

# 입체음향시스템을 위한 상호간섭제거 기법의 유효청취범위 분석

준회원 이 정 혁\*, 정 상 효\*, 정회원 유 승 수\*, 종신회원 송 의 호\*\*, 김 선 용\*

## A Study on Sweet Spot of Crosstalk Cancellation Schemes for Sound Rendering Systems

Junghyuck Lee\*, Sanghyo Jeong\* Associate Members, Seungsoo Yoo\* Regular Member,  
Ickho Song\*\*, Sun Yong Kim\* Lifelong Members

### 요 약

본 논문에서는 입체음향시스템을 위한 대표적인 상호간섭제거 기법인 머리전달함수만 (head related transfer function, HRTF) 이용한 기법과 두 귀에 도달하는 소리의 시간차와 세기차를 (interaural time/intensity difference, ITD와 IID) HRTF와 함께 이용한 기법의 상태지수와 ITD/IID 수준을 보이고, 이로부터 두 기법의 유효청취범위를 보인다. 입체음향시스템의 유효청취범위는 청취자가 의도된 음향의 입체감을 왜곡 없이 느낄 수 있는 공간으로 등역 (equalization zone) 또는 sweet spot으로도 부른다.

**Key Words** : Sound Rendering System, Acoustic Signal Based Localization, Sweet Spot, Crosstalk Cancellation, Interaural Intensity Difference, Interaural Time Difference

### ABSTRACT

In this paper, equalization zone of two crosstalk cancellation (CC) schemes, which are the one based on only head related transfer function (HRTF) and the other one based on interaural intensity/time difference (ITD/IID) as well as HRTF is studied. To do this, the condition numbers and ITD/IID levels of two schemes are shown.

### I. 서 론

최근 3차원 입체영상과 함께 입체음향 재생기술이 비약적으로 발전하고 있다. 입체음향기술이란 원음장을 충실하게 재현하고 음의 고저, 음색뿐만 아니라 방향이나 거리감까지도 재생하는 기술이다<sup>[1]</sup>. 음원의 위치를 임의의 3차원 공간에 정확하게 연출할 수 있는 입체음향 재생기술은 오디오 기반 미디어의 가치를 획기적으로 높일 수 있으며 영상에 포함된 3차원 정보의 실감성을 배가시킬 수 있다. 이에 현장감 있는

음을 제공하기 위한 음의 가공 기법 및 재생에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다<sup>[2]-[4]</sup>.

입체음향을 구현하기 위한 요소기술로는 음원의 위치를 원하는 가상위치에 정위시키는 음상정위 (sound image localization), 음원공간을 가상으로 생성하는 음장제어 (sound field control), 핵심 공간정보인 청취자 위치를 결정하는 음향 측위 (listener position tracking), 2채널 이상의 스피커를 이용하여 음향청취시 발생하는 상호간섭을 제거하는 음향누화제거 (crosstalk cancellation, CC) 기법 등이 있다. 이 가운데

※ 본 논문은 2010년도 건국대학교 학술진흥연구비 지원에 의한 논문임.

\* 건국대학교 전자정보통신공학부 (kimsy@konkuk.ac.kr), \*\* 한국과학기술원 전자전산학과  
논문번호 : KICS2011-04-170, 접수일자 : 2011년 4월 6일, 최종논문접수일자 : 2011년 4월 14일

데 본 논문은 CC 기법에 초점을 맞춘다. 상호 간섭은 2채널 스피커를 이용하여 음향을 재생할 때 왼쪽 귀에만 (혹은 오른쪽 귀) 들려야 할 음이 오른쪽 귀에도 (혹은 왼쪽 귀) 들리는 현상으로 두 스피커 사이에 존재하는 공간으로 인하여 왼쪽 스피커에서 출력된 소리가 청취자의 왼쪽 귀에만 (혹은 오른쪽 귀) 전달되는 것이 아니라 오른쪽 귀로도 (혹은 왼쪽 귀) 전달되어 소리의 명확한 전달을 방해하는 것을 말한다<sup>[5]</sup>.

대표적인 CC 기법은 머리전달함수만을 (head related transfer function, HRTF) 이용하는 기법과 (이하 H-CC 기법) 두 귀 사이에 도달하는 소리의 시간차와 세기차를 (interaural time/intensity difference, IID/ITD) HRTF와 함께 이용한 기법이 있다(이하 HII-CC 기법)<sup>[6]</sup>.

