

청취자 위치정보 기반 Sound Rendering 시스템 상호간섭 제거기법의 객관적 성능분석

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

An Objective Performance Analysis of Crosstalk Cancellation Scheme for Sound Rendering Systems Based on Listener Position Tracking

Junghyuck Lee, Yeongmoon Kim Associate Members, Seungsoo Yoo Regular Member, Sun Yong Kim Lifelong Member

요 약

본 논문에서는 청취자 위치정보 기반 상호간섭 제거기법의 객관적 성능을 분석한다. 기존의 많은 상호간섭 제거기법은 청취자가 최적청취위치에 있을 때를 가정해 설계되었다. [11]에서 제안한 공간뒤틀림/상호간섭제거기법은 청취자 위치 추적기를 사용하여 청취자의 위치에 상관없이 상호간섭 제거가 가능하다. 공간뒤틀림/상호간섭제거기법은 청취자 위치추적 부분과 상호간섭 제거 부분으로 구성된다. 본 논문에서는 청취자 위치정보 기반 상호간섭 제거기법의 객관적 성능평가를 위해 상호간섭 지표 가운데 하나인 상태지수를 이용한 물리적 강인성과 좌/우 스피커의 수신전력세기 균형특성 및 균형특성의 근평균제곱오차와 유동평균을 통해 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법의 객관적인 간섭제거성능을 보였다.

Key Words : Adaptive Stereo Sound System, Acoustic Signal Based Localization, Time Difference of Arrival, Crosstalk Cancellation, Self-Generating Sound Signals

ABSTRACT

In this paper, we conduct an objective performance analysis of the crosstalk cancellation scheme studied in [11]. While the conventional scheme is only applicable to a listener on the optimal listenable region (sweetspot), the space skew/crosstalk cancellation (SS/CC) scheme in [11] can mitigate crosstalk regardless of the listener's position by using listener position tracking (LPT) system. The SS/CC scheme is composed of two parts: LPT-based SS and CC parts. In this paper, the SS/CC scheme is evaluated by some criteria such as follows: condition number, and the balance characteristic, its root mean square error, and running average.

I. 서 론

최근 입체음향에 대한 관심이 높아지면서 가정용 극장시스템이나 멀티미디어 시스템과 같은 입체음향 시스템이 각광을 받고 있다. 입체음향이란 원음장을

충실하게 재현하고 음의 고저, 음색뿐만 아니라 방향이나 거리감까지도 재생하는 기술이다^[1].

지난 수십 년간 3차원 영상분야의 신기술 개발을 위해 세계적으로 상당한 연구가 진행된 것에 반해, 입체음향 기술 개발에 대한 노력은 상대적으로 적었다.

* 본 연구는 과학재단 특정기초연구과제 (R01-2008-0000-12271-0) 지원으로 수행되었습니다.

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

논문번호 : KICS2011-01-006, 접수일자 : 2011년 1월 4일, 최종논문접수일자 : 2011년 2월 1일

음원의 위치를 임의의 3차원 공간에 정확하게 연출할 수 있는 입체음향 기술은 오디오 기반 미디어의 가치를 획기적으로 높일 수 있으며 영상에 포함된 3차원 정보의 실감성을 배가시킬 수 있다. 2010년 현재, 현장감 있는 음을 제공하기 위한 음의 가공 기법 및 재생에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다^[1-3].

입체음향의 요소기술은 음원의 위치를 원하는 가상 위치에 정위시키는 음상정위 (sound image localization), 음원공간을 가상으로 생성하는 음장제어 (sound field control), 핵심 공간정보인 청취자 위치를 결정하는 음향 측위 (listener position tracking), 2개 이상의 스피커 청취시 발생하는 상호간섭제거 (crosstalk cancellation) 등이 있다. 이 가운데 일반적인 음상정위, 음장제어, 상호간섭제거 기술은 청취자가 항상 최적청취위치에 있음을 가정한다. 하지만 청취자는 소리가 발생하는 스피커의 유효공간 내 어디에서나 위치할 수 있다. 이때, 음원의 방향을 지각하는 방향감과 실제 음장에 대한 공간감은 청취자의 위치에 따라 변하기 때문에 최적청취위치의 공간에 있는 청취자는 정확한 입체음향 효과를 느끼지 못한다. 따라서 청취자의 위치정보를 정확하게 획득하는 기술은 입체음향시스템을 위한 핵심기술이다^[4].

