특집

Speaker Array 기술 동향

강홍구·백순호 (연세대학교)

I. 서 론

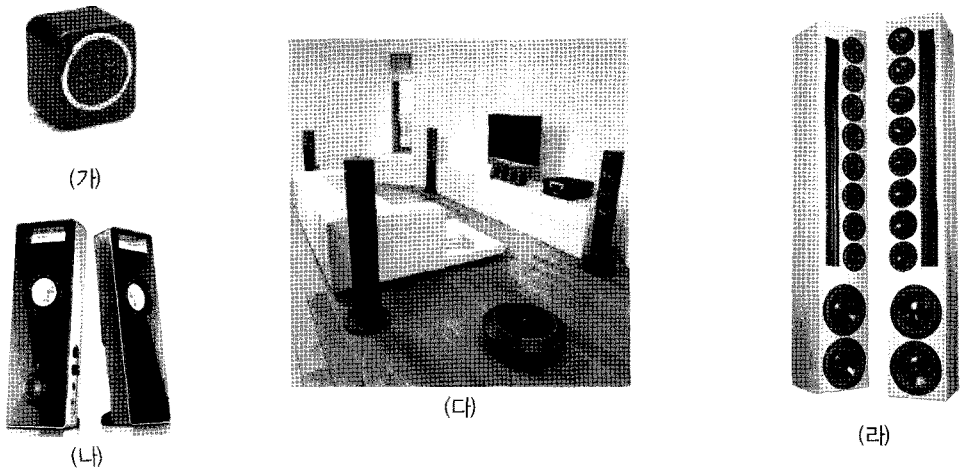
최근 좀 더 자연스럽고 편안한 엔터테인먼트에 대한 기대가 늘어나면서, 디지털 A/V 시스템 기능을 사용자 중심으로 구성하려는 노력이 증가하고 있다. 특히 홈 오디오 시스템 시장은 원음에 가깝고, 생동감이 있으며 웅장한 3차원 시스템을 선호하는 추세이다. <그림 1>과 같이 홈 오디오 시스템을 구축하는 스피커는 크게 단채널 스피커와 다채널 스피커로 구분 될 수 있다. 단채널 스피커의 시스템은 모노 신호를 출력하여 오직 소리 자체만 전달 할 수 있으므로 공간 필터링(spatial filtering)을 기반으로 한 3D 음장을 제공할 수 없다. 반면 다채널 스피커 시스템은 두 채널 스피커, 5.1채널 스피커, 스피커 어레이 등을 사용하여, 원음에 가깝고, 생동감이 있는 오디오 컨텐츠를 제공할 수 있다.

스테레오 신호를 출력하는 2채널 스피커는 최근 가장 많이 사용되어지는 홈 오디오 시스템으로써 두 스피커의 레벨 차이와 지연시간의 차이를 이용하여 어느 정도 공간 필터링이 가능하므로 단채널 스피커를 이용했을 때 보다 좀 더 향상된 오디오 컨텐츠를 제공 할 수 있다. 하지만 두 스피커에서 출력된 신호가 서로 간섭이 일어나 성능이 떨어지는 문제점이 있다[1].

홈씨어터를 비롯한 다채널 홈 오디오 시스템은 기존의 두채널 환경에 비해 보다 효율적으로 공간 필터링 기능을 제공할 수 있다. 하지만 홈씨어터에서 사용되는 다채널 시스템은 사용자의 전후좌우의 특정위치에 다수의 스피커를 고정시켜 배치해야하는 공간적 제약을 수반 한다.

스피커 어레이를 이용한 다채널 스피커 시스템은 사용자의 전면에 일렬로 배열된 스피커를 사용함으로써 기존의 다채널 스피커 시스템에 비해 공간적인 제약이 적으면서도 기존의 다채널 스피커에 근접한 성능을 보인다[2]. 또한, 스피커 어레이 시스템은 기존의 모니터나 TV 등에 쉽게 부착 가능 하므로 홈 오디오 시스템의 부가가치를 한 단계 높여 줄 수 있으며, 앞으로 3차원 오디오 시장의 핵심 기술로 급부상 할 것으로 판단된다.

스피커 어레이를 이용한 기술은 크게 탈반향 기술(de-reverberation)과 빔형성 기술(beamforming)로 구분된다. 실내 공간에서는 반향에 의한 울림이 발생하여 음색이 변할 수 있다. 탈반향 기술은 반향에 의한 음질의 변형을 최



(가) (나) (다) (라)

〈그림 1〉 스피커의 종류. (가) 모노 스피커, (나) 스테레오 스피커, (3) 5.1채널 오디오 시스템, (4) 스피커 어레이

출처: (가) http://www.yes24.com/24/goods/3480048, (나) http://www.aeato.com/speaker
(다) http://callcenterguy.wordpress.com, (라) http://www.frugalhomeav.com

소화하여 사용자에게 최대한 음원에 가까운 음질을 제공하는 신호처리 기법을 말한다[1]. 기존의 탈반향 기술들은 스피커와 사용자간의 전달함수를 측정 또는 예측하여, 이를 주파수 축에서 최대한 평탄 하도록 하는 필터를 설계하여 반향을 제거 하였다[1,3]. 빔형성 기술은 음압을 원하는 방향으로 집중 시키는 기술로써 사용자에게 차별화된 음장감을 제공할 수 있다. 빔형성 기술은 각각의 스피커에 적절한 지연 시간과 크기를 설정하여 특정 위치에서의 위상차를 보상해줌으로써 빔을 형성 시킨다[4].

