

장애물에 의한 충격응답 변화 실측에 대한 연구

유재현, 이태진

한국전자통신연구원

jh0079@etri.re.kr, tjlee@etri.re.kr

A study on the measurement of changes in impulse response due to obstacles

Jae-hyoun Yoo, Tae Jin Lee

Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

요 약

본 논문에서는 인공적인 가상 환경에서 사실적인 충격응답을 제공할 수 있는 방법을 모색하기 위한 첫 단계로서 실제 청취 공간에서 충격응답을 획득하고 장애물이 존재할 때 그 충격응답이 어떻게 변화하는지 살펴보기 위하여 충격응답 변화 실측에 대한 실험 결과를 제시한다. 실험은 일상적인 공간으로서 한국전자통신연구원의 회의실과 휴게실에서 수행하였으며, 실험 결과 장애물의 존재에 따라 그리고 청취 위치에 따라 주파수 영역에서 차이점이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 향후 흡음률 등 장애물에 대한 물리적 정보를 조사, 분석하고 보다 더 다양한 공간과 위치에서 장애물에 대한 충격응답의 변화로부터, MPEG-I Immersive Audio 등의 애플리케이션에서 사실적인 공간감을 제공하기 위한 인공적인 충격응답을 가공 방법을 제안할 수 있을 것으로 기대한다.

1. 서론

현재 MPEG 에서는 MPEG-I Immersive Audio 표준화를 추진하고 있는데, 6DoF(Degree of Freedom) VR(Virtual Reality) 환경에서 사실적인 공간감을 제공하는 데에 목적을 두고 있다. 이를 위해 청취자가 위치하게 되는 가상의 환경에 대한 몰입감을 높여줄 수 있도록, 실제와 유사한 공간음향을 제공할 수 있는 기술을 개발하고 있으며 그 중에서도 특정 공간의 충격응답(impulse response)을 어떻게 제공하느냐가 핵심이라고 할 수 있다. 청취자는 가상의 공간을 자유롭게 이동할 수 있는데, 한 지점에서의 충격응답은 다른 지점에서의 충격응답과 동일하지 않으며 벽이나 물건 등 장애물이 존재하면 같은 지점일지라도 충격응답은 달라지게 되고, 이 충격응답이 적절히 제공되어야

청취자는 사실적인 공간감을 느낄 수가 있다. 이 때, 인위적으로 만들어진 가상의 환경은 실측한 실제 데이터는 존재할 수 없기 때문에 기존의 데이터 혹은 충격응답 처리 기술로부터 가공되어야 한다.

본 논문에는 이렇게 인공적인 가상 환경에서 사실적인 충격응답을 제공할 수 있는 방법을 모색하기 위한 첫번째 단계로서 실제 청취 공간에서 충격응답을 획득하고 장애물이 존재할 때 그 충격응답이 어떻게 변화하는지 살펴보고자 한다.

실제 공간에서의 충격응답은 여러 데이터베이스가 공개되어 있는데, BUT reverb DB[1]의 경우 침실, 화장실, 사무실, 강당, 복도 등 다양한 일상 공간에서 특정 지점에서의 충격응답을 제공하고 있고, 그리고 Queen Mary RIR dataset[2]에서는 강의실, 도서관, 다목적홀에서 다양한 지점에서의 충격응답을

제공하고 있으나 장애물 유무에 의한 비교 데이터까지 제시하는 경우는 없었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서 충격응답의 구성에 대해 간단히 알아보고, 3 절에서 특정 청취 공간에서 장애물 유무에 따른 충격응답 실측 결과를 제시한다. 4 절에서 본 논문에 대한 결론과 향후 과제에 대해 논한다.

2. 충격응답의 구성

임의 공간의 한 청취점에서의 충격응답은 음원에서 충격음을 발생시킨 후 각 벽면에서 반사, 지연, 감쇠된 반사음들을 한 지점에서 관측한 값으로, 그림 2.1 과 같이 직접음, 초기 반사음, 후기 잔향으로 구성된다. 직접음은 공간에서 재생된 충격음이 그대로 획득된 것이며, 초기 반사음은 벽면, 바닥, 천장 등에 반사되어 50~80ms 내에 입사하는 반사음들로 청취 공간의 특성에 따라 차이가 크게 나타나며 직접음의 방향성을 지정하는 등 청취자에게 공간감을 제공하는 데에 중요한 역할을 한다. 그리고 후기 잔향은 여러 번의 반사를 거쳐 전방향에서 도달하는 반사음들의 전체적인 분포나 특성을 보여준다.