[11]에서는 자체발성음을 이용한 실내공간정보 획득과 이를 이용한 공간뒤틀림 및 상호간섭 제거기법을 바탕으로 적응형 스테레오 사운드 시스템을 제안하였으며 자체발성음 기반 청취자 공간정보를 이용하여 시스템의 주관적 성능평가를 실시하였다. 본 논문에서는 청취자가 최적청취위치가 아닌 일반청취위치에 있을 경우에서의 상호간섭 제거기술의 객관적 성능평가에 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) 전달이 되어 소리의 명확한 전달을 방해하는 것을 말한다. 기존의 상호간섭 제거기술은 청취자가 최적청취위치에 있는 경우에만 상호간섭제거가 가능하다. 하지만, 청취자가 항상 최적 위치에만 존재하는 것은 아니기 때문에 기존의 기술로는 상호 간섭을 항상 제거하기 어렵다^[5]. 따라서 사용자 위치정보를 기반으로 하는 [11]과 같은 상호간섭 제거기법이 제안되었으며 이 기법은 청취자 위치추적 부분과 상호간섭 제거 부분으로 구성된다.

[11]의 청취자 위치추적 부분은 자체발성음 기반의 측위기법을 이용한다. 기존 실내측위 기술은 기계음을 측위음원으로 사용하며, 이는 마이크와 스피커로 구성된 음향시스템 외에 별도의 휴대장비가 필요하다는 단점이 있다. [11]에서는 별도의 휴대장비 없이 위치 정보를 획득할 수 있는 자체발성음 기반의 청취자 위치 추적기술을 제안한 바 있다.

본 논문에서는 [11]에서 제안한 시스템의 성능평가를 수행한다. 여기서 자체발성음이란 사람이 별도의 장비 없이 스스로 발생시킬 수 있는 소리를 말하며 손가락 딱소리 (finger snap), 박수소리, 휘파람소리 등이 이에 속한다. 하지만 휘파람 소리와 손가락 딱소리는 사용자에 따라 발생시키기 어렵고 복잡해 측위에 사용하기 어렵다. 그러나 박수소리는 거의 모든 사람이 발생시킬 수 있고 그 종류가 제한적이고 단순해 측위를 위한 음원으로 적합하다^[6]. 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법에서 청취자 위치정보는 추정-상관기를 (estimator-correlator) 통해 각각의 마이크에서 도달 시간차를 (time difference, TD) 바탕으로 추정한다. 상호간섭 제거 부분은 UC Davis에서 측정한 머리전달 함수를 (head related transfer function, HRTF) 기반으로 구성된다^[7]. 본 논문에서 언급한 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법은 청취자 위치추적기에서 획득한 위치정보를 사용하여 청취자위치에 상관없이 상호간섭을 제거한다.

본 논문에서는 이 기법의 객관적 성능평가를 위해 [8]-[10]에서 확인한 객관적 성능평가 지표 가운데 하나인 상태지수를 (condition number) 이용하여 물리적 강인성을 (robustness) 보이며 수신전력세기 균형 특성과 균형특성의 근평균제곱오차 및 유동평균을 통해 제안한 기법의 간섭 제거 성능을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II장에서는 기존의 상호간섭 제거기법과 [11]의 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법에 대해 소개한다. III장에서는 기존의 상호간섭 제거기법과 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법을 상태지수와 좌우상관 균형특성 및 이의 근평균제곱오차와 유동평균을 이용하여 물리적 강인성을 보인다. 끝으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 상호간섭 제거기법

2.1 기존의 상호간섭 제거기법

기존의 상호간섭 제거기법은 그림 1과 같이 청취자가 최적 위치에 있다는 가정하에서 설계되었다. 스테레오 스피커 환경에서 최적 청취위치는 좌우 스피커

