

# 입체 음향 구현을 위한 방법론의 비교 분석

이 희종, 김 기홍<sup>o</sup>, 김 풍민, 김 현빈  
시스템공학연구소 감성공학연구부  
대전광역시 유성구 어은동 1번지 305-333  
lhc@seri.re.kr

## Comparative Analysis of Methods for Implementing 3D Sound

Hee Chong Lee, Ki Hong Kim<sup>o</sup>, Poong Min Kim, Hyun Bin Kim  
Dept. of Human Computer Interface, SERI  
Ueun dong 1 Yusung-gu Taejon, Korea 305-333  
lhc@seri.re.kr

### 요 약

청취자가 음원의 위치와 방향을 감지할 수 있도록 원하는 지점에 음상을 정위시키는 일과 특정 공간내에서 방사되는 음원의 반사와 확산효과를 모델링하여 가상 공간 음향을 실현하는 일을 효과적으로 접목시키기 위한 3가지 유형의 입체음향 생성방법을 제시한다. 그리고 각 방법의 유효성 및 적합성을 검토하기 위해 실시한 심리음향 평가방법과 그에 대한 결과를 토대로 생성방법들간의 성능을 비교 평가한다.

### I. 서 론

음향기술의 진보로 시간과 장소에 관계없이 음악을 즐길 수 있게 된 지금, 가상현실, 멀티미디어, 영화 등 다양한 분야에서 3차원 영상 및 컴퓨터 그래픽에 대응하여 보다 나은 현실감을 제공할 수 있는 입체 음향에 대한 요구가

급증하고 있다. 입체 음향은 청취자가 발생 음원에 대해 방향감, 거리감, 공간감과 같은 공간 음향 정보를 지각할 수 있는 음향을 말하는 것으로 크게 두 가지의 기술 즉, 음상정위기술과 음장제어기술에 의해 구현될 수 있다. 전자는 음원에 위치나 방향성을 부가하여 입체감이 느껴지게 하는 기술이고 후자는 음원이 속한 특정한 음향적 환경을 모사하여 충실한 현장감을 재생하고자 하는 기술이다. 본 논문에서는 언급한 두 가지의 기술을 모두 적용하여 음원에 실감효과를 부여할 경우, 선행처리하는 기술의 종류에 따라 생성되는 입체음향의 효과가 달라질 수 있음을 보이고 그 결과를 통해 생성방법들의 장단점을 비교분석하고자 한다.

### II. 입체음향의 구현

입체음향은 청각에 공간 배치 정보를 부가하여 청취자로 하여금 현장 몰입감

을 느끼게하는 것을 목적으로 하며 생성에 요구되는 기술은 크게 음원의 위치제어와 관련한 음상정위(Sound Localization)기술과 청취자가 속한 공간의 특성을 반영하기 위한 음장제어(Sound Field Control)기술로 구분할 수 있다.

### 1. 음상정위기술

실생활에서 인간은 어떠한 소리를 들었을 경우 단지 두 귀만으로도 그것이 3차원 공간상의 어느 지점으로부터 들려오는지를 정확히 감지할 수 있다. 인간이 경험하는 이러한 자연스러운 음원정위 능력은 위치감, 방향감과 같은 공간 지각 단서들의 수학적 모델링을 통해 어느 정도 구현할 수 있는데 이를 위해, 이른바 머리전달함수(HRTF; Head Related Transfer Function)라고 일컫어지는 요소가 중요한 역할을 담당한다. 이는 소리가 인간의 양쪽 두 귀에 도달하기전 겪게 되는 반사와 회절에 관계된 복잡한 과정의 정보를 포함하고 있는 물리적 단서로서 입체음향 생성시 음원의 스펙트럼 특성을 변화시키는 필터로 사용되어 위치와 방향 특성이 반영된 음을 생성할 수 있게 한다. 그림 1은 이동 음상의 구현을 위해, 언급한 머리전달함수와 음원간의 중첩합산방법(Overlap and Add method)에 의한 필터링 과정을 보인 것이다. 이 경우  $h_n(n)$ 은 소리의 이동경로에 상응하는  $n$ 번째 머리전달함수를,  $x_n(n)$ 은 일정 길이의 블록으로 분할된 음원의  $n$ 번째 블록을 나타내며 둘 간의 연속적인 필터링을 통해 원하는 방향으로

이동하는 음상을 구현해 낼 수 있다.