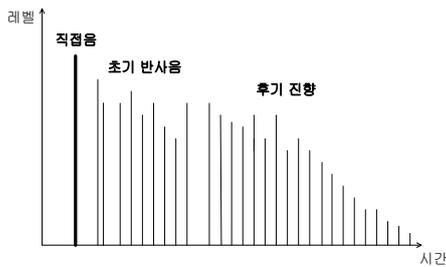


그림 2.1 충격응답의 예

3. 충격응답 실측

실제 청취 공간에서의 충격응답 획득은 ETRI 회의실과 휴게실에서 이루어졌다. 회의실은 3.75m x 7.50m x 2.65m, 휴게실은 7.50m x 7.00m x 2.65m 의 크기를 가진 공간이다. 음원 신호는 48kHz 샘플링 주파수를 가지는 TSP(Time Stretched Pulse)를 IRIVER IR-S50 라우드스피커에서 재생하였고 Zylia ZM-1 마이크로폰으로 획득하여 iTSP(inverse TSP) 신호와 컨벌루션하여 충격응답을 획득하였다.



그림 2.2 청취공간 - (좌)회의실, (우)휴게실

먼저, 회의실의 경우, 철재 벽면과 목재 테이블과 천 소재 의자가 놓여 있는 공간으로, 스피커와 마이크로폰이 1.5m 떨어져 있는 상태에서 충격응답을 획득하고, 그림 3.1 과 같이 마이크로부터 0.5m 떨어진 전/후/좌/우면, 그리고 전면을 일부 가리는 세 가지 위치에 0.25m 두께를 가지는 단단한 'c'자 책상 선반을 인위적인 장애물로서 배치하여 충격응답의 변화를 살펴보았다. 각각의 경우의 충격응답을 장애물이 없는 경우와 비교한 그래프 그리고 모든 경우를 한번에 비교해본 결과는 그림 3.2 와 같다.

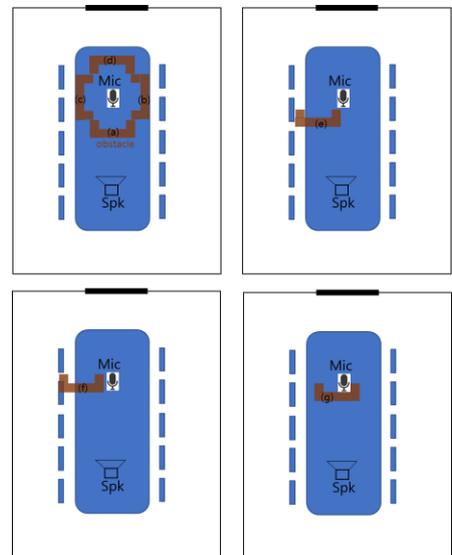
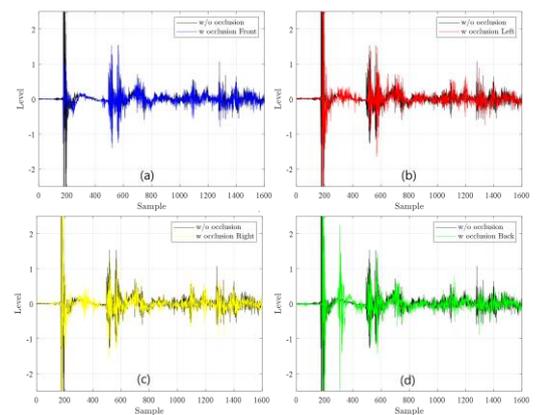


그림 3.1 회의실에서의 실험 환경 구성



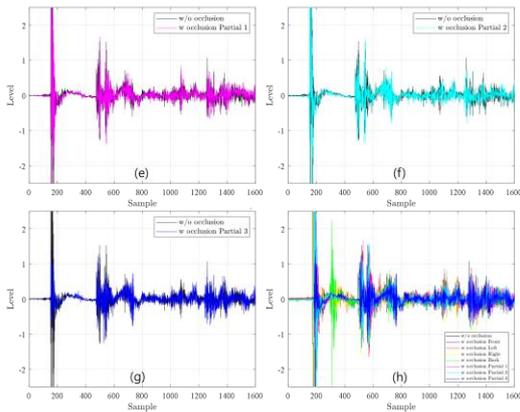


그림 3.2 시간 도메인에서의 충격응답 비교 - 회의실에서 장애물이 없는 경우와 장애물의 위치가 (a) 전면, (b) 좌측, (c) 우측, (d) 후면, (e) 전면 일부, (f) 측면 일부, (g) 안쪽인 경우와 (h) 전체 경우의 비교

