

# 순방향 링크 AOA 측정치를 이용한 CFS 방법의 성능 개선

논문
58-3-31

## Development of a Modified CFS Method in Forward-Link AOA Positioning

임현자\* · 박지원\* · 송승헌\*\* · 성태경\*  
(Hyun-Ja Im · Ji-Won Park · Seung-Hun Song · Tae-Kyung Sung)

**Abstract** - This paper presents a modified CFS (Closed-Form Solution) for FLAOA (Forward Link AOA) measurements. During when the pseudo-measurement equation for FLAOA is derived, the angle measurement noise is treated more carefully in approximation. As the covariance matrix of the pseudo-measurement noise is influenced by unknown user positions and azimuth, a two-step estimation technique is used in the proposed CFS. The performance of the proposed CFS for FLAOA is compared to that of the conventional CFS for FLAOA and RLAOA (Reverse Link AOA) in a computer simulation. Simulation results show that the proposed method is potentially suitable for applications involving the localization and guidance of indoor mobile robots..

**Key Words** : AOA, Closed form solution, Positioning, Nonlinear least square

### 1. 서론

전파항법 시스템은 사용하는 측정치에 따라 TOA (Time of Arrival) 나 TDOA (Time Difference of Arrival) 와 같이 전파지연시간 측정치를 이용하는 방식과 AOA (Angle of Arrival) 와 같이 전파 입사각 측정치를 사용하는 방식으로 구분할 수 있다. 단방향 (one-way) TOA나 TDOA 방식은 정밀 측위가 가능하다는 장점이 있지만 이를 위해서는 매우 정밀한 센서 망의 동기가 필요하다[1]. 양방향 TOA 방식은 망 동기에 대한 부담은 없으나 송·수신기가 사용하는 클럭 주파수의 한계 때문에 일반적으로 고 정밀 측위가 어렵다.

AOA 방식의 경우 배열 안테나 (array antenna)를 이용하여 하는 제약조건이 있지만 정밀한 망 동기 없이 정밀 측위가 가능하다는 장점을 갖는다[2-4]. 기존의 AOA 방식은 태그에서 송신한 역방향 채널 신호를 고정된 위치에 설치된 센서들에서 수신하여 입사각을 구하였다. 이러한 RLAOA (Reverse Link AOA) 방식은 수신기에서 수행해야 하는 복잡한 신호처리 과정들과 일정 크기 이상을 필요로 하는 열 안테나의 특성 때문에 센서들의 크기가 크고 소비전력이 많다.

한편, 이동 로봇과 같은 응용분야에서는 태그의 크기나 소비전력에는 여유가 있는 반면, 센서의 크기나 소비전력은

작은 것을 선호하기도 한다. 이러한 응용분야를 위해서는 센서에서 송신한 순방향 링크 신호를 열 안테나를 장착한 태그에서 수신하여 입사각을 측정하는 FLAOA (Forward Link AOA) 방식이 적합하다. 최근 FLAOA 측정치를 사용한 CFS (Closed Form Solution) 방법이 제안 되었다[5]. 이 방법은 GN (Gauss Newton) 방법과 달리 반복 연산을 하지 않아 계산량이 적고 발산의 문제가 없었지만 잡음성분을 적절히 고려하지 않아 특정 지역에서 오차가 크게 나타나는 경향을 보였다.

본 논문에서는 FLAOA 측정치를 사용한 CFS 방법의 성능을 개선하였다. 제안된 방법에서는 측정치 변환을 통하여 얻어지는 의사측정치의 잡음성분을 기존 방법에 비해 보다 정확하게 근사화 하였다. 이러한 경우 잡음의 공분산에 미지 변수가 포함되기 때문에 이를 추정하기 위한 방법을 추가로 사용하였다. 마지막으로 추정된 공분산을 사용하여 WLS (Weighed Least Square)를 사용하여 최종적인 해를 구하였다.