본 고는 스피커 어레이 기술의 장점에 대해 알아보고 스피커 어레이를 이용한 빔포밍 기술과 탈반향 기술을 소개하고자 한다. 2장에서는 스피커 어레이에 대한 장점을 설명하고, 3장에서는 스피커 어레이에 대한 기본적인 이해를 돕기 위해 성능 평가를 위한 매개변수들을 설명한다. 4장에서는 현재 스피커 어레이에 대한 연구 현황을 설명하고, 마지막으로 5장에서는 향후 스피커 어레이 기술에 대한 연구 전망을 설명한다.

II. 스피커 어레이의 개요

이번 장에서는 스피커 어레이의 음향학적인 특징과 장점에 대해 설명한다.

1. 음원의 종류

스피커 어레이의 음향학적인 특징을 살펴보기 위해 음원의 종류에 대해 먼저 설명한다. 음원은 점음원, 선음원, 면음원으로 3종류가 있다.

가. 점음원

부피의 변화에 의해 주기적으로 신축운동을 하는 작은 구에서 발생하는 소리를 점음원이라고 하며 단극자 음원이라고도 부른다[5]. 점음원은 구면파를 발생하며 구면파의 퍼지는 면적은

거리의 제곱에 비례하므로 에너지 보존의 법칙에 의해 음원에서 나오는 에너지는 거리의 제곱에 반비례 하게 된다. 폭발음, 연소음, 스피커등이 점음원에 해당된다[5].

나. 선음원

선음원은 무수한 점음원들이 직선을 이루는 것으로 교통량이 많은 고속도로, 철도 등이 이에 해당된다[5]. 선음원은 원통형으로 파장이 발생하기 때문에 퍼지는 면적의 크기가 거리에 비례하게 된다.

다. 면음원

면음원은 무수한 점음원들이 면을 이루는 것을 말한다. 면의 크기가 충분히 클 때는 면음원으로 부터 일정 거리까지는 음압이 일정하다. 그리고 면음원으로 부터의 거리가 멀 때에는 점음원으로 간주되어진다[5].

일반 적인 스피커 하나의 유닛은 스피커로부터 근거리에 있어서는 면음원으로 가정하며 일정 거리에 있어서는 점음원으로 가정한다. 그러므로 1채널 스피커 시스템은 거리가 두 배 늘어 날 때마다 음압이 6dB 감쇄하게 된다. 스피커를 일렬로 배열하면 선음원의 특징을 가지므로 거리가 두 배 늘어 날 때마다 음압이 3dB 감쇄하게 된다. 즉, 스피커 어레이를 이용하면 1채널 스피커를 사용할 때 보다 사용자에게 음압의 크기의 손실 없이 전달 할 수 있는 장점이 있다[5].

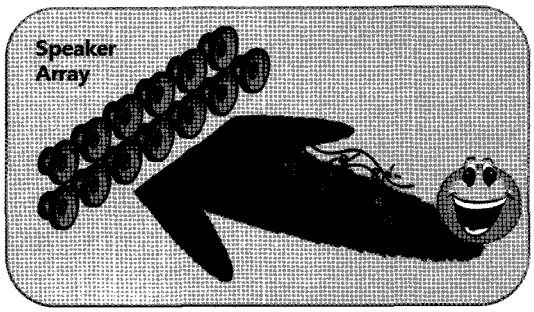
2. 빔형성 기술

빔형성 기술이란, 특정 방향으로 방향성을 가지는 소리를 형성시켜 음압을 집중 시키는 것을 말한다[4]. 빔형성 기술은 특정 사용자에게 음압을 집중시켜 차별화된 오디오 컨텐츠를 제공하는데, 초음파를 이용하는 방법, 파라볼릭 접시형 방식, 스피커 어레이를 이용하는 방법 등이 있다[2].

초음파를 이용하는 방법은 초음파 주파수 대역에 오디오 신호를 변조시켜 전달하며, 공기의 비선형성이 신호를 역변조시켜 원하는 신호를 들을 수 있게 하는 방법이다[6]. 이 방법은 음압 집중도가 매우 높지만 사람의 청각 시스템에 좋지 않은 영향을 줄 수 있으며 시스템 비용이 크다는 단점이 있다[7].

