실내에서 음향신호의 RSPD를 이용한 청음각 추정 기법

준회원 이 의 형*, 정회원 유 승 수*, 종신회원 윤 은 철*, 김 선 용*

A Listening Angle Estimation Scheme based on Received Signal Power Differences in Indoor Environment

Euihyoung Lee* *Associate Member*, Seungsoo Yoo* *Regular Member*,
Eun Chul Yoon*, Sun Yong Kim* *Lifelong Members*

요 약

본 논문에서는 실내 환경에서 음원과 수신마이크 사이의 거리에 따른 음향신호 수신세기 감소 특성을 이용하여 새로운 수신전력세기차 기반 청취자 각도 추정 기법을 제안하고, 이 기법의 각도 추정성능을 분석한다. 제안한 기법으로 청취자의 각도를 추정하기 위해 사용하는 측정치는 수신전력세기간의 차이이며 이는 각도 추정을 위한 측정치로서 본 논문에서 처음 고려되었다. 제안한 기법을 이용하여 청취자 각도를 추정했을 때 발생하는 오차를 수학적으로 모델링하여 분석하고 모의실험 및 실측실험을 통해 제안한 기법의 성능을 보인다.

Key Words : Indoor positioning, Listening angle, Received signal power difference, Acoustic signals, Attenuation constant

ABSTRACT

This paper presents a listening angle estimation scheme based on received signal power difference (RSPD) using acoustic signals, and analyzes the performance of the proposed scheme. The RSPD as the measurement to estimate the listening angle is considered for the first time in this paper. We mathematically analyze the error characteristics of the proposed scheme and present the characteristics of the proposed scheme through the Monte-Carlo simulation. We also conduct actual experiments in an anechoic room to evaluate the performance of the proposed scheme to compare with the conventional scheme.

Ⅰ. 서 론

입체음향은 실제음원이 발생한 곳의 방향감, 거리감 등 공간감을 청취자가 지각할 수 있도록 음원에 공간정보를 포함한 음향을 의미한다. 입체음향 재생을 위한 기술로 음원의 위치를 원하는 가상위치에 정위시키는 음상정위 (sound image localization), 음원 공간을 가상으로 생성하는 음장제어 (sound field control) 등이 있지만 이는 모두 청취자가 항상 최적 청취위치에 있음을 가정한다[1,2]. 그러나 청취자는 스피커 유효공간 내 어디에도 위치할 수 있기 때문에 청취자에게 입체음향을 제공하기 위해서는 음원에 청취자의 공간정보를 포함시켜야 한다. 따라서 입체음향 재생을 위해서는 청취자의 위치정보 획득이 필수적이다. 특히, 머리전달함수 (head-related transfer function, HRTF) 기반 입체음향 재생기술은 공간상에 위치한 청취자와 스피커 사이의 각도에 상응하는 HRTF를 재생하는 음원에 부가하여 청취자에게 최적의 음향을 제공하기 때문에 입체음향 재생을 위해 필요한 청취자의 주요 정보는 청음각이다. 청음각은 두

※ 본 연구는 과학기술부 과학재단 특정기초연구과제 R01-2008-000-12271-0 지원으로 수행되었습니다.
* 건국대학교 전자정보통신공학부 (kimsy@konkuk.ac.kr)
논문번호 : KICS2010-11-520, 접수일자 : 2010년 11월 22일, 최종논문접수일자 : 2010년 12월 3일

전방 스피커 사이의 중점을 잇는 법선을 기준으로 그 중점과 청취자가 위치한 점을 잇는 직선의 사잇각이다[3-5].

기존의 청음각 추정 기법은 배치된 두 전방 마이크 사이의 거리와 마이크와 청취자 사이의 거리의 비에 따라 원거리 청음각 추정 기법과 근거리 청음각 추정 기법으로 나눌 수 있다. 원거리 청음각 추정 기법은 수신모형을 평면파로 가정해 두 마이크 사이에 음원이 도달하는 시간차를 청음각으로 추정하는 방법이고, 근거리 청음각 추정 기법은 음원이 동심원파로 전파된다고 가정해 세 마이크 사이에 음원이 도달하는 시간차를 제2여현법칙을 바탕으로 청음각을 추정하는 방법이다[6]. 본 논문은 이 가운데 2개의 마이크를 사용하는 기법과 제안하는 기법을 비교한다. 제안한 기법은 음향신호의 전파거리에 따른 음향신호 세기 감쇠 특성과 두 마이크에 수신된 신호의 세기 차를 이용하여 청음각을 추정한다. 공간상 두 마이크에 수신된 신호세기의 차가 일정한 점들은 하나의 수신전력세기차 곡선을 이룬다. 제안한 기법은 수신전력세기차에 따른 독립적인 곡선을 특정 청음각을 갖는 직선으로 근사화하여 청음각을 추정한다. 제안한 기법의 성능을 분석하기 위해 근사화 오차를 분석하고, 무향 공간에서 얻은 거리에 따른 수신전력세기차의 추이를 바탕으로 모의실험 및 실측실험을 수행해 그 성능을 보인다. 수신신호전력세기간의 차이는 WLAN (wireless local area network) 기반 실내측위시스템과 같은 전파기반측위에서만 고려되었을 뿐 음향기반 실내측위를 위한 측정치로는 본 논문에서 처음 고려되었다.