### 2. FLAOA 측정치를 사용한 CFS 방법

#### 2.1. FLAOA 측정치 모델

AOA 방식은 수신 신호의 입사각을 측정하는 주체에 따라 FLAOA 방식과 RLAOA 방식으로 구분 할 수 있다. 그림 1은 이러한 AOA 측정 방식의 원리를 2차원으로 나타낸 것이다. 그림 1(a)의 RLAOA 방식에서는 태그가 신호를 송신하고 센서에서 열 안테나를 이용하여 입사각을 측정한다. 이때 센서는 고정되어 있기 때문에 센서의 자세각은 이미 알고 있다고 가정한다. 센서의 자세각이 기준 좌표계에 대하여 모두 0이라 가정하면 RLAOA 측정치는 다음과 같다[6].

† 교신저자, 정회원 : 충남대 공대 전기정보통신공학부 교수 · 공박

E-mail : tksaint@cnu.ac.kr

\* 준 회원 : 충남대 공대 전자전파정보통신공학과 석사과정

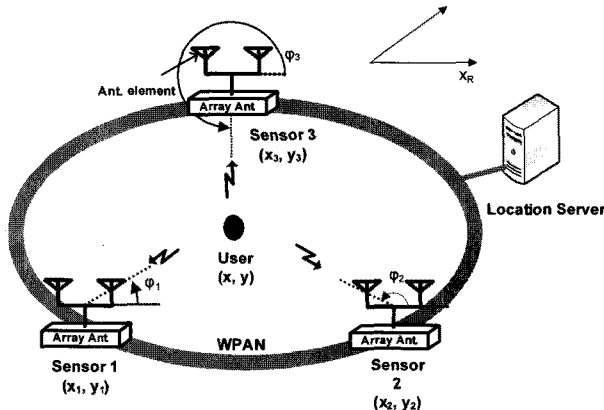
\*\* 정 회원 : 충남대 공대 전자전파정보통신공학과 박사과정

접수일자 : 2008년 12월 18일

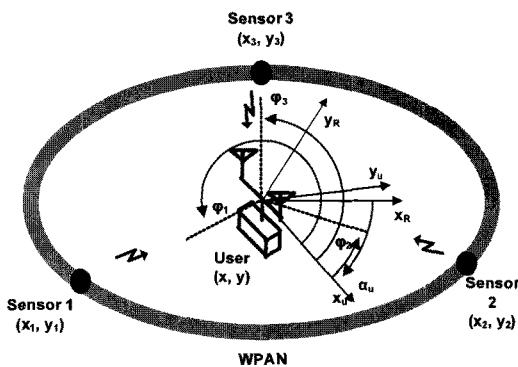
최종완료 : 2009년 1월 29일

$$\phi_i = \tan^{-1} \left( \frac{y - y_i}{x - x_i} \right) \quad (1)$$

여기서 사용자는 기준 좌표계에 대하여  $(x, y)$ 의 위치에 있고 센서는  $(x_i, y_i)$ 에 위치한다고 가정한다. 이론적으로 2개 이상의 RLAOA 각도 측정치가 있으면 2차원에서 사용자의 위치를 구할 수 있다.



(a) RLAOA 측위  
(a) RLAOA positioning



(b) FLAOA 측위  
(b) FLAOA positioning

그림 1 RLAOA와 FLAOA 측위방식의 원리  
Fig. 1 Basic principles of RLAOA and FLAOA

그림 1(b)의 FLAOA 방식은 센서가 신호를 송신하고 태그의 배열 안테나를 이용하여 입사각을 측정한다. 평지를 운행하는 로봇에 태그를 고정하여 설치하면 로봇의 방향에 따라 태그의 열 안테나는 기준 좌표계  $(x_R, y_R)$ 에 대하여  $\alpha_U$  만큼 회전한다. 태그에서 측정하는 각도  $\phi_i$ 는 사용자 좌표계  $(x_U, y_U)$ 에 대한 값이므로  $\alpha_U$ 의 영향을 받는다. 따라서 FLAOA 방식의 경우 미지변수가 사용자의 위치뿐만 아니라 방위각이 추가되므로 3개 이상의 각도 측정치가 있어야 2차원에 대한 미지변수를 모두 구할 수 있다. 사용자 좌표계와 기준 좌표계의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} x_U \\ y_U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha_U & \sin \alpha_U \\ -\sin \alpha_U & \cos \alpha_U \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_R \\ y_R \end{bmatrix} \quad (2)$$