파라볼릭 접시형 방식은 포물선 모양의 접시에 반사되는 신호들을 이용하여 사운드 빔을 형성시킨다. 하지만 파장이 긴 저주파 대역의 신호를 제어하기 위해서는 접시의 크기가 커져야 하는 문제점이 있다[7].

반면에 <그림 2>와 같이 스피커 어레이를 이용한 빔 형성 기술은 사람의 청각에 무해하고, 부피가 크지 않은 장점을 가지고 있다. 뿐만 아니라 기존의 다채널 스피커 시스템과 쉽게 결합이 가능하여 홈 오디오 시스템의 부가가치를 높일 수 있다[2].

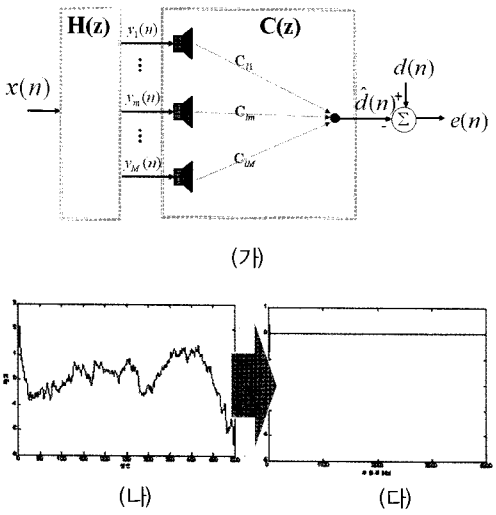


〈그림 2〉 스피커 어레이를 이용한 빔 형성 기술

3. 탈반향 기술

일반적인 방 환경에서 스피커의 소리는 방의 특성으로 결정되어지는 반향에 의해 왜곡 되어 사용자에게 전달 될 수 있다. 이러한 반향 환경에서 오디오 신호의 왜곡 없이 원음과 유사하게 전달하기 위한 기법으로 반향 성분을 최소화 하거나 제거하여 방의특성에 영향을 받지 않도록 하는 기술로서 역필터링 혹은 공간등화 (room equali- zation) 기술이라고도 불러진다[1,3].

<그림 3>의 (가)는 탈반향 기술의 개념도이다. 반향 환경에서 입력 신호 $x(n)$이 있을 때 목표 지점에 도달하는 신호 $d(n)$는 스피커와 목표 지점 사이의 전달 함수 $\mathbf{C}(z)$에 의해 왜곡 되어질 수 있다. 탈반향 기술은 반향 환경에서 스피커와 사용자 간의 전달 함수 $\mathbf{C}(z)$를 추정 또는 예측하여 목표 지점에서의 신호 $d(n)$를 목적 신호 $d(n)$과 최대한 유사하게 만드는 필터 $\mathbf{H}(z)$를 설계한다[1,3]. <그림 3>의 (나)와 (다)는 각각 스피커 어레이에 동일한 입력을 주었을 때 목표 지점에서의 주파수 응답과 탈반향 기술을 적용한 스피커 어레이에 대한 목표 지점에서의 주파수 응답이다. 반향 성분을 제거하는 필터 $\mathbf{H}(z)$는 <그림 3>의 (다)와 같이 목표 지점에서의 주파수 응답을 평탄하게 한다.



<그림 3> 탈반향 기술. (가)탈반향 기술 개념도, (나)동일한 입력이 주어졌을 때 목표 지점에서의 주파수 응답, (다)탈반향 기술을 적용한 목표 지점에서의 주파수 응답

III. 스피커 어레이

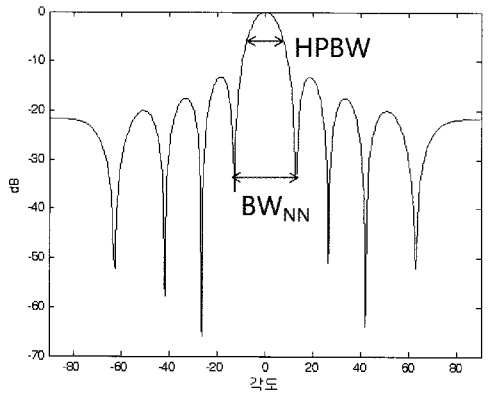
1. 성능 지표

스피커 어레이의 성능을 분석하기 위한 주요 매개변수들로 빔 패턴, 음압 분포도, 목표 지점의 주파수 응답 등이 있다.

가. 빔 패턴

빔 패턴은 어레이에 의한 공간적 필터링 특성을 나타낸다. 스피커 어레이의 사운드 빔 형성기에 의해서 공간상에서 형성되는 사운드 빔의 파워를 방향에 따라 상대적인 비를 나타낸 것이다. 일반적으로 빔 형성기에 대한 연구에서 성능 분석을 위해 많이 사용되어진다[8]. <그림 4>는 15개의 스피커가 0.05m 간격으로 이루어진 스피커 어레이 시스템에서 입력 신호가 동일하게 주어질 때의 빔 패턴이다.

