능동스피커를 위한 네트워크기반 디지털 크로스오버

김변곤* · 김관웅** · 김대익***

Network-based Digital Crossover for Active Speakers

Byun-Gon Kim* · Kwan-Woong Kim** · Dae-Ik Kim***

요 약

최근 IT기술의 진보에 힘입어 프로오디오분야에 IT기술이 접목된 혁신적인 제품이 개발되고 있다. DSP는 SR 오디오 장비의 고품질 오디오 신호를 처리하는 중요한 역할을 수행한다. IT기술과 디지털오디오기술의 융합은 프로 오디오산업 종사자들에게 새로운 사용자 경험을 제공한다. 본 논문에서는 능동스피커시스템을 위한 인터넷기술과 DSP기술이 접목된 디지털크로스오버를 소개한다. 본 논문에서 구현된 디지털크로스오버는 디지털오디오신호를 처리하기 위한 필터, 딜레이, 위상제어기능을 가지고 있으며, 크로스오버의 동작상태 모니터링과 다수의 파라미터를 제어하기 위해 인터넷 연결기능을 가진다.

ABSTRACT

Nowadays, there are many innovative products in the pro-audio market thanks to advanced IT technology, DSP is very important technology to process high quality audio signal in SR(Sound Reinforcement) system. Digital audio technology that converged with IT technology can give new user-experience. In this paper, we present a new digital crossover system for active speakers using DSP and network technology. The prototype of crossover module consists of various audio process module such as filters, delay, phase controls and also it provides user to remote monitoring and remote control features by internet connection.

키워드

Digital Audio, Crossover, DSP, Internet, AD/DA converter
디지털 오디오, 크로스오버, 디지털 신호 처리기, 인터넷, AD/DA 변환기

1. 서론

최근 20년간 디지털 오디오 시장규모가 급격히 성장하였다. 주된 이유는 디지털 오디오 처리기술의 발달로 디지털 오디오 장비가 아날로그보다 신호 대 잡음비, 신호의 왜곡특성에서 높은 품질을 제공할 수 있었기 때문이다. 또한 디지털 오디오 프로세서가 탑재된 오디오 시스템은 소프트웨어를 통해 쉽게 디지털

신호를 처리할 수 있다. 이러한 장점으로 인해, 프로 그래밍 가능한 디지털 오디오 프로세서가 오디오 신호 필터링, 등화 (Equalization), 동적 영역 압축 (Dynamic Range Compression) 등 디지털 오디오 신호처리 기능 구현에 중요한 역할을 수행한다[1-7].

일반적으로 대부분의 음향제품은 프로용, 프로슈머 (Prosumer) 그리고 컨슈머 (Consumer) 오디오 중 하나로 분류된다. 이중 프로 오디오는 프로 음악가, 프

* 군산대학교 전자공학과(bgkim@kunsan.ac.kr)

*** 교신저자(corresponding author) : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부(daeik@jnu.ac.kr)

접수일자 : 2014. 11. 28

심사(수정)일자 : 2015. 01. 16

게재확정일자 : 2015. 02. 09

로듀서, 오디오 엔지니어, 관련 기술자 등이 요구하는 고품질의 오디오 제품군이다.

프로슈머 오디오는 전문적인 분야를 포함하지만 프로 오디오 장비보다 저렴하며, 지역 소매점을 통해 대량 판매되는 제품들이다.

컨슈머 오디오는 대중에 기반하고 있는 제품으로 가격대비 성능이 높은 컨슈머 소매업자를 통해서 공급되는 제품이다. 소비자의 기호는 항상 변화하지만 납득할 수 있는 낮은 가격을 가진 제품이 그 가치를 인정받다고 할 수 있다.

DSP 알고리즘 기반의 많은 제품들은 프로용, 프로슈머 및 컨슈머 용으로 다양하게 응용되고 개발되어 오고 있다. DSP 기반이 아닌 제품들은 전문가용 또는 컨슈머용 제품 등으로 구분되어 개발되고 적용되어 왔다.