FLAOA 측정치는 다음과 같다[7].

$$\phi_i = \tan^{-1} \left( \frac{y_U - y_{Ui}}{x_U - x_{Ui}} \right) = \tan^{-1} \left( \frac{(y - y_i) - (x - x_i)u}{(y - y_i)v + (x - x_i)} \right) \quad (3)$$

여기서  $u = \tan(\alpha_U)$ 이고  $(x_U, y_U)$ ,  $(x_{Ui}, y_{Ui})$ 는 각각 사용자 좌표계에서 본 사용자의 위치와  $i$ 번째 센서의 위치이다.

각도 측정치 잡음  $n_{\phi_i}$ 를 분산이  $\sigma_{\phi}^2$ 인 IID (independent and identically distributed) 백색 가우시안 잡음으로 가정했을 때 FLAOA 측정치는 다음과 같다.

$$s_i \equiv \phi_i + n_{\phi_i} = \tan^{-1} \left( \frac{(y - y_i) - (x - x_i)u}{(y - y_i)v + (x - x_i)} \right) + n_{\phi_i} \quad (4)$$

## 2.2. 기존의 CFS 방법

RLAOA 측정치에 대한 CFS 방법은 측정치 변환을 통하여 선형화된 의사측정 식을 구한 후 WLS을 이용하여 위치를 구하도록 제안되었다[4,7]. 한편 기존에 제안된 FLAOA 측정치를 이용한 CFS 방법은 측정치 변환과 계수 변환을 통하여 선형방정식을 구하였으며, 이를 정리하면 다음과 같다[5].

식(3)의 FLAOA 측정치를 이용한 의사 측정치 식은 다음과 같다.

$$(y - y_i)u \tan \phi_i + (x - x_i) \tan \phi_i = (y - y_i) - (x - x_i)u \quad (5)$$

식(4)에서 입사각 측정 잡음  $n_{\phi_i}$ 가 충분히 작다고 가정할 때 잡음을 고려한 식(5)를 테일러 급수로 (Taylor Series) 근사화 하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_C' &= \begin{bmatrix} -y_1 + x_1 \tan(s_1) \\ -y_2 + x_2 \tan(s_2) \\ \vdots \\ -y_m + x_m \tan(s_m) \end{bmatrix} \\ &\cong \begin{bmatrix} -(y_1 \tan \phi_1 + x_1) & \tan \phi_1 & 1 \\ -(y_2 \tan \phi_2 + x_2) & \tan \phi_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -(y_m \tan \phi_m + x_m) & \tan \phi_m & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} A_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & A_2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & A_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_{\phi_1} \\ n_{\phi_2} \\ \vdots \\ n_{\phi_m} \end{bmatrix} \\ &\equiv \mathbf{H}_C \cdot \mathbf{x}' + \mathbf{J}_C \mathbf{n} \\ &\equiv \mathbf{H}_C \cdot \mathbf{x}' + \mathbf{y}_C \end{aligned} \quad (6)$$

여기서  $u = \tan \alpha_U$ ,  $v = x + uy$ ,  $w = ux - y$ ,  $A_i = x_i / \cos^2 \phi_i$  이다.

식(6)에서  $\mathbf{y}_c$ 의 원소는 측정되는 센서에 따라 분산의 크기가 다르기 때문에 WLS을 적용해야 하며,  $\mathbf{x}$ 를 다음과 같이 추정한다.

