

# 청취자 거리정보가 필요 없는 도달각 기반 실내 위치 추정기법

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

## An Indoor Positioning Algorithm Based on 3 Points Near Field Angle-of-Arrival Estimation without Side Information

Yeongmoon Kim\* *Associate Member*, Seungsoo Yoo\* *Regular Member*,  
Sun Yong Kim\* *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 근접장 (near field) 실내측위환경에 적합한 도움정보가 필요 없는 도달각 기반 위치추정기법을 제안한다. 기존 도달각 기반 실내 위치추정기법은 청취자와 마이크 사이의 거리정보를 청취자와 마이크사이의 수신신호세기로 추정하고 이와 측정된 신호의 도달시간차를 이용해 위치를 추정한다. 하지만 수신신호세기는 실내 구조 및 가구배치나 신호의 특성에 따라 많은 영향을 받으며, 이는 도달각 추정에 큰 오차를 야기한다. 본 논문에서는 청취자 거리정보 없이 위치를 알고 있는 3개 이상의 마이크에서 수신한 신호의 도달지연시간차이에 기반한 도달각 기반 위치추정기법을 제안하고, 그 성능을 근평균제곱오차의 누적분포함수로 보인다.

**Key Words** : 3 Points Near Field Angle-of-Arrival Estimation, Indoor Positioning, Acoustic Signal Based Localization, Received Signal Strength, Cumulative Distribution Function

### ABSTRACT

In this paper, we propose an indoor positioning algorithm based on 3 points near field angle-of-arrival estimation without side information. The conventional angle-of-arrival based positioning scheme requires the distance between the listener and the center of two points which is obtained by a received signal strength based range estimation. However, a received signal strength is affected by structure of room, placement of furniture, and characteristic of signal, these effects cause a large error to estimation of angle. In this paper, the proposed positioning scheme based on near field angle-of-arrival estimation can be used to estimate the position of listener without a prior distance information, just using time-difference-of-arrival information given from 3 points microphones. The performance of the proposed scheme is shown by cumulative distribution function of root mean squared error.

### I. 서 론

입체음향이란 음원이 발생하지 않은 공간에 위치한 청취자가 재생된 음향을 들었을 때 음향으로부터 방

향감, 거리감 및 공간감 등과 같은 공간적 단서를 지각할 수 있는 음향을 말한다. 입체음향을 구현하기 위한 중요한 요소는 음원의 방향을 지각하는 방향감과 실내 음장에 대한 공간감이다. 방향감과 공간감은 청

※ 본 논문은 학술진흥재단 기초연구과제 KRF-2007-313-D00581의 지원으로 수행되었음.

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

논문번호 : KICS2010-06-270, 접수일자 : 2010년 06월 27일, 최종논문접수일자 : 2010년 11월 1일

취자의 위치에 따라 변하는데, 이는 최적취위 위치에 서 벗어나 음향을 들었을 때 정확한 입체음향 효과를 느끼지 못한다는 것을 의미한다. 따라서 청취자의 위치정보를 획득하는 기술은 입체음향시스템의 핵심기술이다 [1-3].

취위를 위해 일반적으로 사용되는 측정치는 도달지연시간 (time-of-arrival), 도달지연시간차 (time-difference-of-arrival), 도달각 (angle-of-arrival) 등이 있다. 이 가운데 도달지연시간은 음원과 마이크 사이에 동기가 정확히 맞아야 측정 가능하다. 그러나 음원이 화자로부터 발생하는 경우 화자와 마이크 사이에 동기를 맞추는 것은 불가능하기 때문에 도달지연시간은 음향기반 실내측위시스템에 사용하기에 부적합하다 [4]. 도달각과 도달지연시간의 차는 도달지연시간과 달리 음원과 마이크 사이에 정확한 동기가 필요 없다. 이 가운데 도달지연시간의 차는 음원의 위치를 결정하기에 용이하며, 도달각은 음원과 마이크 사이의 방향을 결정하기에 용이하다 [5].

본 논문에서는 청취자의 위치정보를 획득하기 위한 취위 방법으로 도달각 기반 위치추정기법에 초점을 맞춘다. 도달각은 수신된 신호로부터 거리차를 알고 있는 마이크 사이의 도달지연시간차로부터 구할 수 있다. 도달각 추정기법은 크게 원격장파 (far-field) 근접장 (near-field) 도달각 추정기법으로 구분된다. 원격장 도달각 추정기법은 한 쌍의 마이크에 수신되는 파형을 평면파로 고려하여 도달각을 추정하는 방법이고, 근접장 도달각 추정기법은 이를 구면파로 고려하여 도달각을 추정하는 방법이다. 원격장 도달각 추정기법은 멀리 떨어져 있는 피측점인 점신호원으로부터 마이크에 수신되는 파형이 평면파라는 가정에 근거를 두는데, 이 가정은 신호원이 마이크에 가까운 실내 환경에서는 부적절하다 [6].

