

DSP 오디오 프로세서를 이용한 스피커 주파수 특성 개선에 관한 연구

이순려*, 최홍섭**

요약

스피커는 전기적 입력 신호를 소리로 전달해 준다. 이 과정에서 특정 주파수에서 변형이 발생하게 되고 그 결과 소리도 변하게 된다. 본 논문은 스피커 출력이 오디오 대역에서 변형이 발생한 경우 이 주파수 대역을 보정하는 방법으로 DSP AMP를 스피커 유닛과 결합시킨 VADSM(Value-Added Digital Speaker Module)를 제안한다. VADSM은 EQ 조정 기능을 이용하여 소리의 변형이 발생한 주파수 대역의 이득을 조정함으로써 스피커 출력의 평탄한 응답 특성을 유지하도록 한다.

VADSM은 DSP AMP를 스피커 유닛과 결합하여 스피커 모듈로 만들어지는데 EQ 조정값을 가지고 있어야 한다. 스피커 출력을 마이크로 입력받아서 FFT를 실행한 후 주파수 스펙트럼을 조사하여 주파수별 이득을 추출해 낸 후 VADSM의 EQ를 조정하도록 하는 시스템이다.

The Research On the improvements of Speaker's Frequency Characteristic using DSP Audio Processor

SoonReyo Lee*, Hongsub Choi**

Abstract

The purpose of this paper is to propose the design of VADSM(Value-Added Digital Speaker Module) which tunes up the speaker unit by measuring the speaker's frequency responses and controlling EQ band. This module can reduce audible distortions at particular frequency band and improve some flatness in the speaker's frequency response.

VADSM is composed of DSP AMP and speaker unit. When a speaker transforms electrical signal to sound, the magnitude response at some frequencies are more or less than normal level. So, DSP AMP can be used to adjust those magnitudes up or down by controlling its EQ bands.

Keywords : VADSM, EQ, FFT, Frequency Response, Speaker, DSP AMP

1. 서론

최근에 우리는 디지털 문명의 시대에 살고 있다. 디지털미디어, 디지털네트워크, 디지털 신경 체계는 우리생활의 모든 영역에 급격한 변화를 가져오고 있다. 디지털 오디오 기기 또한 음장, 음색 등을 다양하게 조정할 수 있게 되면서 장소와 분위기에 어울리는 소리를 다양하게 만들

어 낼 수 있게 되었다. 스피커도 고급화되어 가고 있으며 스피커의 앰프(amp) 시스템의 성능도 다양하고 고급화되어 가고 있다. 스피커 앰프 시스템은 스피커의 고유특성에 의한 왜곡 발생을 억제하면서 좋은 소리를 낼 수 있게 해서 전체적으로 스피커의 성능을 향상시킨다.

스피커의 성능을 평가하는 특성 파라미터는 주파수 응답특성(frequency response), 비선형왜곡, S/N비(signal-to-noise ratio), 지향특성, 임피던스 등이 있다. 특히 음의 질을 좌우하는 가장 큰 요소가 주파수 응답특성이다[1,4,5,6].

주파수 응답특성(frequency response)은 스피커 시스템을 통과한 신호의 진폭이 주파수에 따라 어떻게 변화하는가를 나타낸 것으로 컷오프 주파수(cutoff frequency)는 평균레벨로부터 3[d

* 제일저자(First Author): 이순려
접수일자:2007년08월28일, 심사완료:2007년09월10일
* 동아방송대학
reas156@empal.com
** 대전대학교 공과대학

B) 감쇄되는 주파수로 정의된다[12,13].