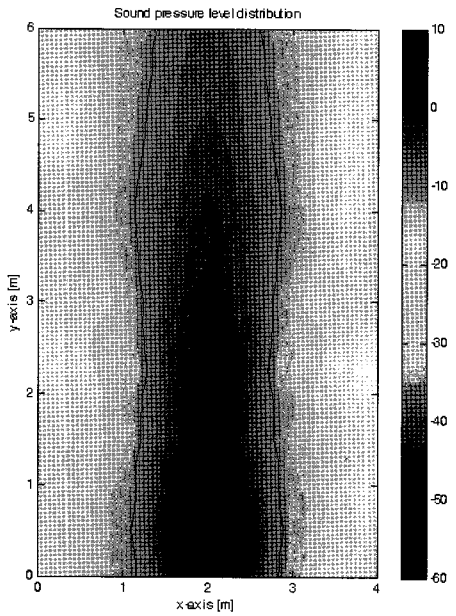
빔 패턴으로부터 빔형성기의 주요 파라미터인 빔 너비(HPBW), 첫 번째 발생하는 null의 두께(BW_{NN}), 사이드로브의 크기 등을 알 수 있다. 빔 너비는 메인로브의 가장 높은 파워에서 3dB 감쇄하는 지점의 간격이다. 첫 번째 발생하는 null의 두께는 메인로브가 끝나는 지점을 나타낸다.



〈그림 4〉 빔 패턴

나. 음압 분포도

음압 분포도는 해당 지점의 평균 음향 에너지의 비를 로그 스케일로 나타낸 것으로 해당 지점과 다른 지점의 음압의 차이를 색의 대조로 나타낸 것이다[2]. <그림 5>는 0.05m 간격으로 이루어진 15개의 스피커에 각각 동일한 입력을 주었을 때 음압 분포도이다.



〈그림 5〉 음압 분포도

음압 분포도를 통해 상대적으로 음압이 높은 지역과 낮은 지역을 알 수 있다[2]. 스피커 어레이를 이용하는 홈 오디오 시스템에서는 일반적으로 사용자가 스피커로부터

가까운 거리에 위치하므로 스피커 어레이로부터 각도에 따른 이득을 비교한 빔 패턴보다 구체적인 위치에서의 음압을 나타내는 음압 분포도가 실질적인 성능 분석에 더 유용하다.

다. 주파수 응답

홈 오디오 시스템에서 가장 중요한 목적은 사용자에게 원음과 가까운 음질을 제공하는 것인데, 이는 사용자 위치에서의 시스템 주파수 응답을 분석함으로써 알 수 있다. 사용자에게 원음에 가까운 음질을 제공하기 위해서는 평탄한 시스템의 주파수 응답을 가져야 한다. 주로 탈반향 기술의 성능을 비교하기 위해 사용된다.

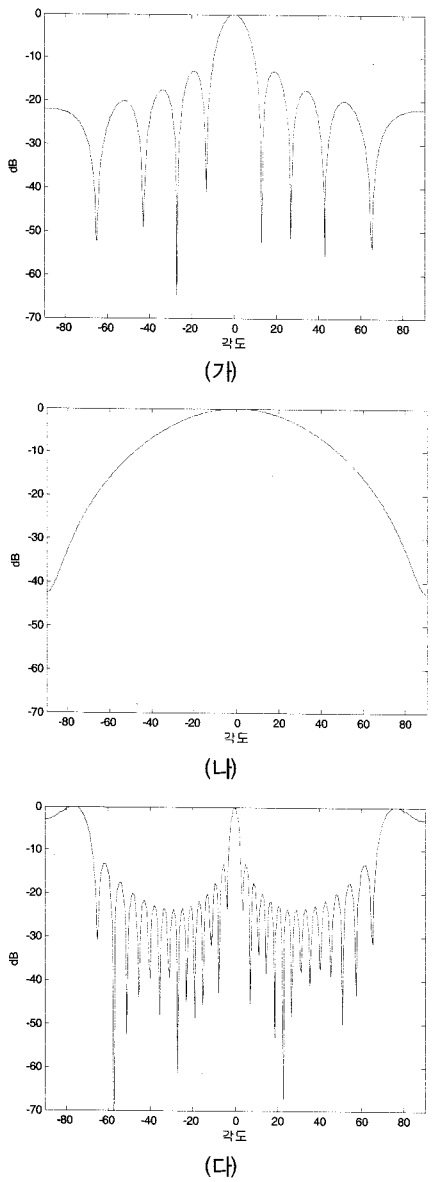
2. 공간적 샘플링 이론

스피커 어레이에서 제어할 수 있는 주파수 대역은 스피커 어레이의 총 길이와 스피커들 간의 간격에 의해 결정되어 진다. 파장이 상대적으로 짧은 고주파 신호는 앨리어싱(aliasing)이 발생하고, 파장이 상대적으로 긴 저주파 신호는 방향성이 낮아져 빔 형성이 어려워지므로 스피커 간격이 d이고 어레이 길이가 L인 빔 형성기에서 소리의 속도가 c일 때, 제어 가능한 주파수 대역의 상한 주파수 f_h와 하한 주파수 f_l는 다음과 같이 정해진다[2].