H-CC 기법은 청취자가 최적청취위치에 있는 경우에만 CC가 가능하다. 여기서 최적청취위치는 여러 음향효과를 동일하게 느낄 수 있는 공간상의 가상영역으로서, 등역이라 (equalization zone) 한다. 즉, 이 공간 안에서 청취자는 음향효과와 차이를 느끼지 못한다<sup>[7]</sup>. 하지만, 청취자가 항상 최적청취위치에만 존재하는 것은 아니기 때문에 H-CC 기법으로는 상호 간섭을 항상 제거하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 HRTF와 IID/ITD를 고려하여 상호간섭제거 및 청취자의 공간뒤틀림을 제거하는 HII-CC 기법이 제안되었다<sup>[8]</sup>.

HII-CC 기법은 청취자 위치를 추적하고 청취자 위치정보를 (특히, 도달지연시간차 및 신호의 도달각) 이용하여 상호간섭을 제거한다. HII-CC 기법의 청취자 위치추적기에서 얻어낸 청취자 위치정보는 추정-상관기를 (estimator-correlator) 통해 각각의 마이크에서 측정된 도달지연시간차를 (time difference of arrival) 바탕으로 추정하며 이를 바탕으로 청취자 위치에 맞는 HRTF를 얻고 이를 활용해 상호간섭을 제거한다. 본 논문에서 언급하는 CC 기법의 HRTF는 [9]의 UC Davis에서 측정된 HRTF를 사용했다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II장에서는 H-CC 기법과 HII-CC 기법에 대해 소개한다. III장에서는 H-CC 기법과 HII-CC 기법의 청취자 위치에 따른 상태지수와, 청취자와 좌우 스피커 사이의 거리에 따른 상태지수를 분석하며 청취자와 좌우 스피커 사이의 IID와 ITD 수준을 보이고, 이를 바탕으로 두 기법의 유효청취범위를 보인다. 끝으로 IV장에서 결론을 맺는다.

## II. 상호간섭제거 기법

실내음향시스템에서 스테레오 사운드 시스템은 양쪽 스피커와 청취자를 정삼각형의 꼭짓점에 각각 배치하였을 때 청취자에게 최적 음향효과를 제공한다<sup>[9]</sup>. 이 때 정삼각형의 꼭짓점에 위치한 청취자의 위치가 최적청취위치가 되며, 이러한 정삼각형 구조는 청취자에게 정확한 음상재현을 가능하게 한다<sup>[10]</sup>.

그림 1은 2채널 스테레오 시스템에서 스피커 배치와 그에 따른 청취자의 위치이다. 그림 1에서  $P^0$ 는 최적청취환경에서 청취자의 위치,  $\theta_L^0$ 는 (또는  $\theta_R^0$ )  $P^0$ 와 좌측 (또는 우측) 스피커를 잇는 직선과 좌우 두 스피커를 지나는 직선의 중점을 지나는 법선의 사잇각이다. 이때,  $P^0$ 에 위치한 청취자의 왼쪽과 오른쪽 귀에 수신되는 음향신호  $r_L^0(t)$ 와  $r_R^0(t)$ 는 각각 식 (1)과 식 (2)와 같다. 본 논문에서 'O'는 최적청취위치에서의 성분을 나타낸다.

$$r_L^0(t) = h_L^O(\theta_L^O)s_L(t - \tau^O) + h_L^O(\theta_R^O)s_R(t - \tau^O), \quad (1)$$

$$r_R^0(t) = h_R^O(\theta_L^O)s_L(t - \tau^O) + h_R^O(\theta_R^O)s_R(t - \tau^O), \quad (2)$$

여기서  $h_L^O(\theta)$ 과  $h_R^O(\theta)$ 는  $\theta$  방향특성을 갖는 HRTF,  $s_L(t)$ 와  $s_R(t)$ 는 좌우 스피커로 송출하는 음향신호,  $\tau^O$ 는 최적청취위치에서의 전파지연이다. 본 논문에서는 잡음은 고려하지 않는다. 식 (1)과 식 (2)에

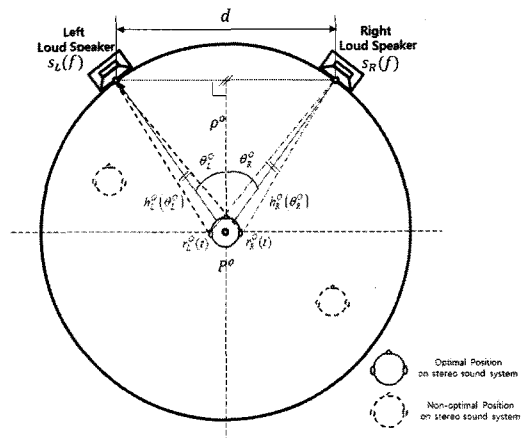


그림 1. 2채널 스테레오 시스템에서 스피커 배치와 청취자의 위치

서 상호간섭은  $h_L^O(\theta_L^O)s_R(t-\tau^O)$ 와  $h_R^O(\theta_R^O)s_L(t-\tau^O)$ 이다. 식 (1)과 식 (2)를 행렬식을 사용해 간단히 식 (3)처럼 다시 쓸 수 있다.

