

공간음향 렌더링을 위한 공기흡음 처리에 관한 연구

장대영, 이용주, 유재현, 강경옥, 이태진

한국전자통신연구원 미디어부호화연구실

dyjang@etri.re.kr, draball@etri.re.kr, jh0079@etri.re.kr, kokang@etri.re.kr,

tjlee@etri.re.kr

Study on Air Absorption Processing for Spatial Audio Rendering

Daeyoung Jang, Yong Ju Lee, Jae-hyoun Yoo, Kyeongok Kang, Tae Jin Lee

Electronics & Telecommunications Research Institute (ETRI)

요 약

본 논문에서는 6 자유도 공간음향 렌더링 기술 관련 음향객체의 거리감 인지에 중요한 공기흡음 감쇠 효과 처리에 있어, 현장의 음원과 음향 센서 사이의 거리인 녹음거리에 해당하는 공기흡음 감쇠가 기본적으로 포함되어 3kHz 이상의 고주파 성분이 감쇠된 음원이 렌더링에 사용되는 문제점을 해결하는 방법을 제시한다. 이 방법에 의하면 6 자유도 공간음향 콘텐츠에 메타데이터로서 녹음거리 파라미터를 포함시키고, 렌더링할 때 공기흡음을 적용하기 위한 음원과 청취자의 거리값에 녹음거리에 대한 보상을 적용함으로써, 음원의 공기흡음 감쇠 효과를 정확하게 수정 적용하여 음원의 음색을 모든 거리에서 실제로 가깝도록 제공할 수 있게 된다. 특히, 원거리 녹음이 불가피한 비행기, 천둥, 폭발음 등 원거리 녹음음원의 음색에 녹음거리에 의한 음원의 공기흡음 감쇠가 적지 않은 영향을 미치게 되는데, 녹음거리의 적용에 의한 제안한 방법에 의해 음원과 청취자의 거리값에 대한 음원의 음색이 고주파영역의 녹음거리에 의한 원치 않는 감쇠를 보상하는 효과를 확인할 수 있었다.

1. 서론

최근 들어 코로나 19 팬데믹 상황과 부캐릭터 및 SNS 활성화 등과 맞물려 메타버스, 온라인 회의 등 비대면 미디어 서비스에 대한 사용 및 고품질 서비스 요구가 꾸준히 증가하고 있다. 이에 6 자유도 공간음향 기술 개발에 대한 사회적 요구도 동반하여 상승하고 있으며, 이에 부응하여 MPEG에서는 Immersive Media와 함께 Immersive Audio 렌더링 및 인터랙션 기술 표준화를 진행하고 있다.

본 연구는 MPEG-I Immersive Audio 표준화를 위해 현재 선정된 RM0 (Reference Model 0)의 성능을 개선하기 위한 연구의 일환으로 진행되었으며, CE (Core Experiment)

아이템으로 제안되어 논의가 진행되고 있는 상황이다.

6 자유도 공간음향에 있어 음원의 방향 렌더링과 함께 가장 중요한 기술이 음원의 거리 렌더링이다. 거리 렌더링에는 기본적으로 음원과 청취자 사이의 거리에 대한 지연, 감쇠를 적용하는 것과, 실내에서는 잔향을 적용하는 것을 가장 중요한 기술로 고려할 수 있다. 실내의 잔향을 적용하는 것은 기존 연구에서도 활발하게 진행되었고, 대부분의 실감음향 솔루션에 기본적으로 포함되어 있다. 그러나 음원의 거리에 의한 지연 및 감쇠, 특히 공기흡음에 의한 감쇠의 경우, 6 자유도에서 실시간으로 변동되는 거리에 대하여 실시간으로 처리되어야 하는 기술로서 새롭게 대두된 요구사항이라고 할 수 있다[1].

