DBpia

論文 95-7-7-8

초음파방사 직선배열점음원의 최적지향성합성 SIMULATION

正會員 曺 基 亮*

Simulation of Optimal Directivity Synthesis by Ultrasonic Radiation Point Source Array

Cho Ki Ryang* Regular Members

要 約

본 논문에서는 직선배열 점음원에 의한 초음파 송수파기의 최적 지향성 합성을 최적 algorithm인 DFP법과 LMS법을 이용하여 반복계산에 의해 수치 계산하였다. 설정된 반치각 및 side lobe level을 갖는 목적 지향성에 대해 이들 방법을 이용하여 지향성 합성의 유효성을 확인하였으며, 또한 양 방법의 비교를 통해 system의 안정도 및 수렴속도를 고찰했다. 수치계산은 personal computer(CPU:80486DX2, RAM 8Mbyte)를 이용하여 행했다.

ABSTRACT

A numerical simulation is carried out on the optimal directivity synthesis by ultrasonic transducers by point source array. Optimal algorithm DFP(Davidon Fletcher Powell) method and LMS(Least Mean Square) method is practiced by means of an iterative scheme. Desired directivity is chosen to be that of a beam width specified and an arbitrary direction. Numerical simulations are carried out using personal computer(CPU: 80486DX2, RAM 8Mbyte).

*여수수산대학교 전자통신공학과
Department of Electronic Communication Engineering, Yosu National Fisheries Univ.
論文番號 : 94346-1202
接受日字 : 1994年 12月 2日

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

초음파송수파기는 선박의 어군탐지기나 SONAR, 의료진단용의 초음파진단기, 그리고 초음파현미경 등 많은 분야에서 사용된다. 이러한 송수파기의 공통의 성능으로서 지향성 문제가 있으며, 목적에 맞는 최적의 지향성을 실현하기 위한 지향성합성은 초음파system의 설계상 중요한 위치를 차지하고 있다. 초음파system의 점음원을 자유공간의 일직선상에 일정한 간격으로 배열한 때에 방사되는 지향성 계수는 방향에 따라 다른 크기로 변화한다.[1] 점배열음원에 의한 지향성은 음원진동면의 진동속도분포(진폭 및 위상) 등에 의해 결정되기 때문에, 지향성의 합성은 이것을 제어함에 의해 실현될 수 있다. 일반적으로 음원진동속도의 무게분포는, 우선 음원의 초기치를 정하고, 목적의 지향성에 따라 적응수법을 적용하여 반복에 의해 결정된다. 지향성합성을 함에 있어 중요한 것은 system의 안정성 및 적응속도이다. 적응수법을 이용한 예는 지금까지 많이 보고되고 있지만, 대부분은 microphone에 의한 특정방향으로 부터의 적응잡음제어를 행하고 있다[2-4]. 초음파송수파기를 이용한 지향성합성은 점음원을 직선상으로 배열하고, 이들 점음원의 무게분포를 LMS법을 이용하여 구하고 지향성합성 및 제어를 시도한 논문이 보고되어 있다[5].

본 논문에서는 비선형 최소점 탐색 algorithm에서 newton법인 LMS(Least Mean Square)법과 대표적 준newton법인 DFP(Davidon-Fletcher-Powell)법을 이용하여 임의의 반치각과 방향, 그리고 side lobe level의 크기가 -30dB이하가 되도록 실용적인 면도 고려한 목적의 지향성을 설정하여 직선배열 점음원에 의한 지향성 합성을 하고 적응제어과정에서의 수렴속도 및 안정성을 비교고찰하였다. 수치계산은 CPU 80486DX2, RAM 8Mbyte의 personal computer를 이용하여 행했다.

Ⅱ. 지향성합성

Ⅱ-1. 직선배열점음원의 지향성합성

Fig. 1과 같이 자유공간에 배열길이 L의 일직선상에 N개의 점음원을 일정한 간격 d로 배열했을 때, 점음원으로 부터의 음파는 구면상으로 퍼지는 파면을 갖는 구면파로서 방사되며, 음원으로 부터 멀리 떨어진 원지점

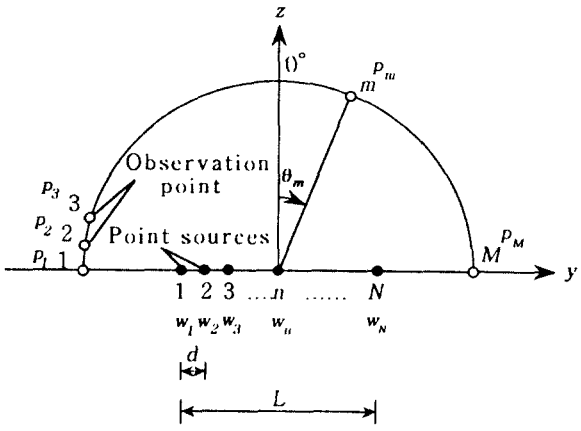


그림 1. 직선배열 음원.
Fig. 1. Point source array.