Ⅱ. 기존의 청음각 추정 기법

기존의 청음각 추정 기법은 $r \gg 2d$, $r > 8d^2/\lambda$, $r \gg \lambda$인 원거리에서 적용가능한 방법이 주로 연구되었다. 여기서 d는 측점사이의 거리, λ는 신호의 파장, 그리고 r은 피측점과 두 마이크의 중점과의 거리이다. 특히 r과 d의 관계는 근거리환경과 원거리환경을 구분할 수 있는 주요 매개변수로서 r과 d의 원격비가 근거리와 원거리환경 구분의 기준이 된다[7]. 본 논문에서는 2개 마이크를 사용하는 기법을 고려한다.

그림 1은 원거리 청음각 추정 기법의 수신 모형이다. 여기서, m^+와 m^-는 사이거리가 d인 측점, S는 극좌표계로 (r, θ)에 있는 피측점, r^+는 (또는 r^-) 측점 m^+부터 (또는 m^-) 피측점 S까지의 거리, $\tilde{\tau}$는 피측점 S에서 음파가 원형으로 (3차원에서는 구형) 전

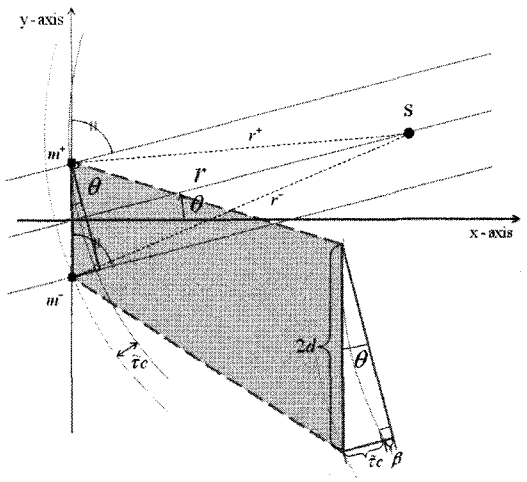

그림 1. 원거리 청음각 추정 기법의 수신모형

파될 때 각 측점에 도달한 도달지연시간의 차이, c는 음속, β는 두 측점에 도달하는 파형을 평행파로 가정하면서 야기되는 도달지연시간차이의 오차이다.

마이크가 평면파로 신호를 수신한다고 가정하였을 때 청음각 θ는 식 (1)처럼 얻을 수 있다.

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{\tilde{r}}{2d}\right), \tag{1}$$

여기서 $\tilde{r} = \tilde{\tau}c$이다. 하지만 그림 1에서 보는 것처럼 측점 m^-에 도달하는 동심원파로 추정된 파형과 평행파로 가정한 파형의 수신에 따른 오차 β가 발생한다. 이 오차를 고려한 청음각은 식 (2)와 같다.

$$\tilde{\theta} = \sin^{-1}\left(\frac{\tilde{r}+\beta}{2d}\right), \tag{2}$$

여기서 $\tilde{r}$은 식 (3)과 같이 다시 쓸 수 있다. 이때 r^-와 r^+는 피측점에서 측점 m^+과 m^-사이의 거리이며 이는 각각 식 (4)와 식 (5)처럼 나타낼 수 있다.

$$\tilde{r} = r^- - r^+, \tag{3}$$

$$\begin{aligned}(r^+)^2 &= r^2 + d^2 - 2rd\cos(\pi/2-\theta) \\ &= r^2 + d^2 - 2rd\sin(\theta),\end{aligned} \tag{4}$$

$$\begin{aligned}(r^-)^2 &= r^2 + d^2 - 2rd\cos(\pi/2+\theta) \\ &= r^2 + d^2 + 2rd\sin(\theta),\end{aligned} \tag{5}$$

여기서, 식 (4)와 식 (5)를 식 (3)에 대입하게 되면

식 (6)을 얻을 수 있다.

$$\tilde{r} = \sqrt{r^2 + d^2 + 2rd\sin(\theta)} - \sqrt{r^2 + d^2 - 2rd\sin(\theta)}. \quad (6)$$

식 (1)부터 식 (6)으로부터 β에 의해 야기되는 도달각 추정오차는 식 (7)과 같다.

$$\varepsilon_c = \tilde{\theta} - \theta. \quad (7)$$

식 (7)을 이용하여 구한 잡음이 없는 환경에서 원거리 청음각 추정 기법의 d 및 θ에 따른 오차는 그림 2와 그림 3과 같다.