대표적인 근접장 환경에서의 도달각 기반 위치추정기법은 (이하 기준기법) [7]에서 연구되었다. 이 기법은 도달각을 추정하기 위해 먼저 수신신호세기를 (received signal strength, RSS) 이용해 마이크와 청취자사이의 거리정보를 도출하고, 이와 두 개의 측정점의 도달지연시간차를 사용해 도달각을 추정한다. 하지만 RSS는 실내 구조 및 가구배치나 신호의 특성에 따라 많은 영향을 받으며, 이는 도달각 추정에 큰 오차를 야기할 수 있다. 본 논문에서는 도달지연시간차만을 고려한 실내 환경에 적합한 도달각 추정기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 II장에서는 기존 근접장 도달각 기반 위치추정기법에 대해

소개한다. III장과 IV장에서는 청취자 거리정보가 필요 없는 도달각 기반 실내 위치추정기법을 제안하고, 실측실험을 통해 얻은 오차 확률 특성을 사용하여 제안한 기법의 성능을 평가한다. 끝으로 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 기존 근접장 도달각 기반 위치추정기법

기존 도달각 기반 위치추정기법은  $r \gg d$ ,  $r > 2d^2/\lambda$ ,  $r \gg \lambda$  인 원격장에서 적용가능한 방법이 주로 연구되었다. 여기서  $d$ 는 마이크사이의 거리,  $\lambda$ 는 신호의 파장, 그리고  $r$ 은 청취자와 마이크사이의 거리이다. 특히  $r$ 과  $d$ 의 관계는 근접장환경과 원격장환경을 구분할 수 있는 주요 매개변수로서 근접장과 원격장환경 구분의 기준이 된다 [8].

[7]에서 제안한 근접장 도달각 기반 위치추정기법은 신호원으로부터 수신되는 파형을 그림 1처럼 구면파로 고려한다. 기준기법은 식 (1)처럼 RSS를 사용해 청취자와 원점의 거리를 측정하고, 이 정보와 2개의 측정점에서 수신한 신호의 도달지연시간차를 사용해 식 (2)처럼 도달각을 추정한다.

$$\hat{r}_C = \sqrt{\frac{P_0}{4\pi P(r)}} + \epsilon, \quad (1)$$

$$\hat{\phi}_C = \sin^{-1}\left(\frac{\sqrt{\hat{r}_C^2(\hat{\tau}\nu)^2 + d^2(\hat{\tau}\nu)^2 - (\hat{\tau}\nu)^4/4}}{2\hat{r}_C d}\right), \quad (2)$$

여기서  $P_0$ 는 음원의 송출 전력,  $P(r)$ 은 전파거리  $r$ 인 곳에서의 음향신호세기,  $\epsilon$ 는 잡음,  $d$ 는 마이크 사

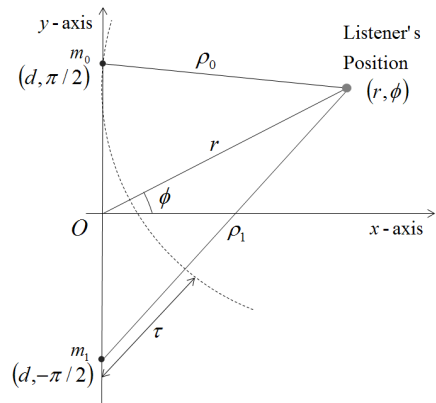


그림 1. 기존 근접장 도달각 기반 위치추정기법의 수신모형

이의 거리로 아는 값이며,  $\hat{\tau}$ 는 측정된 두 마이크 사이의 도달지연시간차,  $\nu$ 는 음파의 속도이다 (약 340m/s). 또한  $\rho_0$ 는 마이크  $m_0$ 와 청취자 사이의 거리,  $\rho_1$ 는 마이크  $m_1$ 과 청취자 사이의 거리로서 그림 1과 같은 경우  $\rho_1 = \rho_0 + \tau\nu$ 이다. 기존기법은 RSS로 인한 오차가 큰 경우 정확한 도달각 추정이 어려우며, 이로 인한 청취자 측위 오차가 발생한다.

### III. 제안한 기법

#### 3.1 3개 측정 기반 위치추정기법

본 논문에서는 근접장 실내측위환경에 적합한 도달각 기반 위치추정기법을 제안한다. 제안한 기법은 그림 2처럼 3개의 마이크를 등간격으로 배치하여 도달각을 추정한다. 여기서  $\rho_0 = r - \tau_1\nu$ ,  $\rho_1 = \rho_0 + \tau_2\nu$ 이다. 마이크  $m_0$ 를 기준으로 원점  $O$ 의 도달지연시간차이는  $\tau_1$ 이며,  $\tau_2$ 는 마이크  $m_0$ 와 마이크  $m_2$ 의 도달지연시간차이다. 마이크와 청취자 위치의 기하학적 관계에 따라 ( $\phi$ 에 대한 여현 제 2법칙) 식 (3)과 식 (4)를 얻는다.

