

자체발성음을 이용한 실내공간정보 획득 및 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법

준회원 김 영 문*, 정회원 유 승 수*, 이 기 승*, 종신회원 김 선 용*

A Space Skew and Crosstalk Cancellation Scheme Based on Indoor Spatial Information Using Self-Generating Sounds

Yeongmoon Kim *Associate Member,*

Seungsoo Yoo, Ki-Seung Lee *Regulars Member,* Sun Yong Kim *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 자체발성음을 이용한 실내공간정보 획득과 이를 이용한 공간뒤틀림 및 상호간섭 제거기법을 제안하였다. 제안한 기법은 자체발성음 기반 청취자 위치추적 부분과 공간뒤틀림 및 상호간섭 제거 부분으로 구성된다. 각기 다른 아는 위치에 있는 마이크로 수신한 청취자 자체발성음의 도달지연시간차를 추정-상관기를 사용해 추정하고, 추정된 도달지연시간차를 사용해 테일러 급수 추정법으로 청취자 위치해를 구한다. 이렇게 얻은 공간정보를 바탕으로 청취자위치의 머리전달함수를 얻고, 이를 활용해 공간뒤틀림 및 상호간섭을 제거한다. 제안한 기법의 성능평가를 위해 남성 및 여성 각 50명씩, 모두 100명의 자체발성음 데이터베이스를 구축하였으며, 100명이 각각 10회씩 생성한 자체발성음을 위치추적 성능평가에 사용하였다. 평가결과 음향효과의 차이를 느끼지 못하는 평균제곱측위오차가 $0.07m^2$ 이내일 확률이 약 70%~90%로 나타났다. 그리고 공간뒤틀림 및 상호간섭 제거기법의 성능평가를 위해 실시한 주관평가에서 약 70%의 평가자가 음향효과가 개선된 것으로 평가하였다.

Key Words : Adaptive stereo sound system (A-Sound), Space skew and crosstalk cancellation (SS/CC), Listener position tracking (LPT), Self-generating sounds, Time-difference-of-arrival, and Sweet spot.

ABSTRACT

In this paper, a method of removing the space skew and cross-talk cancellation is proposed where the self-generated signals from the subject are used to obtain the subject's location. In the proposed method, the good spatial sound image is maintained even when the listener moves from the sweet spot. Two major parts of the proposed method are as follows: listener position tracking using the stimuli from the subject and removal of the space skew and cross-talk signals. Listener position tracking is achieved by estimation of the time difference of arrival (TDoA). The position of the listener is then computed using the Talyer-series estimation method. The head-related transfer functions (HRTF) are used to remove the space skew and cross-talk signals, where the direction of the HRTF is given by the one estimated from the listener position tracking.

The performance evaluation is carried out on the signals from the 100 subjects that are composed of the 50

※ 본 연구는 2단계 BK21 사업과 과학기술부 한국과학재단 특정기초연구과제(R01-2008-000-12271-0)의 지원으로 수행되었습니다.

* 건국대학교 전자정보통신공학부 (kimsy@konkuk.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-01-022, 접수일자 : 2010년 01월 22일, 최종논문접수일자 : 2010년 2월 8일

female and 50 male subjects. The positioning accuracy is achieved by 70%~90%, under the condition that the mean squared positioning error is less than $0.07m^2$. The subjective listening test is also conducted where the 27 out of the 30 subjects are participated. According to the results, 70% of the subjects indicates that the overall quality of the reproduced sound from the proposed method are improved, regardless of the subject's position.