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{H}_c^T \mathbf{Q}_c^{-1} \mathbf{H}_c)^{-1} \mathbf{H}_c^T \mathbf{Q}_c^{-1} \mathbf{z}_c \quad (7)$$

여기서  $\mathbf{Q}_c = \text{cov}(\mathbf{y}_c) = \sigma_c^2 (\mathbf{J}_c \mathbf{J}_c^T)$  이고, 식(7)의  $\phi_i$ 는 FLAOA 측정치를 이용하여  $s_i$ 로 대체하였다.

추정된  $\hat{\mathbf{x}}' = [\hat{u} \ \hat{v} \ \hat{w}]^T$ 로부터 최종적인 사용자 위치 및 방위각을 구한다.

$$\hat{\mathbf{x}} = \begin{bmatrix} \hat{x} \\ \hat{y} \\ \hat{\alpha}_U \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\hat{v} + \hat{u}\hat{w}}{1 + \hat{u}^2} \\ \frac{\hat{u}\hat{v} - \hat{w}}{1 + \hat{u}^2} \\ \tan^{-1} \hat{u} \end{bmatrix} \quad (8)$$

### 2.3. 개선된 CFS 방법

CFS 방법은 한 번에 해를 구할 수 있어 해가 발산하는 문제가 없다. 그러나 [5]의 실험결과에서 보인바와 같이 기존의 FLAOA 측정치를 이용한 CFS 방법은 위치추정오차가 크고 센서의 배치 및 사용자의 자세와 위치에 민감하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 측정치 변환을 통하여 얻어지는 의사측정치의 잡음성분을 기존 CFS 방법에 비해 보다 정확하게 근사화 하였다. 이 경우 잡음의 공분산에 사용자의 위치 및 방위각과 같은 미지변수가 포함되기 때문에 2단계 추정방법을 사용하였다. 1단계에서는 잡음특성을 고려하지 않고 LS (Least Square) 이용하여 공분산 행렬을 추정하고, 2단계에서 추정된 공분산 행렬을 사용한 WLS를 적용하여 사용자의 최종 위치를 추정한다.

잡음성분을 고려하여 식(5)를 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & -y_i + x_i \tan(s_i - n_{\phi_i}) \\ & = v \tan(s_i - n_{\phi_i}) - u \{y_i \tan(s_i - n_{\phi_i}) + x_i\} + w \end{aligned} \quad (9)$$

$n_{\phi_i}$ 가 충분히 작다고 가정하면 삼각함수의 근사화에 따라 식(9)는 다음과 같이 근사화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} & -y_i + x_i \tan(s_i) \\ & \cong v \tan(s_i) - u \{y_i \tan(s_i) + x_i\} + w \\ & + n_{\phi_i} (-v + w \tan(s_i) + uy_i - ux_i \tan(s_i) + x_i + y_i \tan(s_i)) \end{aligned} \quad (10)$$

식(10)을 행렬과 벡터의 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \mathbf{z}_M &= \begin{bmatrix} -y_1 + x_1 \tan(s_1) \\ -y_2 + x_2 \tan(s_2) \\ \vdots \\ -y_m + x_m \tan(s_m) \end{bmatrix} \\ &\cong \begin{bmatrix} -(y_1 \tan s_1 + x_1) & \tan s_1 & 1 \\ -(y_2 \tan s_2 + x_2) & \tan s_2 & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ -(y_m \tan s_m + x_m) & \tan s_m & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_1 & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & B_2 & & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ 0 & \cdots & 0 & B_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} n_{\phi 1} \\ n_{\phi 2} \\ \vdots \\ n_{\phi m} \end{bmatrix} \\ &= \mathbf{H}_M \mathbf{x}' + \mathbf{J}_M \mathbf{n} \\ &= \mathbf{H}_M \mathbf{x}' + \mathbf{y}_M \end{aligned} \quad (11)$$

여기서  $B_i = -v + w \tan(s_i) + uy_i - ux_i \tan(s_i) + x_i + y_i \tan(s_i)$  이다. 따라서 잡음의 공분산 행렬은 다음과 같이 주어진다.