의 원주상에 위치한 관측점 m의 음압 Pm은 다음과 같이 된다.

$$P_m = \sum_{n=1}^{N} S_{mn} W_n$$

$$(m = 1, 2, \ldots\ldots, M, \quad n = 1, 2, \ldots\ldots N) \qquad (1)$$

(1)식에서

$$S_{mn} = \exp(jkndsin\theta_m) \qquad (2)$$

$$W_n = A_n \exp(-j\phi_n) \qquad (3)$$

(2), (3)식에서 A_n 및 ϕ_n은 각각 n번째 점음원의 진폭 및 위상이고, nd는 점배열음원의 중심으로 부터 n번째 점음원까지의 거리이다. Fig. 1에서 y좌표상의 각 점음원의 위치는 $(n-1)/(N-1)$*L-L/2이다. 또한, k는 파수(= $\omega/c = 2\pi/\lambda$, c는 음속, λ는 음파장), m과 n은 각각 관측점수 및 점음원수, 그리고 θ_m은 관측점의 중심선으로 부터의 방향각이다. (1)식은 matrix를 이용하면 (4)식과 같이 보다 간단한 형으로 표시할 수 있다.

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

(4)식은 전관측점에서의 지향성 {P}는 점음원의 위치와 관측점의 방위에 관계하는 항 [S]와 점음원에 가하는 무게 {W}와의 선형결합으로서 표현할 수 있다는 것을 나타내고 있다. (4)식에서

$$\{P\} = \{P_1\ P_2 \cdots\ P_M\}^T \qquad (5)$$

www.dbpia.co.kr

$$[S] = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdot & \cdot & S_{1n} \\ S_{21} & S_{22} & \cdot & \cdot & S_{2n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ S_{m1} & S_{m2} & \cdot & \cdot & S_{mn} \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\{W\} = \{W_1 \ W_2 \cdots W_M\}^T \quad (7)$$

이다. [S]는 음원의 형상과 관측점의 방위에 관계하고, {W}는 음원진동속도의 진폭 및 위상에 관계하기 때문에 각각 형상행렬, 무게 vector라고 한다. (4)식에서 형상행렬[S]를 일정하다고 하면, 지향성 vector {P}는 무게vector {W}에 의해 지배되며, 목적의 지향성은 음원의 진폭 및 위상을 적절하게 조정함에 의해 실현시킬 수 있다.

Ⅱ-2. DFP법 및 LMS법을 이용한 최적지향성합성의 실현 및 비교

지향성합성을 위한 최적화는 newton법인 LMS법 및 준newton법의 일종인 DFP법을 이용하였다. Newton법에서는 목적함수가 최소치로 수렴할 때에 수렴하는 초기치의 범위가 의외로 좁고, 수치적으로 안정하지 않다는 것, 또한 반복할 때마다 2차의 편미분행렬(hessian 행렬)을 계산하지 않으면 안되는 등의 계산량의 점에서는 부담이 되는 결점이 있다. 반면에 DFP법은 LMS법에서의 이러한 결점을 해결하기 위하여 직선탐색을 병용(수렴의 안정화)하고, 반복에 의해 hessian 행렬의 근사행렬을 계산하여 가는 방법이다.[6]

Fig.2는 최적지향성합성을 하기 위한 적응 system이다. 적응 system에서는 목적의 지향성{Z}와 음원에 초기무게(진폭 및 위상)를 가하였을 때 계산된 지향성{P}와의 오차{ε}를 각 관측점에서 취하고, 오차의 2승평균화를 목적함수로서 이 목적함수가 최소가 되도록 음원의 진폭 및 위상을 구한다. 목적함수가 최소로 된 경우에 목적의 지향성과 반복계산에 의한 지향성은 거의 일치하게 되며, 이때 음원의 진폭 및 위상은 최적해가 된다.