I. 서 론

최근 멀티미디어 기술은 비약적으로 발전하고 있다. 특히, 디지털 고화질 텔레비전의 대중화와 블루레이, 고화질 디지털비디오디스크 등 차세대 영상매체 보급에 따른 고품질의 영상과 함께 고품질의 음향에 대한 요구가 증가되고 있다. 3차원 입체음향기술은 이러한 요구를 가장 최적으로 맞추어 줄 수 있는 기술이다. 입체음향이란 음원이 발생하지 않은 공간에 위치한 청취자가 음향을 들었을 때 방향감, 거리감, 공간감을 지각할 수 있도록 공간정보가 부가된 음향을 말한다^[1]. 특히 2채널 스피커를 이용한 3D 입체 음향 기술은 주로 미국, 일본 등 몇몇 국가를 중심으로 발달되어 왔다. 입체 음향을 구현하기 위한 기술로는 기존의 스테레오 사운드에 입체 음향 지원기능을 추가하는 방법과 사람의 음향 지각 특성인 머리전달함수를 (head related transfer function: HRTF) 이용하여 음원의 공간감을 부여하는 방법이 있다. 기존의 스테레오 사운드에 입체 음향을 지원하는 기술은 음원의 직진 성향이나 재생 폭만을 강화시켜 2채널 스피커로 4채널 (전, 후, 좌, 우) 효과를 보임으로써 진정한 의미에서는 3차원 음향 기술이라고 하기에는 무리가 있다. 반면에 사람의 청각특성을 이용한 HRTF 음원생성 기술은 인간의 심리음향 특성에 부합하는 기술로 청취자의 머리 움직임까지도 고려한 진정한 의미의 입체 음향 구현 방법이다^[2]. 본 논문에서는 HRTF 음원생성 기술에 초점을 맞춘다.

입체음향의 요소기술로는 음원의 위치를 원하는 가상위치에 정위시키는 음상정위 (sound image localization), 음원공간을 가상으로 생성하는 음장제어 (sound field control), 핵심 공간정보인 청취자 위치를 결정하는 음향 측위, 2개 이상의 스피커 청취 시 각 스피커 간 음향의 상호간섭제거 등이 있다. 이 가운데 음상정위, 음장제어, 상호간섭제거 기술은 청취자가 항상 최적청취위치에 있음을 가정한다. 그러나 청취자는 스피커의 유효공간 내 어디에도 위치할 수 있으며 이에 따라 음원의 공간감이 변화하게 된다. 따라서 입체음향을 구현하기 위해서는 반드시 청취자의 위치정보가 요구된다^[3].

청취자의 위치정보를 획득하기 위한 기술로는 카메라를 이용한 영상정보에 기반을 둔 측위기술 (vision-based listener position tracking), 레이저를 기반으로 하는 측위기술 (laser-based listener position tracking), 초음파와 적외선센서를 활용한 측위기술 (infrared/ultrasonic-based listener position tracking) 등이 있다^[4,5,6]. 이와 같은 기술은 마이크와 스피커로 구성된 음향시스템외에 별도의 장치가 필요하다. 이에 본 논문에서는 별도의 추가적인 장치 없이 위치정보를 획득할 수 있는 자체발성음 기반 청취자 위치 추적기술을 제안한다. 자체발성음으로는 음성, 휘파람소리, 손가락딱소리, 박수소리 등이 있다. 음성은 거의 모든 사람이 발생시킬 수 있으나 종류가 상당히 다양하고 복잡해 측위에 사용하기 어렵다. 휘파람소리와 손가락딱소리는 (finger snap) 모든 사람이 발생시킬 수 없다. 그러나 박수소리는 거의 모든 사람이 발생시킬 수 있으며, 종류가 제한적이고 단순해 측위를 위한 음원으로 적합하다^[7]. 본 논문에서는 측위를 위한 음원으로 박수소리를 사용한다.

제안한 기법은 자체발성음기반 청취자 위치추적 (the self-generating sounds-based listener position tracking: SS/LPT) 부분과 공간뒤틀림 및 상호간섭 제거 (space skew and crosstalk cancelation: SS/CC) 부분으로 구성된다. SS/LPT는 각기 다른 이는 위치에 있는 마이크로 수신한 청취자 자체발성음의 도달지연시간차를 (time-difference-of-arrival: TDoA) 추정-상관기를 사용해 추정하며, 이렇게 얻은 TDoA를 사용해 테일러 급수 추정법으로 청취자 위치해를 구한다^[8,9]. 그리고 SS/CC는 SS/LPT로부터 얻은 공간정보 바탕으로 청취자위치의 HRTF를 얻고, 이를 활용해 공간뒤틀림 및 상호간섭을 제거한다. 여기서 HRTF는 자유 공간 상에서 음원과 귀 간의 경로를 모델링하는 함수로서, 음상의 공간화와 (sound localization) 관련된 중요한 음향 매개변수이다. 본 논문에서는 [10]의 UC davis에서 측정된 HRTF 데이터베이스를 기반으로 하여 시스템을 구성한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 스테레오 시스템의 청취모형에 대해 소개한다. III장과

