

다점제어를 이용한 머리전달함수의 모의에 있어서의 물리적 모의정도와 청감상의 모의정도

On the Physical and Perceptual Precision of the Multi-point Control Method in HRTF Simulation

김 해 영
(Hae-Young Kim)

동명정보대학교 공과대학 멀티미디어공학과
(접수일자: 2004년 4월 6일; 채택일자: 2004년 5월 4일)

음상정위를 제어하는 한 방법으로 음원으로부터 모의하고자 하는 두 귀까지의 머리전달함수 (HRTF)를 모의하는 방법이 유효하다. 그러나, 이 방법을 이용한 경우, 모의계를 설계할 때의 수음점과 청취시의 수음점이 완전하게 일치하는 경우에는 정밀한 모의가 가능하다. 청취시에 머리가 이동한 경우에는 모의정도가 크게 저하하는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 논문에서는 외이도의 입구뿐만 아니라 그 근방의 복수개의 점의 음압을 제어하는 것에 의해 머리가 다소 이동하더라도 제어가 가능하도록 한 모의계의 구성 방법을 제안한다. 본 논문에서는 이 방법을 이용해 머리전달함수를 모의한 경우에 대하여 물리적인 모의정도와 청감상의 음상정위의 정확도에 대하여 종래의 방법과 비교하여 실험했다. 그 결과 복수개의 점에 있어서의 음압을 제어하는 것에 의해 청취위치가 6 cm 정도까지 이동한 경우에도 수평면상에서 방향의 지각 오차를 종래의 방법보다 적게 할 수 있다는 것을 인간을 대상으로 한 청취실험을 통해 증명했다.

핵심용어: 음상정위, 머리전달함수 (HRTF), 음상정위의 제어, 다점제어법

투고분야: 음향 신호처리 분야 (1,1)

Sound localization can be controlled by simulating the transfer functions from sound source to listener's ears. Even by using this method, a good performance cannot be expected when a listener slightly moves from the position where the transfer functions were measured. We have already been proposed the multi-point control method to overcome the problem of the listener's small movement. In this method, the transfer functions are simulated at multiple points around the listener's ears so that the points forms an area which covers the small movement of the listener. In this paper, we investigated the effect of applying multi-point control method for the control of sound localization. Results show that multi-point control is effective to keep the perceptual error of the localized direction small when the listener moves up to 6 cm from the original position.

Keywords: Sound localization, HRTF, Control of sound localization, Multi-point control

ASK subject classification: Acoustic signal processing (1,1)

I. 서론

음상정위를 모의하는 방법으로 음원으로부터 고막면 상까지를 하나의 전달계로 생각해 그 음향정보를 종합적

으로 포함하고 있는 머리전달함수[1-6] (Head Related Transfer Function, HRTF)를 이용해 음상정위를 제어하는 방법이 이용되어지고 있다. Schroeder 등은 2채널 스피커를 이용한 제어법을 전기음향적으로 실현하는 방법을 최초로 정식화했다[7]. 이 방법은 2채널 스피커를 이용한 스테레오 재생계에 있어서, 각 스피커에서 두 귀까지의 전달함수를 이용해 크로스 토크 (cross

책임저자: 김 해 영 (hykim@tit.ac.kr)
608-711 부산시 남구 용당동 535
동명정보대학교 공과대학 멀티미디어공학과
(전화: 051-610-8418; 팩스: 051-610-8848)

talk) 등을 제거하여 모의하고자 하는 전달함수를 얻는 방법이다. Ando 등[8]은 Schroeder 가 제안한 전달함수 모의의 이론식을 일반화해 임의의 위치에 있는 제어용 음원을 이용해 2점에 있어서의 전달함수를 모의하는 것을 정식화 했다. Morimoto 등[3]은 이 방법을 컴퓨터를 이용해 실현함으로써 음상을 청각공간상의 임의의 위치에 정위시키는 것이 가능하다는 것을 청각실험을 통해 증명했다. 또한, Yamakoshi 등[9]은 Ando 등이 제안한 주파수 영역에서의 식을 시간영역에서 표현하여 이를 최소자승법을 이용해 실현하는 방법을 제안했다.

위와 같이 현재에는 전달함수의 모의에 의한 음성정위 제어 방법이 어느 정도 확립되어 실용화가 진행되어 왔다. 그러나, 전달함수의 모의에 의해 음상정위의 제어를 행할 경우, 수음점의 위치가 제어점에서 벗어나는 경우에는 모의의 정밀도가 현저히 떨어지는 문제점이 있다. 이 문제를 해결하기 위해 전달함수를 수음점 근방의 복수개의 점을 모의하는 것에 의해 일정 영역내의 음상을 제어하는 방법이 연구되어 있다[10-13].

본 논문에서는 머리의 이동을 고려한 다점제어를 이용해 전달함수를 모의하는 방법을 제안하고, 종래의 2채널 스피커를 이용한 모의방법과 비교한 청취실험을 통해 그 유효성에 대해 고찰한다.

II. 다점제어에 의한 전달함수의 모의법의 제안

본 절에서는 종래의 2채널 스피커를 이용한 전달함수

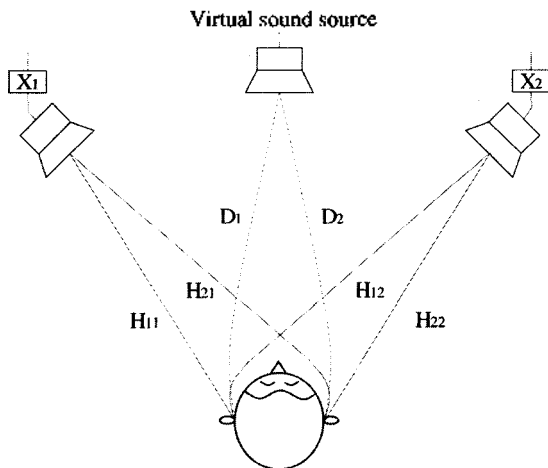


그림 1. 2채널 스피커를 이용한 전달함수의 모의계
Figure 1. Block diagram for HRTF simulation using two loudspeakers.