$$R^O = H^O s, \quad (3)$$

여기서  $R^O = [r_L^O \ r_R^O]^T$ ,  $H^O = \begin{bmatrix} h_L^O(\theta_L^O) & h_L^O(\theta_R^O) \\ h_R^O(\theta_L^O) & h_R^O(\theta_R^O) \end{bmatrix}$ ,  $s = [s_L \ s_R]^T$ 이고,  $T$ 는 전치행렬을 의미한다. 수식표현의 용이성을 위해  $t$ 는 표현하지 않는다.

### 2.1 H-CC 기법<sup>[8]</sup>

최적청취위치에 있다고 가정한 청취자의 두 귀에 도달하는 상호간섭이 제거된 음향신호는 식 (4)처럼 정의할 수 있다.

$$\tilde{R}^O \triangleq \text{diag}[h^O s^T], \quad (4)$$

여기서  $h^O = [h_L^O(\theta_L^O) \ h_R^O(\theta_R^O)]^T$ ,  $\text{diag}[\cdot]$ 는 대각행렬이다.

H-CC 기법에서 스피커로부터 청취자까지의 전달 함수는 청취자가 최적청취위치에 있을 경우를 가정하여 상호간섭을 제거하게 되며 이를 적용한 신호는 식 (5)와 같다.

$$\tilde{s}_{H-CC} = H^{-1} s^O, \quad (5)$$

여기서 '-1'은 역행렬 연산이다. 하지만, 청취자는 스피커의 소리가 유효한 공간 어느 곳에나 위치할 수 있고 이로 인해 효과적인 상호간섭제거가 어렵게 되며 따라서 정확한 음상재현이 불가능하게 된다<sup>[10]</sup>.

### 2.2 HII-CC 기법<sup>[8]</sup>

청취자는 항상 최적청취위치가 아닌 스피커의 소리가 유효한 공간 어느 곳에나 위치할 수 있으며 이로 인해 정확한 음상재현이 불가능하게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 등장한 HII-CC 기법은 HRTF 뿐 아니라 IID와 ITD 모두를 고려하여 사용자 위치에 구애받지 않고 상호간섭제거를 수행한다. H-CC 기법은 청취자가 최적청취위치에 있을 경우에만 상호간섭 제거가 가능하였으나 HII-CC 기법은 청취자 자체발성음의 도달지연시간차를 이용하여 청취자 위치를 추적하고, 이를 기반으로 상호간섭제거를 수행한다.

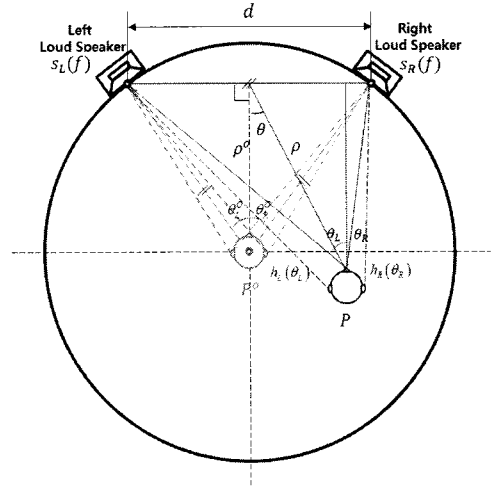


그림 2. 일반청취위치에서 2채널 스테레오 스피커 시스템 청취모형

2채널 스테레오 스피커 시스템에서의 일반적인 청취 모형은 그림 2와 같다.  $P$ 는 일반 청취환경에서 청취자의 위치,  $\theta_L$ 은 (또는  $\theta_R$ )  $P$ 와 좌측 (또는 우측) 스피커를 잇는 직선과 좌/우 두 스피커를 지나는 직선의 중점을 법선 사이의 각,  $\rho$ 는 좌/우 스피커를 잇는 직선의 중점과 청취자 사이의 거리,  $\theta$ 는 좌/우 스피커를 잇는 직선의 중점을 지나는 법선과 그 중점과 청취자를 잇는 직선의 사잇각이다.