그림 2에서 보듯이 원거리 청음각 추정 기법은 d가 2.5일 경우 HRTF가 요구하는 최소 각도 오차 범위 이상으로 오차가 발생하지만 d가 1인 경우에는 HRTF가 요구하는 최소오차범위 이내로 오차가 발생함을 알 수 있다. 그림 3은 $\theta = 45\,\text{deg}$ 일 때 d에 따른 원거리 청음각 추정 기법의 오차이다. 그림에서 보듯이 원거리 청음각 추정 기법은 d가 작아질수록 오차가 줄어드는 것을 알 수 있다.

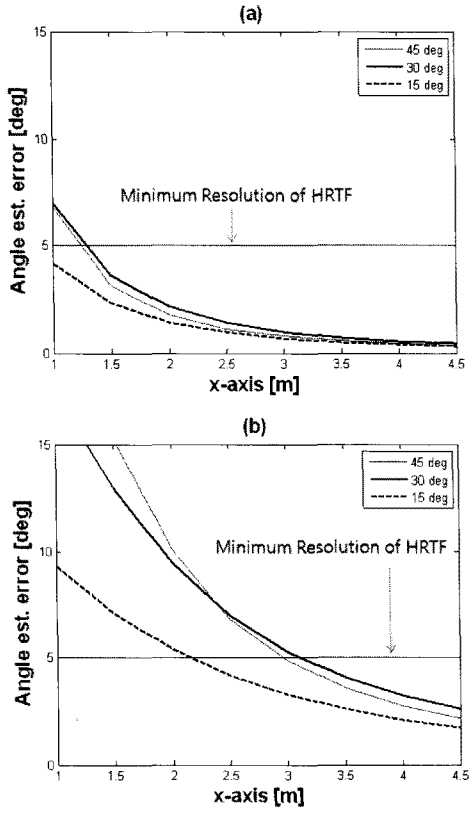

그림 2. 잡음이 없는 환경에서 d에 따른 원거리 청음각 추정 기법의 오차: (a) $d=1$ (b) $d=2.5$

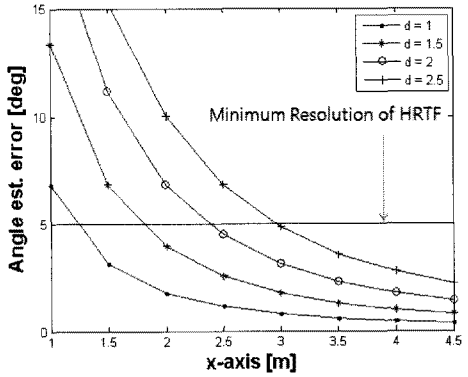

그림 3. 잡음이 없는 환경에서 $\theta = 45\,\text{deg}$ 일 때 d에 따른 오차

Ⅲ. 음향신호의 경로감쇠특성[8-10]

장애물이 없고, 공간을 구성하는 매질이 균일하며, 그 밀도가 상당히 소한 상태에 있고, 파동원은 점원이며, 전파는 등방성 안테나, 음파는 등방성 확성기를 통해 전파될 때, 수신 안테나 또는 마이크로 수신되는 신호는 점원의 위치를 원점으로 하고, 점원의 위치와 수신 안테나 또는 마이크의 위치를 반지름으로 하는 원의 표면적 중 수신 안테나 또는 마이크가 차지하는 면적비 만큼 감쇠한다. 전파(傳播)되는 전력장은 전력밀도라고 부르며, 그 단위는 Watt/meter(s)^{2}이다. 자유공간에서 수신전력의 합 P_R은 식 (8)과 같다.

$$P_R = G_{TR} P_T G_{RT} \frac{\lambda^2}{(4\pi\rho)^2}, \quad (8)$$

여기서, G_{TR}과 G_{RT}는 각각 송신 안테나 (또는 확성기)와 수신 안테나의 (또는 마이크) 이득이고, P_T는 송출전력, λ는 송신신호의 파장, ρ은 송신 안테나 (또는 확성기)와 수신 안테나 (또는 마이크) 사이의 거리이다. 이때 $G_{TR}P_T$는 종종 유효방사전력으로도 (effective radiated power, ERP) 부른다. ERP와 P_T가 모두 1일 때 자유공간에서 거리에 따른 수신전력의 감쇠, 즉 경로감쇠는 그림 4와 같다.

음향 시스템의 경우 식 (8)의 수신전력의 합을 마이크로 측정한 음의 크기인 음압으로도 (sound pressure) 표현한다. 확성기의 위치와 마이크 사이의 전파거리(傳播距離)가 ρ일 때의 음압 $p(\rho)$은 식 (9)와 같다.

