

# 헤드폰 기반의 공간감반영 입체음향 생성에서의 음상정위 오차 Sound localization error in headphone-based spatial sound reproduction

정지현† · 박영진\* · 박윤식\*\*

Jihyeon Jeong, Youngjin Park and Youn-sik Park

## 1. 서 론

멀티미디어 콘텐츠가 발전함에 따라 입체음향 시스템에 대한 관심이 높아지고, 최근 그 사용이 증가하는 휴대폰과 같은 소형 단말기의 서비스에도 반영될 전망이다. 지금까지의 대부분의 입체음향 시스템은 다채널 스피커 기반에서 적용되어 왔으나, 소형 단말기를 통한 음향 재생, 또는 협소한 공간에서의 재생을 위해서는 헤드폰과 같은 2채널 기반의 재생 기법이 요구된다. 이러한 기법은 단일 음원에 대한 신호처리를 각 채널별로 적용함으로써 구현 가능하다. 입체감을 부여하기 위해 일반적으로 머리전달함수(Head Related Transfer Function, HRTF)를 이용하여 방향감을 가진 음상정위를 구현하고, 룸 임펄스 응답(Room Impulse Response, RIR)을 이용하여 실내에서의 반향 특성이 반영된 반사음을 생성해 공간감을 추가하는 과정을 거친다. 그러나 반사음이 더해진 입체음향은 그 음상정위에 있어 오차가 발생하여 실제감을 저하시킬 수 있다.

본 논문은 이론적인 해석을 통해, 생성된 반사음이 공간감과 음상정위에 미치는 영향을 분석하고, 이를 고려하여 음상정위 오차를 줄이고 공간감을 보존할 수 있는 방법을 제안한다. 이를 위해 시간영역에서의 반사음 필터를 설계하였다.

## 2. 본 문

### 2.1 제 1파면의 법칙을 통한 공간감 해석

인간의 청각 시스템에서 음향의 공간감을 지각할 수 있는 주된 요인은 청취 공간에 위치한 벽면에 의한 반사음의 존재이다. 이러한 공간감의 요소는 크게 음원 넓이감(Apparent Source Width)과 청취 포위감(Listener Envelopment)으로 나뉘지며, 각각 초기반사음과 후기반사음의 에너지 비율로 평가할 수 있다고 알려져 있다. 일상의 대화의 경우 지연시간 50ms, 음악의 경우 80ms를 경계로 초기와 후기반사음을 구분하고 있다. 입체음향 재생에 있어 공간감을 부여하기 위해 반사음을 생성하여 줄 경우, 음상정위에 있어 오차가 발생하게 된다고 알려져 있다.<sup>(1)</sup>

이러한 사실들은 제 1파면의 법칙(Law of the First Wavefront)<sup>(2)</sup>을 통해 해석이 가능하다. 법칙에 따르면 서로 다른 방향에서 동일한 두 음원이 시간차를 두고 발생할 때, 그 지연시간이 증가함에 따라 생성되는 음상의 위치는 선착하는 음원의 위치 쪽으로 이동하게 되고, 그 위치가 실제 음원의 위치에 도달하면 특정 지연시간 범위동안 선착 음원만을 인지한다. 이후 지연시간이 특정 임계값을 초과시 두 음원은 분리되어 에코로 지각한다. 이 임계값을 에코임계값(Echo Threshold)라 하며, 일상 대화의 경우 50ms로 알려져 있다.

초기 반사음이 존재할 경우 직접음과 반사음이 혼합되어 음상의 위치는 실제 음원의 위치에서 벗어나게 되고, 이에 따라 청취자는 음원 넓이감을 느끼게 되나, 입체음향의 음상정위에 오차가 야기된다. 후기 반사음이 존재할 경우 직접음과 반사음은 분리되어 에코를 인식하고 직접음 대 반사음의 비율을 통해 청취 포위감을 지각하고, 정위 오차는 발생하지 않는다. 예비 실험을 통해, 직접음 음원과 시간차를 가진 반사음 음원을 생성할 때, 그 시간차에 따라 음상정위 오차의 정도 차이를 확인하였다.