청취자가 임의의 위치에 있을 때 왼쪽과 오른쪽 귀에 도달하는 음향 신호는 각각 식 (6)과 식 (7)처럼 정의된다.

$$r_L(t) = \frac{1}{\kappa_L} \{h_L(\theta_L)s_L(t-\tau_L) + h_L(\theta_R)s_R(t-\tau_R)\}, \quad (6)$$

$$r_R(t) = \frac{1}{\kappa_R} \{h_R(\theta_L)s_L(t-\tau_L) + h_R(\theta_R)s_R(t-\tau_R)\}, \quad (7)$$

여기서  $\kappa_L = \rho^O/\rho_L$ ,  $\kappa_R = \rho^O/\rho_R$ 이고,  $\rho^O$ 은 좌/우 두 스피커의 중점으로부터 청취자까지의 거리,  $\rho_L$ 은 (또는  $\rho_R$ ) 좌측 스피커부터 (또는 우측 스피커) 청취자까지의 거리,  $\tau_L$ 은 (또는  $\tau_R$ ) 좌측 (또는 우측) 스피커에서 청취위치까지의 음향전파지연시간이다. 식 (6)와 식 (7)은 행렬식을 사용해 간단히 식 (8)처럼 다시 쓸 수 있다.

$$R = K^{-1} H \Delta s, \quad (8)$$

$$\text{여기서 } \Delta = \begin{bmatrix} \delta(t-\tau_L) & 0 \\ 0 & \delta(t-\tau_R) \end{bmatrix}, K = [\kappa_L \ \kappa_R]^T$$

이며,  $\delta(\cdot)$ 는 단위충격함수이다.

식 (8)을 식 (3)처럼 만들기 위해서는 일반 청취위치에서의 공간정보를 청취자 위치추적기를 통해 추정해야 한다. HII-CC 기법은 임의의 위치에서 발생하는 청취자의 자체발성음을 청취자 위치추적 시스템의 입력으로 받아 도달시간차를 추정한다. 이렇게 추정한 도달시간차를 Gauss-Newton 기반 최소자승법으로 최종 위치 해를 구한다. HII-CC 기법은 획득한 청취자 위치정보를 (특히  $\theta_L$ 과  $\theta_R$ ) 사용하여 사전부호화과정을 거쳐 식 (9)처럼 신호를 생성한다.

$$\tilde{s}_{\text{HII-CC}} = K\tilde{H}\tilde{\Delta}^{-1}s^o, \quad (9)$$

$$\text{여기서, } \tilde{\Delta} = \begin{cases} \begin{bmatrix} \delta(t-\tau_L+\tau_R) & 0 \\ 0 & \delta(t) \end{bmatrix}, \tilde{\tau}_L \geq \tilde{\tau}_R \\ \begin{bmatrix} \delta(t) & 0 \\ 0 & \delta(t+\tau_L-\tau_R) \end{bmatrix}, \text{그 외} \end{cases} \text{이다.}$$

### III. 유효청취범위 분석

본 논문에서는 H-CC 기법과 HII-CC 기법의 유효청취범위, 즉, 등역으로 인지되는 범위, 분석을 위해 측위 정확도 실험과 CC 기법의 성능평가를 수행하였다. 실험은 박수소리를 자체발성음을 이용하였으며, 그림 3과 같은 실험환경을 구성하고 일반적인 2채널 스테레오 스피커 시스템 청취모형을 이용하였다.

본 논문에서 청취자 측위를 위한 시스템의 측위 정확도 결과는 청취자를 중심으로 하는 최적청취위치의

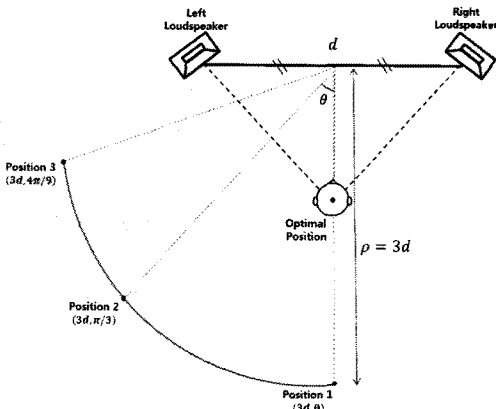


그림 3. 실험환경

반경인 0.25m 이내의 측위오차가 발생할 확률이 약 75%~85%로 나타났다.

본 논문에서는 CC 기법의 객관적 성능지표 가운데 하나인 상태지수와 청취자와 좌우 스피커사이의 IID와 ITD를 보여 H-CC 및 HII-CC 기법의 효율적인 상호간섭 제거를 위한 유효청취범위를 보인다.