20[Hz]~20[kHz]의 가청주파수의 주파수 응답 특성이 일정한 것이 이상적인 스피커가 되는 것이다. 그러나 인간의 청각특성을 고려하여야 함은 물론이고 환경과 용도에 맞는 스피커의 튜닝이 필요한 시점이다. 스피커 시스템의 왜곡 현상은 다양하고 시간에 따라 가변적인 특성으로 인하여 개선 방법이 제한적이다. 종래에는 주파수 응답특성과 비선형 왜율을 측정하기 위한 방법으로 초저왜율(low distortion)의 정현파 발진기와 대역필터를 사용하여 무향실에서 측정해야만 했기 때문에 많은 시간과 비용이 요구되었다 [7,8,9]. 또한 음향 출력을 계속 측정해야 하는 문제점이 있어서 상황에 따른 스피커 튜닝에 어려움이 있었다.

본 논문에서는 저비용으로 스피커의 주파수 응답특성을 개선하는 방법을 소개한다. 스피커 출력 신호를 마이크로폰으로 입력받아 FFT를 실행하여 주파수별 진폭 스펙트럼을 계산한다. 계산 결과를 보면 스피커 유닛의 출력은 어떤 주파수에 대해서는 출력 진폭이 높거나 낮아지면서 소리를 변형시키는 것을 알 수 있다. 본 논문이 제안하는 방법은 출력 진폭을 일정하게 유지함으로써 스피커 응답특성을 개선하는 것이다.

FFT를 통하여 얻은 진폭 스펙트럼을 이용하여 출력 진폭을 조정하게 하기 위하여 DSP AMP 모듈을 스피커 유닛과 결합시키는 VADSM (Value-Added Digital Speaker Module) 시스템을 소개한다.

VADSM은 DSP AMP의 이퀄라이저 기능을 이용하여 주파수별 진폭 레벨에 따른 이득을 조정하여 스피커 출력 레벨을 평탄하게 유지하도록 할 수 있다.

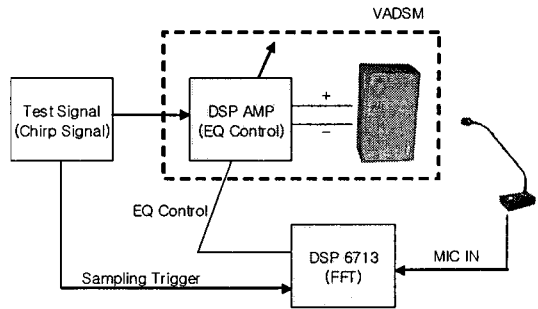
2. 시스템 구현

2.1 시스템 구성

2.1.1 시스템 블록도

(그림 1)에서 VADSM은 스피커 유닛과 DSP AMP가 결합된 하나의 모듈이다. DSP AMP는 스피커 유닛의 주파수 응답 특성을 평탄하게 개선하기 위하여 사용되며 EQ 기능을 이용한다. EQ 밴드가 많으면 주파수 응답 특성을 세밀하

게 조정할 수 있다.



(그림 1) VADSM 및 주파수 특성 개선 시스템

VADSM의 주파수 응답 특성을 확인하기 위해서는 스피커 출력에 대하여 주파수 스펙트럼(frequency spectrum)을 측정해야 한다. 이 작업은 FFT부에서 수행한다. 주파수 스펙트럼 측정 결과 주파수별 진폭을 조사하여 왜곡이 발생한 주파수를 찾은 후 그에 해당하는 EQ 밴드를 조정하여 평탄도를 개선한다.

Test 신호로써 20~20,000[Hz] 대역의 Chirp 신호를 사용한다[11].

본 논문에서는 실험을 위하여 국내 회사인 Ne ofidelity사의 범용 DSP 프로세서인 NSP2100A와 Digital AMP인 TI사의 TAS5122를 탑재한 시스템을 설계하였다[10]. 본 실험에서는 TAS5122의 CH1 채널을 이용하여 스피커 출력을 측정하였다. 스피커 시스템의 출력을 측정하기 위하여 소리 측정 장비로 Praxis & U24를 이용하였다.

그리고 실험에 사용된 스피커 유닛의 사양은 <표 1>과 같다.