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \phi\right) = \frac{r^2 + d^2 - \rho_0^2}{2rd}, \quad (3)$$

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} + \phi\right) = \frac{r^2 + d^2 - \rho_1^2}{2rd} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)를 연립하면 식 (5)와 식 (6)처럼 청취자와 마이크 사이의 거리와 도달각을 얻을 수 있다.

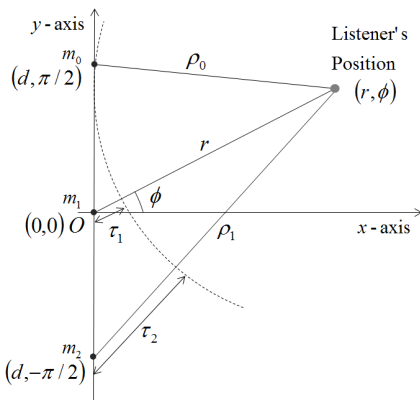


그림 2. 마이크 3개를 사용한 제안한 도달각 기반 위치추정 기법의 수신모형

$$\hat{r}_{P3} = \frac{(\hat{\tau}_1\nu)^2 + (\hat{\tau}_2\nu)^2 - 2d^2}{2\nu(\hat{\tau}_1 + \hat{\tau}_2)}, \quad (5)$$

$$\hat{\phi}_{P3} = \sin^{-1}\left(\frac{\hat{r}_{P3}^2 + d^2 - \rho_1^2}{2\hat{r}_{P3}d}\right), \quad (6)$$

식 (5)와 (6)은 3개의 마이크에서 수신한 신호의 도달지연시간차이만을 사용해 삼변측량법으로 도달각을 추정하고 이 정보를 바탕으로 청취자의 위치정보를 획득한다. 본 논문에서는 제안한 기법을 TAP기법이라 (trilateration-based angle-of-arrival positioning) 부른다.

#### 3.2 K+2개 측정 기반 위치추정기법

TAP기법을 K+2개 마이크 수신환경에 맞게 확장한 향상된 도달각 기반 위치추정기법은 (improved TAP, 이하 iTAP) 마이크를 선택하는 방법에 따라 두 가지로 구분할 수 있다. 양 끝단의 마이크는 고정시키고 기준마이크를 선택하는 기법과 RSS가 가장 큰 마이크 3개를 선택하는 기법이 있다. 본 논문에서는 전자의 기법을 iTAP(1) 후자의 기법을 iTAP(2)라 부른다.

##### 3.2.1 iTAP(1)기법

iTAP(1)기법은 그림 3처럼 양 끝단의 마이크를 고정시키고 기준마이크를 선택한다. 여기서  $S_0(t), \dots, S_{k+1}(t)$ 는 K+2개의 마이크로부터 수신된 각각의 신호를 의미한다. 제안한 기법은 그림 4처럼 마이크 K+2개를 등간격으로 배치하였을 때, 양 끝단의 마이크와 청취자로부터 거리가 최소인  $\kappa$ 번째 마이크를 식 (7)처럼 기준마이크로 선택한다.

$$\kappa = \arg\left\{\min_{1 \leq k \leq K+2}(r_k)\right\}, \quad (7)$$

여기서  $\arg[\cdot]$ 는 조건을 만족하는 인자를 출력하는 함수이고,  $\min(\cdot)$ 은 최소값을 출력하는 함수이다. 선택된 기준마이크  $\kappa$ 로부터 식 (8)과 식 (9)처럼

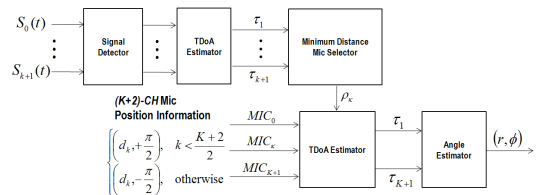


그림 3. 제안한 iTAP(1)기법의 구성도

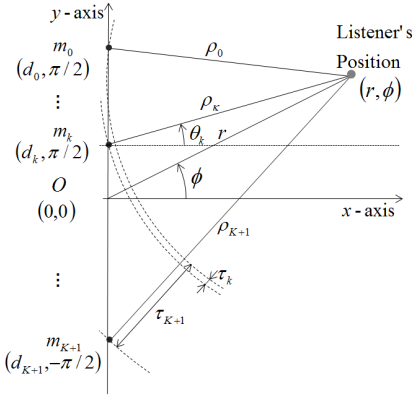


그림 4. 제안한 iTAP(1)기법의 수신모형

거리와 도달각을 추정한다.