#### 3.1 상태지수를 이용한 유효청취범위 분석

앞서 언급한 식 (3)과 식 (8)의 관계를 고려했을 때,  $H^o = K^{-1}H\tilde{\Delta}$ 이면 이론적으로 완벽하게 상호간섭을 제거할 수 있다. 하지만 실제 환경에서는 청자들의 신체적인 특징이나 여러 요인들이 개인마다 고유하기 때문에 상호간섭을 완벽하게 제거할 수 없다<sup>[11]</sup>. 따라서 본 논문에서는 CC 기법의 객관적 성능지표로써 식 (9)처럼 상태지수를 이용하여 제안한 기법의 성능을 평가한다.<sup>[12]</sup>

$$\text{cond}\{K^{-1}H\tilde{\Delta}\} = \frac{\sigma_{\max}(\sqrt{K^{-1}H\tilde{\Delta}(K^{-1}H\tilde{\Delta})^H})}{\sigma_{\min}(\sqrt{K^{-1}H\tilde{\Delta}(K^{-1}H\tilde{\Delta})^H})}, \quad (10)$$

여기서  $\text{cond}\{\cdot\}$ 는 상태지수이고 (condition number),  $\sigma_{\max}(\cdot)$ 와  $\sigma_{\min}(\cdot)$ 은 각각 가장 크고 작은 단일치를 (singular value) 의미한다.

일반적으로 상태지수가 10보다 작으면 물리적인 강인성이 높다고 판단하고, 100이상의 값을 가지면 물리적 강인성이 낮다고 할 수 있다<sup>[12]</sup>. 본 논문에서는 유효청취범위 분석을 위해 상태지수를 이용하였으며 다양한 청취자 위치에서 모의실험을 진행하였다. 그림 4는  $\theta = 0^\circ$  일 때  $\rho$ 에 따른 HII-CC 기법의 상태지수

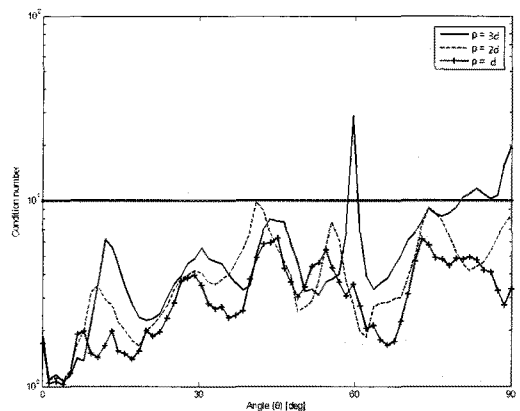


그림 4.  $\theta = 0^\circ$  일 때  $\rho$ 에 따른 HII-CC 기법의 상태지수

이다.  $\theta$ 가 증가함에 따라 청취자가 최적청취위치에서 멀어지게 되고, 그로 인해 상태지수가 증가한다. 그림 4를 바탕으로 도출된 효율적인 상호간섭 제거를 위한 청취자 위치기반 CC 기법의 유효청취각은  $0^\circ \leq \theta \leq 60^\circ$ 이며, 좌/우 스피커를 잇는 직선의 중점과 사용자 사이의 거리  $\rho = 3d$ 가 될 때까지 효율적인 상호간섭제거 성능을 보장한다.

또한, 청취자 위치에 따른 HII-CC 기법의 상태지수를 그림 5처럼 분석하였으며 좌/우 스피커를 잇는 직선의 중점과 청취자 사이의 거리  $\rho$ 를  $3d$ 로 가정했을 때, 청취자가 좌/우 스피커를 잇는 직선의 중점을 지나는 법선에서 멀어지는 경우, 물리적 강인성이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

그림 6에서는  $\theta$ 와  $\rho$ 에 따른 상태지수를 기반으로 하는 H-CC 기법과 HII-CC기법의 유효청취범위를 분석하였다. H-CC기법의 유효청취범위는 유효공간의 중심에 위치한 사용자를 기준으로 하는  $0.25m$  직경의

