 城戸健一, "騒音のアクティブ制御", 日本音響學會誌, 47(9). pp. 661-667. 1991.
- [8] 上屋隆生河野 宏加川幸雄, "超音波送受波器の最適指向性合成シミュレーション", 日本シミュレーション學會誌, 12(1). pp. 61-69. 1993.
- [9] 조기량이정남이문수이진선, "가우스 소거법

- 을 이용한 초음파 트랜스듀서의 지향성합성
Simulation. 한국전자파학회논문지, 6(4). pp.
20-27. 1995.
- [10] 浜田晴夫, “アクティブフィルタの基礎(その2)”, 日本音響學會誌, 45(9). pp. 731-738. 1989.
- [11] 猿田進・鈴木成一郎, 適應フィルタの實用技術(4)
—騒音の能動制御における適應フィルター, 日本音響學會誌, 48(7). pp. 517-519. 1992.
- [12] 森正武, “數值計算プログラミング”, 岩波書店,
1988.



이춘재(Chun-Jae, Lee)

1986년 조선대학교 전산통계학과
졸업

2002년 조선대학교 대학원 전산통
계학과 재학

멀티미디어 기술사

현재 남양정보기술(주) 대표이사

※ 관심분야: 최적화 알고리즘을 이용한 적응제어

저자소개



조기량(Ki-Ryang, Cho)

1981년 광운대학교 통신공학과 졸
업

1983년 건국대학교 대학원 전자공
학과 공학석사

2002년 일본 오카야마(岡山)대학
자연과학연구과 공학박사

현재 여수대학교 전자통신공학과 교수

※ 관심분야: 최적제어, 파동·압전문제의 수치해석



안 혁(Hyuk, An)

2001년 여수대학교 전자통신공학
과 졸업

2003년 여수대학교 대학원 전자통
신공학과 공학석사

※ 관심분야: 최적 지향성합성



추병윤(Byoung-Yoon, Choo)

1984년 아주대학교 전자공학과 졸
업

1996년 조선대학교 산업대학원 전
자계산전공 공학석사

현재 여수대학교 전산정보원 재직

※ 관심분야: Software Engineering