의 모의방법을 설명하고 제어점 부근의 복수개의 점을 제어함으로써 제어영역을 확대한 다점제어법 (multi-point control method)을 제안하고 그 원리에 대하여 설명한다.

2.1 2채널 스피커를 이용한 전달함수의 모의방법

그림 1에 종래의 2채널 스피커를 이용한 전달함수의 모의계의 구성도를 나타낸다.

이 전달계를 식을 이용해 나타내면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} H_{11} & H_{12} \\ H_{21} & H_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_1 \\ D_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, H_{ij} , X_j , D_i 는 각각 제어용 스피커에서 두 귀까지의 전달함수, 제어용 필터의 전달함수, 모의하는 음원에서 두 귀까지의 전달함수를 나타내고 있다.

식(1)은 주파수 영역에서의 전달함수를 나타내고 있어, 이들 전달함수의 주파수 특성에 좁고 깊은 딥 (dip) 이 있을 경우에는 이 딥을 보상하기 위해서는 좁고 큰 피크 (peak)를 가진 역 특성으로 보상하지 않으면 안 된다. 또, 이 깊은 딥의 부분에서는 값이 너무 작아 신호가 출력되지 않는 것과 동일하다고 할 수 있다. 이 부분을 피크에 의해 보상하는 것은 이 모의계에 존재하는 미세한 노이즈 (noise)들을 크게 증폭하는 결과를 초래할 수 있다. 또, 이 시간응답이 수축하기 위해서는 아주 긴 탭 (tap)수의 역퓨리에 변환을 하지 않으면 안 될 뿐더러, 이렇게 긴 탭수의 역 퓨리에 변환을 한다하더라도 꼭 수축한다고는 할 수 없는 문제점이 있다. 이러한 점들을 해결하기 위하여 Yamakoshi 등[9]은 주파수 영역에서의 식(1)을 시간 영역에서 나타낸 식(2)로 바꾸어, 최소자승법 (Least Square Error method)을 이용해 필터를 설계하는 방법을 제안했다.

$$\begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

위 식에서 h_{ij} , x_j , d_i 는 각각 다음식과 같다.

$$h_{ij} = \begin{bmatrix} h_{ij}(0) & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{ij}(M-1) & \dots & h_{ij}(0) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & h_{ij}(M-1) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$x_j = [x_1(0) \dots x_j(L-1)]^T \quad (4)$$

$$d_i = [d_1(0) \dots d_i(L+M-2)]^T \quad (5)$$

여기서, L, M 은 각각 구하는 제어용 필터 x_j 의 샘플수와 전달함수 h_{ij} 의 임펄스 응답의 샘플수를 나타낸다. 위의 식(2)에 있어서의 계수행렬 h_{ij} 는 일반적으로는 열의 수가 행의 수보다도 적기 때문에 이 방정식을 엄밀하게 만족하는 일반해는 존재하지 않기 때문에 이 방정식의 오차를 각각 제공해서 합한 값이 최소가 되는 해를 구한다.

2.2 다점제어에 의한 전달함수의 모의방법

앞에서 설명한 2채널 스피커를 이용한 모의방법은 실제의 전달함수를 측정한 위치 (점)에서는 양호한 음압의 제어가 이루어지지만, 그 이외의 위치에 있어서는 정밀도가 크게 저하되는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 제어점 근방의 복수개의 점에 있어서의 음압을 제어하는 방법을 제안한다. 이 방법을 이용하면 수음점의 이동에 대하여 강한 필터를 설계하는 것에 의해, 보다 충실한 원음장의 모의가 더 넓은 영역에 있어서도 가능하게 되어 청취시의 머리의 이동에도 대응이 가능하다고 생각된다.

구체적으로는 종래의 2채널 스피커를 이용한 모의법을 확장해 원래의 수음점과 머리가 이동했을 때의 수음

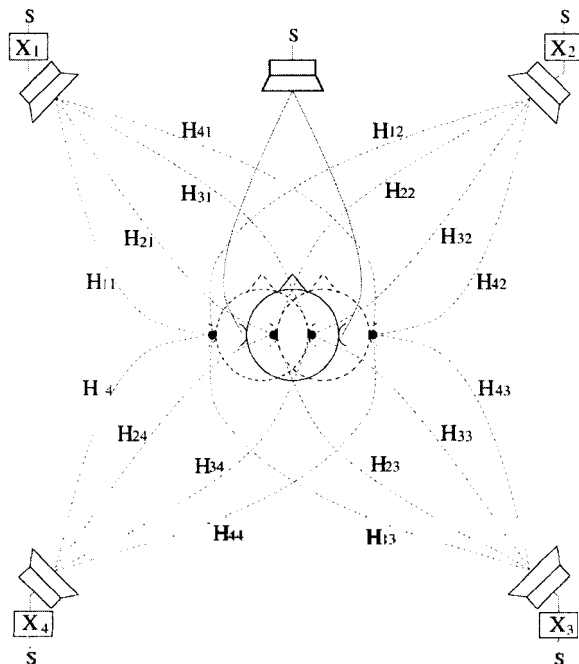


Figure 2. Block diagram for HRTF simulation using four loudspeakers.