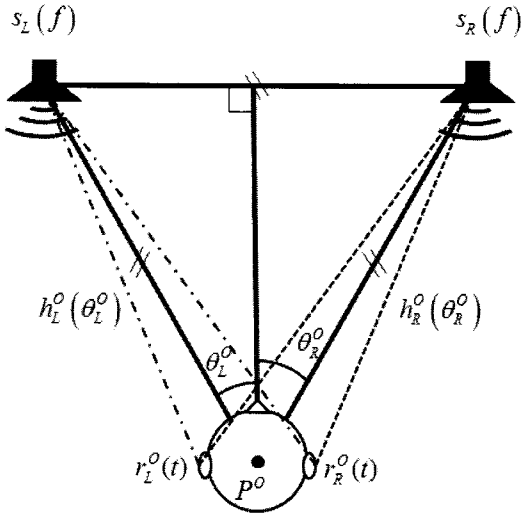


그림 1. 최적청취위치에서의 스테레오 스피커 청취모형

를 두 꼭지점으로 하는 정삼각형에 다른 한 꼭지점의 위치이다⁹⁾. 그림 1과 같은 정삼각형 구조는 기존의 상호간섭 제거기법을 이용하여 정확한 스테레오 음상 재현을 가능하게 한다. 또한 청취자를 둘러싼 직경 0.25m의 원은 여러 음향 효과를 동일하게 느낄 수 있는 공간상의 가상 구체로서 등역이라 (sweetspot) 한다. 즉, 이 공간 안에서 청취자는 음향효과와의 차이를 느끼지 못한다. 따라서 최적청취위치의 반경은 음향측위의 정확도를 제한하는기준으로 사용된다¹⁰⁾.

그림 1에서 P^O 는 최적청취환경에서 청취자의 위치, θ_L^O 는 (또는 θ_R^O) P^O 와 좌측 (또는 우측) 스피커를 잇는 직선과 좌우 두 스피커를 잇는 직선의 중점을 지나는 법선 사이의 각이다. 이때, 왼쪽과 오른쪽 귀에 수신되는 음향신호 $r_L^O(t)$ 와 $r_R^O(t)$ 는 각각 식 (1)과 식 (2)와 같다.

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

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

여기서 $h_L^O(\theta)$ 과 $h_R^O(\theta)$ 는 θ 방향특성을 갖는 머리 전달함수, $s_L(t)$ 와 $s_R(t)$ 는 좌우 스피커로 송출하는 음향신호, τ^O 는 최적청취위치에서의 전파지연이다. 본 논문에서는 잡음은 고려하지 않는다. 식 (1)과 식 (2)에서 상호간섭은 $h_L^O(\theta_R^O)s_R(t-\tau^O)$ 과 $h_R^O(\theta_L^O)s_L(t-\tau^O)$ 이다. 식 (1)과 식 (2)를 행렬식을사용해 간단히 식 (3)

처럼 다시 쓸 수 있다.

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

$$\text{여기서 } R^O = [r_L^O \ r_R^O]^T, \ H^O = \begin{bmatrix} h_L^O(\theta_L^O) & h_L^O(\theta_R^O) \\ h_R^O(\theta_L^O) & h_R^O(\theta_R^O) \end{bmatrix},$$

$s = [s_L \ s_R]^T$ 이고, T 는 전치행렬을 의미한다. 수식 표현의 용이성을 위해 t 는 표현하지 않는다. 최적청취위치에서 상호간섭을 제거한 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.

기존기법에서 스피커로부터 청취자까지의 전달함수는 청취자가 최적의 위치에 있을 경우를 가정하여 상호간섭을 제거하게 된다. 하지만, 청취자는 스피커의 소리가 유효한 공간 어느 곳이나 위치할 수 있으며 이에 따라 효과적인 상호간섭 제거가 어렵게 되며 정확한 음향효과를 느낄 수 없다¹⁰⁾.

