

효과적인 홈시어터용 음장재생 알고리즘 개발

심환, 이신렬, 유재현, 성광모
서울대학교 음향공학연구소

Development of an efficient sound field reproducing algorithm for home theater systems

Hwan Shim, Sin-Ilyul Lee, Jae-hyoun Yoo, Koeng-Mo Sung
School of Electrical Engineering, Seoul National University
yum@acoustics.snu.ac.kr

* 본 논문은 (주) 삼성블루텍의 지원으로 이루어졌습니다.

요약

음장 재생기는 인공잔향기의 일부로 알려져 있었으나 실제로는 다른 접근 방법이 필요하다. 인공잔향기의 용도가 대체로 무향에 가까운 음원에 인공잔향을 가해주는 것이라면, 음장 재생기는 청취자에게 넓은 공간감을 위해 이미 잔향이 가해진 음원에 초기반사음만을 가해 주기 때문이다. 본 논문에서 제안하는 음장재생기는 모사하고자 하는 공간의 충격응답에서 직접음 대비 반사음의 세기를 조절하여 sound coloration을 줄이고, 초기반사음의 페닝을 이용하여 넓은 공간감을 효과적으로 재생한다. 또한 본 음장재생기는 ITDG, LEF, Stage width, Room size, Liveness 등의 객관적 인자들을 조정할 수 있기 때문에 원하는 공간의 모사뿐 아니라 가상공간의 크기와 느낌을 변화시킬 수 있다.

비슷한 공간으로 모사하기 위해서는 제한하고자 하는 반사음들을 활용해야 한다. 우리가 듣는 대부분의 소리는 직접음과 그에 따른 반사음들의 조합이며, 이 반사음들이 청자에게 공간감을 느끼게 해준다고 알려져 있다[1-2]. 따라서 반사음의 조각을 통해서 원하는 공간을 재현할 수 있고 또한 청취자의 취향을 적용해서 극대화된 공간감을 느끼는 것도 가능하다.

본 논문에서는 홈시어터를 이용하는 청취공간에서의 음장재생과 관련된 기본적인 정보(음압, 도달시간, 도달방향)를 음장재현(Sound field replica)에 적용하는 방법과, 보다 적극적으로 공간감과 관련한 객관적 인자를 제어하여 음장처리(Sound field treatment)를 하는 음장재생의 두 가지 방법에 대해 서술하도록 한다.

2. 공간감 제어 인자

공간감(Spaciousness)은 어떤 공간내에서 음악을 듣는 느낌을 말한다. 공간감을 느끼기 위해서는 첫째, 반사음들이 직접음에 비해 100ms 이내에 도달해야 하며, 둘째, 측면에서 입사하고 직접음과 분리된 반사음으로 인지되어야 하며, 셋째, 반사음들끼리 서로 관계 없어야 한다(incoherent)[3]. 이는 반사음의 가공으로 공간감을 조절할 수 있다는 이론적 근거가 된다.

1. 서론

공연실황을 직접 청취하는 경우와 녹취한 것을 가정에서 홈시어터를 이용해서 듣는 경우의 차이는 청취 공간에 따른 공간감의 차이이다. 녹음에 포함된 반사음에 의해 얻을 수 있는 공간감은 매우 적고, 일반적인 가정의 홈시어터 환경도 크기가 작기 때문에 청취자가 느끼는 청각적 공간은 연주자가 가까이 있는 매우 작은 공간이 된다. 청취 공간을 연주회장과

측면에너지분포(LEF; Lateral Energy Fraction)는 초기반사음과 관련한 객관적 인자의 하나로, 공간감과 관련한 주관 평가와 매우 상관도가 높으므로 이는 공간감 제어에 큰 축을 담당한다.

그 밖에 중요한 객관적 인자에는 명료도와 잔향시간이 있다. 청취자들은 초기 에너지 비율이 후부잔향부보다 많을 때 명료하다고 느끼며, 이를 객관화한 인자가 명료도(C ; clarity)이다. 음장처리는 반사음의 조절을 통해 얻어지기 때문에 명료도의 저하를 조심해야만 한다. 잔향시간(reverberation time)은 잔향의 지속정도를 나타낸 것이다. 모노럴한 잔향은 공간감과 직접적으로 관련이 있지 않지만, 각 채널의 후부잔향이 서로 상관이 없을 경우, 청취자의 포위감(LEV ; Listener Envelopment)이 좋아지기 때문에, 잔향의 정도가 매우 중요하다[2].