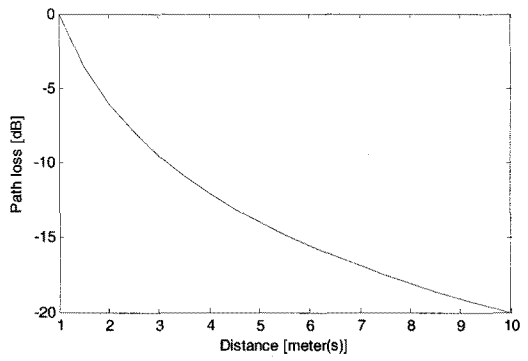

그림 4. 자유공간에서 거리에 따른 수신전력의 감쇠(경로감쇠)

$$p^2(\rho)=\frac{\kappa c P_{TR}}{4\pi\rho^2}, \tag{9}$$

여기서, κ는 전파매질(傳播媒質)의 밀도이다. 식 (8)과 (9)를 바탕으로 자유공간 음향신호 전파모형을 음향수준으로 변환해 식 (10)처럼 다시 쓸 수 있다.

$$Lp=Lw-20\log(\rho)-10\log\left(\frac{4\pi}{\kappa c}\right), \tag{10}$$

여기서, $Lp=10\log(p^2(\rho))$, $Lw=10\log(P_{TR})$이다. 하지만 실제환경에서 음향신호는 전파공간의 흡음, 음향신호의 방향성, 벽에 의한 잔향, 공간 구조에 따라 감쇠특성이 다르게 나타난다. 특히, 물체 혹은 공기 내 수분이 소리를 흡수하는 일을 뜻하는 흡음률은 공간내의 온도, 습도 및 재생 신호의 주파수, 전파거리 등에 따라 다르며, 이는 음향신호의 감쇠에 큰 영향을 준다. 본 논문에서는 실내 음향신호 전파모형을 설계하기 위해 공간내에 존재하는 감쇠요소들을 고려한다. 감쇠요소들을 적용한 음향신호의 감쇠식은 식 (10)에 감쇠요소를 덧붙여 식 (11)처럼 다시 쓸 수 있다. 본 논문에서는 자유공간과 실제환경을 구분하기 위해 실제환경에 관련된 매개변수와 함수 등에 $(\cdot)'$으로 실제환경 관련변수임을 표시한다.

$$Lp'=Lw-20\log(\rho)-10\log\left(\frac{4\pi}{\kappa c}\right)-A_{abs}-A_E, \tag{11}$$

여기서, A_{abs}는 재생신호의 주파수, 현재의 온도, 습도, 재생신호의 전파거리 등에 영향을 받는 식 (12)와 같은 공기의 흡음에 의해 나타나는 흡음감쇠요소, A_E는 방향성, 날씨, 공간의 벽 재질, 공간 구조 등에 의해 나타나는 감쇠상수이다. A_E의 경우, 재생 음원의 주파수, 전파 거리에 영향을 받지 않는 인자이고, 본 논문에서는 방향성, 날씨, 공간의 벽 재질, 공간 구조 등에 크게 상관없는 무향실에서의 신호감쇠특성을 고려하기 때문에 A_E에 관해서는 다루지 않는다.

$$A_{abs}=\alpha\rho, \tag{12}$$

여기서, 흡음감쇠요소의 단위는 dB/m이며, α는 식 (13)과 같은 흡음계수이다.

$$\alpha=869\times f^2\left\{1.84\times10^{-11}\left(\frac{T}{T_0}\right)^{1/2}+\left(\frac{T}{T_0}\right)^{-5/2}\right.$$
$$\left.\times\left(0.01275\frac{e^{-2239.1/T}}{F_{r,O}+f^2/F_{r,O}}+0.1068\frac{e^{-3352/T}}{F_{r,N}+f^2/F_{r,N}}\right)\right\} \tag{13}$$

여기서, f는 재생신호의 중심주파수, T는 절대온도 단위의 현재온도, $T_0=293.15\,^\circ K$이고, $F_{\rho,N}$, $F_{\rho,O}$는 각각 식 (14)와 식 (15)와 같은 질소와 산소의 완화주파수 성분이다.

$$F_{\rho,N}=\left(\frac{T_0}{T}\right)^{1/2}\left(9+280he^{-4.17[(T_0/T)^{1/3}-1]}\right), \tag{14}$$

$$F_{\rho,O}=24.0+4.04\times10^4h\frac{0.02+h}{0.391+h}, \tag{15}$$

여기서 h는 수증기의 몰농도이며 이는 현재온도와 상대습도를 이용하여 구해낼 수 있다. 즉, 흡음계수를 구하기 위해 필요한 인자는 재생신호의 주파수, 현재온도, 그리고 상대습도이다. 식 (11)을 사용해 그린 주파수에 따른 실내 음향신호의 감쇠추이는 그림 5와 같다. 그림 5에서와 같이 실내 음향신호의 감쇠추이는