$$\mathbf{Q}_M = \text{cov}(\mathbf{y}_M) = \sigma_\phi^2 (\mathbf{J}_M \mathbf{J}_M^T) \quad (12)$$

식(12)의 공분산 행렬에 미지변수인 u, v, w가 포함되기 때문에 WLS의 가중치 행렬을 구할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 두 단계를 통해 사용자의 위치를 구한다. 첫 번째로 LS를 사용하여 식(11)의  $\mathbf{x}'$ 를 추정한다.

$$\hat{\mathbf{x}}'_{LS} = (\mathbf{H}_M^T \mathbf{H}_M)^{-1} \mathbf{H}_M^T \mathbf{z}_M \quad (13)$$

추정된  $\hat{\mathbf{x}}'_{LS}$ 의 u, v, w를 공분산 행렬  $\mathbf{Q}_M$ 에 대입하여  $\hat{\mathbf{Q}}_M$ 를 추정한 후 이를 이용하여 다음과 같이 WLS로 최종적인  $\hat{\mathbf{x}}$ 를 추정한다.

$$\hat{\mathbf{x}} = (\mathbf{H}_M^T \hat{\mathbf{Q}}_M^{-1} \mathbf{H}_M)^{-1} \mathbf{H}_M^T \hat{\mathbf{Q}}_M^{-1} \mathbf{z}_M \quad (14)$$

마지막으로 앞의 식(8)을 사용하여 최종적인 사용자 위치와 방위각을 추정 할 수 있다.

추정되는 값은 식(4)에서 보는바와 같이 센서와 태그 사이의 이루는 각도가 직각에 가까워질수록 잡음에 민감하게 반응한다. 기존의 CFS 방법은 잡음이 포함된 항을 테일러 급수를 이용하여 1차 항 까지 선형식으로 근사화 하였다. 이러한 방식으로 생성된 공분산은 입사각이 직각에 가까운 센서로부터 받은 측정치에 가중치를 필요 이상으로 적게 주어 해당 센서의 측정치를 무시하게 됨으로써 가관측성(observability)이 부족한 현상이 발생할 수 있다. 반면 제안된 CFS 방법은 잡음이 포함된 항을 삼각함수에 대하여 전개한 후에 소각각 근사 (Small angle approximation) 기법으로 근사화 하였다. 제안된 방법에서 측정 잡음을 무시하면 식(12)의  $B_i$ 는 사용자 좌표계에서 다음과 같이 근사화 할 수 있다.

$$\begin{aligned} B_i &= -v + w \tan(s_i) + uy_i - ux_i \tan(s_i) + x_i + y_i \tan(s_i) \\ &= -(x_U - x_{U_i}) \cdot (1 + \tan(\phi_i + n_{\phi_i}) \cdot \tan(\phi_i)) \\ &\cong -\frac{(x_U - x_{U_i})}{\cos^2 \phi_i} \\ &= \frac{\sqrt{(x_U - x_{U_i})^2 + (y_U - y_{U_i})^2}}{\cos \phi_i} \end{aligned} \quad (15)$$

기존의 CFS 방법과 비교하여 식(15)의 경우 분모의 차수가 줄어들어 직각에 가까운 센서로부터 받은 측정치에 가중치를 적절히 작게 준다. 이는 테일러 급수로 근사화 하는 기존의 방법보다 잡음성분을 보다 정확하게 고려하기 때문에 제안된 CFS 방법이 센서나 사용자의 위치 및 자세에 덜 민감하고 보다 높은 정확도를 얻을 수 있다.