DSP 오디오 프로세서는 필터링, 등화기, 음소거, 시간 정렬 등 다양한 애플리케이션을 수행할 수 있다. 오디오 크로스오버는 오디오 응용 제품에서 사용되는 전자 필터의 한 종류이다. 대부분의 개별 스피커 드라이버는 낮은 주파수에서 높은 주파수까지 허용 기준 볼륨과 왜곡을 커버하는 능력이 있기 때문에 SR 스피커 시스템은 서로 다른 주파수 대역에 여러 개의 라우드 스피커 드라이버를 조합해서 사용할 수 있다. 크로스오버는 오디오 신호를 각각의 주파수 대역에 최적화된 스피커로 라우팅 할 수 있는 주파수 대역으로 분할한다. 현재, 일부 제조업체에서 DSP 칩을 기반으로 하는 디지털 제품을 출시하고 있다. FIR 필터와 IIR 필터를 기반으로 하는 EQ와 크로스오버 시스템은 고가의 하이-엔드 스피커 시스템에서 구현되고 있다. 디지털 시스템의 장점은 라우드 스피커에 의한 음성 신호의 왜곡을 크게 줄일 수 있도록 프로그램이 가능하다는 것이다. 따라서 디지털 시스템은 대응하는 아날로그 시스템을 능가할 수 있기 때문에 아날로그 시스템을 대체하거나 아날로그 시스템보다 나은 시스템을 구현할 수 있다.

본 논문에서는 DSP를 사용하여 네트워크 디지털 크로스오버를 설계하였다. 고속 DSP와 24비트 와이드 데이터버스 사용은 다양한 디지털 오디오 알고리즘을 구현할 수 있다. 디지털 오디오 알고리즘은 이퀄라이저, 볼륨 및 밸런스 등과 같은 표준 오디오 기능 뿐만 아니라, 잔향, 기본 폭 향상, 적응형 이퀄라이저,

동적 범위 제어 등의 특수기능을 포함하고 있다.

II장에서는 구현하고자 하는 디지털 크로스오버 시스템의 하드웨어와 소프트웨어의 구조와 사양에 대해 서술하였으며, III장에서는 구현한 디지털 크로스오버 네트워크의 성능 결과에 대해 논하였고, IV장에서 결론을 맺는다.

II. 디지털 크로스오버 네트워크

디지털 크로스오버는 액티브 스피커 시스템의 오디오 입력신호를 필터링하는데 사용된다.

그림 1. 2-way 디지털 파워 스피커 시스템 블록 다이어그램

Fig. 1 System block diagram of a network based 2-way digital powered speaker

액티브 스피커 시스템은 그림 1과 같이 디지털 크로스 오버, 파워 앰프 모듈과 스피커 유닛으로 구성되어 있다. 디지털 크로스 오버 시스템은 이더넷 10/100BaseT 네트워크에 연결되어 있기 때문에 크로스 오버의 컷오프 주파수, 게인, 위상 등의 다양한 시스템 파라미터를 원격으로 제어 및 모니터링을 할 수 있다.

2.1 시스템 하드웨어

그림 2는 디지털 크로스 오버 기반의 네트워크의 시스템 하드웨어 블록 다이어그램을 보여주고 있다. 주요 구성요소는 24비트/96kHz의 오디오 DSP, 마이크로프로세서, 코덱, 이더넷 PHY 등이다. DSP의 주

요 기능은 코덱을 거쳐 입력되는 아날로그 신호를 디지털화하여 디지털 오디오 알고리즘을 적용하여 높은 품질의 아날로그 출력을 얻기 위하여 처리된 디지털 신호를 코덱으로 출력하는 것이다.

그림 3은 개발된 DSP 프로토타입 실물사진이다.