$$f_h = \frac{c}{2d} \quad (1)$$

$$f_l = \frac{c}{L} \quad (2)$$

<그림 6>은 15개의 스피커에 동일한 입력을 주었을 때의 빔 패턴들이며 입력신호의 주파수



〈그림 6〉 스피커간의 간격과 입력신호의 파장의 상관관계에 따른 빔 패턴

(가)$f_l < f < f_h$, (나)$f < f_l$, (다)$f > f_h$

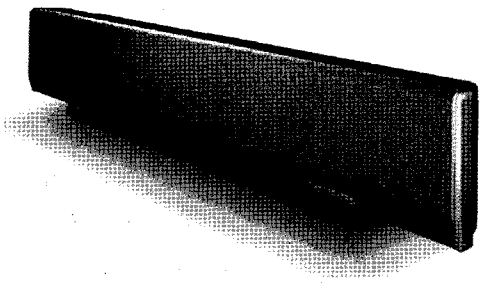
의 상관관계에 따른 빔 패턴을 보여준다. 15개의 스피커가 0.05m 간격으로 이루어진 스피커 어레이 시스템일 때 제어 가능한 주파수 대역의 주파수 f_h와 하한 주파수 f_l는 각각 3400Hz와 485Hz이다. <그림 6>의 (가)는 주파수가 상한 주파수와 하한 주파수 사이인 2kHz로써 스피커 어레이의 제어 가능한 주파수에 해당하는 빔 패턴이다. <그림 6>의 (나)는 주파수가 하한 주파수보다 아래인 450Hz일 때의 빔 패턴이다. 하한 주파수보다 아래의 빔 패턴에서는 메인로브의 너비가 스피커 전방 $-90^\circ \sim 90^\circ$의 범위를 초과하여 빔이 형성되지 않는다. <그림 6>의 (다)는 주파수가 상한 주파수보다 높은 7kHz일 때의 빔 패턴이다. 신호의 반 파장이 스피커 간의 간격보다 작아 앨리어싱이 발생하는 것을 확인 할 수 있다.

Ⅳ. 기술 동향

본장에서는 기존의 제안된 스피커 어레이관련 기술들에 대해 알아보고 이들의 장단점을 비교해본다.

스피커 어레이 기술의 중요성이 대두됨에 따라 국내뿐만 아니라 국외에서도 해당 기술의 연구가 활발히 이루어지고 있으며, 국외에서는 스피커 어레이 시스템 상용화가 이미 진행 상태이다. <그림 7>은 YAMAHA사에서 판매하고 있는 스피커 어레이이다. 판매되고 있는 스피커 어레이는 빔 포밍 기술을 이용하여 방향성이 있는 소리를 출력 시킨다.

국내에서는 현재 스피커 어레이를 이용한 소리 집중 기술에 대한 연구가 진행 중이다. 음압이 높은 구간과 음압이 낮은 구간을 각각 bright



〈그림 7〉 YAMAHA사의 speaker array

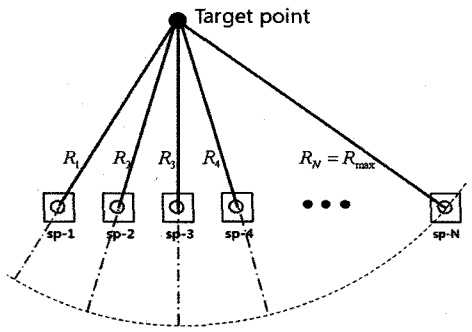
출처: http://www.iwirechicago.com/id86.html

zone, dark zone이라 정의하여 음압이 높은 구간을 제어하는 알고리듬이 발표 되었다[9].

뿐만 아니라 반향 환경에서는 기존의 빔포밍을 이용한 소리 집중 기술들은 성능이 저하되는데, 전달 함수를 측정하여 사용자에게 원음과 유사하며 반향 환경에서도 높은 음압을 제공할 수 있는 알고리듬이 발표되었다[2,10]. 이와 같이 최근 발표되어지거나 많이 사용되어지는 스피커 어레이 기술들을 소개하고자 한다.

1. Delay-and-sum beamformer (DSBF)

DSBF는 목표 지점에서 각 채널 출력의 위상을 일치시켜 음압을 최대화 한다. <그림 8>은 DSBF의 개념도이다. 목표 지점으로부터 가장 멀리 떨어진 스피커의 거리를 기준으로 각 스피커의 거리 차이를 보상해주는 지연시간을 줌으로써 목표 지점에서 각 채널의 위상을 일치 시킬 수 있다. DSBF는 설계가 간단하여 가장 널리 사용되는 형태의 사운드 빔 형성 기술이며, 반향이 존재하지 않는 조건에서는 비교적 안정된 성능을 나타낸다. 참고문헌 [11]에서는 반향이 존재하는 환경에서 DSBF로 원하는 성능을 얻을 수 없음을 측정 실험을 통하여 증명하였다.