2.2 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법¹¹⁾

[11]에서는 사용자 위치기반 상호간섭 제거기법을 제안하였다. 기존의 상호간섭 제거기법은 청취자가 최적 위치에 있을 경우에만 상호간섭 제거가 가능하였으나 제안된 기법은 청취자 위치 추적기를 사용하여 청취자의 위치를 추적하고, 이를 기반으로 상호간섭 제거를 수행한다¹¹⁾.

스테레오 스피커 시스템에서의 일반적인 청취 모형은 그림 2와 같다. 그림 2에서 P 는 일반 청취환경에서 청취자의 위치, θ_L 은 (또는 θ_R) P 와 좌측(또는 우측) 스피커를 잇는 직선과 좌우 두 스피커를 잇는 직선의 중점을 지나는 법선 사이의 각이다. 이 때, 청취자의 좌측 귀와 우측 귀에 도달하는 음향 신호는 각각 식 (5)와 식 (6)처럼 정의된다.

$$r_L(t) = \frac{1}{\kappa_L} \{h_L(\theta_L)s_L(t-\tau_L) + h_L(\theta_R)s_R(t-\tau_R)\}, \quad (5)$$

$$r_R(t) = \frac{1}{\kappa_R} \{h_R(\theta_L)s_L(t-\tau_L) + h_R(\theta_R)s_R(t-\tau_R)\}, \quad (6)$$

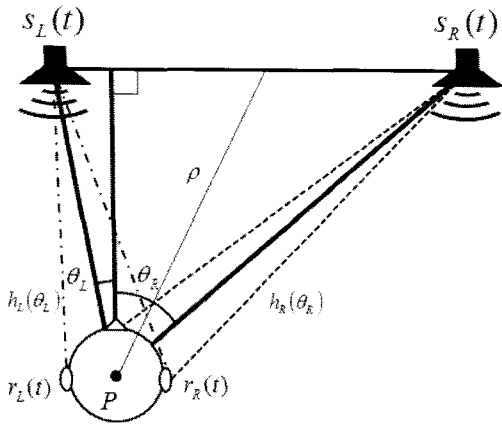


그림 2. 일반청취위치에서의 스테레오 스피커 청취모형

여기서 $\kappa_L = \rho^O / \rho_L$, $\kappa_R = \rho^O / \rho_R$ 이고, ρ^O 은 좌우 두 스피커의 중점으로부터 청취자까지의 거리이며, ρ_L 은 (또는 ρ_R) 좌측 스피커부터 (또는 우측 스피커) 청취자까지의 거리이며, τ_L 은 (또는 τ_R) 좌측 (또는 우측) 스피커에서 청취위치까지의 음향전파지연시간이다. 이 때, 좌측 귀와 우측 귀에 도달하는 음향 신호 중에서 $h_L(\theta_L) s_R(t - \tau_R)$ 과 $h_R(\theta_R) s_L(t - \tau_L)$ 는 상호간섭이다. 식 (5)와 식 (6)은 행렬식을 사용해 간단히 식 (7)처럼 다시 쓸 수 있다.

$$R = K^{-1} H \Delta s, \quad (7)$$

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

이며 $\delta(\cdot)$ 는 임펄스 함수이다.

식 (7)을 식 (3)처럼 만들기 위해서는 일반 청취위치에서의 공간정보를 청취자 위치 추적기를 통해 추정해야 한다. 제안된 기법은 청취자 위치 추적을 위해 N 개의 마이크를 유효음향공간의 평면과 평행한 가상면의 둘레에 위치시킨다. 청취자가 임의의 위치에서 박수소리를 발생시키면 N 개의 마이크에서 이를 입력받아 도달시간차를 추정한다. 이렇게 추정한 도달시간차를 Gauss-Newton 기반 최소자승법으로 최종 위치해를 구한다. 제안된 기법은 획득한 위치정보를 (특히 θ_L 과 θ_R) 사용하여 사전부호화과정을 거쳐 상호간섭을 제거한다. 식 (8)처럼 일반청취위치에서 상호간섭 제거가 가능하다.