<표 1> 스피커 유닛 사양

항 목	사 양
크 기	6.5" 2Way Speaker Bass Reflex System
Voice Coil Impedance	8Ω
Sensitivity	94dB
Frequency Range	75Hz ~ 20kHz
Distortion	5% MAX

다음은 (그림 1)의 본 시스템에서 사용된 FFT 연산과 EQ Filter 기능에 대한 설명이다.

2.1.2 FFT(Fast Fourier Transform)

어떤 신호에 어떠한 주파수 성분이 얼마나 함유되어 있는지를 조사하는 것을 스펙트럼 해석이라고 한다. 이 스펙트럼 해석을 디지털 신호처리를 이용하는 경우에는 푸리에 변환이라는 조작을 이용하는데 그 수식은 다음과 같다[2,3].

$$X(j\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \exp(-j\omega t) dt \quad (1)$$

$$j = \sqrt{-1}$$

디지털 컴퓨터로 적분은 합의 연산으로 치환되어 계산된다. 또한 적분 구간은 $-\infty, +\infty$ 로 되어 있지만, 실제로는 그 일부를 사용한다. 따라서 (1)식은 다음과 같이 바꿀 수 있다.

$$X[k] = \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \exp(-j2\pi nk/N) \quad (2)$$

$$k = 0, 1, \dots, N-1$$

(2)식이 DFT(Discrete Fourier Transform)의 정의이다.

- x[n]: 신호 x(t)를 샘플링한 것
- k: 주파수를 나타내는 index
- N: 샘플링 데이터 개수
- T: 샘플링 주기
- X[k]: 주파수 k/NT에 있어서의 주파수 성분이며 x[n]의 스펙트럼(spectrum)

X[k]는 복소수이므로 절대값 |X[k]|와 위상각 arg X[k]로 표현되는데, 식 (3)과 같다.

$$|X[k]| = \sqrt{\text{Re}\{X[k]\}^2 + \text{Im}\{X[k]\}^2} \quad (3)$$

$$\text{arg}X[k] = \arctan \frac{\text{Im}\{X[k]\}}{\text{Re}\{X[k]\}}$$

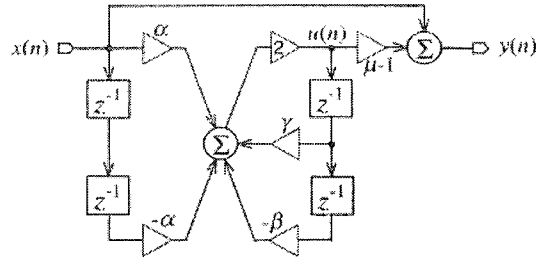
|X[k]| :진폭 스펙트럼

이 DFT는 많은 연산이 필요하므로 계산 횟수를 획기적으로 줄인 FFT를 이용하여 주파수별

진폭 스펙트럼을 찾아낸다.

2.1.3 EQ Filter

본 논문에서 사용한 DSP AMP는 5 밴드 그래픽 이퀄라이저(5-band graphic equalizer)를 사용하고 있다. 이 이퀄라이저는 피킹 필터(peaking filter)로 설계되어 있으며 그 개념은 아래 (그림 2)와 같다[2,10].



(그림 2) Digital Peaking Filter Network

이 구성도의 전달함수(transfer function)은 다음과 같이 표현된다.

$$H(z) = 1 + (\mu - 1) \frac{\alpha(1 - z^{-2})}{\frac{1}{2} - \gamma z^{-1} + \beta z^{-2}} \quad (4)$$

α, β, γ 는 대역통과필터(band pass filter)의 퀄리티 인자(quality factor) Q와 다음과 같은 관계가 있다.