3. 음장재생 알고리즘의 개념

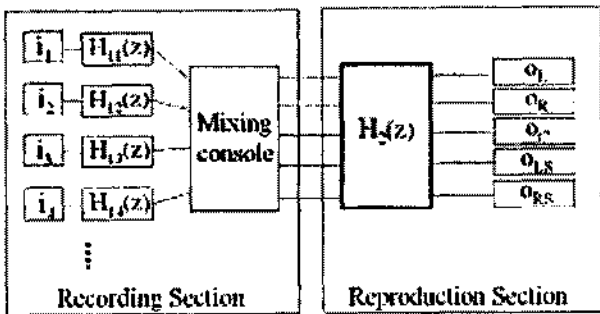


그림 1. 음장재생 알고리즘 (이상적인 방안)

청취자들은 홈시어터에서 5.1 채널(그외의 여러 가지 채널도 비슷한 방법이므로 고려하지 않도록 한다. 또한 우퍼채널은 방향성과 관련이 없으므로 논의에서 제외한다.)로 녹음된 음원을 재생하게 되는데, 이때의 음원은 멀티채널 믹싱을 거친 것이며 그 전에 녹음단에서는 각각의 잔향이 섞여 녹음되었다고 볼 수 있다. 잔향이 거의 없는 상황에서 녹음했다 하더라도 인공적으로 잔향을 가해주는 것이 일반적인 예이기 때문에 그림 1 과 같은 녹음단을 고려할 수 있다.

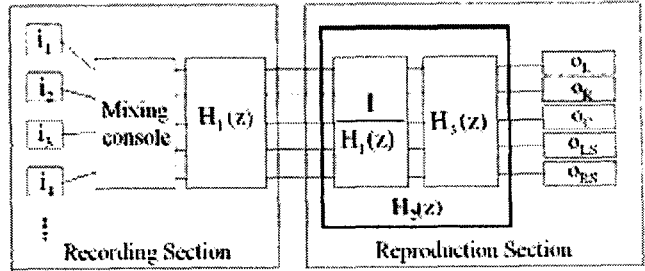


그림 2. 음장재생 알고리즘 (이상적인 방안 2)

각각 잔향이 가미된 신호의 혼합으로 이루어진 음원에서 잔향을 제거할 수는 없기 때문에, 그림 2 의 가정을 하도록 한다. 모든 입력에 같은 잔향 $H_1(z)$ 을 가한 것으로 가정했을 때, $\frac{1}{H_1(z)}$ 으로 잔향을 제거한

뒤에 원하는 음장을 재현해 줄 잔향 $H_3(z)$ 을 가해서 출력신호를 내보낸다면, 원하는 공간의 느낌을 거의 완벽하게 전달할 수 있을 것이다.

하지만, 실제로 잔향을 제거하는 것은 청감상에서 매우 좋지 않고 걸린 잔향의 충격응답을 알 길이 없기 때문에, 이 방법은 현실적으로는 사용할 수가 없다.

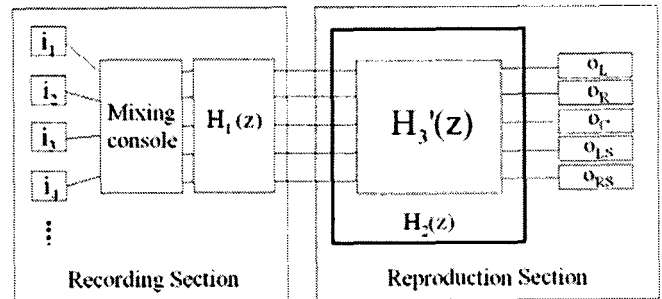


그림 3. 음장재생 알고리즘 (현실적 방안)

$H_3'(z)$ 은 잔향기의 일종이다. 공간감을 나타내기 위해서는 반사음의 조합이 필요하고, 그렇다면 결국 잔향을 이용할 수 밖에 없다. 하지만, 잔향을 그대로 사용하는 것은 무리가 있다. 그림 4, 그림 5 의 에코그램을 살펴보면 반사음을 그대로 사용한 경우와 크기를 줄여서 사용한 경우의 차이를 알 수 있다. 반사음을 그대로 사용한다면 공간감의 형성 이전에 엄청난 음색변화를 느낄 것이다. 음원의 종류를 잔향 정도에 따라 몇 가지 부류로 정리하고 (예를 들면

콘서트, 클래식, 팝, 락, 재즈, 영화, 뉴스, 스포츠 등), 각각의 경우에 맞는 크기의 잔향을 $H_3(z)$ 로 가해준다면 이상적인 음장재생 알고리즘의 대안이 될 수 있을 것이다.