본 논문에서는 공기흡음에 의한 감쇠 효과를 처리함에 있어,

현재의 RM0 에서는 녹음거리를 적용하지 않음으로써, 수십 미터 이상의 녹음거리에 대한 공기흡음 고주파 감쇠가 음원에 기본적으로 포함되는 문제를 해결하기 위하여 녹음거리 파라미터를 콘텐츠의 기본 파라미터로 추가하고, 이를 기반으로 녹음거리에 대한 기본 공기흡음 감쇠를 보상하는 방법과 이를 적용한 음색 보상 효과에 대해 기술하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 거리에 따른 공기흡음 감쇠의 일반적인 처리방법에 대하여 기술하고, 3 절에서는 6 자유도 환경에서의 공기흡음 처리방안을 녹음거리에 따른 공기흡음 고주파 감쇠 지각 실험, 녹음거리에 따른 공기흡음 보상 방안과 녹음거리를 적용한 공기흡음 처리 구현 및 결과에 대하여 기술하고, 4 절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. 거리에 따른 공기흡음 감쇠

실외에서의 거리에 따른 공기흡음 처리에 대해서는 'ISO 9613-1: Acoustics - Attenuation of Sound during propagation outdoors -Part 1: Calculation of the absorption of Sound by the atmosphere' 표준에서 기술하고 있으며, 거리 1,000m 에서의 1/3 옥타브 밴드 중간주파수에 해당하는 순음 성분 음원의 공기흡음 감쇠량을 온도 및 습도와 기압의 조건에 따라 제시하고 있다[2].

ISO 9613-1 에 제시한 공기흡음 감쇠량을 이용하면, 필요한 기압, 온도, 습도 조건에서의 1,000m 에 대한 공기흡음 감쇠량 값을 찾아 임의의 거리(x)에 대한 공기흡음 감쇠량을 아래 식에 의해 계산할 수 있다.

$$A_x = A_{1,000} * x/1,000 \tag{1}$$

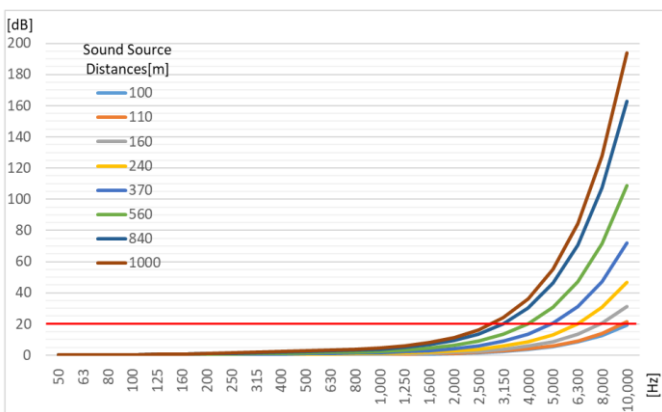


그림 1. 100 ~ 1,000m 음원 거리에 대한 주파수별 공기흡음 감쇠량 커브 (1 기압, 온도 20C, 습도 40% 조건)

그림 1 은 식 (1)에 의해 산출된 1 기압, 온도 20°C, 습도 40% 조건에서의 음원 거리 100 ~ 1,000m 사이의 주파수별 감쇠량 커브를 나타내고 있다. 그림에서 보면 거리 100m 에서는 10kHz 까지의 모든 주파수 대역 중심주파수에 대하여 감쇠량이 20dB 아래인 것을 알 수 있고, 이보다 먼 거리에서는 점차 20dB 감쇠를 초과하는 대역이 넓어 지고 있음을 알 수 있다. 20dB 를 초과하는 감쇠량은 3 장에서 설명하는 녹음거리 보상에 있어 고주파 영역의 과도한 증폭이 발생할 수 있는 증폭량으로 고려되는 값이다.