식 (8)에서  $\hat{\tau}_\kappa$ 와  $\hat{\tau}_{\kappa+1}$ 은 각각 마이크  $m_0$ 와 기준 마이크 마이크  $m_0$ 와 마이크  $m_{\kappa+1}$  사이의 도달지연 시간차이다.  $\hat{\theta}_\kappa$ 와  $\hat{\rho}_\kappa$ 는 추정된 기준마이크에서 청취자까지의 도달각과 거리이다. 여기서 구한  $\hat{\theta}_\kappa$ 와  $\hat{\rho}_\kappa$ 는 기준마이크에서의 도달각과 거리이기 때문에 원점 O를 기준으로 한 청취자 위치의 도달각  $\phi$ 와  $r$ 로 변환해야한다. 식 (8)과 식 (9)를 이용하여 식 (10)과 식 (11)처럼  $\hat{r}_{P,K+2}$ 과  $\hat{\phi}_{P,K+2}$ 을 추정한다. 식 (11)에서  $\text{ceil}[\cdot]$ 은 올림연산자이다.

3.2.2 iTAP(2)기법

다수의 마이크를 사용하여 TAP기법을 일반화하는 도달각 기반 위치추정기법으로 iTAP(2)기법을 제안한다. 제안한 기법은 그림 5처럼 RSS가 가장 큰 마이크를 기준마이크로 선택하고, 선택된 기준 마이크의 양 옆에 있는 마이크를 선택하여 청취자위치를 추정한다.

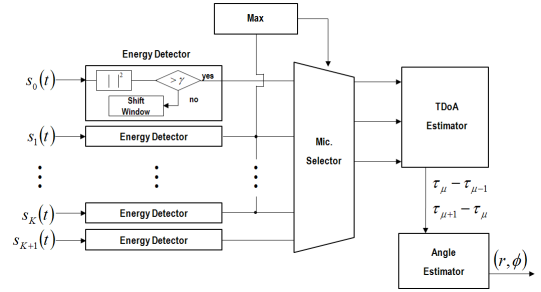


그림 5. 제안한 iTAP(2)기법의 구성도

그림 5에서 등간격으로 배치된  $i$ 째 마이크로 수신되는 신호  $s_i(t)$ 의 RSS는  $p_i$ 이다. 제안한 기법은  $s_i(t)$  중에서 RSS가 가장 큰 마이크 신호를  $s_\mu(t)$ 로 정의한다. 이 때 선택된 마이크 3개는 RSS가 가장 큰 마이크인  $m_\mu$ 를 중심으로 가장 가까운 마이크인  $m_{\mu-1}$ 과  $m_{\mu+1}$ 이며,  $m_\mu$ 를 기준으로  $m_{\mu-1}$ 의 도달지연시간차이는  $\tau_\mu - \tau_{\mu-1}$ ,  $m_{\mu+1}$ 와의 도달지연시간차이는  $\tau_{\mu+1} - \tau_\mu$ 이다.  $\tau_\mu - \tau_{\mu-1}$ 와  $\tau_{\mu+1} - \tau_\mu$ 를 이용해 도달각  $\hat{\phi}$ 와 청취자까지의 거리  $\hat{r}$ 를 추정한다. 여기서  $\gamma$ 는 검파기의 문턱값이다. 제안한 기법은 RSS가 큰 마이크 3개를 사용하기 때문에 다른 마이크로 수신된 신호에 비해 상대적으로 잡음에 의한 영향이 적어 청취자 위치추정에 용이하다.

제안한 기법은 그림 6처럼  $s_0(t)$ 와  $s_{K+1}(t)$ 를 제외한 나머지 마이크 중에서 신호의 세기가 가장 큰 마이크를 식 (12)처럼 선택한다.

$$\mu = \arg [\max(p_2, p_3, \dots, p_i, \dots, p_{N-1})], \quad (12)$$

여기서  $\max(\cdot)$ 는 최고값을 출력하는 함수이다.

$$\hat{\rho}_\kappa = \frac{|d_{K+1} - d_\kappa| |d_0 - d_\kappa|^2 + |d_{K+1} - d_\kappa|^2 |d_0 - d_\kappa| - |d_{K+1} - d_\kappa| (\hat{\tau}_\kappa \nu)^2 - |d_0 - d_\kappa| (\hat{\tau}_{K+1} \nu)^2}{2 [ |d_{K+1} - d_\kappa| (\hat{\tau}_\kappa \nu) + |d_0 - d_\kappa| (\hat{\tau}_{K+1} \nu) ]}, \quad (8)$$

$$\hat{\theta}_\kappa = \sin^{-1} \left( \frac{\hat{\rho}_\kappa^2 + |d_0 - d_\kappa|^2 - \hat{\rho}_0^2}{2 \hat{\rho}_\kappa |d_0 - d_\kappa|} \right), \quad (9)$$

$$\hat{r}_{P,K+2} = \sqrt{\hat{\rho}_\kappa^2 + (\hat{\rho}_\kappa \sin \{ (-1)^{\text{ceil}[2\kappa/K+2]} \pi/2 \})^2 + 2 (\hat{\rho}_\kappa \sin \{ (-1)^{\text{ceil}[2\kappa/K+2]} \pi/2 \}) \sin \hat{\theta}_\kappa}, \quad (10)$$

$$\hat{\phi}_{P,K+2} = \tan^{-1} \left[ \frac{\hat{r}_{P,K+2} \sin \{ (-1)^{\text{ceil}[2\kappa/K+2]} \pi/2 \} + \hat{\rho}_\kappa \sin \hat{\theta}_\kappa}{\hat{r}_{P,K+2} \cos \{ (-1)^{\text{ceil}[2\kappa/K+2]} \pi/2 \} + \hat{\rho}_\kappa \cos \hat{\theta}_\kappa} \right], \quad (11)$$