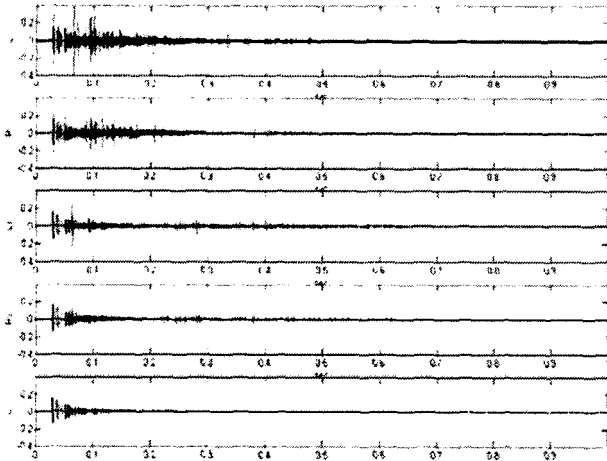


그림 4. 잔향이 걸린 음원에 모사할 공간의 반사음을 모두 적용한 경우

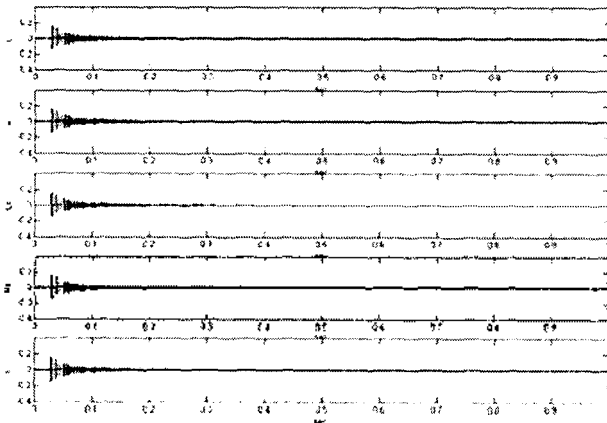


그림 5. 잔향이 걸린 음원에 크기를 줄인 반사음을 적용한 경우

4. 음장재생 알고리즘의 구현

4.1. 음장의 측정

음장재생에서 필수적인 반사음 정보는 반사음들의 수평 입사각, 직접음 대비 음압레벨과 시간차이, 이들 세 가지이다. 이들을 얻어내는 방법은 원하는 공간을 직접 다채널 마이크폰을 이용해서 측정하는 방법과 시뮬레이션하는 방법이 있다. 측정해서 얻는 경우에는 peak detection 과 pair matching 을 통하여 반사음들의 정보를 알아내고, 시뮬레이션을 이용하는 경우에는

Ray Tracing 기법을 통해 반사음 정보를 얻을 수 있다. 가진점과 측정점은 모사를 원하는 공간에 흡시어터를 설치한 것으로 가정하여, 가진점은 스피커 위치 5 군데이며 측정점은 청취할 위치인 스피커들로 둘러싸인 가운데로 정하면 된다.

이렇게 얻은 반사음 정보들은 일정 부분 가공을 통해서 입력음원의 음색변화가 생기지 않도록 해야한다. 반사음들의 크기를 줄여가면서 청취평가 해본 결과, 전체적으로 10-15dB 를 줄였을 때 공간감을 유지하면서 음색의 변화를 주지 않았다. 단지 초기반사음만을 고려하지 않고 1 초 이상의 반사음들을 살펴보았을 때, 120ms 이후의 반사음들은 잔향감을 길게 해주지만 공간감 형성에 있어서는 매우 큰 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있었다.

음색과 공간감을 만족할만한 결과를 얻은 상황에서, 필터탭수를 줄이기 위한 방법을 연구해본 결과 다음과 같은 현상을 발견할 수 있었다. 직접음 도달 후 30ms 이전에 들어오는 반사음들은 공간의 확장에 도움이 되지 않기 때문에 생략하여도 상관이 없었다. 또한 직접음 대비 음압레벨이 -55 ~ -60dB 이하의 크기가 작은 반사음들은 생략해도 큰 차이가 없었다.

4.2. 음장재현

음장의 재현은 합산정위의 방식을 이용해서 constant power panning law(CPP)를 사용한다. 두 방향에서 동시에 도달한 음원은 하나의 음원으로 인지하는 성질을 이용하는 것으로, 이를 이용하면 이웃한 두 스피커의 사이에 가상음원을 정위시킬 수 있다. 따라서 이전에 얻은 반사음의 정보를 통해서 각 채널의 충격응답을 구할 수 있다. 여기서 고려해야 할 점은 측면반사음만이 공간감에 영향을 끼친다는 점이다. 그러므로 중앙(center)채널은 제외한 네 개의 채널만으로 음상정위를 해야한다는 것이다[4].

4.3. 음장처리

반사음 정보를 조금만 변형하면 initial time delay gap(ITDG), 방의 크기(room size), 생동감(liveness)를

조절 할 수 있다. ITDG의 조절은 같은 크기 만큼 시간 차이를 늘려주면 되고, 방의 크기는 ITDG 만큼 배준 시간 차이를 원하는 정도에 비례해서 늘린 뒤에 ITDG를 더해주면 된다. 생동감은 시간이 지날수록 보다 큰 음압을 갖도록 계수를 곱해주면 된다[5].