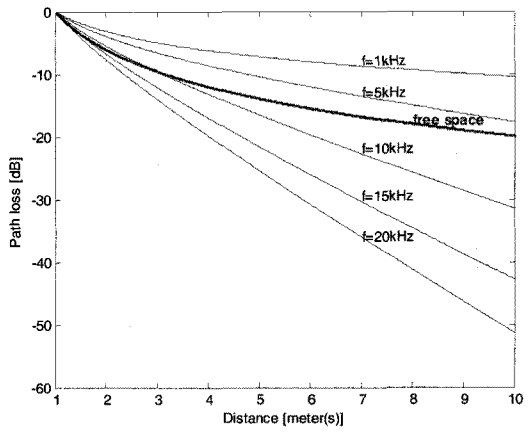

그림 5. 주파수에 따른 실내 음향신호의 감쇠추이

자유공간에서의 감쇠추이와 다르며 음향신호가 가지고 있는 주파수에 따라 달라짐을 알 수 있다.

Ⅳ. 제안한 기법

제안한 기법은 마이크 두 개에서 각각 신호를 받은 후에 수신전력세기 측정과정을 거치고 이를 바탕으로 두 마이크의 수신전력세기차를 구한 후 이를 이용하여 청음각을 추정한다. 이때, 서로 다른 위치에 있는 첫 번째 마이크와 두 번째 마이크 사이의 거리 차에 따른 수신전력세기차는 식 (16)과 같다.

$$P(r^+)-P(r^-)= \frac{L_w}{(r^+)^2}\times 10^{\left[-\frac{11}{10}\times\frac{A_{dw}}{10}\right]}-\frac{L_w}{(r^-)^2}\times 10^{\left[-\frac{11}{10}\times\frac{A_{dw}}{10}\right]}, \quad (16)$$

이 때 수신전력세기차에 따른 점 (x,y)의 자취는 그림 6의 가는 실선과 같다. 그림 6에서 굵은 선과 x 축의 사잇각이 구하고자 하는 청음각이다. 여기서 두 마이크의 위치는 각각 $(0,2)$와 $(0,-2)$이다.

등전력차선은 쌍곡선 형태로 그려질 수 있기 때문에 쌍곡선의 방정식을 이용하여 제안한 기법의 잡음이 없는 환경에서 오차를 식 (17)과 같이 유도할 수 있다.

$$\varepsilon(\theta,d,x)= \theta-\tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{\left(\frac{d^2}{g(\theta)^2}-1\right)x^2+(d^2-g(\theta)^2)}}{x}\right). \quad (17)$$

제안한 기법은 식 (17)을 이용하여 구하고자하는 청음각의 참 값과 오차가 가장 작은 등전력차선을 선택하여 그 각도를 청음각으로 정의한다. 이에 따른 제안한 기법은 식 (18)과 같다.

$$\hat{\theta}=\arg[\min[\varepsilon(\theta,d,x)]], \quad (18)$$

여기서 $\arg(\bullet)$는 인자를 만족하는 변수를 출력하는 함수, $\min(\bullet)$은 인자의 최소값을 출력하는 함수, θ는 실제 청취자 위치와 마이크와의 각도이며, d는 원점과 한 마이크 사이의 거리, x는 청취자의 x축 좌표를 의미하며 $g(\theta)$는 추정하고자하는 θ에 따라 결정되는 수신전력세기차를 의미한다. 이 때 수신전력세기차는 식 (16)에 의하여 결정된다.

식 (17)을 이용하여 구한 잡음이 없는 환경에서 제안한 기법의 $\theta=45$ deg일 때 d에 따른 오차는 그림 7과 같다.

그림 7에서 보듯이 제안한 기법은 d가 1일 경우 HRTF가 요구하는 최소 각도 오차 범위 이상으로 오차가 발생하지만 d가 2.5인 경우에는 HRTF가 요구하는 최소오차범위 이내로 오차가 발생함을 알 수 있다.

두 기법의 성능을 d가 1일 때와 2.5일 때 비교한 그림은 그림 8과 같다. 여기서 굵은 선은 제안한 기법의 성능, 가는 선은 기존 기법의 성능을 각각 나타내고 있다. 이상적인 환경에서 $d=1$일 때 기존의 청음각 추정기법이 더 좋은 성능을 보이지만, $d=2.5$인 경우는 제안한 기법의 성능이 더 좋은 것을 볼 수 있다. 특히 제안한 기법의 경우 $d=2.5$일 때 각 각도에서의 성능이 HRTF 위해 필요한 ±5deg이내로 들어오는 것을 확인할 수 있다.