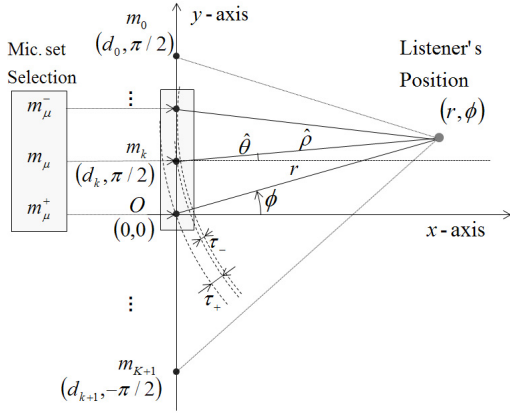


그림 6. 제한한 iTAP(2)기법의 수신모형

선택된 마이크와 청취자의 기하학적인 관계에 따라 식 (13)과 식 (14)처럼 거리와 도달각을 추정한다.

식 (13)과 (14)는  $m_\mu$ 를 기준으로 선택한 지점에서 청취자까지의 도달각과 거리를 추정하기 때문에 iTAP(1)과 마찬가지로 이를 식 (10)과 식 (11)처럼 원점 O를 기준으로 한 청취자 위치의 도달각  $\phi$ 와  $r$ 로 변환한다.

#### IV. 성능평가

본 논문에서는 제안한 기법의 성능을 평가하기 위하여 실내음향측위시스템으로 모델링하여 검증하였다. 모의실험 데이터의 표본화 주파수는 48kHz이며, 분해능은 16bits, 즉 1표본은 0.007m의 거리 분해능을 갖는다. 제안한 기법의 핵심인 도달지연시간차이는 에너지 검파기로 신호를 판별하여 추정하였다. 도달지연 시간차이의 오차경향을 분석하기 위해 실제 박수신호를 사용한 측정값 10000 표본을 추출하여 히스토그램을 그림 7처럼 얻었다. 도달지연시간차이의 오차 확률 분포는 평균 0, 분산 0.17의 정규잡음으로 모형화 할 수 있다.

기존기법의 RSS에 따른 도달각 추정오차 경향을

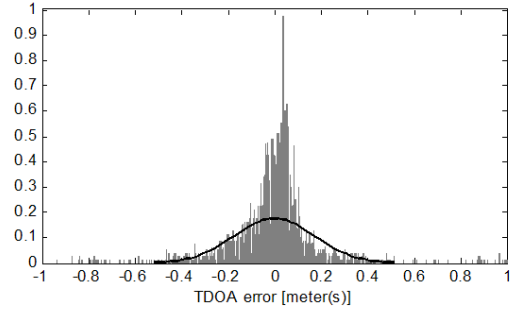


그림 7. 측정데이터의 도달지연시간차이 오차확률분포

분석하기 위하여 그림 8과 같이 무반향실과 반향이 존재하는 일반적인 공간에서의 RSS 평균의 추이를 얻었다. RSS 평균을 구하는데 사용된 음원은 누구나 쉽게 발생시킬 수 있는 자체발성음인 박수소리를 사용하였다. 박수소리의 RSS 평균의 추이는 음원 위치로부터 매 0.1m 마다 RSS를 100회 측정하여 총 3m까지 무반향실 및 반향이 존재하는 일반적인 공간에서 작성하였다. 실험공간의 크기는 일반 공간  $3.55 \times 5 \times 2.5m^3$ , 무반향실은 반향이 존재하지 않기 때문에 무한한 공간으로 한정할 수 있다. 실험환경조건은 온도 20℃, 상대습도 25%로 동일하게 설정하여 실험을 진행하였다. 음향신호는 넓은 외부환경에서 상대습도에