점의 위치를 제어점으로 추가하여 이들을 합한 m개의 점을 4채널 스피커로 제어하는 것을 생각한다. 그림 2에 제어점의 수 m=4, 제어용 스피커의 수 n=4 로 한 경우의 전달함수의 모의계를 나타낸다.

또한, 그림 2의 모의계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} H_{11} & \dots & H_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ H_{m1} & \dots & H_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ \vdots \\ X_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} D_1 \\ \vdots \\ D_m \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서, H_{mn} , X_n , D_m 는 2.1 절에서와 같이 각각 제어용 스피커에서 두 귀까지의 전달함수, 제어용 필터의 전달함수, 모의하고자 하는 음원에서 두 귀까지의 전달함수를 나타내고 있다.

실제로는 위식을 시간영역에서 나타낸 다음의 방정식의 해를 구하는 것에 의해 필터를 설계한다.

$$\begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{m1} & \dots & h_{mn} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_m \end{bmatrix} \quad (8)$$

위 식에서 h_{mn} , x_n , d_m 는 각각 식(9), 식(10), 식(11)으로 나타내어진다.

$$h_{mn} = \begin{bmatrix} h_{11}(0) & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{m1}(M-1) & \dots & h_{1n}(0) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & h_{mn}(M-1) \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$x_n = [x_1(0) \dots x_n(L-1)]^T \quad (10)$$

$$d_m = [d_1(0) \dots d_m(L+M-2)]^T \quad (11)$$

여기서, L, M 은 각각의 전달함수의 임펄스 응답의 샘플수를 나타내며, 위의 식(8)을 간단하게 표현하기 위해 식(12)의 형태로 바꿔 쓸 수 있다.

$$HX = D \quad (12)$$

여기서, 식 (12)에 있어서의 계수행렬 H 는 일반적으로는 열 (미지수)의 수가 행 (방정식)의 개수 보다 적기 때문에 이 방정식을 엄밀하게 만족하는 일반해는 존재하지 않는다. 이 때문에 이 방정식의 해를 구하기 위해서는 식(12)의 양변의 차의 놈 (norm) $\|HX - D\|_2$ 을 최소로 하는 자승해 X_{LS} 를 식(13)과 같이 Gram

Schmidt 과정을 거친 QR 법[14]등을 이용해 구한다. 즉, 여기서 구한 최소 자승해 X_{LS} 가 시간영역에서 구한 제어용 필터 X_n 가 되는 것이다.

$$X_{LS} = \frac{H^T D}{H^T H} \quad (13)$$

종래의 2채널 스피커를 이용한 방법은 어떤 2점에 있어서 오차의 자승 합을 최소로 하는 해를 구하는 것에 대하여, 제안한 4채널 스피커를 이용한 방법에서는 제어용 필터를 구할 때에 고려한 모든 점에 있어서의 오차의 합이 최소가 되도록 필터를 구하면 된다. 이 방법은 종래의 2채널 스피커를 이용하는 방법에 비해 최소 자승 오차는 어느 정도 증가하는 것이 예상되나, 제어점 부근을 포함한 어느 정도의 영역에 있어서의 최소 자승 오차는 작아지게 될 것으로 예상된다.

III. 전달함수의 모의실험과 청취실험

이 장에서는 2채널 스피커를 이용해 2점의 제어를 하는 종래의 모의 방법과 4채널 스피커를 이용해 머리가 원래의 위치에서 이동한 경우의 두 귀의 위치에서의 복수개의 점을 다점제어법을 이용해 전달함수를 모의한 경우의 물리적 오차와 청취실험에 의한 주관적인 음상 정위의 오차에 대하여 논한다.

3.1 물리적 모의오차의 비교

2채널 스피커를 이용해 2점을 제어하는 종래의 모의 방법과 4개의 스피커를 이용해 4점, 8점을 제어하는 다점제어법에 의해 전달함수를 모의한 경우의 물리적 오차를 비교 하는 모의실험을 행했다. 제어점의 위치는 그림 3과 같이 종래의 2채널법에서는 머리가 움직이지 않은 경우의 두 귀의 위치에서의 2점 (이하, 2ch-2라 함)을, 4채널법의 경우에는 원래의 청취 위치로부터 머리가 좌우로 1cm씩 이동했다고 가정한 두 귀의 위치에서의 4점을 제어한 경우 (이하, 4ch-4X라 함)와 원래의 청취 위치로부터 머리가 전후방으로 1cm씩 이동했다고 가정한 두 귀의 위치에서의 4점을 제어한 경우 (이하, 4ch-4Y라 함), 또, 원래의 청취 위치로부터 머리가 전후좌우로 1cm씩 이동한 경우의 두 귀의 위치에서의 8점을 제어하는 경우 (이하, 4ch-8XY라 함)에 대

하여 모의실험을 했다.

모의하고자 하는 전달함수는 무향실내에서 머리의 정면으로부터 우측 45도 방향, 머리의 중심으로부터 150cm 의 거리에 있는 음원을 이용해 측정했다. 전달함수의 측정시에는 각 청취자 개개인의 전달함수를 측정하였다. 측정시에는 귀의 높이가 스피커의 중심축과 같은 높이가 되도록 의자에 앉아 머리 받침대를 이용해 머리를 고정시켰다. 마이크로폰은 초소형 일렉트릭 콘덴서형 마이크로폰 (RION EU-22, 크기 3.6×3.6×2.1 mm)을 아주 가는 피아노선에 정착해, 이것을 청취자의 외이도 입구에 고정시켜 측정했다.