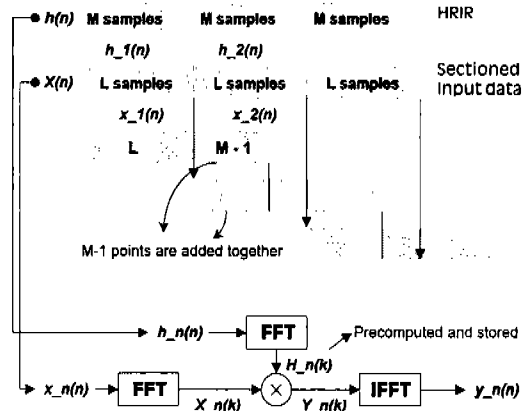


그림 1 이동음상 구현을 위한 필터링

### 2. 음장제어기술

어떤 실내공간에서 소리가 방사되면 소리는 모든 방향으로 전파되고 벽, 천정, 바닥, 공기 등에 의해 흡수, 반사되어 우리의 귀에 도달하게 된다. 이때 공간의 형태 및 벽면을 구성하는 재질의 흡음률 등에 따라 전파되는 소리는 공간 환경에 의존하는 왜곡 특성을 보이게 되며 이를 통해 청취자는 거리감이나 공간감을 지각하게 된다. 똑같은 악기를 콘서트 홀이나 리스닝 룸 등 각기 다른 장소에서 연주할 경우, 느껴지는 분위기가 다른 것은 바로 이러한 이유에 기인한 것이다. 일반적으로 음장을 통한 거리감과 공간감의 인지에 필요한 중요 단서중의 하나로 잔향(Reverberation)을 들 수 있는데, 이것은 실내에서 발생한 음원의 에너지가 순식간에 없어지지 않고 시간 경과에 따라 점차로 사라지는 물리적인 현상을 일컫는 말로서 그것의 물리량인 잔향시간은 음장의 분석과 제어에 필요한 지배적인 요소로 알려져 있다. 음파가

실내의 공간 경로를 진행하면서 여러 벽면 등에 부딪칠 때 반사 내지 흡수되는 상황과 소리의 확산 느낌을 제공하는 잔향 효과를 표현하기 위해서 여러 방법이 시도되고 있는데 그림 2는 피드백을 통해 음의 크기와 위상을 변화시키는 빗형 필터(Comb filter)와 잔향의 조밀성을 기하기 위한 전역통과 필터(Allpass filter)를 조합해서 현실감있는 음장을 구현하는 한 예를 보여주고 있다. 그림에서 D1~D4, D\_a는 각 필터의 시간지연을, G1~G4, G\_a는 이득을 그리고 W는 음원과 청취자간의 거리를 모델링하기 위한 가중치값(Weighting factor)을 각각 나타낸다.

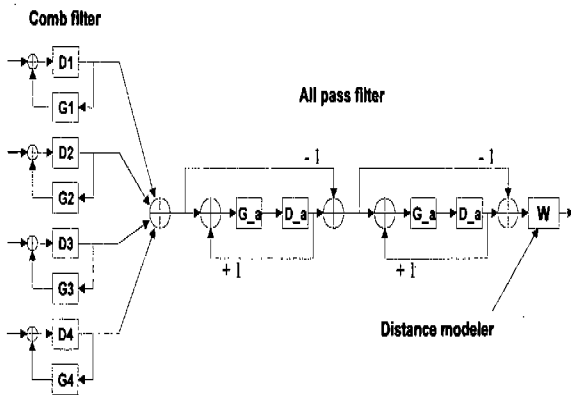


그림 2 잔향 효과의 구현을 통한 음장제어

### III. 입체음향생성을 위한 방법론

방향감, 거리감, 공간감과 같은 여러 공간적 단서(Spatial Cues)들을 아무런 효과도 가미하지 않은 음원(Dry sound)에 부여하여 현실감이 느껴지게 하기 위해서는 앞서 언급한 음상정위와 음장제어의 2가지 요소기술의 적절한 조합이 요구된다. 이 절에서는 입체음향을 생성하기 위해서 각 요소기술을