IV장에서는 청취자가 스피커의 유효공간 내 어느 위치에서도 동일한 공간감을 갖도록 SS/LPT와 SS/CC부분으로 나누어 구성된 새로운 적응형 스테레오 사운드 시스템을 제안하고, 실측실험을 통해 제안한 SS/LPT의 측위정확도를 평가한다. 그리고 주관적 평가를 바탕으로 제안한 자체발성음 기반 청취자 공간정보를 이용한 적응형 스테레오 사운드 시스템의 성능을 검증한다. 끝으로 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 스테레오 시스템의 청취모형

실내음향시스템에서 스테레오 사운드는 양쪽 스피커와 청취자간에 정삼각형 모양이 되도록 배치하였을 때 최적 사운드를 제공한다. 이때 삼각형의 꼭짓점에 위치한 청취자의 위치가 최적청취위치가 되며, 이러한 정삼각형 구조는 정확한 스테레오 이미지 재현을 가능하게 한다. 이때 홈시어터시스템과 같은 실내음향시스템의 경우 스피커의 배치는 벽과의 거리는 거의 무시되고 스피커간 거리, 또는 스피커와 청취자와의 거리가 최적 스테레오 사운드 제공을 위한 배치의 결정적인 요소가 된다^[11].

그림 1은 스테레오 최적 사운드 청취환경과 일반 청취환경에서의 청취모형이다. 이때, 두 스피커와 청취자의 위치는 지면과 평행한 평면에 있다고 가정한다. 즉, HRTF는 방위각만을 고려한다. 최적 청취환경에서 청취자의 위치는 $(\rho^o, 0)$ 이며, θ_L^o 과 θ_R^o 은 청취자와 좌우 스피커를 잇는 직선을 향한 법선을 기준으로 좌우 스피커와 최적청취위치를 잇는

직선의 사잇각이다. 본 논문에서는 특별한 언급이 없는 경우 극좌표계를 (polar coordinate system) 사용한다.

그림 1에서 청취자를 둘러싼 굵은 선의 원은 Sweet Spot으로, 여러 음향효과를 동일하게 느낄 수 있는 공간상의 가상구체로서, 다른 말로 등역이라 (equalization zone) 한다^[12]. 즉, 이 공간 안에서 청취자는 음향효과와 차이를 느끼지 못한다. 따라서 Sweet Spot의 반경은 음향측위의 정확도를 제한하는 기준으로 사용된다. 스테레오 스피커의 유효공간 안에서 Sweet Spot의 반경은 $0.07m^2$ 이다^[12].

최적청취위치에서 왼쪽과 오른쪽 귀에 수신되는 음향신호 $r_L^o(t)$ 와 $r_R^o(t)$ 는 식 (1)과 식 (2)처럼 나타난다. 본 논문에서 ‘O’는 최적청취위치에서의 성분을 나타낸다.

$$r_L^o(t) = h_L(\theta_L^o) s_L(t - \tau^o), \quad (1)$$

$$r_R^o(t) = h_R(\theta_R^o) s_R(t - \tau^o), \quad (2)$$

여기서 $h_L(\theta)$ 과 $h_R(\theta)$ 는 θ 방향특성을 갖는 HRTF, $s_L(t)$ 와 $s_R(t)$ 는 좌우 스피커로 송출하는 음향신호, τ^o 는 좌우스피커로부터 최적청취위치까지의 전파지연시간이다. 최적청취위치에서 좌우 스피커까지의 거리는 같다. 본 논문에서는 잡음은 고려하지 않는다. 식 (1)과 식 (2)를 식 (3)처럼 행렬식으로 다시 쓸 수 있다.

$$\mathbf{r}^o = \mathbf{H} \mathbf{s}^o, \quad (3)$$

$$\text{여기서 } \mathbf{r}^o = [r_L^o(t) \ r_R^o(t)]^T, \ \mathbf{H}^o = \begin{bmatrix} h_L(\theta_L^o) & 0 \\ 0 & h_R(\theta_R^o) \end{bmatrix},$$

$\mathbf{s} = [s_L(t - \tau^o) \ s_R(t - \tau^o)]^T$ 이고, T는 전치행렬을 의미하며, τ^o 는 최적청취위치에서의 시간지연이다.