또, 각각의 제어용 스피커에서 두 귀까지의 전달함수를 측정하고, 이들 전달함수를 이용해 2채널법과 4채널법에 의해 각각의 제어용 필터를 구했다. 위와 같은 방법으로 구한 제어용 필터와 각각의 제어용 스피커로부터 두 귀까지의 전달함수를 계산기내에서 합성한 전달함수와 모의하고자 하는 실제의 방향에서의 음원과 두 귀에서 측정한 전달함수와의 오차를 구했다.

3.2 청취실험에 의한 주관적 모의오차의 비교

인간을 대상으로 한 청취실험은 무향실 (세로 : 7.0 m, 가로 : 4.6 m, 높이 : 2.5 m)에서 했다. 아래에 실험조건은 나타낸다.

1. 모의하는 방향: 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°의 전 8방향
2. 모의하는 음원의 거리: 머리의 중심에서 150cm

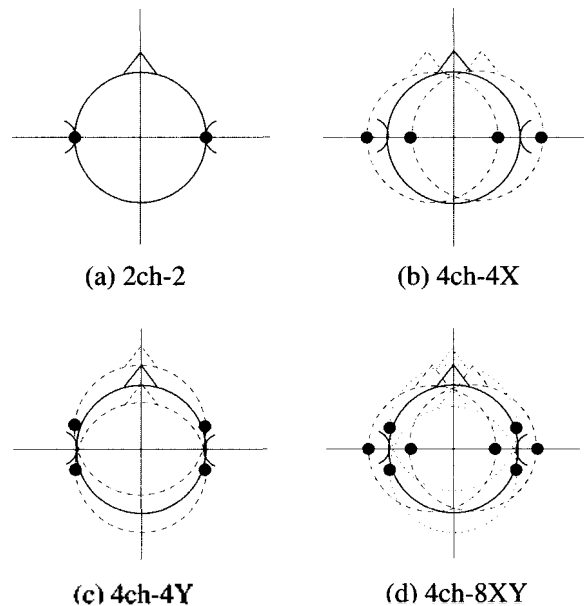


그림 3. 모의에 이용한 제어점의 위치
Figure 3. Configuration of control points used in the simulation.

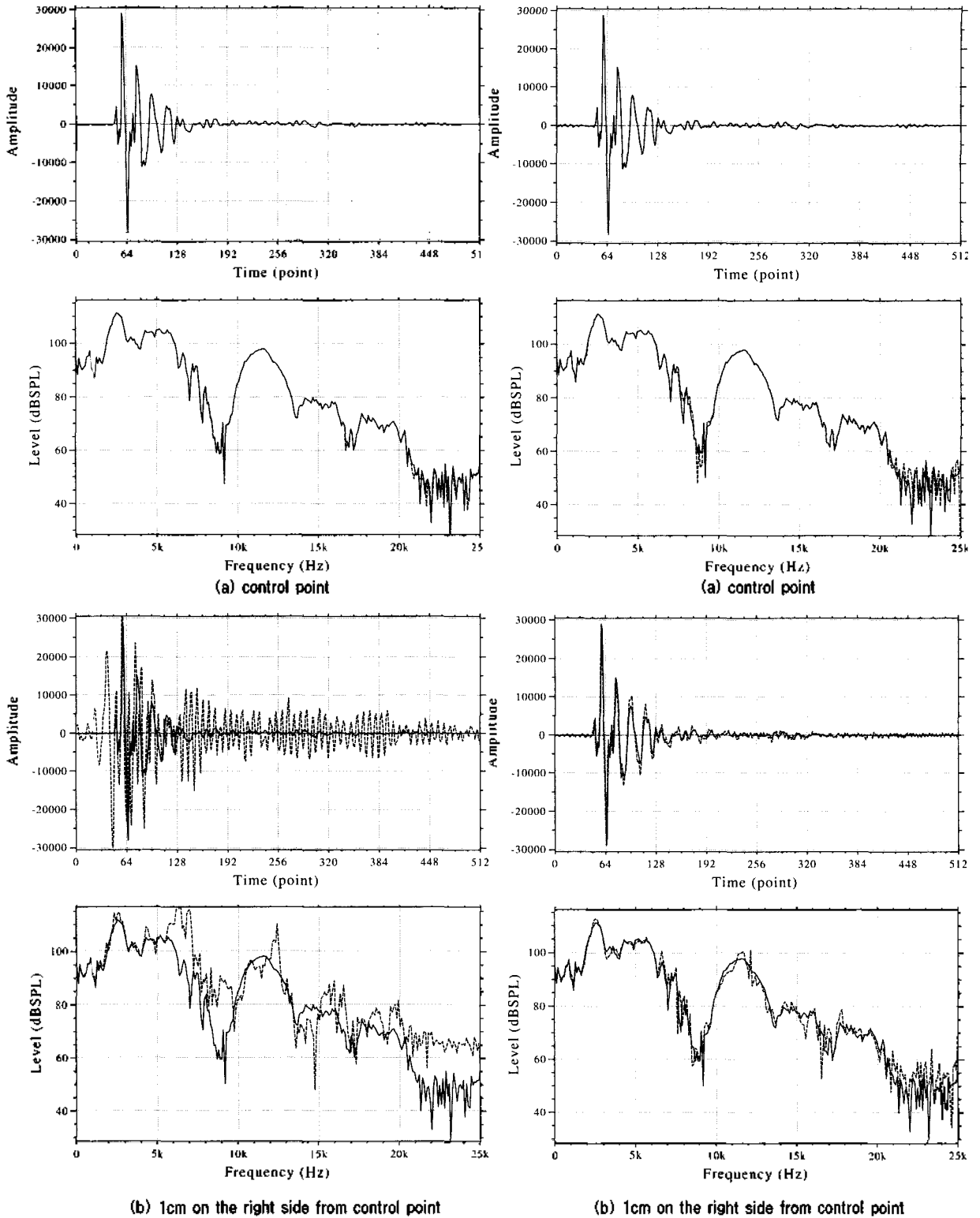


그림 4. 머리전달함수의 모의에 의한 물리적 오차 (2ch-2법의 우측 귀)
 실선: 모의하고자 하는 전달함수, 파선: 모의에 의해 합성한 전달함수
 Figure 4. Physical error by HRTF simulation (2ch-2 method, right ear)