Fig.2에서 i회 반복계산한 후의 오차{ε_i}는 목적의 지향성 {Z}와 반복에 따라 계산된 지향성{P_i}와의 차이다. 즉,

$$\{\varepsilon_i\} = \{Z\} - \{P_i\} \quad (8)$$

(8)식에서 i는 반복수를 나타내고 있다. 목적함수 F는 오차의 2승평균화[7]로서 (9)식과 같이 정의된다.

$$F = \frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M}\{\varepsilon_i\}^T\{\varepsilon_i\}$$
$$= \frac{1}{M}\sum_{m=1}^{M}(\{Z\}^T\{Z\} - 2\{|P|_i\}^T\{Z\}$$

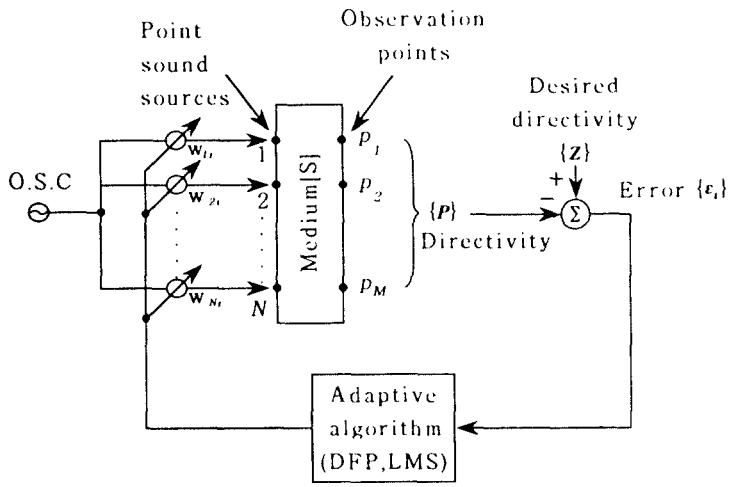


그림 2. 지향성 합성을 위한 적응제어 system.
Fig. 2. Adaptive system for directivity synthesis.

www.dbpia.co.kr

$$+\{|P|_i\}^T\{|P|_i\}) \quad (9)$$

(9)식에서 M은 전체의 관측점수이다. 이 목적함수가 최소치가 되도록 $\{W_i\}$를 조정하면, $\{W_i\}$가 구하는 직선배열음원의 무게분포로 된다. $\{W_i\}$를 조절하기 위한 gradient vector $\{\Delta_i\}$는 (10)식과 같이 정의된다.

$$\{\nabla_i\} = \left\{\frac{\partial F}{\partial W_{1i}} \quad \frac{\partial F}{\partial W_{2i}} \quad \cdots \quad \frac{\partial F}{\partial W_{mi}}\right\}^T \quad (10)$$

본 논문에서는 이를 해석적으로 계산하여 LMS법과 DFP법에 적용하였으며, 반복계산으로 목적함수의 최소치를 얻기 위한 무게의 최적치를 구하였다.

Ⅱ-2-1. 임의로 설정된 반치각, side lobe level에 대한 지향성합성 simulation

LMS법과 DFP법에 의한 지향성합성의 유효성을 확인하고, 이들 방법의 수렴속도를 비교하기위하여 우선, 초음파방사 점음원배열의 길이를 5.0λ로 하고, 점음원수 13개를 등간격으로 직선상으로 배열하여 설정된 반치각 및 side lobe level을 몇 dB이하(본 논문에서는 -30 dB로 설정)이면 좋다고 하는 허용범위를 설정하여 지향성합성을 행했다. 관측점은 181로 1°간격으로 했다. 목적의 지향성으로는 관측점의 중심인 0°를 기준으로 좌우 20°씩으로 반치각 41°로 하였다.

음원의 초기조건으로는 중앙의 음원에만 진폭 1(7번째 음원)을 가하고, 그 외는 전부 0으로 하였다. 또한 초기 위상조건으로 위상각을 전부 0으로 하였으며, 모든 계산은 배정도로 행하였다. Fig. 3은 반치각 41°의목적의 지향성에 대하여 side lobe level을 -30dB이하로 설정한 경우, 반복과정에 의해 점음원의 진폭과 위상을 제어하여 얻은 결과이다. 반복회수는 200회로 지정하였으며, DFP법을 이용한 경우에는 7회째부터 200회까지 목적함수의 값이 일정하기 때문에 반복회수 7회에서 해의 수렴이 완료하고 있다고 생각되어 7회반복에서 얻은 지향성 합성결과, 그리고 LMS법을 이용한 경우에는 step parameter를 0.01로 하여 200회째 반복과정에서 얻은 지향성합성의 결과를 나타내고 있다.

