

Moving Average 에 의한 OSS 등화기의

FIR 역필터 근사

임정빈*, 김태용*, 김천덕*, 강성훈**

* 부산수산대학교 대학원 전자통신공학과, ** 전자통신연구소 음향정보처리 연구실

Approximation FIR inverse-filter of OSS Equalizer by Moving Average

Jeong-Bin Yim*, Tae-Yong Kim*, Chun-Duck Kim*, Seong-Hoon Kang**

* National Fisheries University of Pusan, Dept. of Elect. Eng.

** Electronics and Telecommunications Reserch Institute

I. 서론

OSS(Ortho Stereoponic System)는 원음장에서 수집한 음을 원음장 이외의 장소에서 재생할 때, 바로 원음장에서 음을 청취하는 것과 같은 효과를 낼 수 있는 시스템으로서 콘서트홀의 평거나 자동차 실내에서 풍부한 자연음의 청취, 그리고 자연스러운 전화 통신회의 등에 사용할 목적으로 연구되고 있다.

OSS를 구성하기 위한 FIR 등화기(Equalizer)의 필터는 재생음장에서 측정된 HRTF(Head Related Transfer Function)의 역필터로서 구성된다. 실제 현장에서 측정된 HRTF의 주파수 스펙트럼 특성에 급격한 상승(peek) 부분이나, 하강(deep) 부분이 발생하면 FIR 역필터는 FFT 계산과정에서 데이터의 유한시간창으로 인하여 데이터가 절단되어 양쪽 끝부분이 영점으로 수렴하지 않게 된다. 이와 같이 계산한 FIR 역필터는 OSS 등화기 필터로서 이용되어 원음장에서 수음한 원음과 콘블루션 연산되어 재생공간에서 원음을 재생한다. 이때 FIR 역필터의 끝부분이 영점으로 수렴되지 않으면 콘블루션 연산결과는 끝단 효과(end effect)가 발생하여 재생한 음은 음상의 정위는 물론, 재생음의 품질을 저하시키게 된다. OSS를 실현하기 위해서는 먼저 정확한 HRTF 측정이 중요하고, 다음으로 영점으로 수렴하는 FIR 역필터가 구해져야 한다.

본 연구에서는 무향실에서 OSS 등화기의 필터계수를 계산하기 위한 FIR 역필터에 대하여 주파수축상에서 권주파수대역에 걸쳐 중앙이동평균(Median Moving Average)을 실시하고 유한시간창으로 인한 절단오차를 최소화하는 방법을 제안하고자 한다. 또한, 최적의 중앙이동평균 횟수의 결정방법에 대해서도 검토하고자 한다.

이 연구에서 제안한 방법으로 OSS 등화기의 필터계수를 계산한 결과, FIR 역필터는 필터의 양쪽 끝부분이 영점으로 수렴하였다. FIR 역필터 계수를 이용하여 원음과 콘블루션으로 계산한 재생원음을 원음장에서 재생하여 청취·실험한 결과, 음의 정위가 되고, cross-talk된 자연스러운 음으로 청취되었다.

스피커로부터 청취자 양귀까지의 위치특성인 HRTF($H_{LS}, H_{LO}, H_{RS}, H_{RO}$)를 측정하여 FIR 역필터 계수를 계산하고, OSS 재생장치는 FIR 역필터 계수를 이용하여 원음장(original sound field)에서 DHM으로 수음한 음을 보정하여 재생하므로 시·공간이 서로 다른 곳에서도 원음장에서의 음을 그대로 청취할 수 있다.

그림 1.에서 OSS 등화기를 구성하는 FIR 역필터는 Hamada 등⁽¹⁾⁽²⁾이 제안하였으며 식(1), (2), (3), (4)로부터 계산된다.