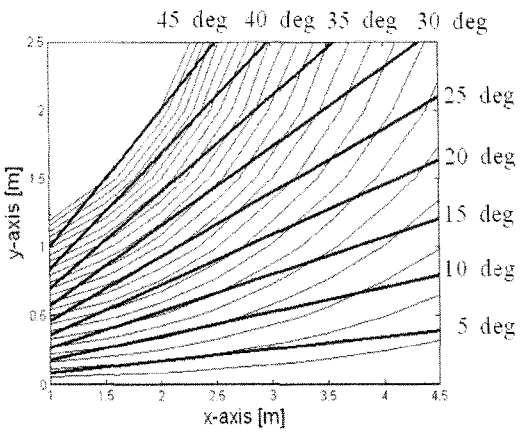

그림 6. 등전력차선과 청음각

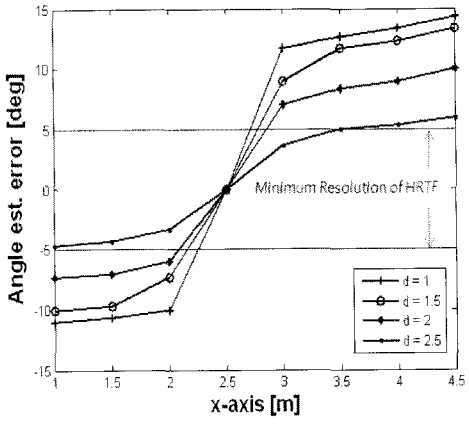

그림 7. 잡음이 없는 환경에서 $\theta=45$deg 일 때 d에 따른 오차

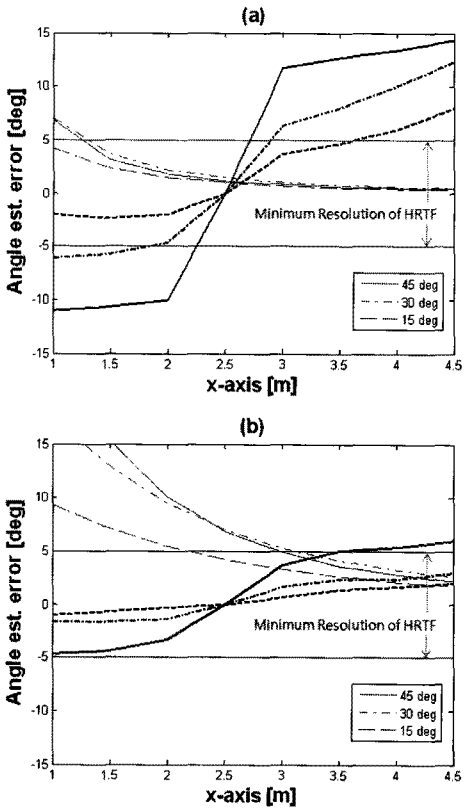

그림 8. 잡음이 없는 환경에서 기존 기법과 제안한 기법의 성능비교: (a) $d=1$ (b) $d=2.5$

V. 성능평가

5.1 스테레오 시스템의 유효청취범위

본 논문에서는 제안한 기법의 유효추정범위를 확정하기 위하여 일반 가정환경의 청음각 허용 범위에 대한 기준을 적용하였다. 그림 9처럼 일반 가정환경의 가정용극장시스템에 적용 가능한 실내측위시스템을 고려할 때 유효청취범위는 TV가 설치된 벽으로부터 $1m$ 그리고 스피커가 설치된 뒤 공간으로부터 $0.5m$를 제외한 공간이다[11]. 본 논문에서는 성능분석시 이 유효청취범위안에서의 성능을 분석한다.

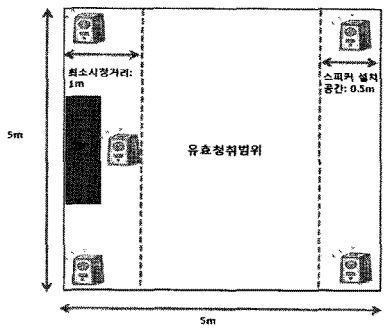

그림 9. 일반 가정환경에서의 유효청취범위

5.2 모의실험에서의 성능비교

기존의 원거리 청음각 추정 기법은 두 마이크의 도달지연시간차를 청음각 추정을 위한 값으로 사용한다. 모의실험을 위해 무향공간에서 실측실험을 통해 구한 도달지연시간차 오차확률분포를 하였다. 실측실험을 통해 구한 도달지연시간차 오차확률분포는 그림 10과 같다.

제안한 기법의 각도 추정 성능 분석을 위해 반향이 존재하지 않는 무반향공간에서 거리에 따른 수신전력세기를 측정하여 공간 내에 발생하는 수신전력세기 오차를 측정하고 그림 11에 오차의 분산을 나타내었다. 수신전력세기 오차는 무향공간내에 전방향 스피커를 배치하고 스피커로부터 전방 10cm부터 10cm 간격으로 3m까지 측정하였다.