그림 3에서 보듯이 DFP법을 이용한 경우에 side lobe level은 -30dB이하를 나타내고 있으며, 설정된 반치각 41°도 잘 만족시키고 있음을 알 수 있다. LMS법을 이용한 경우에 설정된 반치각 41°는 거의 만족시키고 있으나, 설정된 -30dB 이하의 side lobe level은 실현되지 않고 있음을 알 수 있다. 이는 반복회수의 증가에 따라 점점 설정된 값에 접근할 수 있다. 그러나, 이는 수렴시간이 길어져 문제가 된다. 물론, step parameter를 크게 하면 처음에는 빠른 수렴을 보이나,

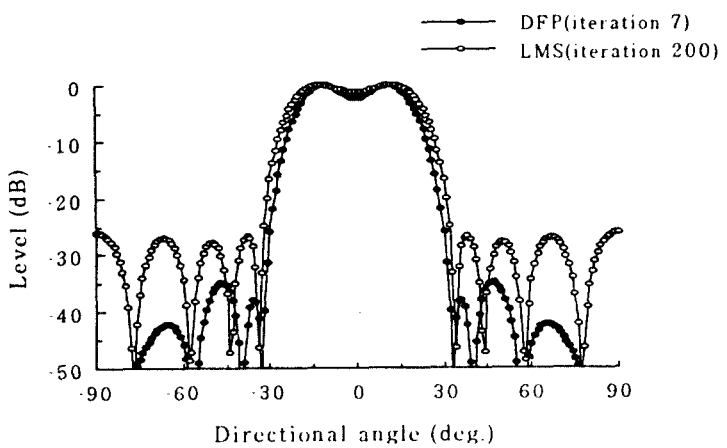


그림 3. 지향성 합성.
Fig. 3. Directivity synthesis.

www.dbpia.co.kr

적응system의 불안정이나 발산을 일으킨다. 본 model에서의 step parameter 0.01의 값은 불안정이나 발산을 일으키지 않는 값에서 수렴속도를 고려하여 정했다. Fig. 4는 계산의 반복회수 i에 대한 목적함수의 수렴과정을 200회까지 반복시킨 것을 표시한 것으로, DFP법을 이용한 경우에 i = 1~6회까지는 급속하게 감소하고, 반복회수 7(-128.20dB)에서 해의 수렴이 완료하고 있다고 생각되어질 수 있다. LMS법을 이용한 경우에는 목적함수의 수렴과정이 완만하게 감소하고 있음을 볼 수 있다. 본 논문에서는 음원배열의 길이를 일정하게한 조건에서 지향성합성을 시도했지만, 음원배열의 길이나 음원의 개수를 조절함에 의해서도 제어할 수 있다.[8] Fig. 5는 반복회수 7회(DFP법)와 200회(LMS법)에서 목적의 지향성을 실현시킬 수 있는 점음원의 진폭 및 위상을 나타내고 있다. 진폭의 크기는 최대치 1로 정규화 시켰다.

Ⅱ-2-2. 임의로 설정된 반치각 및 방향회전에 대한 지향성합성

초음파진단장치 등에서 사용되는 송수파기에서는 장치를 기계적으로 회전시키지 않고, 음원의 무게분포(진폭 및 위상분포)를 전기적으로 변화시킴에 의해 beam을 회전시킬 수 있다. Beam을 회전시킬 경우에도 설정된 반치각 및 side lobe level이 변화되지 않아야 한다. DFP법을 이용한 지향성합성의 유효성을 확인하기 위하여 準理想 beam[9]을 예로서 지향성합성을 시도했다. Fig. 6은 목적의 지향성으로서 중심각에서 왼쪽방향으로 40°회전시킨 경우의 반치각 21°의 지향성합성예로서 side lobe level을 제어한 것이다. 점음원의 배열길이는 전항과 같이 5.0λ로 고정시키고 점음원수는 15개로 하였다. 점음원의 초기조건으로는 8번째의 음원에만 진폭을 1, 그 외는 전부 0으로 하였으며, 초기위상은 전부 0으로 하였다.