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

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

III. 성능평가

본 논문에서는 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법의 성능을 평가를 위해 위치에 따른 측위 정확도 실험과 상호간섭 제거평가를 수행하였다. 실험 구성을 위해 가로×세로×높이가 $3 \times 3 \times 1 \text{ m}^3$ 인 가상의 직육면체 꼭지점에 8개의 마이크를 설치했으며 (즉, $N=8$) 박수소리를 음원으로 하여 측위실험을 진행하였다. 청취자는 그림 3처럼 다양한 위치에서 실험을 실시하였다.

본 논문에서 청취자 측위를 위한 시스템의 측위 정확도의 결과는 0.25 m 이내의 측위오차가 발생할 확률이 약 75%~85%로 나타났다. 여기서, 0.25 m 는 청취자를 중심으로 하는 최적청취위치의 반경이다.

본 논문에서는 상호간섭 제거기법의 객관적 성능지표 가운데 하나인 상태지수를 이용한 물리적 강인성을 보여 제안한 기법의 간섭제거성능을 보인다. 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 머리전달함수의 특성이 사람마다 다르기 때문에 상호간섭을 완벽하게 제거할 수 없다¹²⁾. 따라서 본 논문에서는 상호간섭 제거기법의 객관적 성능지표로써 식 (9)처럼 상태지수를 이용하여 제안한 기법의 성능을 평가한다.

$$\text{cond}\{K^{-1} H \tilde{\Delta}\} = \frac{\sigma_{\max}(\sqrt{K^{-1} H \tilde{\Delta} (K^{-1} H \tilde{\Delta})^H})}{\sigma_{\min}(\sqrt{K^{-1} H \tilde{\Delta} (K^{-1} H \tilde{\Delta})^H})}, \quad (9)$$

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

일반적으로 상태지수가 10보다 작으면 물리적인 강인성이 높다고 판단하고, 100이상의 값을 가지면 물리적 강인성이 낮다고 할 수 있다¹²⁾. 본 논문에서는 물리적 강인성 평가를 위해 총 9개의 위치에서 모의 실험을 진행하였으며 평가결과는 그림 3과 같다. 그림 3(a)처럼 청취자가 가상공간의 좌측으로 이동할 수록 청취자가 중앙에 위치해 있을 경우에 비해 강인성이 낮아지게 되며 이는 청취자가 좌, 우 스피커에 가까워지고 멀어짐에 따라 동일한 특성을 나타낸다. 특히 제

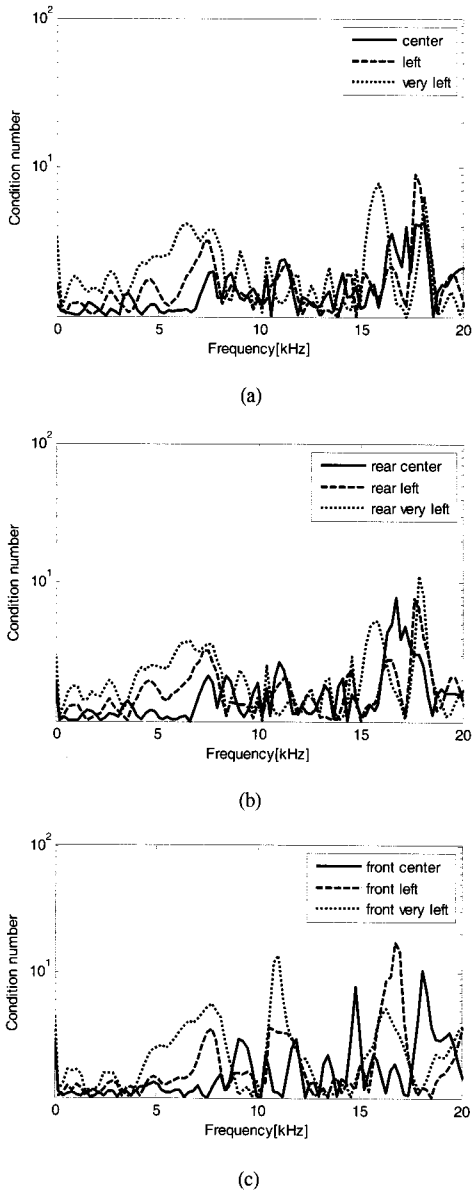


그림 3. [11]에서 제안한 상호간섭제거기법의 물리적 강인성: (a) 가운데 측선 (center/left/right), (b) 후면 측선 (rear-center/left/right), (c) 전면 측선 (front-center/left/right)