### 3. 실험 결과

컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안된 방법과 기존의 CFS 방법의 성능을 비교하였다. 작업환경의 크기는 12m×12m로 설정 하였고, NLOS (Non-line-of-sight) 및 다중경로 환경은 고려하지 않았다. 2차원에서 위치를 추정하기 위하여 필요한 최소 각도 측정치는 RLAOA 2개, FLAOA 3개로 FLAOA 경우 측정치를 하나 더 필요로 한다. 따라서 공정한 비교를 위하여 RLAOA와 FLAOA의 각도 측정치 개수를 각각 3, 4로 하였다. 센서는 그림 2와 같이 대칭으로 배치하였으며, '★'로 표기 하였다. RLAOA의 경우 4번 센서를 제외한 나머지 센서를 이용하여 각도 측정치를 얻었다. 그림 2에서 '●'는 121개의 측위 점을 나타내며 측위 점에서 각각 100회의 시뮬레이션을 통해 통계 자료를 얻었다.  $\alpha_0$ 는  $-10[\text{deg}]$ ,  $\sigma_\phi^2$ 는  $0.001[\text{rad}^2] \approx 3.283[\text{deg}^2]$ 로 가정하였다. 위치 추정 오차는 다음과 같이 계산하였다.

$$e = E \left[ \sqrt{(x - \hat{x})^2 + (y - \hat{y})^2} \right] \quad (16)$$

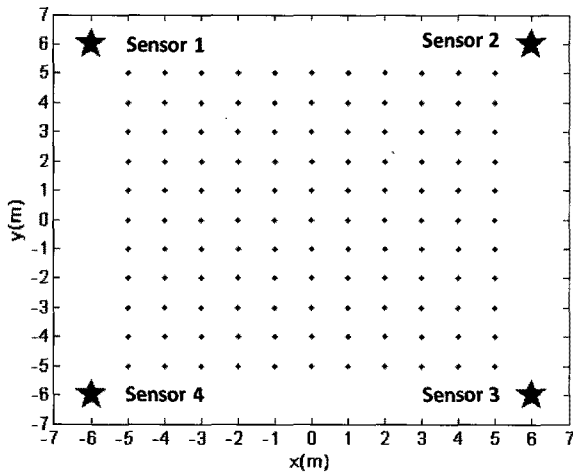
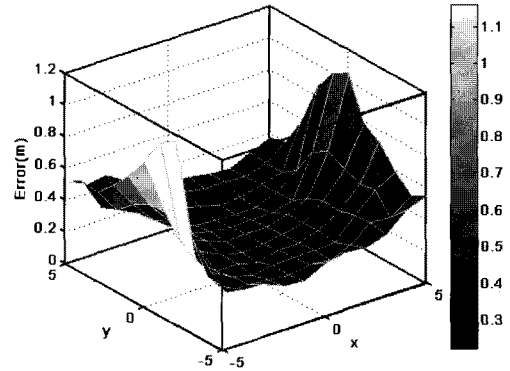


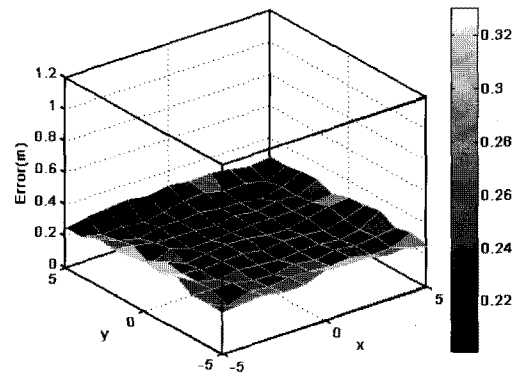
그림 2 센서 배치  
Fig. 2 Sensor Geometry

그림 3은 FLAOA 측정치를 사용한 기존의 CFS 방법과 제안된 CFS 방법 및 RLAOA 측정치를 사용한 CFS 방법의 거리추정오차를 보여준다. 기존의 FLAOA 측정치를 사용한 CFS 방법의 경우 거리추정오차가 0.2~1.1[m]로 나타나며 특히 센서와 태그가 이루는 각이 직각에 가까운 지역에서 거리추정오차가 큰 것을 볼 수 있다. 이는 가중치 행렬로 사용되는 공분산 행렬의 원소들이 이 지역에서 서로 큰 차이를 보여 특정 센서의 잡음에 민감하게 반응하기 때문이다. 반면 제안된 CFS 방법의 경우 전체 구간에 대하여 0.2~