청취자가 임의의 위치 (ρ, ϕ) 에 있을 때 왼쪽과 오른쪽 귀에 수신되는 음향신호는 식 (4)와 식 (5)처럼 나타난다.

$$r_L(t) = \frac{1}{\kappa} \{h_L(\theta_L) s_L(t - \tau_L) + h_L(\theta_R) s_L(t - \tau_R)\}, \quad (4)$$

$$r_R(t) = \frac{1}{\kappa} \{h_R(\theta_L) s_L(t - \tau_L) + h_R(\theta_R) s_L(t - \tau_R)\}, \quad (5)$$

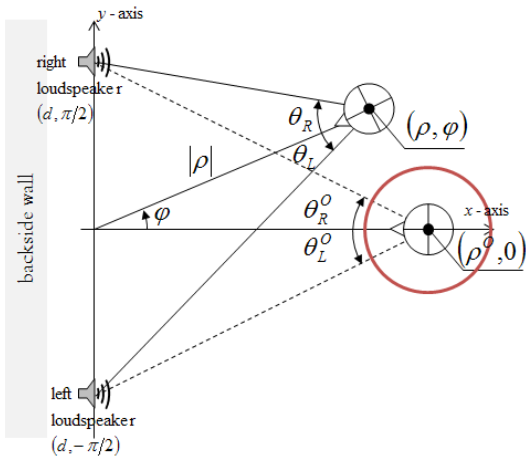


그림 1. 최적청취위치와 일반청취위치에서의 청취모형

여기서 $\mathbf{r} = \kappa^{-1} \mathbf{H} \Delta \mathbf{s}$ 이며, $\mathbf{r} = [r_L(t) \ r_R(t)]^T$, $\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_L(\theta_L) & h_L(\theta_R) \\ h_R(\theta_L) & h_R(\theta_R) \end{bmatrix}$, $\mathbf{s} = [s_L(t) \ s_R(t)]^T$, $\Delta = \begin{bmatrix} \delta(t - \tau_L) & 0 \\ 0 & \delta(t - \tau_R) \end{bmatrix}$, $\kappa = (\rho - \rho^o)^2$, τ_L 은 (또는 τ_R) 좌측 (또는 우측) 스피커에서 청취위치까지의 음향전파지연시간이다.

이때, 청취자는 공간뒤틀림 및 상호 간섭에 의해 왜곡된 스테레오 음향 효과를 느끼게 된다. 즉, 청취자가 최적의 입체음향 효과를 느끼지 못한다¹¹⁾.

III. 제안한 기법

본 논문에서는 유효공간 내 어디서나 최적청취위치와 동일한 스테레오 사운드를 느낄 수 있는 적응형 스테레오 사운드 시스템을 제안한다. 제안한 시스템은 그림 2처럼 크게 SS/LPT부분과 SS/CC부분으로 구성된다.

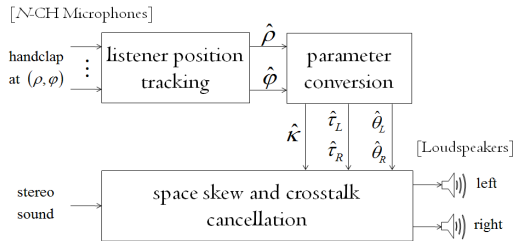


그림 2. 제안한 기법의 구성도

3.1 청취자 위치추적 (SS/LPT)

청취자 위치추적을 위해 N 개의 마이크를 유효음향공간의 평면과 평행한 가상면의 둘레에 위치시킨다. 청취자가 임의의 위치 (ρ, ϕ) 에서 박수소리를 발생시키면 N 개의 마이크에서 이를 입력받아 TDoA를 추정한다. TDoA 추정을 위해 추정-상관기를 설계했으며, 문턱값 설정을 위해 오경보 확률을 10^{-10} 으로 설정하였다. 이렇게 추정한 TDoA를 Gauss-Newton 기반 최소자승법으로 최종 위치해를 구한다. 설계된 추정-상관기는 실내공간의 반향을 제거하기 위해 최대값이 아닌 문턱값을 넘는 가장 이른시점을 TDoA로 결정하였다. 본 논문에서 고려하는 실내음향청취환경에서 청취자와 스피커 및 마이크는 항상 가시선이 보장되는 것을 가정한다.