이 model의 경우 DFP법을 이용한 경우에 반복수 26회째에서 -66.28dB의 목적함수를 얻을 수 있었으며, LMS법(step parameter 0.025)을 이용한 경우에 200회째에서 - 52.0dB의 목적함수값을 얻을 수 있었다. Fig. 6의 지향성합성 결과에서 DFP법을 이용하여 지향성합성을 한 경우에는 설정된 반치각 및 side lobe level -30dB이하로 목적지향성에 거의 접근함을 알 수 있으나, LMS법을 이용한 경우에는 반치각도 설정된

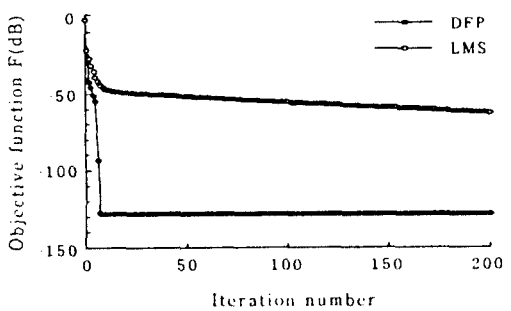
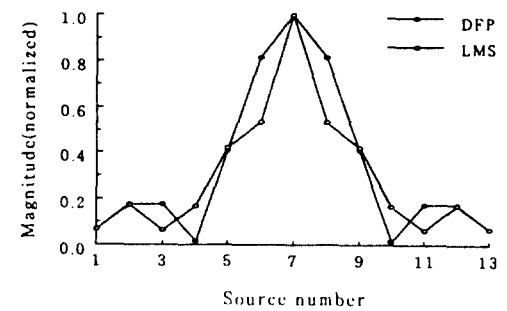


그림 4. 수렴 과정.
Fig. 4. Convergence process.



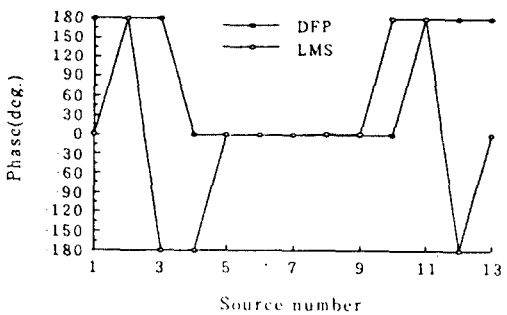


그림 5. 무게 분포.
Fig. 5. Weight distribution.

www.dbpia.co.kr

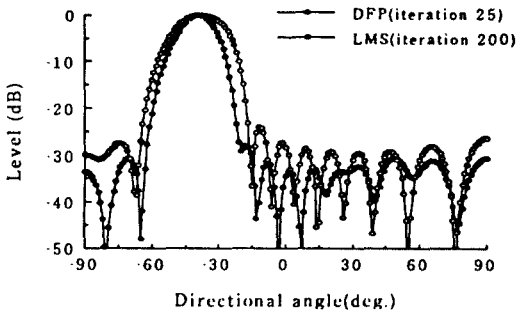


그림 6. 지향성 합성.
Fig. 6. Directivity synthesis.

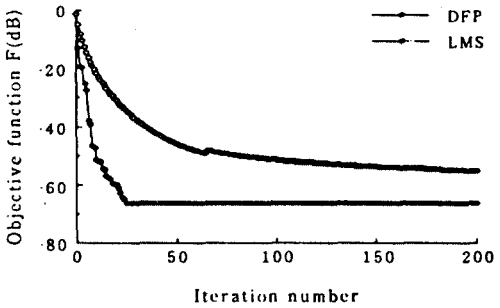


그림 7. 수렴 과정.
Fig. 7. Convergence process.

21°보다 넓게 퍼져있음을 알 수 있으며, side lobe level 또한 설정된 -30dB를 상회하고 있음을 볼 수 있다. 이 또한 반복회수를 증가시키면 설정치에 근접할 수 있으리라 생각된다. Fig. 7은 수렴과정으로 반복회수 200회까지를 나타내고 있다. 여기에서, DFP법의 경우 25회부터 목적함수가 거의 수렴되고 있음을 알 수 있다. Fig. 8은 이 model에서 목적지향성합성을 실현시킬 수 있는 각 음원의 진폭 및 위상분포이다. 진폭의 크기는 최대치 1로 정규화 시켰다.

