

원음장 재생을 위한 OSS 등화기의 모델링에 관한 컴퓨터 시뮬레이션

Computer simulation on the modelling of OSS equalizer for the reproduction of original sound field

임 정 빈* . 김 천 덕**

* 부산수산대학교 대학원 박사과정 전자통신학과

** 부산수산대학교 전자공학과

1. 서 론

최근, 음향신호 처리분야에서 연구되고 있는 원음장 재생에 관한 연구목적은 기존의 오디오 장치에 채택되고 있는 Surround stereo 의 완벽한 구현, TV 와 영화에서의 효과음향 제작, 각종 소음의 평가, 음장통신의 실현, 자동차 실내 음장의 시뮬레이션을 위한 것이라 할 수 있다.^{1),2),3)}

원음장 재생에 관한 연구는 기존의 오디오 방식에서 채택하고 있는 2 채널, 2 스피커를 이용하는 방법이 주류를 이루고 있으며, 이러한 2 개의 스피커를 이용한 원음장 재생에 관한 연구는, 1966 년에 독일의 Atal 과 Schroeder 가 3 차원 음장 재생방식을 제안한 이후, 1983 년에는 일본의 Hamada 등이 이 방식의 실용화를 위한 OSS(Ortho Stereophonic System) 방식^{4),5)} 을 제안하기에 이르렀다.

본 연구는 OSS 방식에 의한 원음장 재생장치의 하드웨어를 구성하기 위한 전단계로서, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 OSS 등화기의 시스템함수를 재생공간의 음향전달특성인 HRTF(Head Related Transfer Function) 로 부터 추정하고, OSS 등화기를 모델링하여 평가식에 따라 평가한 실험이다. 평가결과, 모델링 OSS 등화기가 HRTF 의 역필터로 작용하므로써 입력신호가 충실히 재생됨을 알 수 있었고, 원음장 재생장치의 실시간처리는 시스템함수의 임펄스 레스폰스와 입력 음성신호와의 고속 콘볼루션 연산으로 실현될수 있음을 알 수 있었다. 또한, 시스템함수는 HRTF 로 부터 추정되므로 정확하게 HRTF 를 측정하는 연구가 선행되어야 함을 알 수 있었다.

2. OSS의 기본 구성

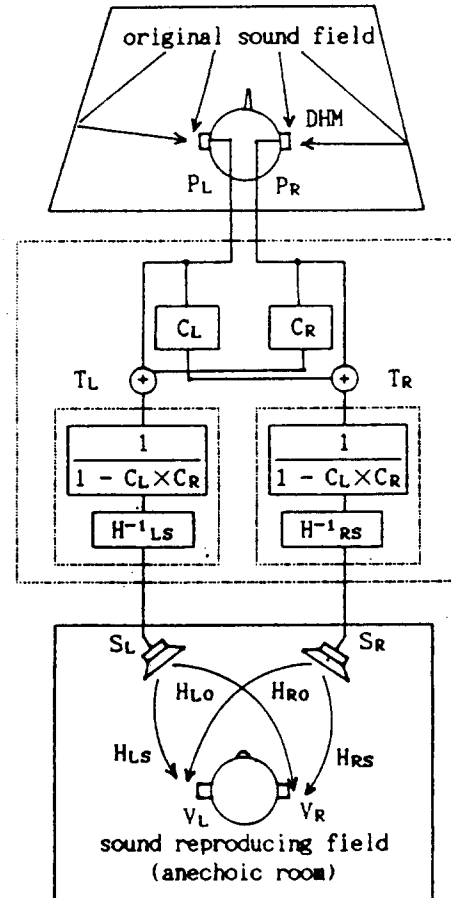
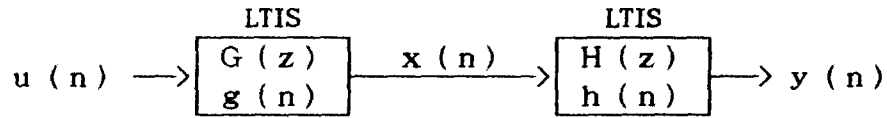