어떠한 순서로 적용하는 것이 좀 더 나은 실제감을 표현할 수 있는가에 중점을 두어 생성 방법을 3가지 경우로 분류하고 각각의 경우에 대해 얻어진 심리 음향학적인 청취결과를 비교 검토함으로써 그 성능에 대한 평가를 하고자 한다. 평가에 사용된 제반사항에 대한 세부 환경은 아래와 같다.

#### 가. 청취 시료 및 환경

- 청취 평가용 음원
  - 무향실에서 녹음
  - 여자 음성(약 6초), 피아노 음(약 6초)

#### ● HRTF DB

MIT Media Lab.이 KEMAR Dummy head를 이용해서 청취자 주변의 712지점에 대해 측정하여 마련한 Compact DB

- 피험자(Subject) 10명 (20대 8명, 40대 2명)

#### ● 헤드폰

k-500 헤드폰

#### ● 청취 평가 장소

리스닝 룸(Listening Room): 시스템공학연구소내 음향실

#### 나. 알고리즘

##### ● 음상정위

- HRTF Tap수 : 128 Taps
- HRTF 개수 : 72개, 고도각: 0°, 수평각: 0° ~ 360°
- 음원의 한 블록 길이: 897샘플
- FFT point수: 1024 points
- 필터링 방법 : 중복합산방법을 이용한 블록 필터링

##### ● 음장제어

- 빗형 필터의 시간지연(D1 ~ D4) :  
1543, 1720, 2117, 2426 샘플
- 빗형 필터의 이득(G1 ~ G4) :  
0.9, 0.75, 0.68, 0.53
- 전역통과필터의 시간지연(D\_a) :  
1 샘플
- 전역통과필터의 이득(G\_a) : 0.7
- 가중치값(W): 0.45

서로간의 차이점을 느끼게한다.

- 유형 1~유형 3까지의 각 결과를 순서대로 들려주고(2회 반복) 위치감과 방향감에 대한 지각정도, 공간감에 대한 지각정도, 조화로우미 정도를 상·중·하 3단계로 평가하여 준비된 sheet에 표기하게 한다

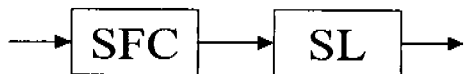
**다. 입체음향 생성방법**

- Cascade interconnection

유형 1: 음상정위 후 음장제어를 한 경우

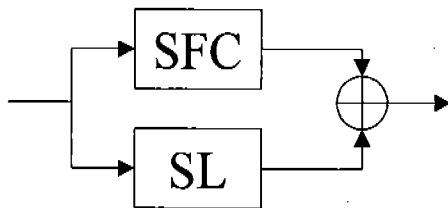


유형 2: 음장제어 후 음상정위를 한 경우



- Parallel interconnection

유형 3: 음상정위 결과와 음장제어 결과를 Mixing 한 경우



여기서,

SL: Sound Localization,  
SFC: Sound Field Control 이다.