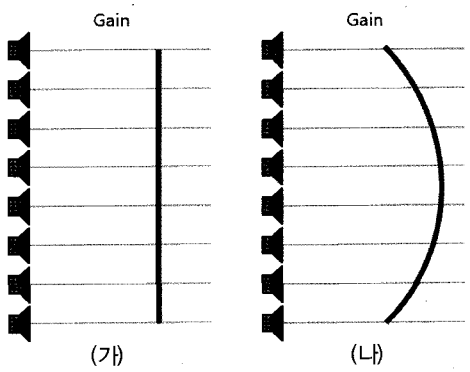


〈그림 8〉 DSBF 개념도

2. Windowed DSBF (WDSBF)

DSBF는 상대적으로 사이드로브(side lobe)의 레벨이 크기 때문에 반향 환경에서 성능이 저하된다는 점을 착안하여 창모양의 가중치를 사용하는 DSBF이 개발 되었다[12].

<그림 9>의 (가)와 (나)는 각각 DSBF와 WDSBF의 이득 곡선을 간략히 도식화 한 것이다. <그림 9>의 (나)와 같이 각 스피커들의 이득을 차이 나게 함으로써 메인로브(main lobe)의 너비와 사이드 로브의 레벨을 제어 할 수 있다. 하지만 메인로브의 너비와 사이드 로브의 레벨



〈그림 9〉 스피커 어레이의 이득 곡선

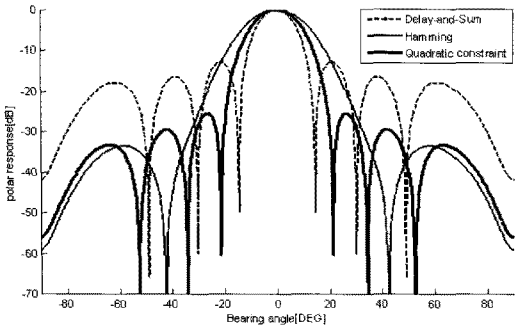
(가) DSBF, (나) WDSBF

이 서로 트레이드오프(trade-off) 관계에 있으므로 WDSBF는 DSBF에 비해 사이드로브의 레벨이 낮아지지만 메인로브의 너비가 넓어지는 문제점이 있다[12].

3. Constrained-Optimized beamformer (COBF)

COBF는 제약 조건 하에서의 최적화 기법에 기반한 사운드 빔 형성 방법으로써 메인로브의 너비가 일정하도록 유지하는 동시에 사이드 로브의 레벨을 최소화 하도록 하는 사운드 빔 형성 기이다. [13]에서는 COBF를 수학적 전개를 통해 유도하였다. 즉, 최적화 기법에 기반하여 메인로브에서는 목적 응답과 표준평균제곱에러를 최소화하며, 사이드로브의 에너지는 최소화하는 필터를 주파수 축에서 설계하였다. <그림 10>는 COBF, DSBF, WDSBF의 빔패턴을 비교한 것이다. COBF의 빔 패턴은 WDSBF의 메인로브 보다 좁으며 DSBF의 사이드 로브 레벨 보다 낮음을 알 수 있다.

[12]에서 시뮬레이션과 측정 실험결과의 음압 분포도를 이용하여 COBF는 DSBF 혹은 WDSBF에 비해 목적 방향으로 음압을 집중시키는 데 우수한 성능을 보임을 검증하였다. 그러나 실제 환경에서의 측정 실험 결과로부터, 스피커 배열을 사용한 음압 집중 기술의 성능이 방의 반향 특성에 의해 크게 저하된다는 사실을 확인하였다.



〈그림 10〉 각 방법들에 대한 빔 패턴
점선: DSBF, 얇은선: WDSBF, 굵은선: COBF

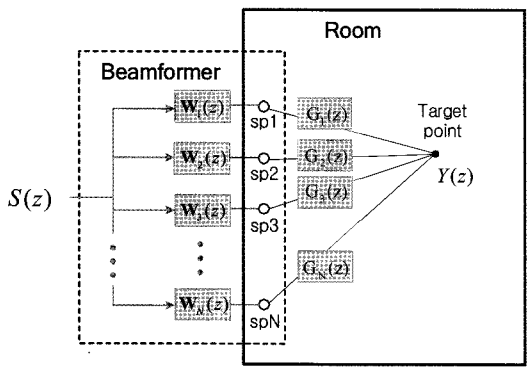
4. 음원 배열을 이용한 음향 밝기대조 제어

밝기 대조 제어 방법은 소리가 잘 들리게 하는 지역과 동시에 소리가 잘 들리지 않는 지역을 각각 bright zone, dark zone이라 정의하여, bright zone과 dark zone의 음향 포텐셜 에너지의 비를 최대화함으로써 음압을 집중 시키는 기술이다[9].