3. 6 자유도 환경에서의 공기흡음 처리 방법 제안

3.1 거리에 따른 공기흡음 지각 실험

공기흡음 감쇠의 처리에 있어 녹음거리에 따른 공기흡음 감쇠의 보상 및 녹음거리 파라미터의 양자화 해상도의 결정을 위해 거리에 따른 공기흡음 감쇠에 의한 음색의 차이를 구분하는 실험을 수행하였다. 우선 연구자에 의해 대략 10m 거리의 공기흡음 감쇠에 의한 음색의 변화가 겨우 구분됨을 미리 확인하고 5 ~ 25m 까지 5m 단위로 공기흡음 감쇠가 적용된 실험 재료를 만들고, 0m 의 원음원을 기준신호(Ref)로 하고, 3.5kHz LPF 통과된 신호를 앵커로 하여 MUSHRA (MUltiple Stimuli with Hidden Reference and Anchor)[3] 방법에 의해 기준신호와의 구분되는 정도를 주관적으로 평가하도록 하였다.

피험자는 20 대부터 50 대의 음향관련 전문가 10 명을 대상으로 하였으며, 실험용 음원은 약 10 초 정도의 제트기 소음과 콘서트 음악을 사용하였다. 실험결과는 그림 2 와 같으며, 대략 5m 거리의 공기흡음에 대해서도 원음과 쉽지 않지만 구별은 가능하였으며, 10m 이상의 거리에서는 점점 구별이 쉬워지는 것으로 나타났다.

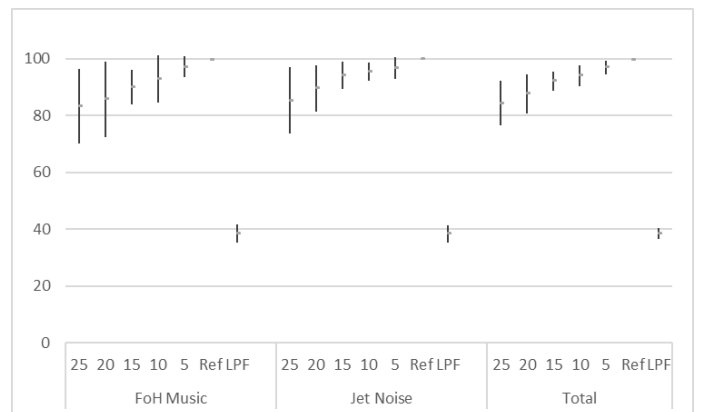


그림 2. 거리[m]에 따른 공기흡음 감쇠 음색 변화 지각 실험 결과

거리에 따른 공기흡음에 대한 음색 변화 지각 실험 결과에 따라, 녹음거리 파라미터를 양자화할 때 5m 이하의 해상도를 사용해야 된다는 것과 5m 정도의 짧은 녹음거리도 공기흡음의 보상이 필요하다는 것을 확인할 수 있었다.

3.2 녹음거리에 따른 공기흡음 보상 방안

서론에서 전술한 바와 같이 현장에서 음원을 녹음할 때, 음원과 음향 센서 사이의 거리 즉, 녹음거리에 대해 공기흡음이 기본적으로 포함되는 문제가 발생한다. 현재 RM0 에서는 이렇게 녹음된 음원을 0m 거리의 음원으로 간주하여 렌더링하게 된다. 그러나 녹음거리 파라미터가 제공된다면, 녹음된 음원을 녹음거리에 해당하는 음원으로 렌더링하면 문제가 해결된다. 이를 그림으로 나타내면 그림 3 과 같으며, 공기흡음 처리에 사용되는 거리는 현재의 음원 청취자 사이의 거리에 녹음거리를 뺀 거리로 산출된다. 그림 3 에서 현재 사용되는 거리(a)에 대해 녹음거리만큼 쉬프트시킨 거리(b)에 의해 공기흡음 감쇠를 산출하면 녹음거리에 대한 공기흡음 감쇠가 해결될 수 있다[4].