그림 5. 머리전달함수의 모의에 의한 물리적 오차 (4ch-4X법의 우측 귀)
 실선: 모의하고자 하는 전달함수, 파선: 모의에 의해 합성한 전달함수
 Figure 5. Physical error by HRTF simulation (4ch-4Xmethod, right ear)

3. 제어용 스피커의 거리: 머리의 중심에서 120cm
4. 청취위치: 제어점의 위치, 제어점으로부터 우측 1cm, 2cm, 4cm, 6cm 이동한 지점의 전 5조건
5. 자극음: 20kHz 이하의 핑크노이즈(pink noise), 피실험자 위치에서의 음압레벨이 60dB SPL로 일정하게 되도록 하여 2초간 제시했다.
6. 피실험자: 정상적인 청력을 가진 20대의 성인 남자 4명

각각의 청취 위치로의 이동은 컴퓨터로 0.05mm의 정밀도로 이동 가능한 자동 이동장치를 제작하여 실험을 했다. 청취자의 위치 및 제어용 스피커의 위치를 정확하게 정하기 위하여 레이저 빔 포인터를 이용해 위치를 결정 했다. 또한, 청취실험 중에는 청취자의 머리 위치를 촬영하여 정면에 설치한 모니터를 통하여 제시함으로써 실험중 청취자가 자신의 머리의 위치를 항상 정확히 유지할 수 있도록 했다. 자극음은 위에서 설명한 두 방법에 의해 구한 제어용 필터에 핑크노이즈를 가해서 작성 했다. 자극음의 제시는 무작위로 한 방향에 대하여 6회씩 제시했다. 회답은 회답용지에 청취자가 판단한 음상의 방향을 기입하도록 했다.

IV. 실험결과 및 고찰

4.1. 물리적 오차의 비교

그림 4, 5에 무향실에 있어서 모의하고자 하는 실제의 방향의 음원으로부터 두 귀 사이에서 측정된 전달함수와 각각의 제어용 스피커로부터 두 귀 사이에서 측정된 전달함수에 각각의 방법에 의해 구한 제어용 필터를 계산기 내에서 가해서(convolution) 합성한 전달함수의 파형을 우측 45°방향에 있는 음원을 모의한 경우의 결과로 나타내었다. 각 그림의 (a)는 머리가 제어점에 위치한 경우, (b)는 청취점의 위치가 제어점에서 1cm 이동한 경우의 결과를 나타내고 있다. 또, 실선은 모의하고자 하는 전달함수를, 파선은 모의에 의해 합성한 전달함수를, 상단의 패널은 시간파형을, 하단은 주파수 특성을 나타내고 있다.

이 결과로부터 2채널법의 경우, 제어점에 있어서는 모의하고자 하는 전달함수에 가까운 모의가 가능하지만, 청취점의 위치가 제어점으로부터 1cm 이동한 경우

에는 모의하고자 하는 전달함수와 모의에 의해 합성한 전달함수와의 차가 크게 나타남을 알 수 있다. 한편, 4채널법의 경우에는 머리가 이동한 위치에 있어도 모의에 의해 합성한 전달함수가 모의하고자 하는 전달함수에 가까운 모의가 되었다는 것을 알 수 있다. 이것은 제어점에 있어서는 모의 정도는 두 방법 모두 비슷하지만, 청취위치가 제어점에서 이동한 경우에는 4채널법이 2채널법에 비해 합성한 전달함수가 모의하고자 하는 전달함수에 더 가까운 모의가 된 결과라고 할 수 있다.

또한, 그림 6에 2채널법(2ch-2)과 4채널법(4ch-4X, 4ch-4Y, 4ch-8XY)으로 구한 제어용 필터와 각각의 제어용 스피커로부터 두 귀까지의 전달함수를 계산기내에서 합성(convolution)한 전달함수와 모의하고자 하는 실제의 방향에서의 음원으로부터 두 귀 사이에서 측정된 전달함수와의 오차를 각 위치에서 분포로 나타내었다.

2ch-2법의 경우에는 머리의 이동이 없는 위치에서는 오차가 적으나 제어점에서 멀어짐에 따라 오차가 급격하게 증가함을 알 수 있다. 한편, 4ch-4X와 4ch-4Y의 경우에는 각각 X방향, Y방향 쪽에 오차가 적은 영역이 확대되어 있음을 알 수 있다. 뿐만아니라 4ch-8XY의 경우에는 2ch-2법에 비교해 X방향, Y방향에 있어서 동시에 오차가 적은 영역이 형성되어 있음을 알 수 있다.