[9]에서는 시뮬레이션과 측정 실험 결과로부터 bright zone과 dark zone들의 공간 변수의 크기 변화가 소리 집중도에 매우 중요한 영향을 미침을 확인하였다. 공간변수의 최적 크기를 찾기 위해 유전자 알고리즘을 사용하였고, 공간 변수를 최적화함으로써 기존의 DSBF에 비해 소리 집중도를 높일 수 있음을 증명하였다.

5. 목표 지점의 음압 최대화를 통한 소리 집중 기술

목표 지점의 음압 최대화를 통한 소리 집중 기술은 사용자 위치의 주파수 응답을 최대화 하여 소리를 집중 시키는 기술이다. 반향이 있는 환경에서 DSBF나 WDSBF의 소리 집중 성능 저하를 해결하기 위해 COBF가 제안되었다. 하지만 COBF는 반향 특성과는 무관하게 독립적으로 동작하므로 반향의 크기에 따라 성능에 큰 영향을 받게 되는 문제점이 있다. 이를 해결하기 위해 [2]에서 각 스피커로부터 목표 지점까지의 시스



〈그림 11〉 목표 지점의 음압 최대화를 통한 소리 집중 기술의 개념도

템 응답을 최대화 하는 시스템을 제안하였다.

<그림 11>은 [2]에서 소개하는 스피커 어레이 기술의 블록다이어그램이다. 각 스피커로부터 목적 지점까지의 전달 함수 G(z)를 이용하여 목표 지점에서의 시스템 응답 에너지를 최대화 하는 필터 W(z)를 설계한다. W(z)는 시스템 응답 에너지의 최대값을 가지는 고유벡터가 된다.

[2]에서는 시뮬레이션과 측정 실험으로부터 반향환경에서 DSBF, COBF보다 음압 집중도에 있어서 높은 성능을 가짐을 증명하였다. 반향이 있는 환경에서 스피커 16개를 0.045m간격으로 배열한 스피커 어레이로 1.5m 측면을 목표 지점으로 하였을 때, 기존의 DSBF는 목표 지점의 음압보다 10dB가 낮고, [2]에서 제안한 방법은 15dB가 낮아짐을 보였다.

하지만 목표 지점에서의 주파수 응답을 고려하지 않아 목표 지점에서의 신호가 왜곡 될 수 있으며, 각 스피커로부터 목적 지점까지의 시스템 응답을 추정 또는 예측해야 하는 단점이 있다.

6. Equalization method with a quiet zone

이는 사용자 위치에서는 평탄한 주파수를 가지며 사용자 위치를 제외한 특정 지점에서는 시스템 응답이 최소가 되도록 하여 quiet zone을 형성하는 필터를 설계하는 방법이다[10]. 제안된 기술은 반향 환경에서도 음압 집중도가 높지만 신호가 왜곡 될수 있는 문제점이 있다. [10]에서는 사용자 위치에서의 주파수 응답을 평탄하게 하므로 반향환경에서도 사용자에게 원음에 가까운 음질을 제공하면서 동시에 quiet zone의 음압을 최소화 하여 사용자에게 차별화된 음압을

〈표 1〉 스피커 어레이 기술

	장 점	단 점
DSBF	설계가 간단하다.	사이드로브의 레벨이 높다.
Windowed DSBF	설계가 간단하다. 사이드로브의 레벨이 낮다.	메인로브의 너비가 넓다.
COBF	메인 로브의 너비를 유지하면서 사이드로브의 레벨을 낮출 수 있다.	소리 집중도가 반향의 크기에 영향을 받음
음원 배열을 이용한 음향 밝기대조 제어	반향이 없는 환경에서 음압 집중도가 높다.	공간 변수의 최적 크기를 도출이 필요하다.
목표 지점의 음압 최대화를 통한 소리 집중 기술	반향 환경에서 음압 집중도가 높다.	스피커와 사용자 사이의 전달 함수 추정 또는 예측이 필요하다. 음질이 왜곡 될 수 있다.
Equalization method with a quiet zone	반향 환경에서 사용자에게 원음과 유사하며 높은 음압을 제공한다.	많은 지역의 전달 함수 추정 또는 예측이 필요하다.

제공하는 기술을 제안하였다. quiet zone은 특정 지점의 음압을 널(null)로 만들어서 음압을 최소화한다. 또한 소리 집중도가 널의 위치와 개수의 영향을 크게 받음을 설명하고 있다. 그리고 널의 위치와 개수를 최적화 하였을 때 목표 지점의 주파수 응답을 평탄하게 하는 동시에 quiet zone의 평균 음압이 기존의 DSBF보다 1.3dB 낮아짐을 보여 주었다.

그러나 quiet zone과 사용자의 위치에서 각 스피커로부터의 전달함수를 예측 또는 추정해야 하며 quiet zone에 생성시키는 널의 최적화 된 위치와 개수를 찾기가 어려운 문제점이 있다.