3.2 공간뒤틀림 및 상호간섭제거 (SS/CC)

HRTF는 음원과 귀 사이의 공간 경로에 포함되

는 물리적인 구조물들 즉, 두상, 귓바퀴의 모양에 따라 그 특성이 결정되며 머리의 중심부와 음원간의 방위각 및 고도각에 따라 각기 다른 주파수 응답을 갖는다. 같은 음을 발생시켜도 위치에 따라 달라지는 주파수 반응을 머리모형을 기준으로 하여 모든 방향에 대해 측정, 3차원적인 함수로 정리해놓은 것이 HRTF이다.

일반청취위치에서 최적의 사운드를 청취하기 위해서는 음향신호를 식 (3)처럼 보상해주어야 하며, 이를 위해 공간뒤틀림과 상호간섭 제거를 거쳐야한다. 본 논문은 식 (6)처럼 HRTF를 이용한 최적스 테레오 사운드 시스템을 설계한다.

$$\tilde{\mathbf{s}} = \kappa \tilde{\Delta} \mathbf{H}^{-1} \mathbf{s} \mathbf{O}, \quad (6)$$

여기서 $\tilde{\Delta} = \begin{bmatrix} \delta(t - \tau_L + \tau_R) & 0 \\ 0 & \delta(t) \end{bmatrix}$, $\hat{\tau}_L \geq \hat{\tau}_R$, $\hat{\phi}$ 은 추정된 값을 뜻한다.

추정된 값을 뜻한다.

적응형 사운드 시스템은 청취자 위치추적 부분과 공간뒤틀림 및 상호간섭 제거 부분으로 구성된다. 매텔랩 그래픽 사용자 환경 제작도구로 그림 3처럼 적응형 사운드 시스템을 설계하였다.

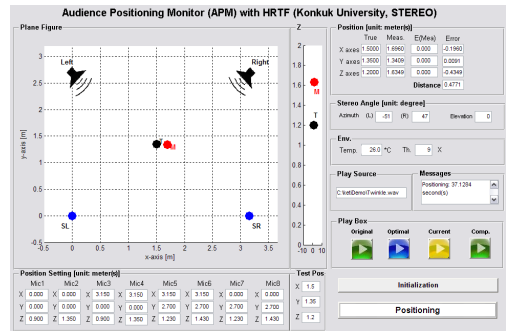


그림 3. 매텔랩으로 구현한 적응형 사운드 시스템의 구동 화면

IV. 성능평가

설계된 시스템의 측위정확도를 확인하기 위하여 일반공간에서 청취자 측위실험을 진행하였다. 일반공간은 $3.5 \times 3.5 \times 2.7 \text{ m}^3$ 의 (가로×세로×높이) 반향과 잔향이 존재하는 실내공간으로 그림 4와 같다. 실험환경은 실내음향시스템으로 설정하여 8개의 마이크를 설치하여 자체발성음 신호를 수신할 수