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 최적화 algorithm으로써 LMS법 및 DFP법을 이용하여 임의로 설정된 반치각과 side lobe level, 그리고 임의의 방향에 대해 목적의 지향성을 두고 직선상의 초음파방사 점배열음원을 이용하여 이의 적응지향성합성 수치해석을 행하였다. 그 결과는 다음과 같다.

① LMS나 DFP algorithm을 이용하여 초음파방사 직선배열점음원에 의해 지향성합성의 유효성을 확인할 수 있다.

② 임의로 main lobe의 반치각이나 side lobe level을 설정하여 반복계산에 의해 오차제어를 할 수 있다.

③ 양 algorithm을 비교했을 때 LMS법은 외부에서 입력하는 step parameter의 크기에 따라 적응

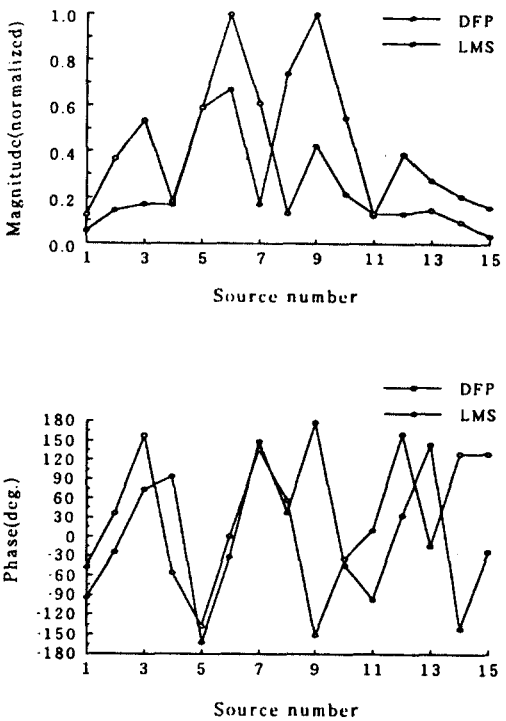


그림 8. 무게 분포.
Fig. 8. Weight distribution.

system의 안정성이나 수렴속도에 영향을 주게되나, DFP법의 경우에는 내부에서 최적 step

www.dbpia.co.kr

parameter를 계산하여 적응시키기 때문에 수렴 속도는 물론 system 안정도도 양호하다.

참고문헌

1. 城戶健一, 1991. 音響工學, コロナ社, 東京 : 64-73.
2. 城戶健一, 1991. 騷音のアクティブ制御, 日本音響學誌, 47(9) : 661-667.
3. 金田 豊, 1988. 適應形雜音抑壓マイクロホンアレー(AMNOR)の指向特性, 日本音響學會誌, 44(1) : 23-30.
4. 浜田晴夫・今井章久, 1991. 音と振動に關するアクティブ制御技術の最近の動向-{音響,振動 のアクティブ制御に關する國際シンポジウム}における發表論文を中心に-, 日本音響學 會誌, 47(9) : 685-693.
5. 土屋隆生・河野 宏・加川幸雄, 1993. 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) : 61-69.
6. 渡部 力・名取 亮・小國 力, 1991. Fortran77による數値計算ソフトウェア, 丸善株式會社, 東京 : 243-246.
7. 大谷祐介・霜山龍一・加川幸雄, 1993. 境界要素モデルによる聲道形狀同定の試み, 日本シ ミュレーション學會第14回計算電氣,電子工學シンポジウム, Sess. V-7 : 271-276.
8. 曺 基亮・金 貞美, 1993. 直線配列點音源에 의한 最適指向性合成SIMULATION, 麗水水産 大學校 論文集, vol. 7, pp.169-177.
9. 越川常治, 1989. ビームフォーミングの主要なアルゴリズムと方式例について-直線配列センサ による音源方向檢出, 日本音響學會誌, 45(10) : 815-822.

曺 基 亮(Cho Ki Ryang) 정회원

1959년 4월 16일
1981년 : 광운대학대학 통신공학과 졸업
1983년 : 건국대학교 대학원 전자공학과 졸업
1995년 : 일본 오카야마대학 자연과학연구과 지능개발과학전공 박사과정 수료
1982년~1995년 현재 : 여수수산대학교 전자통신공학과 부교수
※주관심 분야 : 적응제어, 초음파신호처리 및 제어

www.dbpia.co.kr