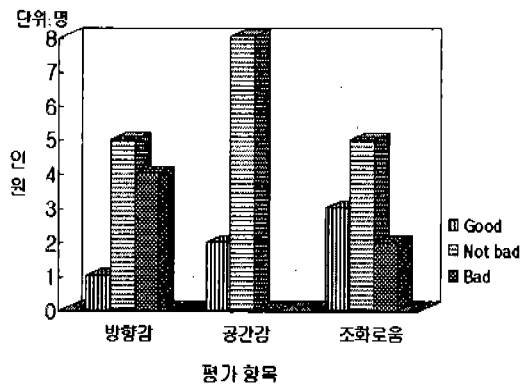
**라. 청취 실험방법**

- 무향실에서 녹음된 음원, 음상정위된 음원 그리고 음장제어된 음원을 피험자에게 헤드폰을 통해 각각 들려주고

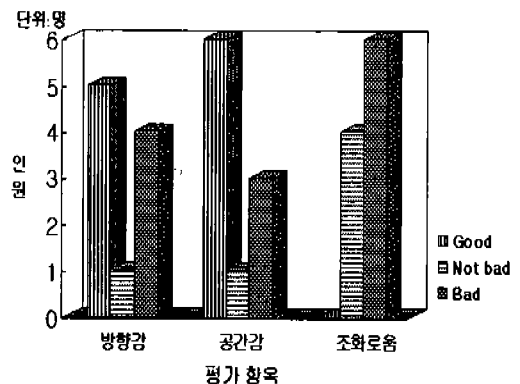
**IV. 실험 결과 및 고찰**

III절에서 언급한 3가지 입체음향생성 방법에 대한 청취자의 심리음향 평가 결과를 아래 그림에 나타내었다.

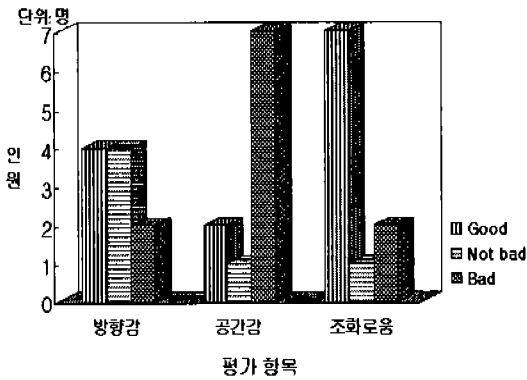
유형 1 방법에 대한 청취평가



유형 2 방법에 대한 청취평가



유형 3 방법에 대한 청취평가



그림에서 보듯이 유형 1, 2와 같은 Cascade 연결에 의한 방법의 결과는 방향감과 공간감의 지각에 우세한 반면 조화로움의 정도가 떨어지며 음상정위와 음장제어에 의한 독립된 두 결과를 Mixing한 유형 3의 결과는 공간감을 잘 표현하지 못하는데 비해 청취느낌에 있어 가장 조화롭고 부드럽다고 응답한 피험자가 많았다. 유형 1과 2를 좀 더 자세히 비교해 보면 음장제어를 한 후 음상정위과정을 거치는 유형 2의 경우는 방향감을, 음상정위를 한 후 음장제어과정을 적용한 유형 1의 경우는 공간감을 상대적으로 더 잘 감지할 수 있게 하는 것으로 보아 강조하고자 하는 효과에 해당하는 기술을 후처리 과정에 두는 것이 적합한 것으로 판명되었다. 그러나 방향감이나 공간감 어느 한쪽에 치중하지 않으면서 전반적으로 두 효과가 조화를 이루어 청취느낌을 개선시키기를 기대한다면 유형 3과 같이 두 신호를 Mixing하는 방법을 채택하는 것이 바람직하리라 여겨진다. 따라서 방향감이나 공간감의 효과를 부가한 입체음향을 생성하고자 할 경우는 사용자의 요구에 따라 적절한 생성방법을 선택하는 것이 목적에 부합된 입체음향을 구

현는데 지배적 요인으로 작용할 것 같다.

### [참고 문헌]

- [1]F. Alton Everest, "The Master handbook of Acoustics" 3rd Edition, Division of McGraw-Hill, Inc.,1994.
- [2]Durand R. Begault, "3D SOUND" , Academic Press, Inc., 1994.
- [3]Bill Gardner and Keith Martin, "HRTF measurements of a KEMAR Dummy-Head Microphone", MIT Media Lab Perceptual Computing -Technical Report #280, May, 1994.
- [4]Paul M. Embree, Bruce Kimble, "C Language Algorithms for Digital Signal Processing" , Prentice Hall Inc., 1991.
- [5]Paul M. Embree, "C Algorithms for Real Time DSP" , Prentice Hall Inc., 1995
- [6]강 성훈, 강 경옥, "입체음향(Spatial Audio)" , 기전연구사, 1997.
- [7]강 성훈, "방송 음향(Broadcast Sound Engineering)" , 기전연구사, 1997.