LEF의 조절은 반사음의 수평입사각을 이용해야 한다. 입사각이 측면방향일수록 LEF를 증가하게 해주므로, 입사각에 cosine을 취해서 가중치를 정해주고, 원하는 만큼 가중치를 적용하면 LEF도 조절할 수 있다. 무대의 폭(Stage Width)의 조절은 L,R 채널의 신호를 Ls, Rs 채널에 각각 섞어 내보내면 된다. 이를 통해 전면부의 음상이 확장되는 느낌을 얻을 수 있다.

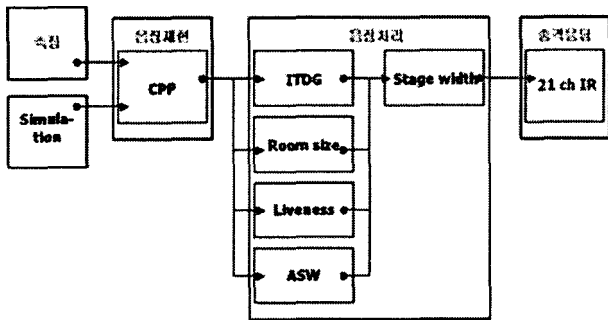


그림 6. 음장재생 알고리즘의 순서도

4.3. 음장재생 프로그램

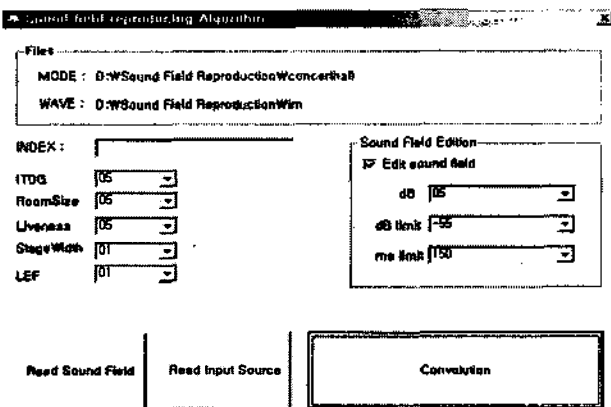


그림 7. 음장재생 프로그램

위의 그림은 이번 실험을 위해 개발한 프로그램의 실행화면이다. 원하는 반사음의 정보를 이용해서 입력 음원과 컨벌루션하여 출력신호를 만들어낸다.

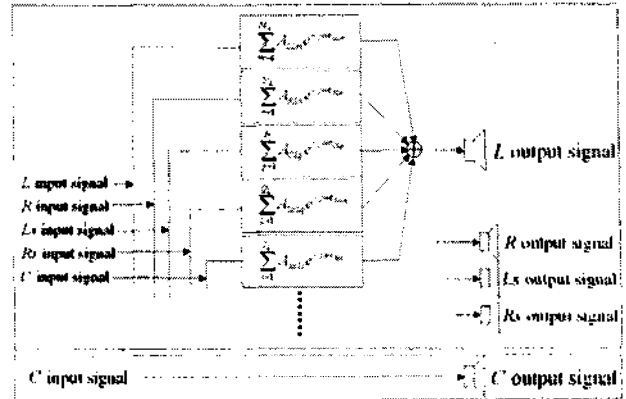


그림 8. 음장재생 과정

5. 결론 및 향후과제

본 논문이 제시하는 음장재생 알고리즘을 통해서 홈시어터에서 부족했던 공간감과 잔향감을 채울 수 있었다. 기존 음장재생 알고리즘의 단점인 음색의 왜곡을 보완했으며, 음장처리를 통해 청취자의 기호에 맞게 음원을 들을 수 있도록 하였다.

향후과제는 이상적인 음상재생 알고리즘과 관련된 일련의 실험을 통해 현실적 방안으로 진행해야하는 명확한 이유를 제시하는 것과, 보다 많은 청자를 동원한 청취실험을 통해 음색과 음장재생의 효과를 평가하는 것이다.

참고문헌

1. T. D. Rossing, *The Science of Sound*. Addison-Wesley Publ. Co., 3rd ed., 2002.
2. H. Kuttruff, *Room Acoustics*. Spon Press. 4th ed. 2003.
3. J. Blauert, *Spatial Hearing : The Psychophysics of Human Sound Localization*. The MIT Press, 1983.
4. David Griesinger, "Stereo and Surround Panning in Practice", AES 112th convention, Munich, Germany, 2002 may 10-13
5. 이덕수, 스테레오 음장 모델에 의한 음장 처리技法에 관한 研究. 서울대학교 工學博士學位論文, 1996.