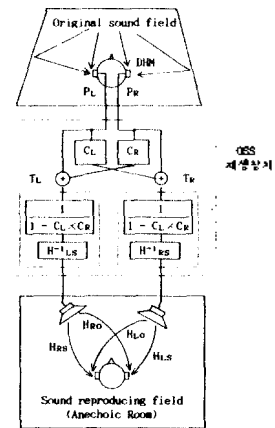


그림 1. OSS의 기본 구성

$$C_L(z) = -\frac{H_{LO}(z)}{H_{LS}(z)} \quad (1)$$

$$C_R(z) = -\frac{H_{RO}(z)}{H_{RS}(z)} \quad (2)$$

$$T_L(z) = \frac{1}{1-C_L(z)C_R(z)} \cdot \frac{1}{H_{LS}(z)} \quad (3)$$

$$T_R(z) = \frac{1}{1-C_L(z)C_R(z)} \cdot \frac{1}{H_{RS}(z)} \quad (4)$$

II. FIR 역필터 근사의 문제점

OSS 방식의 기본구성을 그림 1.에 표시하였다. 이 방식은, 재생공간(sound reproducing field)에 있는 재생

여기서, 식 (1)과 (2)는 cross-talk 상쇄를 위한 보정을 의미하고 1.0 이하의 값을 갖게 된다. 그리고 식 (3), (4)는 OSS 동화기의 역필터로서 역전달 특성에 의한 보정을 의미한다. 위의 식들로부터 측정된 HRTF의 주파수 스펙트럼에 급격한 peak 나 deep가 발생하면 $C_L(z)$, $C_R(z)$, $T_L(z)$, $T_R(z)$ 은 영점이나 무한대로 근접하게 된다. 식 (3)과 (4)에서 $C_L(z)$, $C_R(z)$ 은 분모의 HRTF와 분자의 HRTF가 서로 상쇄되는 경우에도 발생하므로 큰 영향을 받지 않지만, $T_L(z)$ 과 $T_R(z)$ 의 경우는 분모에 있는 HRTF의 역수를 취하기 때문에 계산결과는 영점에 근접하거나 무한대로 가까이 가는 경우가 발생한다. $T_L(z)$, $T_R(z)$ 을 IFFT 처리하는 과정에서 필터 전달함수가 유한항으로 절단됨에 따라 시간축상에서 변환한 FIR 역필터의 임펄스응답 $t_L(n)$, $t_R(n)$ 의 양쪽 끝부분이 영점으로 수렴하지 않게 되어 FIR 필터길이 n 을 증가시킬 필요가 있다. FIR 필터길이 n 을 증가시키는 방법도 있으나, 하드웨어를 구성하여 실시간으로 처리하는 것을 고려한다면, FIR 필터길이 n 은 어떤 길이내에서는 제한될 수밖에 없다.³⁾⁴⁾⁵⁾

III. M.A. 에 의한 FIR 역필터 근사

그림 2.는 실험장치의 구성도이다. 무향실의 크기는 3.0m × 2.5m × 2.0m이며, 시스템 제어용 마이크로 컴퓨터에(AT-386)에 Ariel DSP-16+ 보드를 사용하여 재생공간의 HRTF 와, 원음장에서의 원음을 같은 무향실에서 샘플링 주파수 20KHz로 수집하였다. 이때 사용한 Low pass 필터는 6 pole 의 Butterworth 필터이고, cut-off 주파수는 8.0 KHz로 걸었다. 원음장에서의 원음은 차입벨 소리를 DHM의 우측 60도와 150도에 설치한 스피커를 통하여 DAT 로 녹음하여 두었다가 OSS 동화기를 통하여 다시 재생 한다.

그림 3.은 그림 2.의 무향실에서 측정된 HRTF 도서, 임펄스응답 H_{RS} , H_{RO} , H_{LS} , H_{LO} 는 HRS, DAT, HRO, DAT 등으로 표시하였고, 각 음향전달계의 임펄스응답에 대한 진폭특성은 POWRS, DAT, POWRO, DAT, 위상특성은 PHARS, DAT, PHARO, DAT 등으로 각각 나타내었다.