$$\beta = \frac{1}{2} \left(\frac{1 - \left(\frac{4}{1 + \mu}\right) \tan \frac{\theta_0}{2Q}}{1 + \left(\frac{4}{1 + \mu}\right) \tan \frac{\theta_0}{2Q}} \right)$$

$$\gamma = \left(\frac{1}{2} + \beta\right) \cos(\theta_0)$$

$$\gamma = \left(\frac{1}{2} + \beta\right) \cos(\theta_0)$$

$$\theta_0 = 2\pi c f_c / f_s$$

f_c : center frequency,

f_s : sampling frequency

$$\mu = 10^{\frac{g}{20}}, g : \text{boost/cut gain (dB)}$$

그래픽 이퀄라이저는 일정한 f_c 와 Q를 가지며 이득(gain, g)을 변화시키며 적용한다.

2.2 스피커 응답 특성 개선 알고리즘

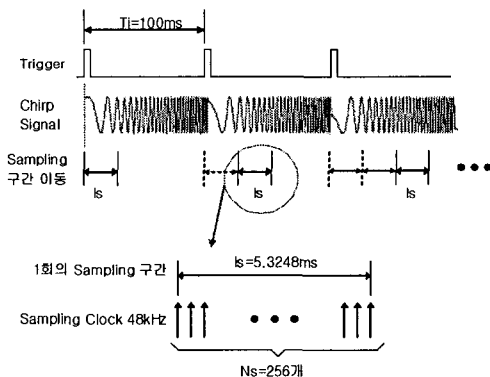
2.2.1 샘플링 후 주파수 스펙트럼 추출

MIC IN 신호를 받아서 FFT를 실행한다. FFT를 하기 위한 조건은 다음과 같다[16].

$$\begin{aligned} \text{샘플 주파수}(F_s) &= 48\text{kHz} \\ \text{샘플 주기}(T_s) &= 1/F_s = 0.0208\text{ms} \\ \text{샘플수}(N_s) &= 256\text{개} \\ \text{프레임길이}(I_s) &= N_s \times T_s = 5.3248\text{ms} \end{aligned}$$

입력 신호인 Chirp 신호는 20[Hz]~20,000[Hz]의 주파수 대역을 모두 가지고 있으며 100ms의 주기(T_i)를 가지고 있다.

샘플링 트리거(sampling trigger)는 신호 발생기(signal generator)에서 Chirp 신호를 출력할 때 발생하는 것으로써 스피커 출력에 대하여 샘플링 구간을 이동하며 설정할 수 있게 한다. 즉, $I_s=5.3248\text{ms}$ 이고, $T_i=100\text{ms}$ 이므로 T_i 1주기를 모두 샘플링하기 위해서는 19회 이상을 실행해야 한다. 19회 동안 샘플링할 때 샘플링 구간의 중복을 피하기 위해서는 샘플링 구간을 이동해야 한다. 샘플링 트리거를 이용하면 Chirp 신호 한 주기 내에서 샘플링 구간을 임의 이동할 수 있다[5].



(그림 3) 트리거에 의한 샘플링 구간 이동

(그림 3)에서 Chirp 신호 출력에 따른 트리거 발생과 샘플링 구간 이동하며 샘플링하는 방법

을 그림으로 표시하였다.

입력 Chirp 신호가 일정하고 샘플링 구간을 알고 있으므로 1회의 샘플링에 대하여 FFT를 실행하면 해당 샘플링 구간에 대한 주파수 스펙트럼을 얻을 수 있다.

위의 과정을 19회 반복하면 Chirp 신호 한 주기에 대한 주파수 20[Hz]~20,000[Hz] 스펙트럼을 얻게 된다.