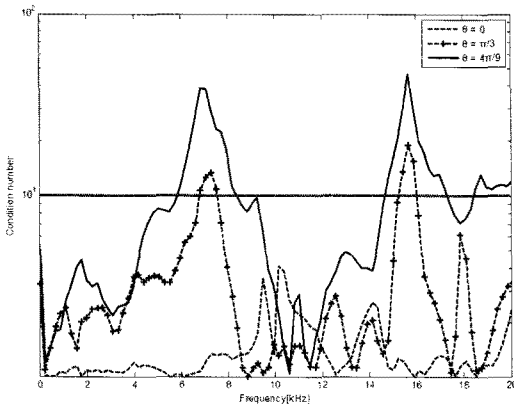


그림 5.  $\rho = 3d$ 일 때  $\theta$ 에 따른 HII-CC 기법의 상태지수

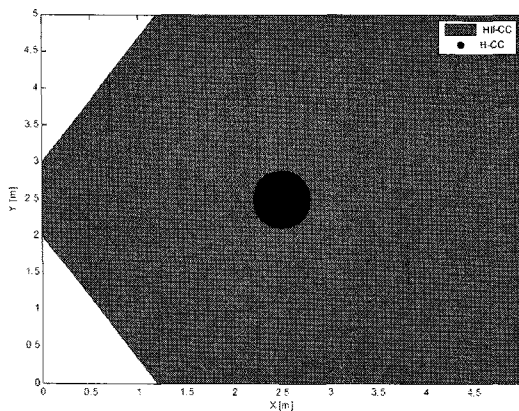


그림 6.  $\theta$ 와  $\rho$ 에 따른 상태지수를 기반으로 하는 H-CC 기법과 HII-CC 기법의 유효청취범위

원으로 나타나며 이 공간에서 청취자는 여러 음향효과를 동일하게 느낀다<sup>[13]</sup>. H-CC기법과 HII-CC기법의 유효청취범위는 그림 6과 같다.

본 논문에서 언급한 CC 기법은  $0 \sim 5$  kHz 주파수 대역에서 비교적 물리적 강인성이 높게 나타났으며 이는 본 논문에서 청취자 측위를 위해 자체발성음으로 이용한 박수소리의 주파수 대역에 따라 이와 같은 결과가 발생한 것을 알 수 있었다.

### 3.2 IID와 ITD를 이용한 유효청취범위 분석

청취자가 일반적인 청취위치에서 정확한 공간감을 느끼지 못하는 것은 청취자와 좌/우 스피커 사이 IID와 ITD가 달라지기 때문이다. 스테레오 스피커의 유효공간 안에서 일반적인 청취자의 IID가 10dB, ITD가 1ms 이내의 범위에 있을 경우에 청취자는 음향효과를 느끼지 못한다<sup>[14]</sup>.

이에 본 논문에서는 그림 7과 그림 8처럼 H-CC 기법과 HII-CC 기법의 IID와 ITD를 보였다. H-CC과 HII-CC 기법의 IID는 그림 7과 같다. 이는 좌/우 스피커를 기준으로 청취자가 좌/우 스피커에서 멀어지면서 IID가 감소하는 것을 볼 수 있다. H-CC기법과 HII-CC 기법의 IID는 좌/우 스피커를 잇는 직선의 중점을 지나는 법선을 대칭으로 하는 쌍곡선 형태를 보이며, HII-CC 기법은 H-CC 기법에 비해 약 2배정도 넓은 등역을 갖는다. 따라서 HII-CC 기법은 H-CC 기법에 비해 약 2배정도 넓은 영역에서 상호간섭제거가 가능하다. 또한, HII-CC 기법의 ITD는 IID와 비슷한 개형을 보인다. HII-CC 기법의 ITD는 H-CC 기법에 비해 더 넓은 등역을 보이며 이는 그림 8과 같다. HII-CC 기법의 ITD는 H-CC 기법에 비해 약 3배정도 넓은 등역을 갖는다.