그림 4.는 그림 3.의 HRTF를 어떠한 처리도 하지 않고 계산한 OSS 동화기의 FIR 역필터 중에서 $T_L(z)$ 을 IFFT한 임펄스응답으로서, 그림 3.의 HRTF의 주파수스펙트럼에서 고주파수 부분에서 급격한 deep, peak가 발생하여 임펄스응답 끝부분이 영점으로 수렴하지 않음을 보였다.

그림 5.는 그림 3.의 HRTF를 이용하여 임펄스응답 $t_L(n)$ 만을 계산하는 과정으로서, 그림 5.(a)는 $T_L(z)$ 을 식(3)에 의하여 계산한 후 식(5)와 같은 중앙이동평균을 전주파수 대역에 걸쳐 19점으로 한 후 IFFT한 결과로서, 완전히 끝점이 영점으로 수렴하지 않고 있다. 여기서, 중앙이동평균 횟수를 더욱 증가시키면 끝점은 영점으로 수렴하지만 중앙이동평균시 데이터 수를 증가시킬수록 본래의 임펄스응답특성 $t_L(n)$ 은 감소하므로 영점으로 수렴시키기 위해 평균횟수를 무한히 증가시킬 수는 없다. 이러한 최적횟수 결정에 대해서는 다음에 고려하기로 한다. 그림 5.(b)는 역필터의 끝점을 영점으로 하기 위해 2048 점의 Hanning 윈도우를 걸어 그림 5.(c)와 같은 결과를 얻었다. 이러한 결과는 FFT 계산이 양측수열인 관계로 순환(rotate)처리를 거쳐 그림 5.(d)와 같이 변환하여 인과

성있는 수열로 변환한다. 그림 5.(e), (f)는 그림 5.(d)에 대한 진폭특성과 위상특성으로서 OSS 동화기는 직선위상이 부가된 시스템으로, 선형적인 위상특성이 요구된다.

$$X(m) = \frac{1}{P} \sum_{n=0}^{P-1} X(n) \quad (5)$$

여기서, P : 중앙이동평균 횟수
 mh : (P/2)-1

그림 6.은 그림 5.와 같은 절차에 따라 계산한 OSS 동화기의 필터 $C_L(z)$, $C_R(z)$, $T_L(z)$, $T_R(z)$ 을 IFFT 하여 시간축상으로 표시한 것을 CL, DAT, CR, DAT 등으로 표시하였다. 그리고 진폭특성은 POWCL, DAT, POWCR, DAT 등으로, 위상특성은 PHACL, DAT, PHACR, DAT 등으로 표시한 것이다.

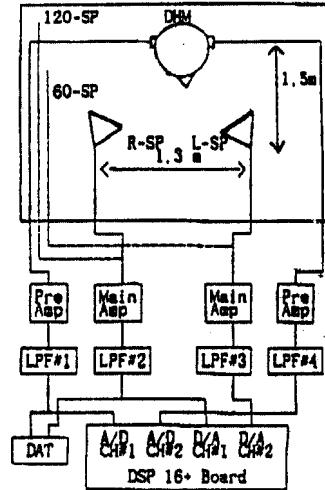


그림 2. 실험장치의 구성도

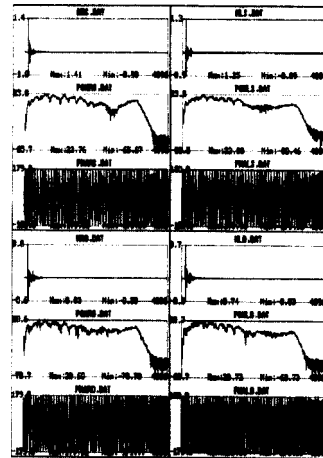


그림 3. 측정된 HRTF(H_{LS} , H_{LO} , H_{RS} , H_{RO})