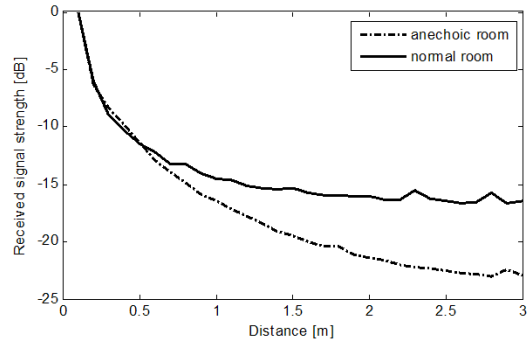


그림 8. 무반향실과 반향이 존재하는 일반적인 공간에서의 RSS 평균의 추이

따라 RSS에 영향이 크지만 상대적으로 협소한 공간

$$\hat{\rho}_\mu = \frac{|d_{\mu+1} - d_\mu||d_\mu - d_{\mu-1}|^2 + |d_{\mu+1} - d_\mu|^2|d_\mu - d_{\mu-1}| - |d_{\mu+1} - d_\mu|\{(\hat{\tau}_\mu - \hat{\tau}_{\mu-1})\nu\}^2 - |d_\mu - d_{\mu-1}|\{(\hat{\tau}_{\mu+1} - \hat{\tau}_\mu)\nu\}^2}{2\nu\{|d_\mu - d_{\mu+1}|(\hat{\tau}_\mu - \hat{\tau}_{\mu-1}) + |d_\mu - d_{\mu-1}|(\hat{\tau}_{\mu+1} - \hat{\tau}_\mu)\}}, \quad (13)$$

$$\hat{\theta}_\mu = \sin^{-1}\left(\frac{\hat{\rho}_\mu^2 + |d_\mu - d_{\mu-1}|^2 - \hat{\rho}_{\mu+1}^2}{2\hat{\rho}_\mu|d_\mu - d_{\mu-1}|}\right), \quad (14)$$

인 실내 환경과 같은 경우 상대습도에 대한 민감도가 낮아 RSS 평균의 추이 작성이 가능하다<sup>9,10)</sup>.

그림 9처럼 일반 가정환경에서의 홈시어터시스템에 적용 가능한 실내측위시스템을 고려할 때  $\alpha$ 는 2~3으로 한정할 수 있다 ( $\alpha \approx r/d$ ). 제한한 3개 측정 기반 위치추정기법의 성능은 그림 10처럼  $\pm 4/\pi$  사이 영역에서의 도달각 변화에 따라 발생하는 도달각 오차를 근평균제곱오차로 (root mean square error) 보인다. 이때  $\pm 4/\pi$  사이 영역은 음향 감상용으로는 전체넓이의 약 60%를 차지하며, 영상 감상용으로는 전체넓이의 약 90%를 차지하는 영역이다.

그림 10은 3개 측정 기반 위치추정기법의 도달각 추정시의  $\alpha$ 에 따른 도달각 오차확률분포이다. 그림 10처럼 제한한 기법의 도달각 오차확률이 기존기법에 비해 낮으며,  $\alpha$  값이 커질수록 다소 도달각 오차확률은 줄어든다. 제한한 기법은 0 (rad) 에서 가장 높은 측위 정확도를 보이며, 각도가 커질수록 도달각의 측위 정확도가 다소 낮아지는 것을 확인할 수 있는데, 이는 삼각함수의 역함수가  $\pm 4/\pi$ 사이에서만 비교적 선형성을 지니기 때문이다. 이에 도달각 추정허용범위

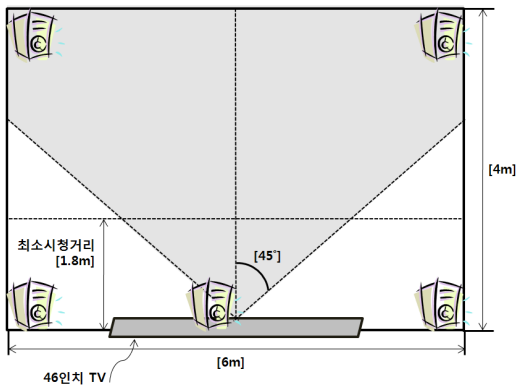


그림 9. 일반 가정환경에서의 도달각 허용 범위

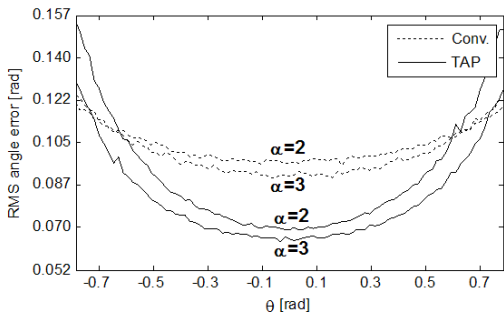


그림 10.  $\alpha$ 에 따른 도달각 오차 확률

를 넓힐 수 있도록  $K+2$ 개의 마이크를 사용하는 iTAP(1)기법과 iTAP(2)기법을 제안하였다.

그림 11(a)는  $\phi=0$ , 그림 11(b)는  $\phi=\pi/3$ 일 때 근평균제곱각도오차에 대한 누적분포함수이다. 여기서 ‘Sweet Spot’은 입체음향시스템에서 청취자가 음향효과의 차이를 느끼지 못하는 공간으로 약  $0.04\pi$ 이다. 즉, 반경 약  $0.04\pi$  이내의 구체공간 안에서는 동일한 음향효과로 인지한다. 따라서 도달각 추정기법에서 약  $0.04\pi$  이내의 각도오차가 발생한 확률이 성능평가의 중요한 지표가 된다<sup>11)</sup>.