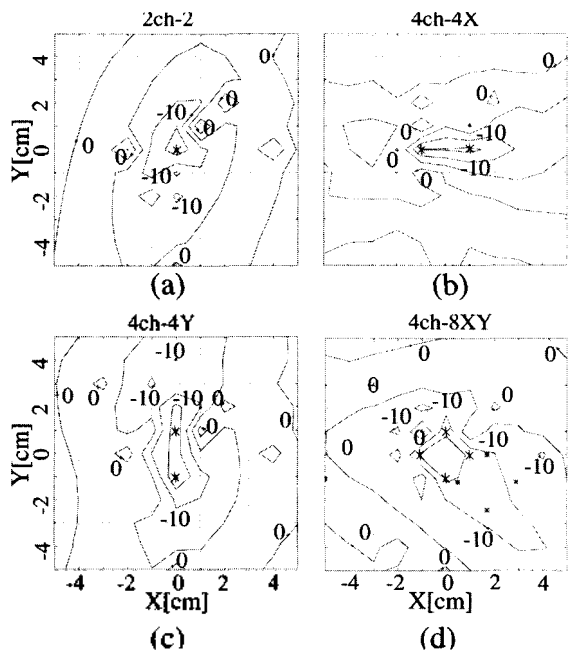


그림 6. 각 위치에 있어서의 시뮬레이션 오차 분포
Figure 6. Distribution of error between desired transfer function and simulated transfer function. (*: control point)

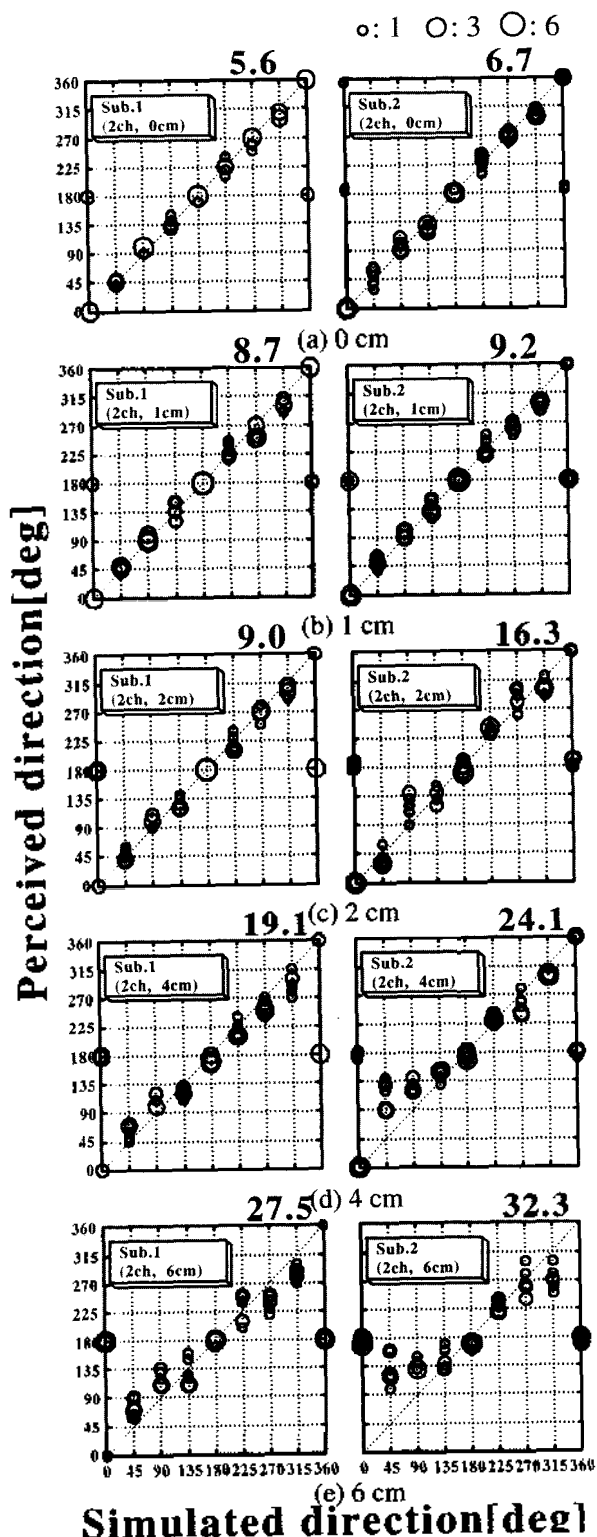


그림 7. 2채널 스피커를 이용한 전달함수의 모의법에 의한 방향정위의 제어 실험결과 (2ch-2)
 Figure 7. Perceived direction from a simulated transfer function using two loudspeakers (2ch-2).