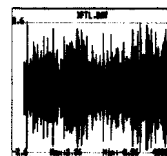


그림 4. 중앙이동평균을 하지 않고 계산한 임펄스응답 $t_L(n)$

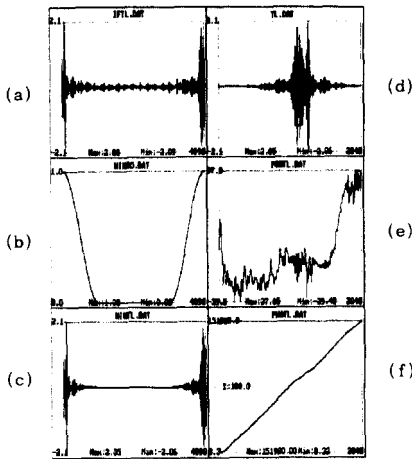


그림 5. 중앙이동평균에 의한 FIR 역필터 근사과정
 (a) 19 점의 이동평균후의 임펄스응답
 (b) 2048 점의 Hanning 윈도우
 (c) 윈도우를 건 후의 임펄스응답
 (d) 순환처리 후의 임펄스응답
 (e) 임펄스응답의 진폭특성
 (f) 임펄스응답의 위상특성(Unwrapping 처리)

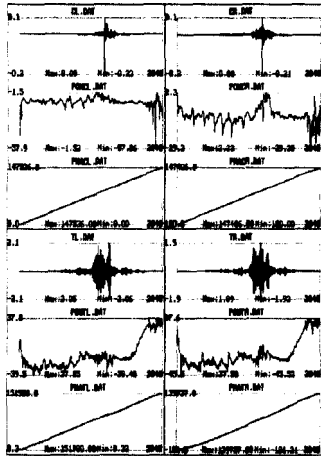


그림 6. 중앙이동평균 과정을 거친 후의 OSS 동화기의 임펄스응답과 진폭특성, 위상특성

IV. 최적 이동평균횟수 결정에 대한 고찰

다음은 중앙이동평균 횟수를 결정하는 문제를 검토하기로 한다. 그림 7. 은 중앙이동평균 횟수의 증가에 따른 임펄스응답 특성 $t_L(n)$ 의 변화를 나타낸 것이고, 그림 8. 은 $t_L(n)$ 의 진폭특성, 그림 9. 는 $t_L(n)$ 의 위상특성을 나타낸 것이다.

그림 7. 에서 이동평균 횟수가 증가할수록 임펄스응답은 기본적인 특성을 유지하면서 크기가 감소됨을 알 수 있다. 그림 8. 의 주파수축상에 표시한 진폭특성은 고주파수 부분에서의 급격한 특성이 점차 완화되고 있고, 전체적인 진폭이 점점 작아지고 있음을 알 수 있다. 그림 9. 의 위상특성에서는 15점이나 19점 정도 부리는 직선위상 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 따라서, 약 15점

이나 19점을 최적의 중앙이동평균횟수로 설정하는 것이 타당함을 알 수 있다.