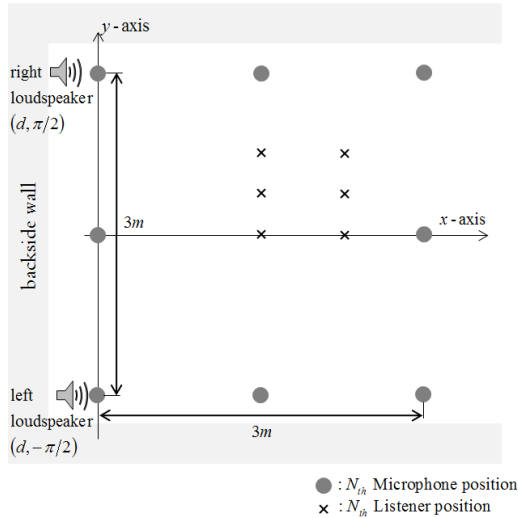


그림 4. 실험환경

있도록 구성하였다. 자체발성음은 남자, 여자 각각 50명씩 100명을 대상으로 데이터베이스를 구축하였으며, 박수소리에 초점을 맞추어 성능을 평가하였다. 박수소리는 소리 발생 모양에 따라 손바닥과 손가락 (Type A), 손바닥과 손바닥 (Type B), 그리고 손전체로 (Type C) 구분하였다. 사운드 재생을 위해 전면 좌우에 2개의 스테레오 스피커를 배치하였다. 청취자는 그림 4처럼 (1.50, 0.00), (1.58, 0.31), (1.80, 0.58), (2.69, 0.37), (2.55, 0.19), (2.50, 0.00) 좌표로 이동하면서 위치한다. (직교좌표: (1.50, 0.00), (1.50, 0.50), (1.50, 0.10), (2.00, 0.10), (2.00, 0.50), (2.00, 0.00)) 실험에 참가한 30명의 청취자와 기존 데이터베이스에 저장된 100명의 박수소리를 무향 녹음해 각 청취자 위치에서 측위실험을 수행하였다.

제안한 시스템의 측위오차 상보누적분포함수는 그림 5와 같다. 그림 5처럼 일반공간에서 측위성능은 음향측위시스템의 측위정확도의 기준선인 Sweet Spot 범위 안에 약 70%~90%의 측위정확도를 보인다.

기준점에서 측위지점까지의 각도와 거리오차 상보누적분포함수는 각각 그림 6, 그림 7과 같다. 그림 6처럼 청취자위치의 각도오차는 0.15 라디안(약 8.59도) 이하일 확률이 약 80%~90%의 정확도를 보인다. 그림 7처럼 청취자위치의 거리오차는 0.25m 이내일 확률이 약 70%~90%의 정확도를 보인다. Sweet Spot의 기준인 평균자승측위오차 $0.07m^2$ 를 근평균자승거리오차로 환산하면 약 0.25m이다.

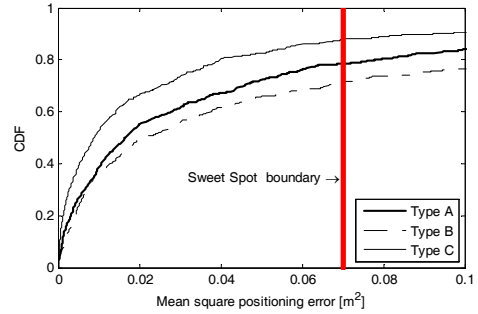


그림 5. 평균자승측위오차의 누적분포함수 (cumulative distribution function, CDF)

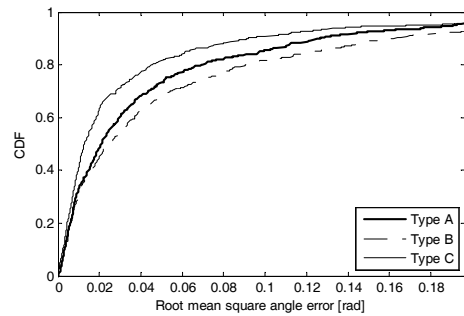


그림 6. 근평균제곱각도오차의 누적분포함수

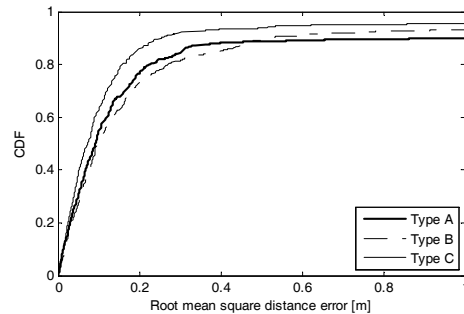


그림 7. 근평균제곱거리오차의 누적분포함수

본 논문에서는 청취자가 스피커의 유효공간 내 어느 위치에서도 동일한 공간감을 갖는지에 대한 주관적 평가를 통해 그 성능을 보인다. 이를 위해 적응형 사운드 시스템 청취평가를 제작하였으며, 각 항목에 대해 1점~5점 사이의 점수로 평가한다. 5점은 테스트음원의 공간감과 본인이 느낀 공간감이 차이가 없음을 나타내며, 차이가 클수록 점수는 거리에 따라 낮게 평가한다.

적응형 사운드시스템의 테스트를 위해 남, 여 각

각 15명, 총 30명이 청취 테스트에 참여하였다. 청취자의 연령대는 모두 20대로서 알려진 청각 장애를 갖고 있지 않았으며, 테스트에 앞서 공간감을 느낄 수 있는지 여부를 실험을 통해 확인한 후 인식이 현저히 낮은 3명의 참가자를 제외하고 나머지 27명의 참가자가 주관평가를 시행하였다.