안한 기법은 0 ~ 5kHz 주파수 대역에서 비교적 물리적 강인성이 높게 나타났으며 이는 본 논문에서 자체 발생음으로 이용한 박수소리의 주파수 대역에 따라 이와 같은 결과가 발생한 것을 알 수 있었다. 또한, 청취자가 측선을 기준으로 좌측스피커와 가까워지는 경우 물리적 강인성이 낮아지는 것을 확인할 수 있었다.

청취자가 일반적인 청취위치에서 정확한 공간감을 느끼지 못하는 것은 좌, 우 스피커의 수신전력세기의

균형이 다르기 때문이다^[12]. 이에 본 논문에서는 그림 4(a)처럼 각각의 위치에서 기존 기법과 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법의 좌, 우 스피커 수신전력세기 균형 특성을 보였으며 좌, 우 스피커의 수신전력세기 균형 특성은 좌, 우 스피커와 청취자 사이의 거리에 따라 감소하는 것을 볼 수 있었다. 또한, 청취자와 좌, 우 스피커 사이의 거리비가 일정할 경우 기존 기법과 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법의 수신전력세기의 균형

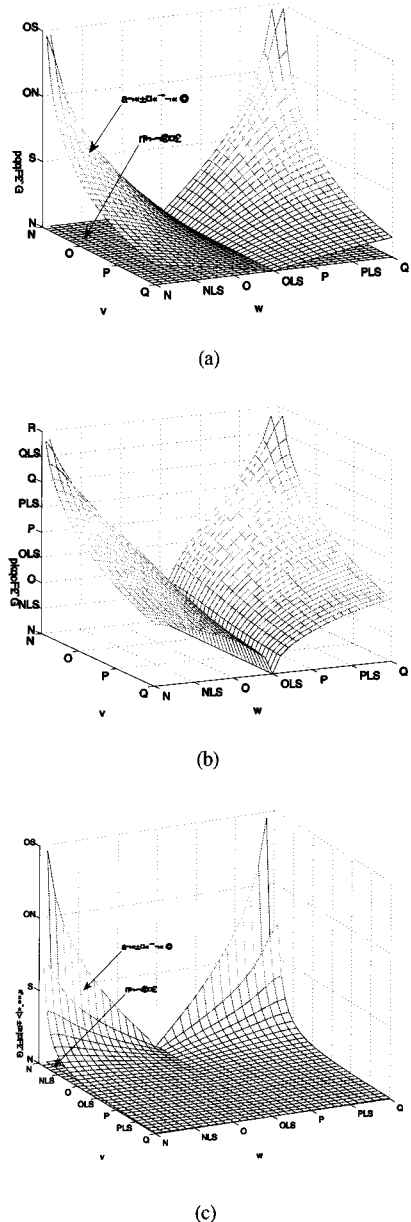


그림 4. 기존 기법과 [11]에서 제안한 기법의 좌우스피커의 (a) 균형특성과 균형특성의 (b) 근평균제곱오차와 (c) 유통평균

특성이 동일하다는 것을 볼 수 있다. 한편, 본 논문에서는 그림 4(b)와 그림 4(c)에서와 같이 청취자 위치에 따른 기존기법과 제안한 기법의 근평균제곱오차와 유동평균을 보였으며 근평균제곱오차와 유동평균은 좌, 우 스피커를 잇는 직선의 중점의 법선을 기준으로 대칭인 특성을 갖는다.