그림.1. OSS 방식의 기본구성

OSS 방식의 기본구성을 그림.1에 표시하였다. 이 방식은 우선, 재생공간(sound reproduction field)에 있는 스피커로부터 청취자 양 귀까지의 음향전달특성인 HRTF를 측정하여 OSS 등화기의 시스템함수를 추정하게 된다. 추정한 시스템함수로 모델링된 OSS 등화기는 원음장(original sound field)에서 DHM(Dummy Head Microphone)이라는 특수한 장치로 수용된 음을 보정하여 재생하게 된다. 그 결과 재생공간에 있는 청취자는 마치 원음장에서 음을 청취하는 것과 같은 음장감을 느끼게 되는 것이다.

OSS 등화기의 시스템함수를 추정하기 위한 이론식^{6),7)}은 그림.2에 표시한 역필터처리로부터 유도할 수 있다. 역필터처리는 HRTF로 나타낼 수 있는 재생공간을 LTIS $H(z)$ 라 할 때, 별도의 LTIS $G(z)$ 을 전단에 접속시켜서 입력 $u(n)$ 에서 출력 $y(n)$ 까지의 전체 시스템의 임펄스응답이 단위샘플($\delta(n)$)이 되도록 하는 것이다.



$g(n), h(n)$: impulse response, $G(z), H(z)$: z-transform

그림.2. 역필터처리

따라서 LTIS $G(z)$ 라고 하는 것은 식 (1) 을 만족하는 역 필터 A 로서 정의할 수 있다.

$$HA = E \quad (1)$$

여기서,

$$H = \begin{bmatrix} H_{LS}(z) & H_{RO}(z) \\ H_{LO}(z) & H_{RS}(z) \end{bmatrix}, \quad E : \text{단위행렬}$$

행렬 H 의 각 요소는 그림.1 에 표시한 바와같이 재생음장(무향실) 에 배치한 2 개의 재생 스피커의 입력단(S_L, S_R) 에서 청취자의 위치에 설치한 DHM 의 출력단 (V_L, V_R) 까지로 정의되는 특성이다.

식(1) 에 의하여 역 필터 A 를 식(2) 와 같이 H 의 역행렬(H^{-1}) 로서 표시할 수 있고 (H 는 정칙(nonsingular matrix)이라 가정), A 를 A_T 라는 역전달 특성에 의한 보정과, A_C 라는 cross talk 억제를 위한 보정의 중속처리로서 표현할 수 있다.

$$A = H^{-1} = A_T A_C \quad (2)$$

여기서,

$$A_T = \begin{bmatrix} T_L(z) & 0 \\ 0 & T_R(z) \end{bmatrix}, \quad A_C = \begin{bmatrix} 1 & C_R(z) \\ C_L(z) & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$C_L(z) = -\frac{H_{LO}(z)}{H_{LS}(z)}, \quad C_R(z) = -\frac{H_{RO}(z)}{H_{RS}(z)} \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} T_L(z) &= -\frac{1}{1 - C_L(z) C_R(z)} \cdot \frac{1}{H_{LS}(z)} \\ T_R(z) &= -\frac{1}{1 - C_L(z) C_R(z)} \cdot \frac{1}{H_{RS}(z)} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

식 (4), (5) 로 부터 OSS 등화기의 시스템함수를 추정하게 되며, 이러한 시스템함수는 하드웨어를 구성하기 위하여 FIR 로 근사할 필요가 있다.

3. OSS 등화기의 모델링

그림.3 은 컴퓨터 시뮬레이션에 이용한 시계열의 HRTF 로서, Blackman 창함수를 이용한 32 차의 4 KHz 저역통과 FIR 필터와 convolution 연산으로 필터링하고, N(N=512)점으로 FFT 처리하여 $H_{LS}, H_{RO}, H_{LO}, H_{RS}$ 로 변환한 후 시스템함수 추정에 이용하였다.