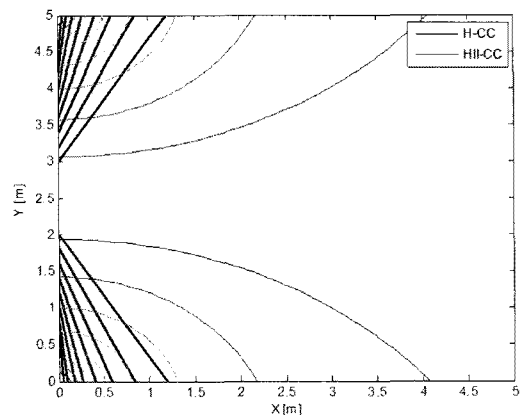


그림 7. H-CC 기법과 HII-CC 기법의 IID

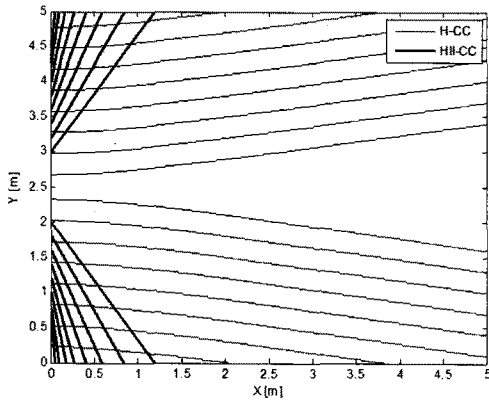


그림 8. H-CC 기법과 HII-CC 기법의 ITD

H-CC 기법은 청취자의 위치에 따라 좌우 수신신호 세기의 차가 존재하며 이로 인해 청취자는 정확한 공간감을 느끼지 못하게 된다. 하지만 HII-CC 기법은 청취자 위치추적기를 이용하여 사용자의 위치를 추정하고 이를 바탕으로 사용자의 위치에 상관없이 IID 및 ITD를 조정하여 H-CC 기법에 비해 더 넓은 영역에서 상호간섭제거가 가능하다. 또한 IID와 ITD를 기반으로 유효청취범위를 분석했을 때, HII-CC 기법이 H-CC 기법에 비해 약 2배정도 더 넓은 영역에서 유효함을 볼 수 있었으며 IID와 ITD를 기반으로 도출되는 H-CC 기법과 HII-CC 기법의 유효청취범위는 그림 9와 같으며 HII-CC 기법의 유효청취범위가 H-CC 기법의 유효청취범위에 비해 약 3배정도 넓은 영역에서 효율적인 상호간섭제거가 가능하다.

3.3 HCC기법과 HII-CC기법의 유효청취범위 상태지수와 IID/ITD를 고려한 CC기법의 유효청취

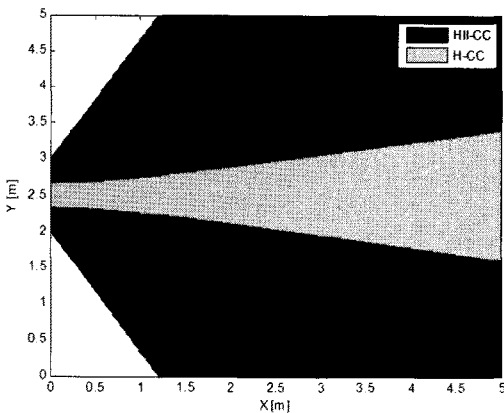


그림 9. ITD와 IID를 기반으로 하는 H-CC 기법과 HII-CC 기법의 유효청취범위

범위는 그림 6과 그림 9를 통해 보였으며, HII-CC기법과 H-CC기법의 유효청취범위는 좌/우스피커를 잇는 직선의 중점을 지나는 법선에 대칭인 형태로 나타난다. 또한, HII-CC기법의 유효청취범위는 H-CC기법에 비해 약 3배정도 더 넓은 영역에서 효과적인 상호간섭제거가 가능함을 볼 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 HRTF를 이용하는 CC기법인 H-CC 기법과 HRTF 뿐만 아니라 IID/ITD를 고려한 CC기법인 HII-CC 기법에 대한 유효청취범위를 분석하였으며 이는 CC의 객관적 성능평가 지표 가운데 하나인 상태지수와 ITD, IID를 이용하여 H-CC 기법과 HII-CC 기법의 유효청취범위를 분석하였다.

본 논문에서는 성능평가 지표를 기반으로 분석한 HII-CC 기법의 유효청취범위는 H-CC 기법에 비해 약 3배 정도 늘어난 것을 볼 수 있었으며, 유효청취범위는 좌/우 스피커를 잇는 직선의 중점을 지나는 법선에 대칭인 형태로 나타난다. 추후에는 HII-CC 기법의 청취자 주관적 평가를 통해 제안한 청취범위 및 HII-CC 기법의 타당성을 검증하는 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

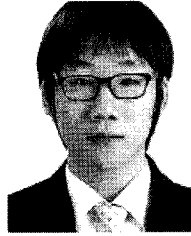
- [1] 최범석, 홍진우, "입체음향 (3D 오디오) 기술과 원리", *방송공학회지*, 제 6권, 제 1호, 36-45쪽, 2001년 3월.
- [2] 박영철, "멀티채널 실감 오디오 기술 동향", *대한 전자공학회논문지*, 제 36권, 제 4호, 55-63쪽, 2009년 4월.
- [3] 서정일, 장인선, 이용주, 유재현, 강경욱, "청취 환경 차이에 따른 3차원 오디오 기술 개발 동향", *방송공학회지*, 제 13권, 제 1호, 82-96쪽, 2008년 3월.
- [4] W. Gardner, *3-D Audio using Loudspeakers*, Kluwer Academic Publisher, Norwell, MA, 1998.
- [5] D. B. Ward and G. W. Elko, "Effect of loudspeaker position on the robustness of acoustic crosstalk cancellation," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol.6, No.5, pp.106-108, May, 1999.
- [6] D. B. Ward, "Joint squares optimization for

robust acoustic crosstalk cancellation,” *IEEE Trans. Speech Audio Process*, Vol.8, No.2, pp.211-215, Mar., 2000.