기존 기법의 수신세기 균형특성은 크게 15dB에서 3dB정도의 좌우 세기의 차가 존재하며 이 때문에 청취자는 정확한 공간감을 느끼지 못하게 된다. 하지만 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법은 청취자 위치추적기를 이용하여 사용자의 위치를 추정하고 이를 바탕으로 사용자의 위치에 상관없이 좌우 균형특성을 맞춰서 기존의 기법에 비해 좋은 성능을 보인다. 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법은 기존의 기법과는 다르게 사용자 위치와 관계없이 전 영역에서 고른 수신전력 균형 특성을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

본 논문에서는 청취자 위치정보 기반의 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법에 대한 객관적 성능분석을 실시하였다. 청취자 측위 정확도가 0.25m 이내일 확률이 75%~85%였으며, 획득한 측위정보 기반의 상호간섭 제거기법의 성능은 객관적 성능평가 지표 가운데 하나인 상태지수를 다양한 위치에서 측정하였으며 이를 이용한 물리적 강인성을 보였다. 또한 좌, 우 스피커의 수신전력세기 균형특성을 보여 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법의 간섭제거성능을 검증하였으며, 근평균제곱오차와 유동평균을 통해 기존기법과 제안한 기법의 성능을 평가하였다. 추후에는 상호간섭 제거기법을 객관적 평가와 더불어 주관적 평가를 통해 제안한 기법의 타당성을 검증하는 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] 최범석, 홍진우, "입체음향 (3D 오디오) 기술과 원리", *방송공학회지*, 제6권, 제1호, 36-45쪽, 2001년 3월.
- [2] 박영철, "멀티채널 실감 오디오 기술 동향", *대한전자공학회논문지*, 제36권, 제4호, 55-63쪽, 2009년 4월.
- [3] 서정일, 장인선, 이용주, 유재현, 강경욱, "청취 환경 차이에 따른 3차원 오디오 기술 개발 동향", *방송공학회지*, 제13권, 제1호, 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] 유승수, 김영문, 이기승, 윤경로, 이석필, 김선용, "자체발성음의 도달지연시간차 기반 상향 실내 음향측위시스템 설계", *한국통신학회논문지*, 제35권, 제1호, 130-137쪽, 2010년 1월.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] J. Rose, P. Nelson, B. Rafaely, and T. Takeuchi, "Sweet spot size of virtual acoustic imaging systems at asymmetric listener locations," *J. Acoustical Society of America*, Vol.112, No.5, pp.1992-2002, Nov. 2002.
- [10] O. Kiekeby, P. A. Nelson and H. Hamada, "The stereo dipole - A virtual source imaging system using two closely spaced loudspeakers," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 46, pp. 387-395, May 1998.
- [11] 김영문, 유승수, 이기승, 김선용, "자체발성음을 이용한 실내공간정보 획득 및 공간뒤틀림/상호간섭 제거기법", *한국통신학회논문지*, 제35권, 제2호, 246-253쪽, 2010년 2월.
- [12] M. R. Bai and C. Lee, "Objective and subjective analysis of effects of listening angle on crosstalk cancellation in spatial sound reproduction," *J. 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 신호 처리, GNSS, Seamless Positioning

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 동경대학교 생산기술연구소 박사연구원

1996년 9월~1998년 12월 한국전자통신연구원 초빙연구원

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

2001년 8월~현재 건국대학교 전자공학부 조교수, 부교수, 교수

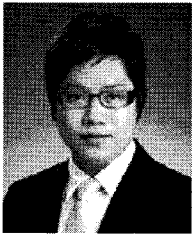
1990년 IEEE Korea Section 학생논문대회 우수상 받음

1992년~1993년 IEEE Communication Society 장학금 받음

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

김 영 문 (Yeongmoon Kim)

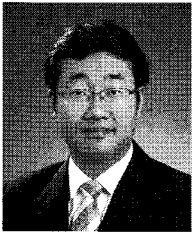
준회원



2009년 2월 건국대학교 전자정보통신공학부 공학사
2011년 2월 건국대학교 전자정보통신공학부 공학석사
2011년 1월~현재 LG디스플레이 이 모바일 OLED 사업부
<관심분야> 통계학적 신호 처리, 음향신호처리.

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.