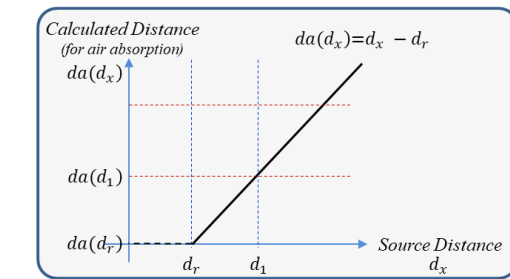
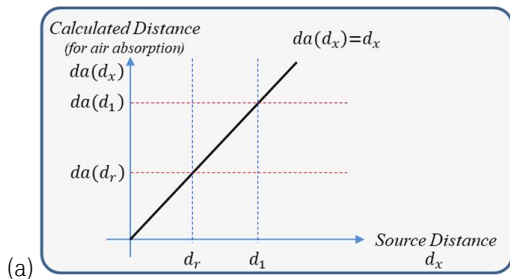


그림 3. 녹음거리(d_r)로 쉬프트하여 거리를 산출하는 방법

그림 3(a)에서 (b)로 거리를 녹음거리만큼 쉬프트 시킴으로써, 녹음거리가 적용된 공기흡음을 산출할 수 있지만, 녹음거리보다 가까운 거리에 대해서는 아직 값이 결정되어 있지 않다. 이를 결정하는 방법은 다양하게 있을 수 있지만, 녹음거리보다 가까운 거리를 모두 0m 로 대체하는 방법과 쉬프트한 거리 직선의 연장선을 사용하는 방법이 고려될 수 있다. 이중 후자의 경우는 산출된 거리값이 음수가 되게 되는데, 이는 공기흡음 감쇠값을

음수로 만들어 증폭되는 효과를 가지게 된다.

이러한 음의 거리에 의한 증폭효과는 이론적으로 녹음거리보다 가까운 거리에 대하여 녹음된 음원의 공기흡음 감쇠를 보상하는 역할이므로 문제가 없다. 다만, 이 증폭효과가 고주파 영역의 원하지 않은 클리핑을 발생시킬 수 있다는 문제가 있다. 이를 해결하기 위해서는 각 주파수 대역별로 20dB 이상의 증폭이 발생하지 않도록 제한할 필요가 있다. 이 경우에도 클리핑이 발생할 수 있지만, 빈도수가 낮아 렌더러 후단에 있는 리미터에 의해 효과적으로 클리핑을 제거할 수 있다.

그림 4 에서는 제트기 소음에 대하여 녹음거리를 90m 로 가정하고 녹음거리만큼 보상하였을 때의 스펙트럼(b)을 원음의 스펙트럼(a)과 비교하여 나타낸다. 그림 4(b)에서 보면 대략 3kHz 이상 대역의 고주파 성분이 증폭되어 있는 것을 확인할 수 있으며, 실제로 청취해 본 결과 고주파 성분이 자연스럽게 강조되어 있는 것을 확인할 수 있었다.