- [7] J. Rose, P. A. Nelson, B. Rafaely, and T. Takeuchi, “Sweet spot size of virtual acoustic imaging systems at asymmetric listener locations,” *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol.112, No.5, pp.1992-2002, Nov., 2002.
- [8] 김영문, 유승수, 이기승, 김선용, “자체발성음을 이용한 실내공간정보 획득 및 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법”, *한국통신학회논문지*, 제 35권, 제 2호, 246-253쪽, 2010년 2월.
- [9] 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.
- [10] ITU-R BS. 775-1, *Multichannel Stereophonic Sound System with and without Accompanying Picture*, International Telecommunications Union, Geneva, Switzerland, 1992-1994.
- [11] 유승수, 김영문, 이기승, 윤경로, 이석필, 김선용, “자체발성음의 도달지연시간차 기반 상향 실내 음향측위시스템 설계”, *한국통신학회논문지*, 제 35권, 제 1호, 130-137쪽, 2010년 1월.
- [12] H. Kim, P. Kim, and H. Kim, “Cross-talk cancellation algorithm for 3D sound reproduction,” *ETRI Journal*, Vol.22, No.2, pp.11-19, June, 2000.
- [13] O. Kiekeby, P. A. Nelson, and H. Hamada, “The stereo dipole - A virtual source imaging system using two closely spaced loudspeakers,” *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol.46, pp.387-395, May, 1998.
- [14] M. R. Bai and C. Lee, “Objective and subjective analysis of effects of listening angle on crosstalk cancellation in spatial sound reproduction,” *Journal of the Acoustical Society of America*, Vol.120, No.4, pp.1977-1989, Oct., 2006.

이 정 혁 (Junghyuck Lee)

준회원



2010년 2월 건국대학교 전자정보통신공학부 공학사  
2010년 3월~현재 건국대학교 전자정보통신공학부 석사과정  
<관심분야> 통계학적 신호처리, GNSS, Seamless Positioning

정 상 호 (Sanghyo Jeong)

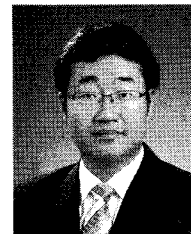
준회원



2010년 8월 건국대학교 정보통신공학전공 공학사  
2010년 9월~현재 건국대학교 전자정보통신공학 석사과정  
<관심분야> 통계학적 신호처리, 음향신호처리, 위성신호처리

유 승 수 (Seungsoo Yoo)

정회원



2004년 2월 건국대학교 전자공학부 공학사  
2005년 2월 건국대학교 전자정보통신공학부 공학석사  
2010년 8월 건국대학교 전자정보통신공학부 공학박사  
2010년 9월~현재 건국대학교

BK21 핵심사업단 박사후과정  
<관심분야> 이동통신, 통신신호처리, 무선측위, GNSS

송 익 호 (Ickho Song)

중신회원



1982년 2월 서울대학교 전자공학과 공학사(준최우등)  
1984년 2월 서울대학교 전자공학과 공학석사  
1985년 8월 펜실베니아대학교 전기공학과 공학석사  
1987년 3월~1998년 2월 벨 통

신연구소 연구원

1988년 3월~현재 한국과학기술원 전자전산학과 조교수, 부교수, 교수

1995년 1월~현재 한국통신학회 논문지 편집위원

1991년 11월, 1996년 11월 한국통신학회 학술상 받음

1993년 11월 한국음향학회 우수연구상 받음

1998년 11월 한국통신학회 LG 학술상 받음

1999년 11월 대한전자공학회 해동논문상 받음

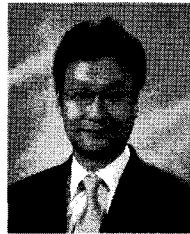
2000년 3월 젊은 과학자상 받음

2000년 11월 한국통신학회 모토롤라학술상받음. 대한전자공학회, 한국음향학회, 한국통신학회 평생회원; IEE 석학회원; IEEE 선임회원

<관심분야> 통계학적 신호처리와 통신이론, 신호검파와 추정, 이동통신

김 선 용 (Sun Yong Kim)

중신회원



1990년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 학사(최우등)  
1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학석사  
1995년 8월 한국과학기술원 전자전산학과 박사  
1995년 4월~1996년 3월 동경

대학교 생산기술연구소 박사연구원

1996년 9월~1998년 12월 한국전자통신연구원 초빙연구원

1996년 3월~2001년 8월 한림대학교 정보통신공학부 전임강사, 조교수

2001년 8월~현재 건국대학교 전자공학부 조교수, 부교수, 교수

1990년 IEEE Korea Section 학생논문대회 우수상 받음

1992년~1993년 IEEE Communication Society 장학금 받음. 대한전자공학회, 한국통신학회 정회원, IEEE 선임회원

<관심분야> 통계학적 신호처리, 이동통신, 통신이론