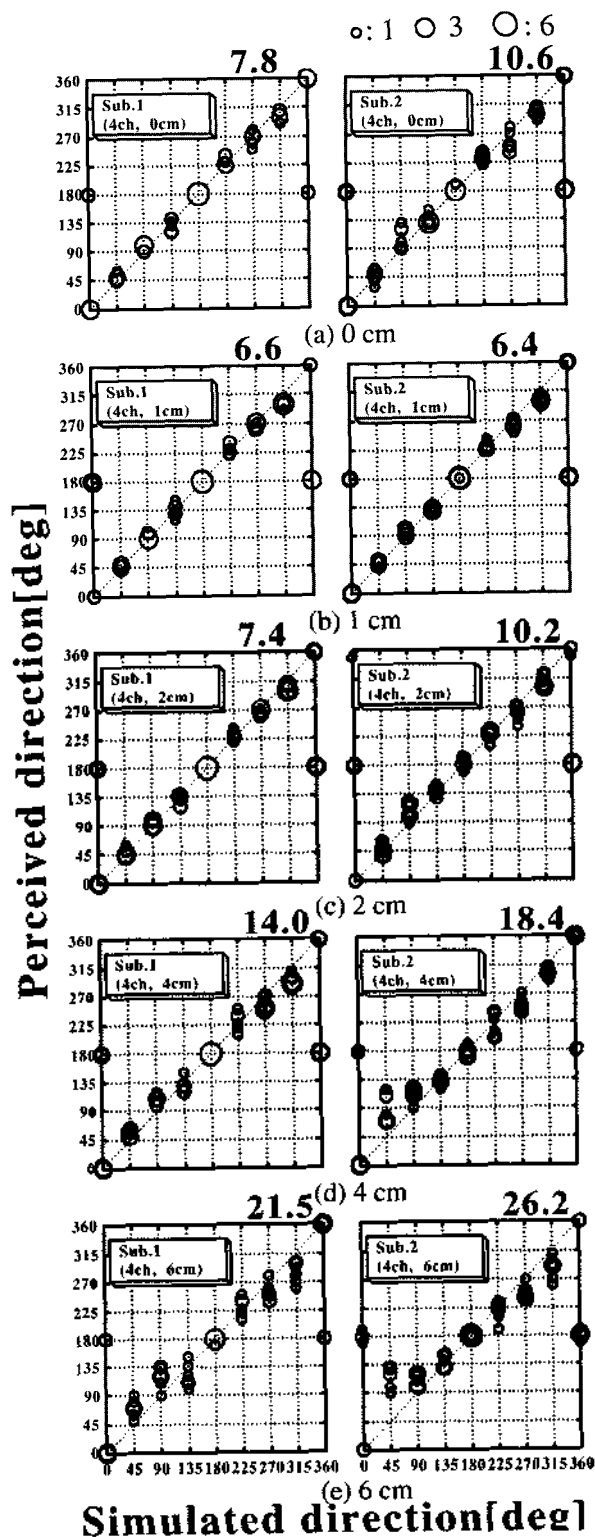


그림 8. 4채널 스피커를 이용한 전달함수의 모의법에 의한 방향정위의 제어 실험결과 (4ch-4X)
 Figure 8. Perceived direction from simulated transfer function using the multi-point control method (4ch-4X).

In each figure, the size of circle(○) represents the number of times of the answer. The value of upper right of each panel shows difference between the simulated physical direction and perceived direction of the sound image. From the top of each panel show results of control point, and distances from the control point are 1, 2, 4 and 6 cm, respectively.

이 결과로부터 2ch-2법의 경우, 제어점에 있어서는 모의하고자 하는 전달함수와의 오차가 적지만 제어점 이외의 점에서는 머리가 제어점에서 멀어짐에 따라서 모의하고자 하는 전달함수와 모의에 의해 합성한 전달함수와의 오차가 크게 되어지는 것을 알 수 있다. 한편, 4ch-4X, 4ch-4Y, 4ch-8XY법의 경우에는 머리가 원래의 위치로부터 어느 정도 이동한 위치에 있어서는 모의에 의해 합성한 전달함수가 모의하고자 하는 전달함수와의 오차가 2ch-2법에 비해 작음을 알 수 있다. 이것은 2ch-2법에 비해 원래의 위치에서는 오차가 다소 커지는 단점은 있지만, 제어점 부근의 보다 넓은 범위에 있어서 어느 정도의 정밀도를 가진 영역이 형성된 결과라고 생각 되어진다.

4.2 청취실험에 의한 주관적 오차의 비교

2ch-2법과 4ch-4X법을 이용해 행한 청취실험의 결과의 예를 그림 7, 8에 나타내었다. 그림의 횡축은 모의한 방향을 나타내며, 종축은 지각한 방향을 나타내고 있다. ○의 크기 (면적)은 그 방향이라고 답한 횡수 (1회~6회)에 대응하고 있다. 각 패널의 오른쪽 위의 숫자는 모의한 음원의 방향과 지각한 음상의 방향과의 차를 절대치의 평균값 (°)으로 나타내었다.

그림은 위로부터 각각 머리의 이동이 없는 경우, 우측으로 1cm, 우측 2cm, 우측 4cm, 우측 6cm 이동한 위치에서의 청취결과를 나타내고 있다. 여기서, 2채널법의 제어점의 위치는 머리의 이동이 없는 경우의 위치이며, 4채널법의 경우에는 우측으로 1cm 이동한 위치라는 것에 주의할 필요가 있다. 이들 제어점의 경우에는 어느 방법을 이용해도 모의한 방향과 지각한 방향과의 차가 적은 것을 평균오차로부터 알 수 있다. 또한, 머리가 우측으로 2cm 이동한 위치에 있어서는 차이는 그리 크지 않으나 2채널법 보다도 4채널법이 모의한 방향과 청취실험에 의해 지각한 방향과의 오차가 적게 나타나고 있다. 뿐만 아니라, 머리의 이동이 제어점으로부터 멀어지면 멀어질수록 2채널법에 의한 청취실험 결과가 4채널법에 의한 청취실험 결과에 비해 바이어스 (bias)가 크고, 모의한 방향과 지각한 방향과의 오차도 더 커지고 있음을 알 수 있다. 이러한 실험 결과로부터 2채널법의 경우에는 물리적인 정밀도가 높은 제어점에 있어서는 지각한 방향 오차가 적으나, 머리가 이동한 위치에서의 오차는 점점 커지고 있음을 알 수 있다. 한편, 4채널법의 경우에는 2채널법에 비해, 제어점과 머