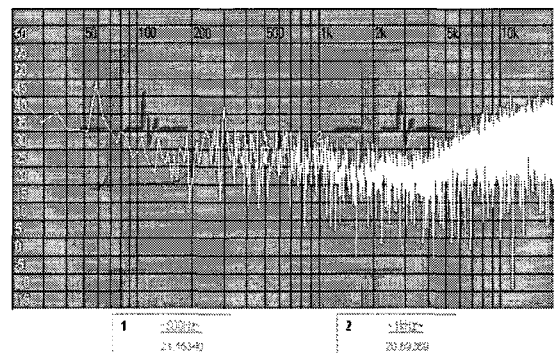
2.2.2 주파수 스펙트럼에 따른 EQ 조정

좋은 스피커의 특성은 20[Hz]~20,000[Hz] 대역에 대하여 주파수 스펙트럼의 진폭이 일정하게 유지되는 것이다. 만일 진폭이 너무 크거나 너무 낮은 주파수 대역이 있다면 그 주파수에 대하여 이득 조정을 해줘서 출력 특성을 개선한다. 이 조정 방법으로 EQ 컨트롤을 사용한다[2].

DSP AMP의 EQ 밴드가 많으면 더 세밀한 조정이 가능하다. 본 논문에서는 5-Band EQ 기능을 가진 DSP AMP를 적용하였다.

3. 실험

(그림 1)의 시스템에서 EQ 조정 전의 순수한 스피커 출력을 (그림 4)에서, EQ 조정 후의 보정된 스피커 출력을 (그림 5)에서 보여준다.



(그림 4) EQ 조정 전의 스피커 출력

(그림 4)를 보면 스피커 출력의 주파수 스펙트럼의 진폭이 평탄하지 않고 변형이 발생하는 것을 알 수 있다. 이것을 FFT를 이용하여 주파수 스펙트럼을 분석한 후 VADSM에 의하여 EQ 밴드(Band)를 <표 1>과 같이 조정하면 (그림 5)

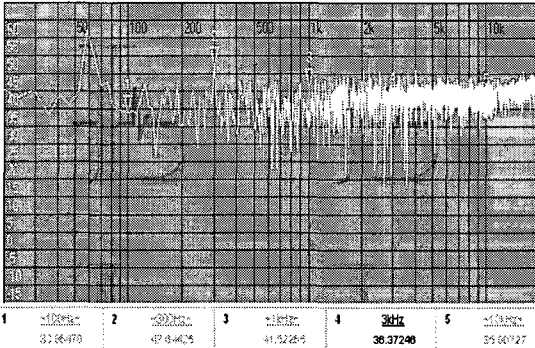
와 같이 보정되는 것을 확인하였다.

본 실험에서 적용한 EQ 관련 파라미터는 아래와 같다.

f_c [Hz] : 100, 300, 1k, 3k, 10k

f_s [Hz] : 48k

이득 : $-12dB \leq g \leq +12dB$



(그림5) EQ 조정 후의 스피커 출력

<표 1>은 f_c 에 따른 이득 조정값을 표시한 것이며 적용 결과 (그림 5)의 그림처럼 주파수 응답 특성을 개선하였다.

<표 2> EQ Band 조정값

Freq (Hz)	100	300	1k	3k	10k
Gain (dB)	-11	-8	-6	-3	12

50Hz 부근의 주파수 응답은 실험에 사용된 스피커의 응답 영역을 벗어난 범위이므로 고려하지 않는다.

4. 결론

본 논문에서는 DSP AMP를 장착한 스피커 시스템을 구현하여 소리 출력의 주파수 응답도 (frequency response)를 균일하게 하는 방법을 제안하였고 그 실험 결과 개선 효과를 제시하였다. 비교적 간단하고 범용적인 제어 방식인 그래픽 이퀄라이저(graphic equalizer) 기능으로 개선 효과를 확인할 수 있었다. 본 논문의 VADSM을

적용하면 각각의 스피커 유닛별로 스피커 주파수 응답특성을 보정할 수 있는 장점이 있다. 또한 저가의 비용으로 구현할 수 있다는 것도 장점이다.

입력 신호를 FFT하여 주파수별 진폭 스펙트럼을 확인함으로써 스피커 튜닝을 좀 더 정확하고 세밀하게 할 수 있는 방법도 제안하였다. 또한 FFT와 EQ 조정 방법을 통하여 스피커 튜닝을 자동화할 수 있는 방법도 제안하였다.