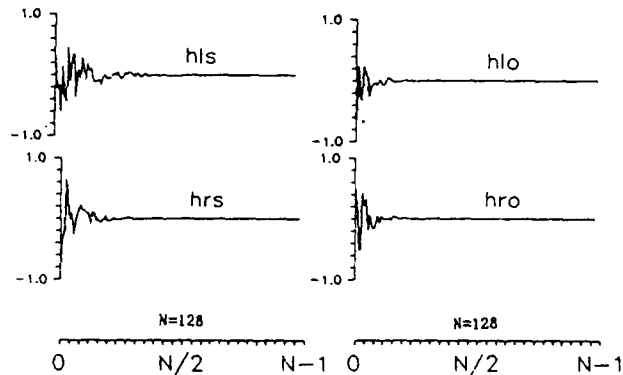


그림.3. 컴퓨터 시뮬레이션에 이용한 HRTF

그림.4 는 설정한 HRTF 를 이용하여 OSS 등화기의 시스템함수(C_L, C_R, T_L, T_R) 를 추정한 결과로서, 식(4), (5) 를 이용하여 계산한 후, N(N=1024)점으로 IFFT 처리하고, 규격화하여 시계열의 $h_{cl}, h_{cr}, h_{tl}, h_{tr}$ 으로 나타낸 것이다.^{8), 9)} 하드웨어를 구성할 때는 이러한 시계열의 시스템함수(즉, 임펄스 레스폰스) 와 입력신호를 convolution 연산하여 신호를 재생하게 된다.

여기서, OSS 등화기의 하드웨어를 실시간으로 구성하는 것을 고려할 때, OSS 등화기의 출력을 $V_L(t), V_R(t)$ 로 하고, 입력을 $I_L(t), I_R(t)$ 로 하면, 출력은 식(6), (7) 에 표시한 바와 같이 추정한 시계열의 시스템함수와 입력신호와의 convolution 연산으로 계산됨을 알 수 있다. 즉, 하드웨어의 실시간 구성은 고속 convolution 연산으로 실현될 수 있음을 의미한다. 여기서, * 는 convolution 연산을 의미한다.

$$V_L(t) = I_R(t) * h_{tr}(n) + h_{tr}(n) * [I_L(t) * h_{cl}(n)] \quad (6)$$

$$V_R(t) = I_L(t) * h_{tl}(n) + h_{tl}(n) * [I_R(t) * h_{cr}(n)] \quad (7)$$

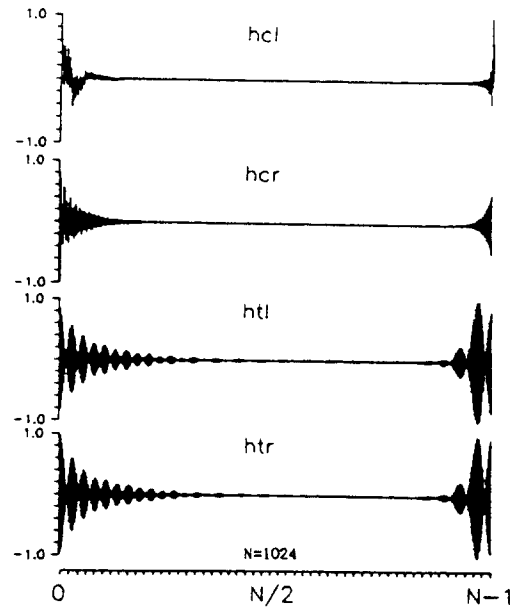


그림.4. 추정된 OSS 등화기의 시스템함수

4. 모델링 OSS 등화기의 평가

모델링 OSS 등화기를 평가하기 위하여, 모델링 OSS 등화기의 입력을 $P = (P_L, P_R)^t$ 로 하고, 모델링 OSS 등화기를 A , 재생음장(무향실)에서 청취자의 위치에 DHM을 설치하여 그 출력을 $V = (V_L, V_R)^t$ (t 는 전치(transposition)를 표시)로 하면, 식(8)이 성립하고, 이 식은 식(9)와 같이 재생음장에서의 듣기원하는 신호(W , Wanted 의미)와 원하지 않는 신호(U , Unwanted 의미)로 구분하여 표시할 수 있다.¹⁰⁾