그림 10과 11을 적용한 두 기법의 성능을 d가 1일 때와 2.5일 때 비교한 그림은 그림 12와 같다.

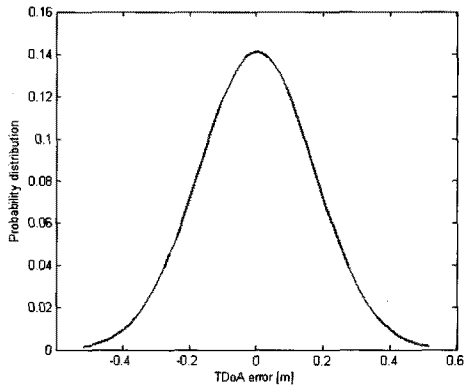

그림 10. 측정데이터의 도달지연시간차이 오차확률분포

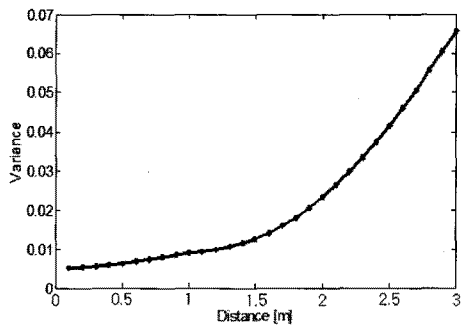

그림 11. 수신전력세기 오차의 분산

그림 12에서와 같이 $d=1$과 $d=2.5$에서 모두 제안한 기법의 성능이 좋을 것을 볼 수 있다. 원거리 청음각 추정 기법의 경우 잡음이 없는 경우 d나 θ값에 상관없이 성능이 좋지만 잡음이 들어갈 경우에는 성능이 크게 나빠짐을 알 수 있다. 또한 잡음이 들어갈 경우에는 d나 θ값에 상관없이 오차가 HRTF가 요구하는 최소 오차 범위에서 모두 벗어나기 때문에 실제 환경에서는 사용하기 어렵다고 볼 수 있다. 반면 제안한 기법은 $d=2.5$인 경우 대부분의 오차값이 HRTF가 요구하는 최소 오차 범위로 들어옴을 그림 12를 통해서 알 수 있다.

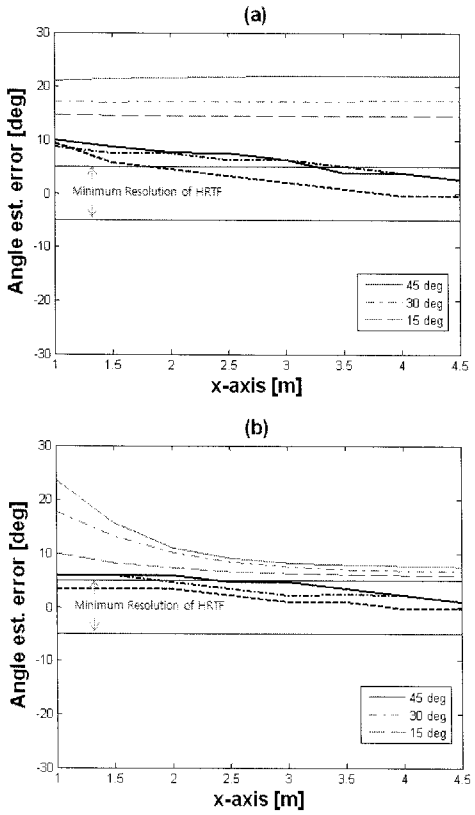

그림 12. 기존 기법과 제안한 기법의 모의실험 성능 비교: (a) $d=1$ (b) $d=2.5$

5.3 제안한 기법의 실제 환경에서의 성능

제안한 기법의 각도 추정 성능 분석을 위해 반향이 존재하지 않는 무반향공간에서 실측실험을 수행하였다. 실측실험을 통해 구한 d에 따른 제안한 기법의 성능은 그림 13과 같다. 기존의 청음각 추정 기법은 실측실험결과 실제 환경에서는 오차가 너무 크게 발생하여 결과를 도출할 수 없기 때문에 비교를 하지 않았다.

그림 13에서와 같이 제안한 기법은 $d=1$일 경우는 오차가 크게 발생하지만 $d=2.5$일 경우 발생하는 오차는 HRTF가 요구하는 최소 오차 범위 이내로 들어오는 것을 확인할 수 있다.