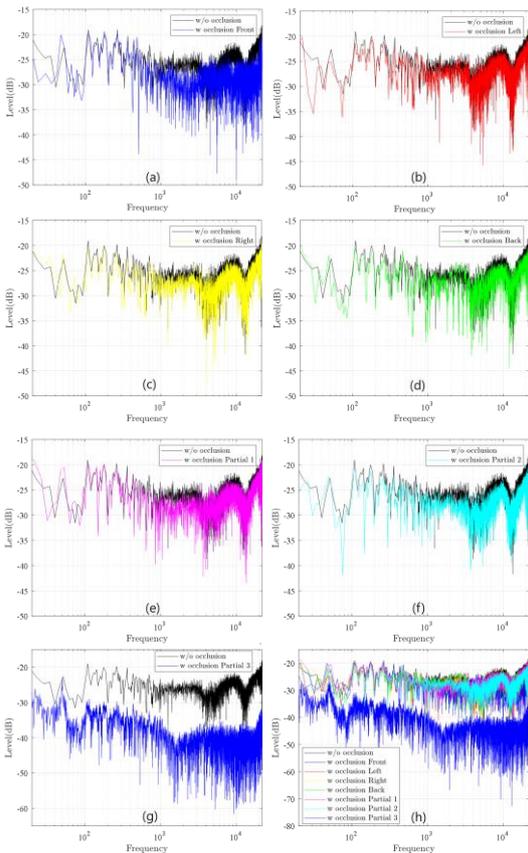


그림 3.3 주파수 도메인에서의 충격응답 비교(log scale) - 회의실에서 장애물이 없는 경우와 장애물의 위치가 (a) 전면, (b) 좌측, (c) 우측, (d) 후면, (e) 전면 일부, (f) 측면 일부, (g) 안쪽인 경우와 (h) 전체 경우의 비교

장애물이 전면에 위치하는 (a)의 경우 1kHz 이상의 주파수 대역에서 약 3dB 감쇠가 이루어지는 것을 확인할 수 있고, 장애물 바로 뒤에 위치하는 (g)의 경우 전체 주파수 대역에서 약 20dB 감쇠가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 회절의 영향에

따른 차이인 것으로 추정되며, 장애물 바로 뒤에 있는 (g)의 경우, 장애물 모서리와 마이크론 사이에서 회절 각도가 더 커지므로 회절 감쇠가 더 크게 작용했을 것으로 보인다. 또한 장애물이 후면에 위치하는 (d)의 경우, 다른 경우에 비해 약 300 샘플의 위치에서 뚜렷한 반사음이 발생하고 있는 것을 볼 수 있는데, 이는 다른 장애물들에 비해 시간적으로 직접음과 뚜렷하게 구분된 반사를 일으킬 수 있는 위치에 장애물이 놓여 있기 때문인 것으로 풀이할 수 있다.

그리고 휴게실의 경우, 그림 3.4 와 같이 스피커와 마이크론이 1.5m, 3.0m, 3.5m, 4.0m 떨어진 상태에서, 공간에 배치된 목재 테이블, 천 소재 의자, 플라스틱 소재 천공 칸막이 등 획득 위치별로 달라지는 공간 상에 존재하는 장애물에 의한 충격응답의 차이를 살펴보았다. 그림 3.5 에서와 같이 Mic Position 1 대비 Position 2, 3, 4에서는 시간 지연과 충격 응답의 크기 감쇠가 이루어지는 것을 알 수 있다. 각 위치에서 개별적으로 얻은 충격응답을 주파수 도메인에서 비교해본 결과는 그림 3.6 과 같으며, Mic Position 1 대비 Position 2, 3, 4에서는 1kHz 이상의 주파수 대역에서 각각 약 5dB, 10dB, 23dB 감쇠가 이루어지는 것을 확인할 수 있다. 공간에서의 거리 전파에 따른 감쇠, 장애물에 의한 감쇠, 스피커의 지향성 등이 작용한 결과로 해석할 수 있는데, 그림 3.7 과 같이 주파수 대역에서의 결과를 다시 살펴보면, 약 6.5kHz, 15kHz, 22kHz 에서의 감쇠가 특히 잘 나타나는 것을 확인할 수 있다.