그림 11(a)처럼  $\phi=0$ 일 때, TAP, iTAP(1), iTAP(2)기법의 도달각 추정오차는 비슷하다. 이는 TAP기법의 도달각 추정범위가  $-\pi/4 < \hat{\phi} < \pi/4$  이내이기 때문에  $K+2$ 개의 마이크에서 3개의 마이크를 선택하는 iTAP(1)기법과 iTAP(2)기법은 3개의 마이크를 사용하는 TAP기법과 동일한 마이크를 기준마이크로 선택하기 때문에 세 기법의 성능은 거의 동일하다. TAP, iTAP(1), iTAP(2)기법의 평균제곱각도오차가 약  $0.04\pi$  이내일 확률은 약 80%이고, 기존기법은 약 50%이다. 그림 11(b)는  $\phi=\pi/3$ 에 대한 도달각 추정오차이다. 그림 11(b)처럼 iTAP(1)기법의 평균제곱각도오차가 약  $0.04\pi$  이내일 확률은 약 55%이고, iTAP(2)기법은 약 68%, TAP기법은 약 35%, 기존기법은 약 30%이다. iTAP(2)기법, iTAP(1)기법, TAP기법의 순서로 높은 측위성능을 보이며, iTAP(2)기법, iTAP(1)기법은 TAP기법이 지니는 제한된 각도추정

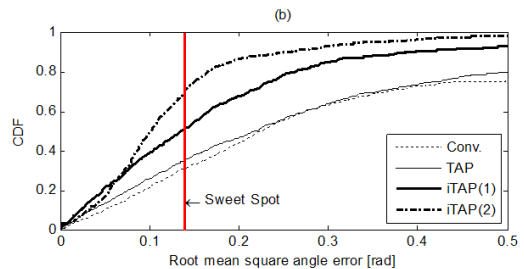
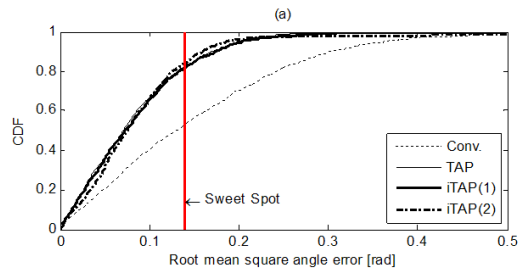


그림 11. 근평균제곱각도오차의 누적분포함수 (a)  $\phi=0$ , (b)  $\phi=\pi/3$

허용범위를 넓혀 각도추정에 대한 강인성을 (robustness) 향상시켰다.

그림 12(a)는  $\phi=0$ , 그림 12(b)는  $\phi=\pi/3$  일 때, 청취자와 기준마이크 사이의 거리  $r$ 의 근평균제곱거리오차의 누적분포함수로서 iTAP(2)기법, iTAP(1)기법, TAP기법의 순서대로 높은 거리 측정정확도를 보인다. 제안한 기법은 추정하는 도달각과 청취자 사이의 거리 중에서 도달각 추정의 정확도가 청취자 사이의 거리 정확도에 비하여 높다.

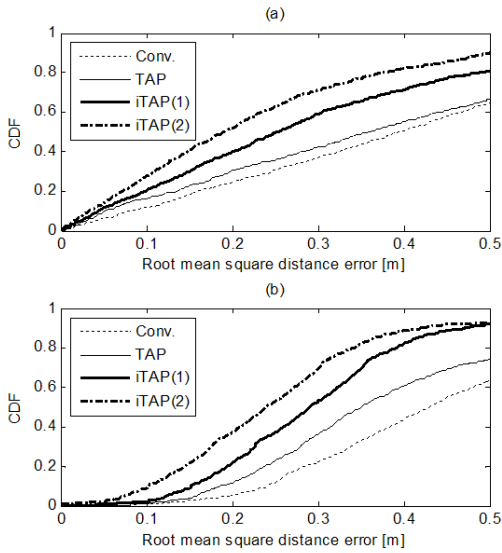


그림 12. 청취자와 기준마이크 사이의 거리  $r$ 에 대한 근평균제곱거리오차의 누적분포함수 (a)  $\phi=0$ , (b)  $\phi=\pi/3$