† 교신저자; KAIST 기계공학과  
E-mail : jjh0441@kaist.ac.kr  
Tel : 042-350-3060, Fax : 042-350-8220

\* KAIST 기계공학과

\*\* KAIST 기계공학과

## 2.2 음상정위 오차 개선을 위한 필터 설계

제 1파면 법칙에 의하면, 공간감의 두 요소의 원인은 독립적인 것으로, 초기반사음의 크기를 조절하더라도 청취 포위감에 영향이 없고, 마찬가지로 후기반사음은 음원 넓이감과 무관하다. 이를 이용해 초기반사음을 감쇄시켜 음상정위의 오차를 줄이고, 공간감의 증추적 인자인 청취 포위감은 보존하는 것이 가능하다.

이를 구현하기 위해, 룸 임펄스 응답을 필터링하여 에코임계값 이하의 시간대역을 감쇄된 반사음을 생성한다.



Figure 1 Signal model of filtered reflected sound

그림 1은 필터를 적용하여 보정이 된 반사음을 포함하는 신호를 출력하는 구성으로 컨볼루션 연산은 다음과 같다.

$$x_{R,L}(t) = s(t) * HRIR_{R,L}(t) + s(t) * BRIR_{R,L}(t)F(t) \quad \dots\dots\text{식}(1)$$

여기서  $s(t)$  는 음원신호,  $x(t)$  는 필터링된 출력신호,  $HRIR(t)$  은 특정 방향의 시간영역 머리전달함수 (Head Related Impulse Response),  $BRIR(t)$  은 특정 방향의 바이노럴 룸 임펄스 응답(Binaural Room Impulse Response)을 의미한다. 필터  $F(t)$  는 계단함수를 이용하여 에코임계값 이하의 반사음을 제거하도록 설계하였다.

$$F(t) = u(t - \tau), \quad \tau : \text{에코임계값} \quad \dots\dots\text{식}(2)$$

제안된 방법을 이용하면 공간감이 반영된 입체음향의 재생에 있어 정위 오차를 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 추후에는 성능을 평가하기 위해 다수의 청취자를 대상으로 청감평가를 실시할 예정이다.

## 3. 결 론

본 논문에서는 청각시스템에서 인지되는 공간감과 초기/후기 반사음의 관계를 이론적인 접근을 통해 해석하였다. 가설을 바탕으로, 헤드폰 기반의 공간감반영 입체음향 생성에서 발생하는 음상정위의 오차의 원인을 분석하고, 이를 개선하기 위한 방법을 제안하였다. 기존의 반사음 생성 방법에 시간 영역 필터를 적용함으로써, 음상정위 오차의 원인이 되는 초기 반사음을 감쇄하는 방식을 사용하였다. 이 경우 청취 포위감에는 영향이 없기 때문에 오차를 줄임과 동시에 공간감을 보존하는 것이 가능할 것이다. 본 방법은 성능 확인을 위해 청감평가가 필요하다. 또한 음상정위 위치에 따른 에코임계값의 변화를 적용할 수 있는 향후 연구가 필요하다.

## 후 기

이 논문은 정부(지식경제부)의 재원으로 산업융합 기반구축사업의 지원(No. 10037244) 및 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.2012-0000975).

## 참 고 문 헌

- (1) Begault, Durand R. "Perceptual effects of synthetic reverberation on three-dimensional audio systems." *Journal of the Audio Engineering Society* 40.11 (1992): 895-904.
- (2) Litovsky, Ruth Y., et al. "The precedence effect." *The Journal of the Acoustical Society of America* 106 (1999): 1633.
- (3) Litovsky, Ruth Y., et al. "The precedence effect." *The Journal of the Acoustical Society of America* 106 (1999): 1633.