V. 결 론

스피커 어레이 기술은 TV, 모니터 등에 쉽게 부착할 수 있으며 기존의 멀티채널 스피커 시스템과 융합이 쉬워 앞으로 스피커 어레이에 대한 가치가 더욱 커질 것으로 예상된다. 하지만 스피커 어레이 기술에 대한 연구는 아직까지 기초단계에 있어 저널, 학회 등에서는 기초 알고리듬의 측정 실험 결과에 대한 논문들만 발표되고 있다. 실제 환경에 적용할 경우, 스피커 어레이를 이용한 소리 집중 기술은 방향성을 가지는 신호를 출력하지만 원하는 사용자에게 차별화된 음압을 제공하는 경우에는 그 성능이 저하될 수밖에 없다.

반향이 있는 환경에서 소리 집중도를 높이기 위한 연구가 진행 중에 있으나 상용화 할 수 있는 단계까지는 아직 미치지 못하였다. 실제 환경에서 높은 소리 집중도를 가지는 위해서는 기존의 탈반향 기술과 빔포밍 기술을 접목 시켜 반향 성분에 영향을 받지 않는 스피커 어레이 기술의 개발이 필요할 것이다.

참고문헌

[1] P.A. Nelson, F. Orduna-Bustamante, and H. Hamada, "Inverse Filter Design and Equalization Zones in Multichannel Sound Reproduction," IEEE Trans. On SPEECH AND AUDIO PROCESSING, Vol.3, No.3, May, 1995, 185-192.

[2] 백순호, 송명석, 강홍구, 이석필, "반향 환경에서의 스피커 어레이를 이용한 소리 집중 기술," 한국음향학회지, 28권, 6호, pp. 548-556, 2009.

[3] O. Kirkeby, P.A. Nelson, H. Hamada, and F. Orduna-Bustamante, "Fast Deconvolution of Multichannel Systems Using Regularization," *IEEE Trans. On SPEECH AND AUDIO PROCESSING,* Vol.6, No.2, March, 1998, 189-195.

[4] Barr D. Van Veen and Kevin M. Buckley, "Beamforming: A Verstaile Approach to Spatial Filtering," IEEE Trans. On ASSP, Vol.5, pp.4-24, April, 1988.

[5] http://www.vso.kr

[6] M. Yoneyama and J. Fujimoto. The audio spotlight: An application of nonlinear interaction of sound waves to a new type of loudspeaker design, J. Acoustical Society of America, Vol.73, No.5, pp.1532-1536, May, 1983.

[7] http://www.imtc.gatech.edu

[8] H.L. Van Trees, OTIMUM ARRAY PROCESSING, A JOHN WILEY & SONS, INC., New York, 2002.

[9] C. Lee, J. Chang, J. Park, and Y. Kim, "Person Monitor & TV Audio System by Using Loudspeaker Array," The Korean Society for Noise and Vibration Engineering Conference, Vol.18. No.7, pp.701-710, 2008.

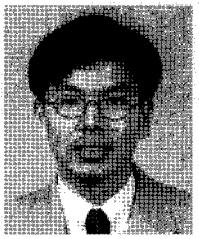
[10] S. Baek, M. Song, S. Lee, H. Kang, "Speaker Array System Based on Equalization Method with a Quiet Zone,"presented at the AES 127th Convention, New York, USA, 2009 October, 9-12.

[11] M. Song, S. Lee, H. Kang, "Simulation and Measurement of Sound Beam Forming by Speaker-Array in Room Reverberation Environment," ICEIC 2008, Tashkent, Uzbekistan, Jun, 2008.

[12] 백순호, 송명석, 이석필, 강홍구, "제약 조건 하에서의 최적화 기법에 기반한 사운드 빔 형성 기술", 한국음향학회 2008년도 춘계학술발표대회 논문요약집, 27권, 1호, 25쪽, 2008.

[13] M.H. Er, S.L. Sim and S.N. Koh, "Application of constrained optimization techniques to array pattern synthesis", Elsevier North-Holland, Vol.34, pp.

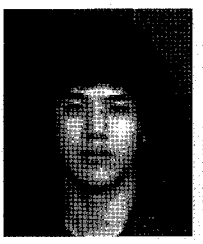
저자소개



강 홍 구

1989년 2월 연세대학교 전기전자공학부 학사
1991년 2월 연세대학교 전기전자공학부 석사
1995년 8월 연세대학교 전기전자공학부 박사
1996년 4월~2002년 8월 Senior Technical Staff Member, AT&T Labs-Research
2002년 9월~2005년 8월 연세대학교 조교수
2005년 9월~현재 연세대학교 부교수

주관심 분야 : 음성/오디오신호처리, 적응디지털신호처리



백 순 호

2008년 2월 연세대학교 전기전자공학부 학사
2008년 3월~현재 연세대학교 전기전자공학부 석박사 통합과정

주관심 분야 : Speaker array, Speech Enhancement