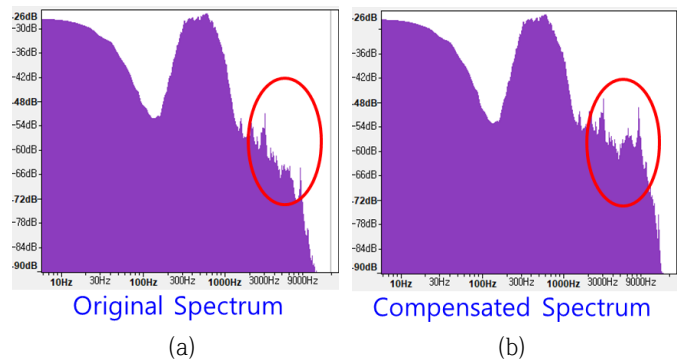


그림 4. 녹음거리 보상에 의한 고주파 성분의 증폭 현상

3.3 녹음거리를 적용한 공기흡음 처리 구현

현재 RM0 의 공기흡음 처리 구현은 아래 소스코드와 같이 되어 있으며, 각 주파수 대역 별로 1m 거리에 대한 공기흡음 감쇠계수에 m 단위의 음원 청취자 사이의 거리를 곱하는 것으로 공기흡음 감쇠량을 산출하도록 되어 있다. 이에 수정된 구현에 따르면, 음원 청취자 사이의 거리에 녹음거리(RecDistance)를 빼줌으로써, 녹음거리에 의한 공기흡음 감쇠를 보상할 수 있다.

```
// calculate and apply medium attenuation
// absorptionAlpha[i] : absorption coefficient of 1[m] for i-th frequency band
// dist : distance in meter from source to listener
// RecDistance : recording distance in meter
if (item->changed & ItemProperty::Position
    || (item->position.cSpace != EAR::Cspace::LCS && renderList.listener.hasMoved)
    || item->changed & ItemProperty::Status) {
    for (int i = 0; i < nBand; i++) {
        // TODO: make cheaper with lookup
        //ItemEqs[item->idx][i] = std::pow(10.0, (absorptionAlpha[i] * dist) / 20.0); // replaced by
        ItemEqs[item->idx][i] = min(std::pow(10.0, (absorptionAlpha[i] * (dist - RecDistance)) / 20.0), 10);
    }
    // indicate that eq is going to change
    item->changed |= ItemProperty::Eq;
}
```

또한, 고주파 성분의 과도한 증폭에 의한 클리핑을 방지하기 위하여 증폭 제한치인 20dB 를 비율로 환산한 값인 10 과 산출된 공기흡음 감쇠 값을 비교하여 더 적은 값을 사용하도록 $\min()$ 함수를 사용하였다. 이러한 수정은 기존 소스코드와 비교하여 매우 적은 수정이므로 렌더러의 연산량을 거의 증가시키지 않는 것으로 파악되며, 녹음거리보다 가까운 거리에 대해서도 녹음된 음원의 고주파 성분을 감쇠시키는 공기흡음 감쇠를 보상하는 효과를 가지므로 매우 효과적인 공기흡음 처리 방안이라고 할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 6 자유도의 공간음향 렌더링에 있어 음원과 청취자 사이의 거리에 의해 발생하는 공기흡음 감쇠 효과를 처리함에 있어 녹음거리에 의해 기본적으로 포함되는 공기흡음 감쇠에 의한 음색 변화를 해결하기 위한 방법을 제안하였다.

2022 년 7 월에 개최된 MPEG 회의를 통하여 기본 개념을 제안하였으며, 녹음거리의 적용에 대해 긍정적인 반응을 얻을 수 있었다. 회의를 통해 제기된 추가 고려사항으로는 이러한 녹음거리에 의한 공기흡음 감쇠의 보상을 인코더에서 수행하면 렌더러를 수정하지 않아도 된다는 것과, 렌더러에서의 연산량이 얼마나 늘어날지 분석해 보아야 한다는 것이었다[5].

녹음거리에 의한 공기흡음 감쇠의 보상을 인코더에서 수행하게 되면, 음원이 변하게 되어 렌더러의 모든 효과 및 성능에 영향을 미칠 수 있으며, 2 장에서 기술한 바와 같이 녹음거리가 먼 경우, 과도한 공기흡음에 의한 클리핑 발생 가능성이 있고, 이를 해결하기 위한 고주파영역의 증폭 제한에 의해 인코더에서 전송된 음원의 음색이 원음과는 다르게 되는 문제가 있다는 것을 확인하였다. 또한, 렌더러의 연산량 증가는 극히 적을 것으로 예상되어 차기 회의를 통하여 추가 제기된 고려사항들을 해소할 수 있을 것으로 예상되며, MPEG-I Immersive Audio 렌더러의 성능 향상에 일조할 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] MPEG Audio, "Second version of Text of MPEG-I Audio Working Draft of RM0," N0147, ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 6, 2022. 07. 29.
- [2] ISO International Standard, "Acoustics - Attenuation of Sound during propagation outdoors -Part 1: Calculation of the absorption of Sound by the atmosphere," ISO 9613-1, First edition, 1993. 06. 01
- [3] ITU-R Recommendation, "Method for the subjective assessment of intermediate quality level of audio systems," ITU-R Recommendation BS.1534, 2015. 10.
- [4] Daeyoung Jang et al., "Thoughts on recording distance parameters for air absorption processing," m60440, ISO/IEC JTC1/SC29/WG6, 2002. 07.
- [5] Schuyler Quackenbush, "Report on the 8th Meeting of WG 6 MPEG Audio Coding," N0140, ISO/IEC JTC1/SC29/WG6, 2022. 07.