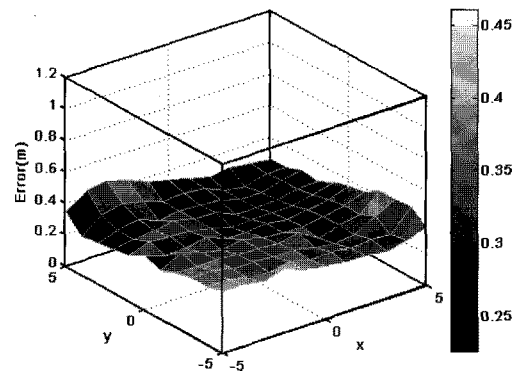
0.3[m]의 고른 분포의 거리추정오차를 나타냈다. 적절한 비교를 위하여 3개의 RLAOA 각도 측정치를 사용한 CFS 방법의 경우 전 구간에 대하여 0.25~0.45[m]의 비교적 고른 거리추정오차를 나타냈지만 제안된 방법에 비하여 그 오차가 비슷하거나 크게 나타났다. 또한 RLAOA 방법으로는 사용자의 자세를 추정할 수 없다.



(a) FLAOA 측정치를 이용한 기존의 CFS 방법  
(a) Conventional CFS for FLAOA



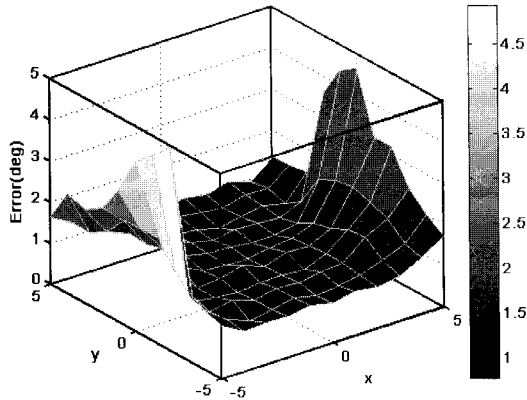
(b) FLAOA 측정치를 이용한 개선된 CFS 방법  
(b) Modified CFS for FLAOA



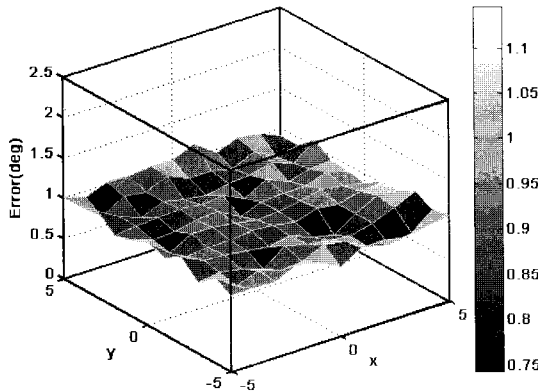
(c) RLAOA 측정치를 이용한 CFS 방법  
(c) CFS for RLAOA

그림 3 거리추정오차 비교  
Fig. 3 Comparison of range estimation error

그림 4는 FLAOA 측정치를 사용한 기존의 CFS 방법과 제안된 CFS 방법의 방위각추정오차를 보여준다. 기존의 CFS 방법의 경우 1~4.5[deg]의 성능을 나타냈으며 거리추정오차와 마찬가지로 특정 지역에서 잡음에 민감하게 반응하여 추정오차가 크게 발생하였다. 반면 제안된 CFS 방법의 경우 거리추정오차와 마찬가지로 전 구간에 걸쳐 0.75~1.1[deg]의 고른 정확도를 나타냈다.