평가음원으로는 공간상에 각각 정지 또는 이동효과를 갖는 소리를 사용하여 청취자 주관평가를 위해 사용한다. 일반 가요, 음성, 경음악 등은 공간감 표현 목적으로 만들어진 음향 신호가 아니기 때문에 평가 음원으로 적절치 못하다. 이에 뮤지컬 음악, 악기 연주 소리, 최신가요 등을 공간감을 가질 수 있도록 좌에서 우, 우에서 좌 등 패닝효과를 주어 사운드 평가 음원으로 제작하였다.

그림 8은 주관평가를 위해 먼저 최적청취위치에서 각 소리에 대한 청취자 평가를 시행한 것으로, 소리에 따라 실험 참가자 가운데 약 90%가 음향효과를 정확히 인식하였다.

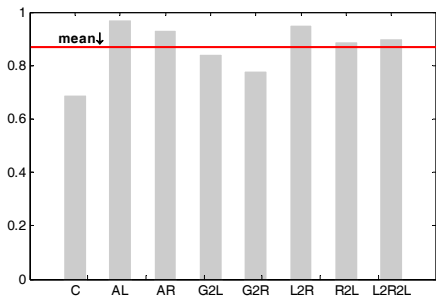


그림 8. 입체음향효과 공간감 인지 여부 청취자 평가 (center (C), all left (AL), all right (AR), go to left (G2L), go to right (G2R), left to right (L2R), right to left (R2L), left to right and right to left (L2R2L))

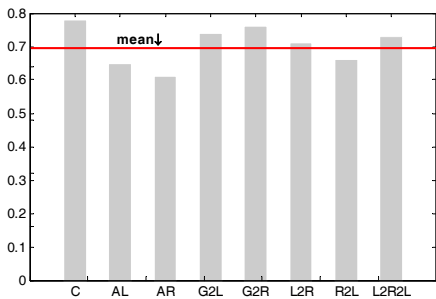


그림 9. 적응형 사운드 시스템 주관평가 결과 (center (C), all left (AL), all right (AR), go to left (G2L), go to right (G2R), left to right (L2R), right to left (R2L), left to right and right to left (L2R2L))

적응형 사운드 시스템의 평가를 위해 각 위치에서 보상전후의 소리를 들려주고 소리의 공간효과를 평가지에 그리도록 했다. 평가 시 ‘다시 들려주기’를 허용했다. 그림 9처럼 주관평가결과 주관평가 실험에 참가한 사람 가운데 약 70%가 지정된 청취 위치의 소리와 입의의 위치에서 청취한 보상된 소리를 공간감 면에서 동일한 것으로 인식하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 스피커의 유효공간 내 어느 위치에서도 동일한 위치감을 갖는 소리를 재생하는 적응형 사운드 시스템을 설계하였다. 실험결과 설계한 적응형 사운드 시스템의 근평균제곱 측위오차가 $0.07m^2$ 이내일 확률이 위치에 따라 약 70%~90%이며, 이때 음향보상을 수행한 후 청취자의 음향에 대한 주관적 평가에서 실험에 참가한 사람 가운데 약 70%가 지정된 청취위치의 소리와 입의의 위치에서 청취한 보상된 소리를 공간감 면에서 동일한 것으로 인식하였다. 향후에는 제안한 시스템에 도달 각 기반 측위방식을 결합하여 청취자 측위정확도를 개선하는 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 최범석, 홍진우, “입체음향 (3D 오디오) 기술과 원리”, *한국방송공학회논문지*, 제6권 제1호, pp.36-45, 2001년 3월.
- [2] W. Gardner, “Transaural 3-D audio,” *MIT Media Lab. Perceptual Computing-Technical Report*, No.342. 1995
- [3] 김원겸, “입체음향 기술동향”, *정보통신연구진흥원 주간기술동향*, <http://kidbs.itfind.or.kr/WZIN/jugidong/1130/113001.htm>, 2004년 4월.
- [4] C. Kyriakakis, T. Holman, J. Lim, H. Hong, and H. Neven, “Signal processing, acoustic, and psychoacoustics for high quality desktop audio,” *Trans. Vision Communication and Image Representation*, Vol.9, No.1, pp.51-61, Mar. 1998.
- [5] P. Georgiou, A. Mouchtaris, S. Roumeliotis, and C. Kyriakakis, “Immersive sound rendering using laser-based tracking,” *Proc. Audio Engineering Society Convention*, CD-ROM,

Los Angeles, CA, Sep. 2000.