리가 이동한 위치에 있어서는 청감상으로 지각한 방향의 판단 오차가 적은 것을 알 수 있다. 또한, 2채널법과 같이 제어점에서 만의 물리적 모의 정밀도를 높이는 것보다, 청취시의 머리의 이동을 고려한다면 일정한 영역에서의 음압을 정밀하게 제어하는 것이 청감상의 모의의 정확도를 높일 수 있는 가능성이 있다는 것을 나타내는 결과라 생각된다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 2채널 스피커를 이용한 모의방법과 청취시의 머리의 이동을 고려해 모의하고자 하는 제어점 부근의 복수개의 점을 동시에 제어하는 방법을 제안하고, 전달함수를 모의해 물리적인 정밀도와 청감상의 음상정위의 정확도를 비교했다. 그 결과, 2채널법의 경우에는 청취위치가 바뀔 경우에는 제어점 이외의 점에서는 물리적 정밀도나 청감상의 정밀도가 크게 저하되는 것으로 나타났다. 한편, 4채널법의 경우에는 머리가 이동한 위치에 있어서는 모의하고자 하는 전달함수와의 물리적 오차나 청감상의 오차가 적게 나타나는 것으로 나타났다. 이것은 제어점 근처의 복수 개의 점을 제어함으로써 제어점 부근의 어느 정도의 제어영역이 형성되어 종래의 2채널법에 비해 보다 넓은 범위에 있어서 정밀한 모의가 가능하다는 것은 나타내는 것으로 생각된다. 이러한 결과는 제안한 다점제어법을 이용함으로써 청취시의 머리의 이동에 강한 모의계의 구성이 가능하다는 것을 물리적인 모의오차와 인간을 대상으로 한 청취 실험 결과의 비교를 통해서도 제안한 모의법의 유효성을 증명했다.

감사의 글

본 연구의 일부는 2003학년도 동명정보대학교 학술지원연구비의 지원을 받아 수행되었다. 또한, 본 연구를 수행함에 있어 많은 조언을 주신 日本 秋田縣立大學의 曾根 敏夫 教授, 高根 昭一 助教授, 東北大學 電氣通信研究所 鈴木 陽一 教授님과 부경대학교 전기계측공학부 김천덕 교수님께 감사드립니다.

참고 문헌

1. J. Blauert, Spatial Hearing-The psychophysics of human sound localization, Revised Edition (Cambridge, MA, The MIT Press, 1995).
2. D. R. Begault, 3-D Sound for virtual reality and multimedia (Cambridge, MA, AP Professional, 1994).
3. M. Morimoto and Y. Ando, On the simulation of sound localization, J. Acoust. Soc. Jpn(E), 29, 167-174, 1980.
4. H-Y. Kim, S. Takane, Y. Suzuki and T. Sone, A study on control of distance perception by simulation of HRTF, Proc. of the Virtual Reality Soc. Jpn., 1, 55-58, 1996.(in Japanese)
5. H-Y. Kim, S. Takane, Y. Suzuki and T. Sone, Control of auditory distance perception based on auditory parallax model Applied Acoustics, 62(3), 245-270, 2001.
6. 김해영, 확장된 음향적 시차모델을 이용한 음상 거리정위의 모델화, 한국 음향학회지, 23(1), 30-39, 2004.
7. M. R. Schroeder and B. S. Atal, Computer simulation of sound transmission in rooms, IEEE Inter. Conv. Rec. Part 7, 150-155, 1963.
8. Y. Ando, S. Shidara, Z. Maekawa and K. Kido, Some basic studies on the acoustic design of room by computer, J. Acoust. Soc. Jpn., 29, 151-159, 1973. (in Japanese)
9. K. Yamakoshi, K. Watanabe, S. Yoshikawa Sound localization control system using FIR-filter, IEICE Technical Report EA81-34, 1981. (in Japanese)
10. M. Hanba, K. Okabe, H. Hamada, T. Miura and Y. Kiryu SONE Basic study on inverse filtering for stereo reproduction in a car cabin, Proc. of Acoust. Soc. Jpn., 441-442, 1990.(in Japanese)
11. S. Komiya, A. Morita, K. Kurozumi, and K. Nakabayashi, Distance control of sound images by a two-dimensional loudspeaker array, J. Acoust. Soc. Jpn(E), 13(3), 171-180, 1992.
12. H-Y Kim, K. Abe, S. Takane, Y. Suzuki and T. Sone, Evaluation of multi-point control method in HRTF simulation by hearing experiment, Proc. of Acoust. Soc. Jpn., 495-496, 1995. (in Japanese)
13. M. Miyoshi and Y. Kaneda, Active noise control using inverse filtering of a sound field in a room, J. Acoust. Soc. Jpn., 46(1), 3-10, 1990. (in Japanese)
14. G. Strang, Linear Algebra and its Applications (Academic press, New York, 1976).

Research Associate

2003년 3월~현재: 동명정보대학교 공과대학 전임강사

*주관심분야: 음향신호처리, 입체음향, 음상정위 및 제어, 음향을 이용한 virtual reality, 시각과 청각의 multi-model 정보처리 등

저자 약력

• 김 해 영 (Hae-Young Kim)



1989년 2월: 부경대학교 전자통신공학과 (공학사)
 1995년 3월: 일본 토우호쿠(東北)대학 대학원
 정보과학연구과 (정보과학석사)
 1999년 3월: 일본 토우호쿠(東北)대학 대학원
 정보과학연구과 (정보과학박사)
 1999년 4월~2000년 3월: 일본 토우호쿠(東北) 대학
 전기통신연구소 Research
 Associate
 2000년 4월~2003년 2월: 일본 아키타(秋田)현립대학
 시스템과학기술학부