(a) FLAOA 측정치를 이용한 기존의 CFS 방법  
(a) Conventional CFS for FLAOA



(b) FLAOA 측정치를 이용한 개선된 CFS 방법  
(b) Modified CFS for FLAOA

그림 4 방위각추정오차 비교

Fig. 4 Comparison of azimuth estimation error

제안된 방법의 경우 기존의 FLAOA 측정치를 사용한 CFS 방법에 비해 사용자의 위치 및 자세에 덜 민감하게 반응하였으며 그 정확도 또한 우수하게 나타났다. 또한 RLAOA 측정치를 사용한 CFS 방법과 비교했을 때도 제안된 방법이 더 우수한 성능을 보이는 것을 확인 할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 기존의 CFS 방법을 개선한 FLAOA 측위 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법에서는 정확도 향상을 위하여 2단계 추정 방법을 사용하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 CFS 방법이 기존의 CFS 방법에 비해 사용자의 위치에 덜 민감하게 반응하며 그 정확도 또한 더 우수하다는 것을 확인 하였다. 또한 RLAOA 측정치를 사용한 CFS방법에 비해서도 그 성능이 더 좋게 나타나는 것을 확인하였다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임

#### 참 고 문 헌

- [1] I. Jami, M. Ali and R. F. Ormondroyd: "Comparison of methods of locating and tracking cellular mobiles", IEE Colloquium on Novel Methods of Location and Tracking of Cellular Mobiles and their System Application, vol. 99/046, pp1/1-6/1, 1999
- [2] S. Chandran, Advances in Direction of Arrival Estimation, Artech House, 2006
- [3] H. L. Van Trees, Optimum Array Processing. Part IV of Detection, Estimation, and Modulation Theory, John Wiley & Sons, 2002
- [4] A. Pagès-Zamora, J. Vidal, and D. H. Brooks, "Closed-form Solution for Positioning based on Angle of Arrival Measurements," Proc. IEEE Int'l Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication, Vol. 4, pp. 1522-1526, Sep, 2002
- [5] 김동혁, 송승헌, 노기홍, 성태경, "이동 로봇을 위한 순방향 링크 AOA 측위방법", 제어자동화 시스템공학 논문지 13권 6호, pp603-608, 6. 2007
- [6] L. Cong and W. Zhuang, "Hybrid TDOA/AOA Mobile User Location for Wideband CDMA Cellular Systems," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 1, No. 3, pp. 439-447, Jul, 2002
- [7] 이성호, 김동혁, 노기홍, 박경순, 성태경, "자기동조 가중최소자승법을 이용한 AOA 측위 알고리즘 개발", 제어로봇시스템학회 논문지 13권 7호, PP. 683-687, 7. 2006

## 저 자 소 개



### 임 현 자 (林鉉子)

1985년 1월 18일생. 2007년 충남대 전기  
정보통신공학부 졸업. 2007년~현재 동  
대학원 전자전파정보통신공학과 석사과정.  
Tel : 042-821-7607  
Fax : 042-824-6807  
E-mail : rrrr27@cnu.ac.kr



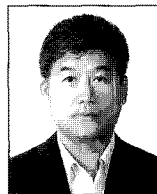
### 박 지 원 (朴志原)

1985년 12월 18일생. 2008년 충남대 전기  
정보통신공학부 졸업. 2008년~현재 동  
대학원 전자전파정보통신공학과 석사과정.  
Tel : 042-821-7607  
Fax : 042-824-6807  
E-mail : jwjsjk@gmail.com



### 송 승 헌 (宋承憲)

1980년 12월 4일생. 2006년 충남대 전기  
정보통신공학부 졸업. 2008년 동 대학원  
정보통신공학과 졸업(석사). 2008년~현  
재 동 대학원 전자전파정보통신공학과  
박사과정.  
Tel : 042-821-7607  
Fax : 042-824-6807  
E-mail : lsphoenix@hanafos.com



### 성 태 경 (成泰慶)

1961년 4월 12일생. 1984년 서울대 제어  
계측공학과 졸업. 1986년 동 대학원 제어  
계측공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학  
원 제어계측공학과 졸업(공학박). 1997년~  
현재 충남대 전기정보통신공학부 교수.  
Tel : 042-821-5660  
Fax : 042-824-6807  
E-mail : tksaint@cnu.ac.kr