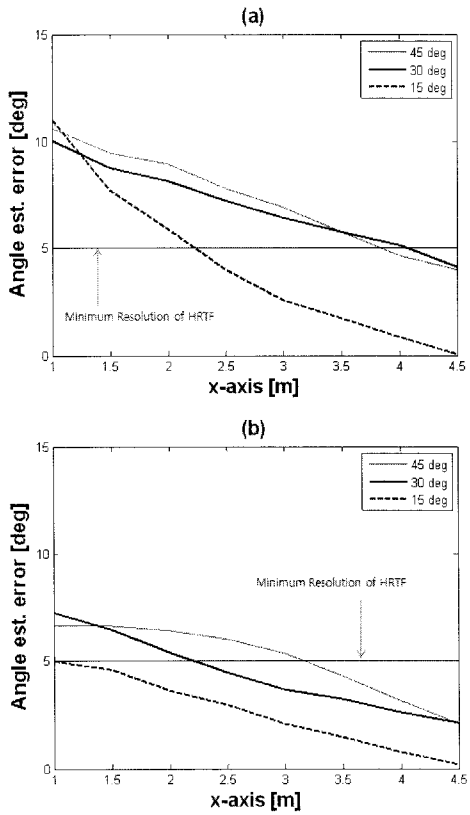

그림 13. 실측 실험 결과: (a) $d=1$ (b) $d=2.5$

VI. 결 론

본 논문에서는 실내 환경에서 음원과 수신마이크 사이의 거리에 따른 음향신호 수신세기 감소 특성을 이용하여 새로운 수신전력세기차 기반 청취자 각도 추정 기법을 제안하였다. 제안한 기법이 청취자의 각도를 추정하기 위해 사용하는 측정치는 수신전력세기 간의 차이이며 제안한 기법은 두 마이크에 수신된 신호의 세기차가 일정한 점들의 자취를 이용하여 청취자와 마이크사이의 각도를 추정한다. 제안한 기법을 이용하여 청취자 각도를 추정했을 때, 발생하는 오차를 수학적으로 모델링하여 분석하고 모의실험 및 실측실험을 통해 제안한 기법의 성능을 보였다.

참 고 문 헌

[1] 최범석, 홍진우, "입체음향(3D 오디오) 기술과 원리", *한국방송공학회논문지*, 제6권, 제1호, pp..36-45, 2001년 3월.

[2] W. G. 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] A. Dennis, "Environmental effects on the speed of sound," *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol.36, No.4, pp.223-231, Apr. 1988.

[5] 정상효, 유승수, 김영문, 이석필, 김선용, "음향신호를 이용한 새로운 수신신호세기차 기반 실내측위기법", *한국통신학회하계학술대회 논문집*, CDROM, 대한민국 제주, 2010년 6월.

[6] Z. C. Zheng, B. K. Tan, and Y. Xu, "Near-field fluctuations and far-field noise of a three-element airfoil system by a discrete vortex method," *Applied Mathematics and Computation*, Vol.216, No.4, pp.1072-1086, Apr. 2010.

[7] W. H. Foy, "Position-location solutions by Taylor series estimation," *Trans. IEEE Aerospace and Electronics System*, Vol. AES-12, No.2, pp.187-193, Mar. 1976.

[8] R. Vaughan and J. B. Andersen, *Channels, Propagation and Antennas for Mobile Communications*, IEE Press, London, UK, 2003.

[9] T. Wiens, S. Bradley, and K. George, "Experimental charaterization of sound propagation in a dense New Zealand forest," *Proc. Internatioanl Congress and Exposition on Noise Control Engineering*, CD-ROM, Changhai, China, Oct. 2008.

[10] L. L. Beranek and I. L. Ver, *Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications*, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, NJ, 1992.

[11] S. Merchel and S. Groth, "Analysis and implementation of a stereophonic play back system for adjusting the "sweet spot" to the listener's position," *Proc. AES Convention CD-ROM*, May 2009.

이 의 형 (Euihyoung Lee) 준회원

2007년 2월 건국대학교 정보통신공학전공 공학사

2007년 3월~현재 건국대학교 전자정보통신공학 석사과정

<관심분야> 통계학적 신호처리, 음향신호처리, 위성신호처리.

유 승 수 (Seungsoo Yoo) 정회원

2004년 2월 건국대학교 전자공학부 공학사

2005년 2월 건국대학교 전자공학전공 공학석사

2010년 8월 건국대학교 전자공학전공 공학박사

2010년 9월~현재 건국대학교 2차 BK21 핵심연구팀 박사후과정

<관심분야> 이동통신, 통신신호처리, 무선측위, GNSS

윤 은 철 (Eun Chul Yoon) 종신회원

1993년 2월 연세대학교 공학사

1995년 2월 연세대학교 공학석사

1995년~2000년 삼성전자 네트워크사업부 책임연구원

2006년 미국 스탠포드대학 전기공학과 공학박사

2006년~2008년 삼성전자 통신연구소 책임연구원

2008년~현재 건국대학교 전자공학부 조교수

<관심분야> 이동통신, 무선통신시스템 설계, 홈 네트워크

김 선 용 (Sun Yong Kim) 종신회원

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 정회원, IEEE 선임회원
<관심분야> 통계학적 신호처리, 이동통신, 통신이론.