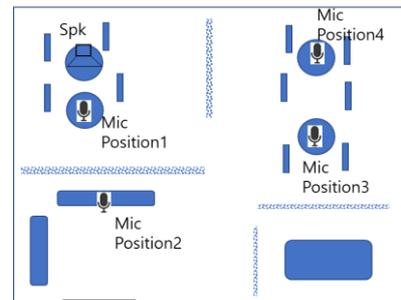


그림 3.4 휴게실에서의 실험 환경 구성

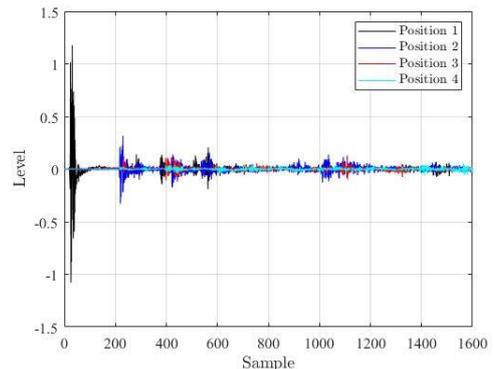


그림 3.5 시간 도메인에서의 충격응답 비교

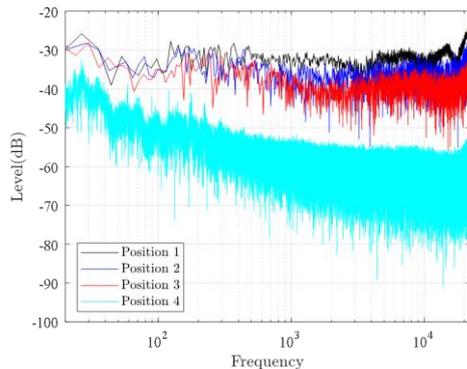


그림 3.6 주파수 도메인에서의 충격응답 비교(log scale)

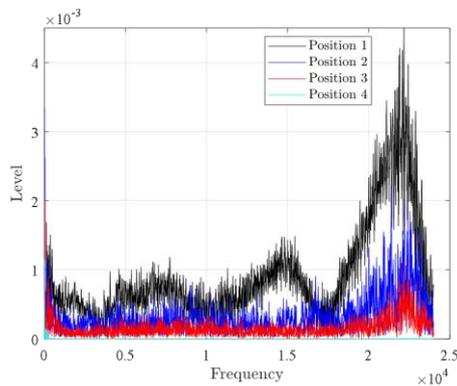


그림 3.7 주파수 도메인에서의 충격응답 비교

4. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 인공적인 가상 환경에서 사실적인 충격응답을 제공할 수 있는 방법을 모색하기 위한 첫 단계로서 실제 청취 공간에서 충격응답을 획득하고 장애물이 존재할 때 그 충격응답이 어떻게 변화하는지 실측 실험을 통해 살펴보았다. MPEG-I Immersive Audio 와 같은 애플리케이션에서 가상 공간에 대한 사실적인 공간감을 제공하기 위해서는 이 실측 실험에서와 같이 특정 공간의 충격응답이 장애물 및 청취 위치에 따라 적절히 가공되어야 한다는 것을 확인할 수 있다. 단, 본 실험에서는 장애물의 흡음률 등 물리적 특성 데이터를 확보하지 못해 이 데이터와 충격응답 변화 간의 직접적인 관계를 확인하지는 못하였는데, 향후 이 정보를 조사, 분석하고 다양한 공간과 위치에서 장애물에 대한 충격응답의 변화로부터, 인공적인 충격응답을 어떻게 가공해야 사실적인 공간감을 제공할 수 있을지 알 수 있을 것으로 기대된다. 또, 이를 바탕으로 MPEG-I Immersive Audio 에서 사용되는 콘텐츠의 공간과 유사한 공간을 구성하면 그로부터 얻은 충격응답을 분석하여 현재 개발되는 공간 음향 렌더러의 성능이 실제 데이터와 얼마나 차이가 나는지도 분석할 수 있을 것으로 기대한다.

Acknowledgement

본 연구는 한국전자통신연구원 연구운영지원사업의 일환으로 수행되었음. [22ZH1200, 초실감 입체공간 미디어·콘텐츠 원천기술 연구]

참고문헌

- [1] Igor Szóke, Miroslav Skácel, Ladislav Mošner, Jakub Paliesek, Jan (Honza) Cernocký, "Building and Evaluation of a Real Room Impulse Response Dataset," IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN SIGNAL PROCESSING, VOL. 13, NO. 4, AUGUST 2019
- [2] Rebecca Stewart and Mark Sandler, "Database of Omnidirectional and B-format Room Impulse Responses." ICASP 2010