$$V = HAP \quad (8)$$

$$= \begin{bmatrix} W_L + U_L \\ W_R + U_R \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서,

$$W_L = P_L (H_{LS}T_L + H_{RO}T_R C_L) \quad (10)$$

$$U_L = P_R (H_{LS}T_L C_R + H_{RO}T_R) \quad (11)$$

$$W_R = P_R (H_{RS}T_R + H_{LO}T_L C_R) \quad (12)$$

$$U_R = P_L (H_{RS}T_R C_L + H_{LO}T_L) \quad (13)$$

만약, 모델링한 등화기 A 가 이상적이라면, 식(1)에 의하여 식(8)은 식(14)와 같이 되고, 식(10)~식(13)은 식(15)와 같이 되므로 재생음장에 있는 청취자는 cross-talk 성분이 완전히 억제된 음을 듣게된다.

$$V=P \quad (14)$$

$$W_L = W_R = 1, \quad U_L = U_R = 0 \quad (15)$$

그리고, 식(15)를 주파수특성에서 본다면, W_L 과 W_R 은 원하는 출력의 크기와 평탄성을, U_L 과 U_R 은 원하지 않는 출력의 크기와 평탄성을 표시하게 된다. 따라서 모델링한 OSS 등화기는 W_L 에 대한 U_L 의 크기와 평탄성, W_R 에 대한 U_R 의 크기와 평탄성으로부터 평가할 수 있다.

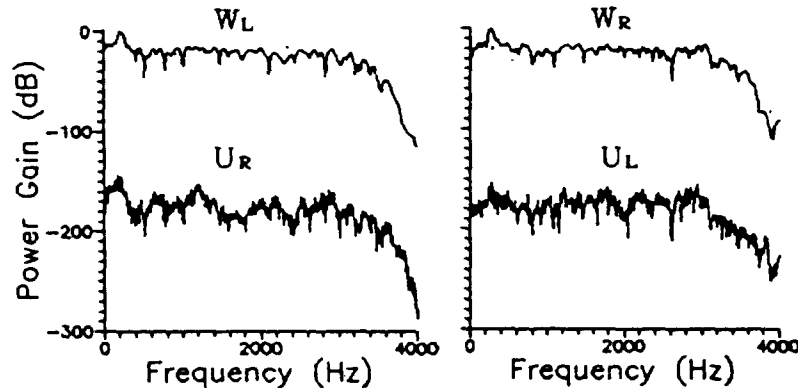


그림.5. 모델링 OSS 등화기의 평가

그림.5는 그림.6에 나타난 I_L, I_R 신호를 Blackman 창함수를 이용한 32 차의 4 KHz 저역통과 FIR 필터로 필터링한 후, 모델링 OSS 등화기의 입력신호(P_L, P_R)로 주었을 때, 재생공간에 있는 DHM의 좌,우 마이크로폰에 재생되는 W와 U 신호특성으로서, W_L 과 W_R 은 U_L 과 U_R 에 대하여 약 150[dB]의 차를 갖고 있으므로 U_L 과 U_R 은 W_L 과 W_R 에 대하여 충분히 억제되고 있음을 알 수 있다. 또한, 필터의 특성에 의한 4 KHz 근방에서의 평탄성 저하를 제외하고는 전 주파수에 걸쳐서 비교적 평탄한 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서, 모델링 OSS 등화기의 시스템함수는 설정한 HRTF의 역필터로 작용하도록 추정되었음을 알 수 있다.

그림.6은 그림.5와 같은 주파수특성을 갖는 모델링 OSS 등화기에 의하여 재생된 신호

로서, 원하지 않는 재생신호가 충분히 억압된 결과 입력신호가 충실히 재생되었음을 알 수 있다.