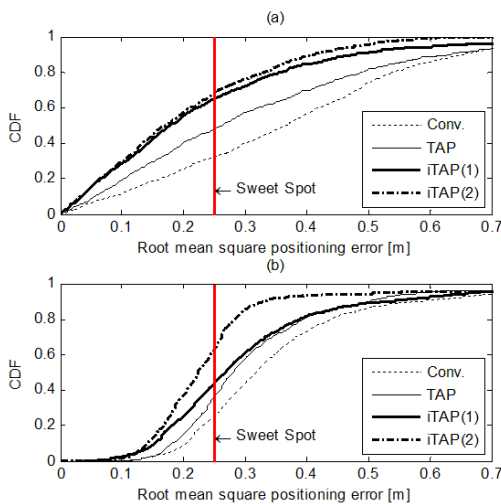


그림 13. 근평균자승측위오차의 누적분포함수 (a)  $\phi=0$ , (b)  $\phi=\pi/3$

그림 13(a)는  $\phi=0$ , 그림 13(b)는  $\phi=\pi/3$  일 때, 근평균자승측위오차의 누적분포함수이다.  $\phi=0$  일 때, 음향측위시스템의 측위정확도의 기준선인 Sweet Spot 범위인 0.25m 이내일 확률이 iTAP(2)기법은 약 70%, iTAP(1)기법은 약 68%, TAP기법은 약 45%, 기존기법은 약 35%의 측위정확도를 보인다.  $\phi=\pi/3$  일 때, 음향측위시스템의 측위정확도의 기준선인 ‘Sweet Spot’ 범위인 0.25m 이내일 확률이 iTAP(2)기법은 약 60%, iTAP(1)기법은 약 45%, TAP기법은 약 38%, 기존기법은 약 30%의 측위정확도를 보인다.

## V. 결론

본 논문에서는 근접장 음향측위환경에 적합한 도달 지연시간차이 기반 도달각 추정기법을 제안하였다. 기존기법은 청취자와 마이크 사이의 거리정보가 필요하지만 제안한 기법은 위치를 알고 있는 3개 이상의 마이크에서 수신한 신호의 도달지연시간차이만을 사용하여 도달각을 추정한다. 제안한 기법의 근평균제곱각도오차가 약  $0.04\pi$  이내일 확률은 약 55%~80%의 도달각 추정 정확도를 보였으며, 근평균자승측위오차가 0.25m 이내일 확률은 약 38%~70%의 측위성능을 보였다. 향후에는 본 측위기법을 결합한 적응형 사운드 시스템에 대한 연구를 진행하고자 한다.

## 참고 문헌

- [1] 최범석, 홍진우, “입체음향(3D 오디오) 기술과 원리”, 한국방송공학회논문지, 제6권, 제1호, 36-45쪽, 2001년 3월.
- [2] 박영철, “멀티채널 실감 오디오 기술 동향”, 대한전자공학회논문지, 제36권, 제4호, 55-63쪽, 2009년 4월.
- [3] W. Gardner, *3-D Audio using Loudspeakers*, Kluwer Academic Publisher, Norwell, MA, 1998.
- [4] G. De Sanctis, D. Rovetta, A. Sarti, G. Scarparo, and S. Tubaro, “Localization of tactile iterations through TDOA analysis: geometric vs. inversion-based method,” *Proceedings on European Signal Processing Conference*, CD-ROM, Florence, Italy, Sep. 2006.
- [5] J. Chen, L. Yip, J. Elson, H. Wang, D. Maniezzo, R. Hudson, K. Yao, and D. Estrin, “Coherent acoustic array processing and

localization on wireless sensor networks,” *Proceedings on IEEE*, vol. 91, no. 8, pp. 1154-1162, Piscataway, NJ, Aug. 2003.

[6] S. Valaee, B. Champagne, and P. Kabal, “Parametric localization of distributed sources,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 43, no. 9, pp. 2144-2153, Sep. 1995.

[7] M. Dias, “On the performance of new and classical approaches to AOA estimation for near-field acoustic waves,” *Proceedings on the International Workshop on Telecommunications*, pp.146-151, Santa Rita do Sapucaí, Brazil. Aug. 2004.

[8] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, Wiley, New York, 1989.

[9] X. Chen, Y. Shi, and W. Jiang, “Speaker tracking and identifying based on indoor localization system and microphone array,” *Proceedings on International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAEW)*, pp. 347-352, Ontario, Canada, May 2007.

[10] D. Bohn, “Environmental effects on the speed of sound,” *Journals of Audio Engineering Society*, Vol.36, No.4, pp.223-231, Everett, WA, Apr. 1988.

[11] J. Rose, P. Nelson, B. Rafaely, and T. Takeuchi, “Sweet spot size of virtual acoustic imaging systems at asymmetric listener locations,” *Journals of Acoustical Society of America*, Vol. 112, No.5, pp.1992-2002, Nov. 2002.

[12] 김영문, 유승수, 김선용, “도달지연시간차에 기반한 새로운 근거리 도달각 추정기법”, *한국통신학회 추계종합학술대회논문집*, CD-ROM, 대한민국 수원, 2009년 11월.

[13] 김영문, 유승수, 김선용, “근접장 음향측위환경에 적합한 향상된 도달각 추정기법”, *통신정보합동 학술대회 논문집*, CD-ROM, 대한민국 안면도, 2010년 4월.

김 영 문 (Yeongmoon Kim)

준회원



2009년 2월 건국대학교 전자정보통신공학부 공학사  
2009년 3월~현재 건국대학교 전자정보통신공학부 석사과정  
<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

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.