그림 2. 네트워크 디지털 크로스 오버 시스템의 블록 다이어그램

Fig. 2 Hardware block diagram of a network based digital crossover

그림 3. 네트워크 디지털 크로스 오버 모듈

Fig. 3 Hardware snapshot of a network based digital crossover

마이크로프로세서는 DSP 디지털 오디오 프로세서의 볼륨 크기, 크로스오버의 컷오프 주파수와 같은 매개변수를 조정하고, 인터넷 연결과 직렬통신을 통해 사용자와의 상호작용을 제공한다. 네트워크 기반의 디지털 크로스오버는 2개의 아날로그 입력과 4개의 아날로그 출력을 제공한다.

2.2 시스템 소프트웨어

네트워크 기반의 DSP 디지털 크로스오버는 다음과 같은 다양한 컴포넌트로 구성되어 있다.

- 8 밴드 파라메트릭 EQ
- 12 밴드 그래픽 EQ
- 크로스오버 필터
- Delay
- Mute
- Compressor/Limiter

크로스오버와 EQ를 위한 기본 필터는 bi-quad IIR 필터이다. 그림 4와 수식 (1)은 bi-quad IIR 필터의 블록 다이어그램과 차분방정식이다. 필터의 출력($y[n]$)은 현재의 입력($x[n]$) 및 이전의 입력($x[n-i]$)과 피드백 된 이전의 출력($y[n-i]$)으로 결정된다. 이러한 이유로 IIR 필터를 재귀필터라 하며 필터의 특성은 입력계수(b_0, b_1, b_2)와 피드백계수(a_1, a_2)에 의해서 결정된다.

$$y[n] = \sum_{i=1}^2 (-a_i y[n-i]) + \sum_{i=0}^2 (b_i x[n-i]) \quad (1)$$

그림 4. Bi-quad IIR 필터
Fig. 4 Bi-quad IIR filter

크로스오버 필터는 그림 4와 같은 2~4개의 Bi-quad로 구성되어, Linkwitz-Riley, Butterworth 및 Bessel filter 등을 구현할 수 있으며, 12dB/oct~48dB/oct를 제공한다.

그림 5의 네모 블록 내와 같은 마이크로프로세서 펌웨어는 필터 계수($a_1 \sim b_2$)를 계산하여 DSP 프로세서의 계수를 설정하는 역할을 수행한다. 또한 마이크로프로세서 펌웨어는 게인 레벨, 크로스오버 컷오프 주파수, 크로스오버 타입과 EQ의 각 밴드의 Q,

그림 5. 네트워크 기반 크로스오버의 펌웨어 블록 다이어그램

Fig. 5 Firmware block diagram of a network based digital crossover

frequency, boost 값 등의 디지털 DSP 크로스오버 알고리즘 파라미터를 계산하고 설정한다. 모든 설정 파라미터는 그림 6, 7과 같은 GUI 제어 프로그램에 의해서 수행된다.

GUI 제어프로그램은 윈도우 기반 SW로 개발되었으며, 개발된 DSP보드의 음향 파라미터 설정 및 상태 모니터링 기능을 수행한다. 주요기능은 볼륨제어, EQ설정 크로스오버 주파수 설정, 오디오 신호 믹싱, Compressor/Limiter 설정 등 DSP의 모든 기능을 네트워크를 통해서 제어 할 수 있다.

III. 성능 테스트

구현된 DSP 보드의 오디오 성능은 주파수 응답, 위상 응답 및 혼선 등의 파라미터를 가지고 측정된다.

오디오 프로세서의 주요 성능 지표는 주파수 응답 (frequency response), 위상 응답특성(phase response), 혼선(cross-talk), S/N비 등이다. 개발된 DSP 보드의 성능평가를 위해 AP사의 오디오 분석기를 이용해 성능을 측정하였다.

그림 6. 디지털 크로스오버의 그래픽 사용자 인터페이스

Fig. 6. Graphic user interface for digital crossover

그림 7. 볼륨제어 그래픽 사용자 인터페이스

Fig. 7. Gain control UI

디지털 크로스오버의 위상 응답특성은 그림 8과 같이 주파수 1k~20kHz의 영역에서 거의 선형특성을 보여주고 있다. 혼선 특성은 그림 9와 같이 가청주파수 대역에서 100dB이하의 양호한 성능을 보여주고 있다. 디지털 크로스오버의 S/N vs. 주파수 특성은 그림 10과 같이 S/N 비가 -90dB이하의 성능을 보여주고 있다. 이러한 성능은 아날로그 시스템의 잡음에 비해 좋은 성능을 보여주고 있다.