제안된 기법을 이용하여 스피커 유닛을 만드는 회사에서 유닛의 품질 보증 및 특성개선을 할 수 있으며 멀티미디어 매체를 통한 공연장이나 강의실에서 사운드의 특성 효과를 개선할 수 있을 것이라고 생각되며 제안된 기법을 응용하여 오디오 기기의 측정과 시스템의 설치, 개발에 응용될 수 있을 것이다.

본 논문의 실험은 5개의 EQ 밴드(band)를 사용하여 주파수 응답 특성을 개선하였다. 만일 EQ 밴드가 더 많다면 그리고 계수와 Q 파라미터 값을 가변시키는 방식의 EQ를 적용하면 스피커 응답 특성을 정밀하게 개선할 수 있을 뿐만 아니라 음장 효과 또한 다양하게 설정할 수 있을 것이다. 따라서 향후에는 계수와 Q 파라미터 값을 가변시키는 방식의 EQ와 밴드를 확장하여 적용하는 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 방희석, 안철용, 성평모, "인간의 청각특성을 고려한 스피커의 성능평가방법", 한국감성학회학회지, Vol.1, No.1, pp. 171~179, 1998
- [2] John Lane, Jayant Datta, Brent Karley, Jay Norwood, "DSP Filters:", Prompt Publications, pp. 107~114, 2001
- [3] 장영범, "DSP 이론과 실무", 생능출판사, 2004
- [4] F.E.Toole, "Loudspeaker measurements and their relationship to listener preferences: Part 1," J. Audio Eng. Soc., Vol.34, No.4, pp. 227-235, 1986.
- [5] F.E.Toole, "Loudspeaker measurements and their relationship to listener preferences: Part 2," J. Audio Eng. Soc., Vol.34, No.5, pp. 323-348, 1986
- [6] Hyung-Gook Myung, Koeng-Mo Sung, "Loudspeaker performance evaluation algorithm using frequency response characteristic", J. Acoust. Soc. Korea, Vol. 14, No. 2E, pp. 65-72, 1995

- [7] J. G Beerends, J. A. Stermerdink, "A perceptual audio quality measure based on a psychoacoustic sound representation", J. Audio Eng. Soc., Vol . 40, No. 12, pp. 963-978, 1922
- [8] B. Pailard, P. Mabilieu, S. Morissette, J. Soumagne, "PERCEVAL : Perceptual evaluation of the quality of audio signals", J. Audio Eng. SoC., Vol. 40, No. 1/2, pp. 21-31, 1992.
- [9]E. Zwicker, H. Fastl, "Psychoacoustics", Springer Verlag, 1990.
- [10] NeoFidelity INC., "Digital Audio Signal Processor for Digital Amplifier: NSP-2100A", Data Manual, 2005.
- [11] 두세진, "음향신호측정", 석학당, 2006
- [12] 강성훈, "음향 시스템 이론 및 설계", 기전연구소, pp. 78-80, 1999
- [13] 강성훈, "음향기술입문", 음향전문도서출판 케이사운드랩(주), pp. 253~256, 2003.

이 순 려



1998년 : 광운대학교 산업정보대학원(공학석사)
2006년 : 대진대학교 일반대학원(공학박사수료)

1983년~1996년 : 아남전자주식회사
1996년~2003년 : 한국정보통신기능대학
2003년~현 재 : 동아방송대 초빙교수
관심분야 : 디지털콘텐츠시스템, 디지털콘텐츠방송기술, 디지털오디오신호처리 등

최 흥 섭



1994년 : 서울대학교(공학박사)

1995년~현 재 : 대진대학교 공과대학 전자공학과 정교수
관심분야 : 멀티미디어 통신, 디지털 음성신호처리, 디지털 콘텐츠시스템