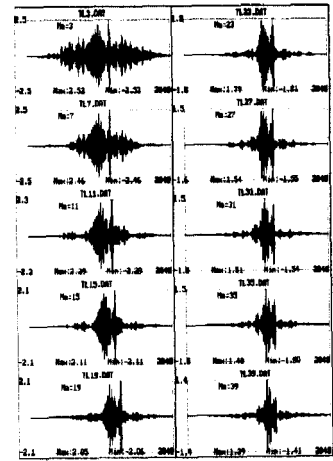


그림 7. 이동평균 횟수의 증가에 따른 임펄스응답 $t_L(n)$ 의 변화

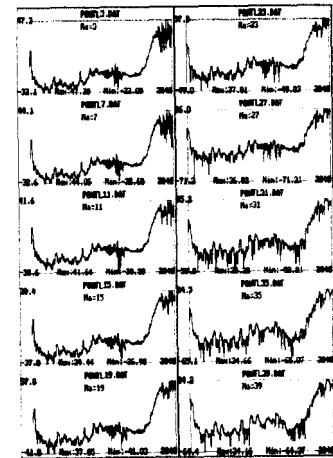


그림 8. 이동평균 횟수 증가에 따른 임펄스응답 $t_L(n)$ 의 진폭특성의 변화

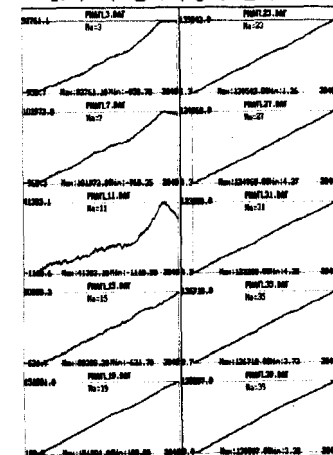


그림 9. 이동평균 횟수 증가에 따른 임펄스응답 $t_L(n)$ 의 위상특성의 변화

V. OSS 등화기를 이용한 재생실험

그림 10.은 그림 3.의 실험장치를 이용하여 수집한 원음장에서의 원음(시험신호)을 4장과 같은 계산절차에 따라 계산한 OSS 등화기의 FIR 역필터를 이용하여 콘블류션 연산으로 계산한 후, 그림 2.의 무향실에서 재생한 실험 결과이다. 그림 10.(a)는 원음, (b)는 콘블류션 계산한 신호이고

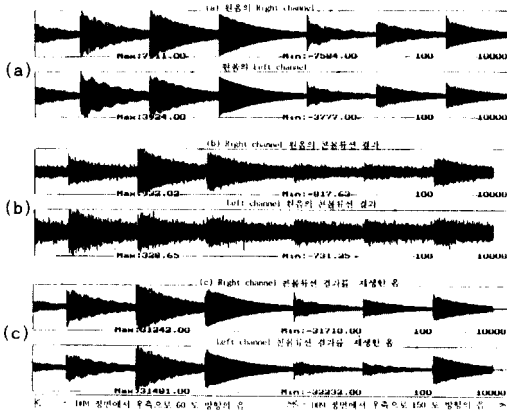


그림 10. 재생실험결과
(a) 원음, (b) 콘블류션 결과, (c) 재생음

(c)는 (b)의 계산신호를 재생한 신호로서 원음과 같은 형태의 음이 재생되었음을 알 수 있다. 즉, cross-talk가 감쇄된 음이 왜곡되지 않고 그대로 재생됨을 알 수 있다.

VI. 결 론

중양이동평균(Median Moving Average)을 이용하여 OSS 등화기의 FIR 역필터를 근사화시키는 방법에 대하여 연구한 결과 FIR 역필터의 끝단이 영점으로 수렴하였으며, OSS 등화기에 의해 재생된 음은 끝단효과(end effect)가 발생하지 않아 원음과 같은 재생음을 만들 수 있었다.

본 연구는 임의의 HRTF에 대하여 FIR 역필터 계수의 끝점을 영점으로 근사화할 수 있으므로 무향실이 아닌 곳에서도 OSS 방식을 적용할 수 있는 기초연구가 될 것으로 본다. 그러나, 이동평균 횟수의 최적설정에 관해서는 아직까지 이론적인 제시가 미흡하므로 지속적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- 1) 浜田晴夫, "基準的收音再生を目的にする Ortho-stereo-ponic System の構成," 日本音響學會誌 39卷 5號, 1983
- 2) 임정빈, 강성훈, 김천덕, "HRTF 설정에 의한 Ortho-stereo-ponic System 의 컴퓨터 시뮬레이션 실험," 한국음향학회 학술논문발표회 논문집 11권 1 (a)호, 1992
- 3) L.R.Rabiner and B.Gold, "Theory and application of digital signal processing," Prentice-Hall, Inc., 1975, chap.3 & 4
- 4) Douglas G.M., "Digital Signal Processing," Prentice-Hall, Inc., 1990, pp.65-83
- 5) E.Oran Brigham, "The Fast Fourier Transform and its Applications," Prentice-Hall, Inc., 1988, pp.272-280
- 6) Richard J.Higgins, "Digital Signal Processing in VLS ",Prentice-Hall, Inc., 1990, pp.103-107