그림 8. 디지털 크로스오버의 위상 응답

Fig. 8. Phase response of digital crossover

따라서 구현된 디지털 크로스오버의 성능은 그림 8-10과 같이 위상 응답, 혼선, 주파수 대 신호/잡음 특성에서 전문 오디오 제품의 니즈를 만족하고 있음을 확인할 수 있다.

그림 9. 디지털 크로스오버의 혼선
Fig. 9 Cross-talk of digital crossover

그림 10. 디지털 크로스오버의 S/N vs. 주파수
Fig. 10 S/N vs frequency of digital crossover

IV. 결 론

디지털 신호 처리 기술은 전문 오디오 장치를 개발하기 위해 필수적인 기술이다. 네트워크 기반 디지털 크로스오버는 비용 효율적이고, 유지 보수가 쉽고, 아날로그 간섭을 줄일 수 있을 뿐 만 아니라 빠른 개발이 가능한 장점이 있다.

본 논문에서 DSP 및 네트워크 기술을 이용한 액티브 스피커를 위한 새로운 디지털 크로스오버 시스템을 개발하였다. 크로스오버는 필터, 딜레이, 위상 제어 등 다양한 오디오 처리 모듈로 구성되어 있고, 인터넷 연결을 통해 원격 모니터링 및 원격 제어 기능을 제공한다. 디지털 크로스오버 시스템의 성능 테스트 결과 전문적인 오디오 엔지니어링 시장의 요구사항을 충족하기 위한 오디오 품질을 제공 할 수 있다.

References

- [1] Milan Uskokovif, Bojan IvanEevif, "The implementation of digital audio processors in analog multimedia audio systems," *ICEcom 2003*, Duboronik, Croatia, Oct. 2003, pp. 131-134.
- [2] H. R. Jang, S. H. Kim, and Y. H. Chang, "A digital signal processor for low power," in *Proc. AP-ASIC*, 1999, pp. 42-45.
- [3] J. Nurmi, V. Eerola, E. Ofner, A. Gierlinger, 1. Jemej, T. Karema, and T. Raita-aho, "A DSP core for speech coding applications," in *Proc. ICASSP*, vol. 2, 1994, pp. 429-432.
- [4] J. Eyre and J. Bier, "The evolution of DSP processor," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 17, Mar. 2000, pp. 43-51.
- [5] M. Dolle, S. Jhand, W. Lehner, O. Muller, and M. Schlett, "A 32-bit DSP microprocessor with reduced complexity," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 32, Jul. 1997, pp. 1056-1066.
- [6] C. -B. Lee, C. -Y. Lee, "Radiational characteristics of speaker directivity using active control," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 1, 2012, pp. 27-31.
- [7] O. -S. Kwon "A New Adaptive Controller Compensating Nonlinear Distortions of a Speaker," *J. of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 10, 2014, pp. 1087-1094.

저자 소개

김변곤(Byun-Gon Kim)

1990년 한국항공대학교 항공전자공학과 공학사

1997년 전북대학교 전자공학과 석사

2003년 전북대학교 전자공학과 박사

2005년~현재 군산대학교 전자공학과 부교수

※ 관심분야 : RFID 통신시스템, 디지털신호처리

김관웅(Kwan-Woong Kim)

1996년 전북대학교 전자공학과 졸업
(학사)

1998년 전북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

2002년 8월 전북대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

2010년~현재 (주)썬더테크놀로지

※ 관심분야 : 무선통신시스템, DSP 신호처리

김대익(Dae-Ik Kim)

2002년~현재 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부 교수

※ 관심분야 : VLSI 설계, 저전력 회로설계