- [6] S. Kim, S. Jang, D. Kong, and S. Bang, "Adaptive virtual surround sound rendering method for an arbitrary listening position," *Proc. Audio Engineering Society*, pp.1-9, Saariseka, Finland, Mar. 2007.
- [7] 유승수, 김영문, 이정혁, 이석필, 김선용, "청취자 측위 음원으로서의 박수소리 분석", *대한전자공학회 하계학술대회 논문집, CD-ROM*, 대한민국 제주, 2009년 7월.
- [8] W. Foy, "Position-location solutions by Taylor series estimation," *Trans. IEEE Aerospace and Electronics System*, vol. AES-12, No.2, pp. 187-194, Mar. 1976.
- [9] S. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing Volume II: Detection Theory*, Prentice Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, 1998.
- [10] V. Algazi, R. Duda, D. Thompson, and C. Avendano, "The CIPIC HRTF Database," *Proc. IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Electroacoustics*, pp. 99-102, New Paltz, NY, Oct. 2001.
- [11] J. Bauck and D. Cooper, "Generalized transaural stereo and applications," *Trans. Audio Engineering Society*, Vol.44, No.9, pp.683-705, Sep. 1996.
- [12] J. Rose, P. Nelson, B. Rafaely, and T. Takeuchi, "Sweet spot size of virtual acoustic imaging systems at asymmetric listener locations," *Trans. Acoustical Society of America*, Vol.112, No.5, pp.1992-2002, Nov. 2002.
- [13] B. Repp, "The sound of two hands clapping: An exploratory study," *Trans. Acoustical Society of America*, Vol.81, No.4, pp.1100-1109, Apr. 1987.

김 영 문 (Yeongmoon Kim)

준회원



2009년 2월 건국대학교 정보통신공학전공 공학사
2009년 3월~현재 건국대학교 전자정보통신공학 석사과정
<관심분야> 통계학적 신호 처리, 음향신호처리.

유 승 수 (Seungsoo Yoo)

정회원



2004년 2월 건국대학교 전자공학부 공학사
2005년 2월 건국대학교 전자공학전공 공학석사
2005년 3월~현재 건국대학교 전자공학전공 박사과정
<관심분야> 이동통신, 통신신호 처리, 무선측위, GNSS.

이 기 승 (Ki-Seung Lee)

정회원



1991년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사)
1993년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
1997년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
1997년 3월~1997년 9월 연세대학교 신호처리 연구센터 선임 연구원
1997년 10월~2000년 9월 AT&T Shannon Lab 연구원
2000년 11월~2001년 8월 삼성종합기술원 HCI Lab 전문연구원
2001년 9월~2007년 8월 건국대학교 정보통신대학 전자공학부 조교수
2007년 9월~현재 건국대학교 정보통신대학 전자공학부 부교수
<관심분야> 생체 신호 처리, 오디오 신호 처리 등.

김 선 용 (Sun Yong Kim)

중신회원



1990년 2월 한국과학기술원 전기
및 전자공학과 학사(최우등)

1993년 2월 한국과학기술원 전
기 및 전자공학과 공학석사

1995년 8월 한국과학기술원 전
자전산학과 박사

1995년 4월~1996년 3월 동경

대학교 생산기술연구소 박사연구원

1996년 9월~1998년 12월 한국전자통신연구원 초
빙연구원

1998년 3월~2001년 8월 한림대학교 정보통신공학
부 전임강사, 조교수

2001년 8월~현재 건국대학교 전자공학부 조교수,
부교수, 교수

1990년 IEEE Korea Section 학생논문대회 우수상
받음.

1992년~1993년 IEEE Communication Society 장
학금 받음.

대한전자공학회, 한국통신학회 정회원, IEEE 선임회원
<관심분야> 통계학적 신호처리, 이동통신, 통신이론