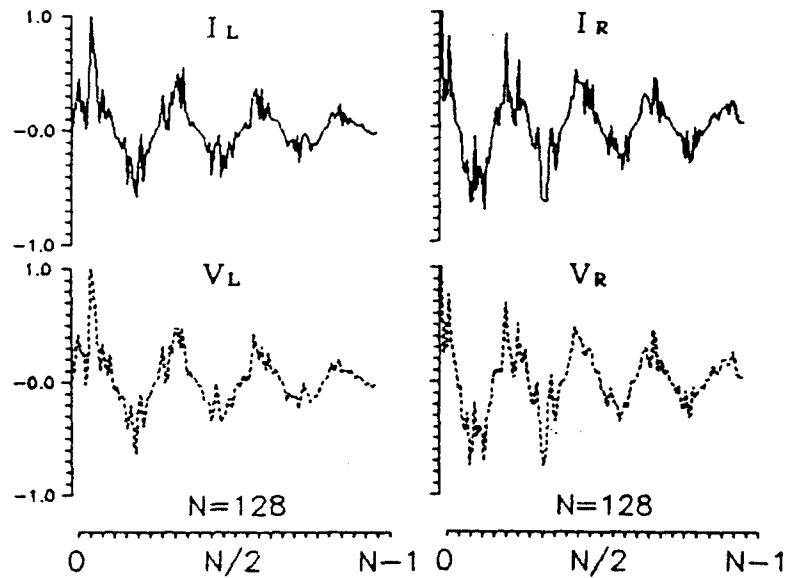


그림.6. 모델링 OSS 등화기의 입/출력 특성

5. 결 론

본 연구는 원음장 재생장치의 하드웨어를 구성하기 위한 전 단계로서, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 재생공간의 음향전달특성인 HRTF(Head Related Transfer Function)를 설정하고, 설정한 HRTF로부터 OSS 등화기의 시스템함수를 추정하여 OSS 등화기를 모델링하고 평가한 실험이다.

평가결과는 다음과 같다.

- 1) 컴퓨터 시뮬레이션으로 모델링한 OSS 등화기는 설정한 HRTF의 역필터로 작용하므로써 가정한 입력신호를 충실히 재생할 수 있었다.
- 2) OSS 등화기의 실시간처리는 OSS 등화기의 임펄스 레스폰스와 입력 음성신호와의 고속 컨볼루션 연산으로 실현될수 있음을 알 수 있었다.
- 3) OSS 등화기의 시스템함수는 HRTF로부터 추정되므로 HRTF 측정에 대한 연구가 선행되어야 함을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) 島田正治, 山崎芳男, "通信網における信號處理技術の一展開," 日本音響學會志 47巻 7 號, 1991
- 2) 馬島 良行 外 2人, "2 chによる3次元立體音章録音方式の解説," J.Acous.Soc.Jpn.90年 9 月號
- 3) 강성훈, "음장통신을 위한 음향신호처리 기술," 韓國音響學會誌 11권 2호, 1992, 7
- 4) 浜田晴夫, "基準的收音・再生を目的する Orthostereophonic System の構成," 日本音響學會誌 39巻 5號, 1983
- 5) K. Okabe, "Orthostereophonic System を用いた水平面定位試験," 日本音響學會誌 44巻 4號, 1988
- 6) 鈴木陽一 外 2人, "音響系の傳達函數の模擬をめぐって (その 2)," 日本音響學會誌 45巻 1號, 1989
- 7) L.R.Rabiner and B.Gold, "Theory and application of digital signal processing," Prentice-Hall, Inc., 1975, chap.3 & 4
- 8) 임정빈, 강성훈, 김천덕, "HRTF 설정에 의한 Ortho Stereophonic System 의 컴퓨터 시뮬레이션 실험," 한국음향학회 학술논문발표회 논문집 11권 1(s)호, 1992
- 9) Samuel D.S., Ruth A.D., "Signal Processing Algorithms," Prentice-Hall, Inc., 1988, pp.21-204
- 10) Douglas G.M., "Digital Signal Processing," Prentice-Hall, Inc., 1990, pp.65-83