

자기동조 가중최소자승법을 이용한 AOA 측위 알고리즘 개발

Development of an AOA Location Method Using Self-tuning Weighted Least Square

이 성 호, 김 동 혁, 노 기 홍, 박 경 순, 성 태 경*
(Sung Ho Lee, Dong Hyouk Kim, Gi Hong Roh, Kyungsoon Park, and Tae-Kyung Sung)

Abstract : In last decades, several linearization methods for the AOA measurements have been proposed, for example, Gauss-Newton method and Closed-Form solution. Gauss-Newton method can achieve high accuracy, but the convergence of the iterative process is not always ensured if the initial guess is not accurate enough. Closed-Form solution provides a non-iterative solution and it is less computational. It does not suffer from convergence problem, but estimation error is somewhat larger. This paper proposes a Self-Tuning Weighted Least Square AOA algorithm that is a modified version of the conventional Closed-Form solution. In order to estimate the error covariance matrix as a weight, a two-step estimation technique is used. Simulation results show that the proposed method has smaller positioning error compared to the existing methods.

Keywords : angle-of-arrival, gauss-newton, closed-form solution, weighted least square

I 서론

무선 측위방법은 일반적으로 TOA(Time of Arrival), TDOA(Time Difference of Arrival), 그리고 AOA(Angle of Arrival)로 분류할 수 있다. TOA 방법은 단방향 혹은 양방향의 전파 도달시간을 이용하는 방법으로 센서와 단말기 사이의 전파 전달시간을 측정하여 위치를 구하는 방법이고, TDOA 방법은 두 개의 센서에서 측정되는 전파 도달시간의 상대적인 차를 이용하는 방법이다. 그리고 AOA 방법은 센서의 배열안테나에서 단말기로부터 들어오는 신호의 도래각을 측정하여 단말기의 위치를 구하는 방법이다[1,2].

본 논문에서는 AOA 측정치를 이용한 측위방법의 성능을 향상시킬 수 있는 알고리즘을 제안하였다. AOA 방법의 장점은 TOA, TDOA 방법과 비교하여 센서간의 정밀한 시각 동기 없이 측위를 수행할 수 있고, 센서의 개수가 적은 경우에도 측위가 가능하다는 것이다. 2차원 측위의 경우 AOA 방법은 두 개의 센서 방위각 방향선의 교점에 단말기의 위치가 정의된다. 그러나 실제의 경우 AOA 측정치의 선형화 오차로 인한 측위정확도 감소를 보상하기 위해 일반적으로 세 개 이상의 센서를 사용한다.

AOA 측정치는 비선형이기 때문에 위치 해를 추정하기 위해서는 선형화 과정이 필요하다. 지금까지 제안된 선형화 방법 중에서 가장 대표적인 방법으로서 GN(Gauss-Newton) 방법[3,4]과 CFS(Closed-Form Solution)[5] 방법을 들 수 있다. GN 방법은 비교적 정확한 위치 해를 구할 수 있으나

반복하여 해를 구하기 때문에 선형화 기준점의 오차가 크면 위치해가 발산할 수 있다는 단점이 있다. CFS 방법은 한 번에 위치 해를 구할 수 있기 때문에 계산량이 적다는 장점이 있으나 추정오차가 측정치 잡음에 민감하고 오차 공분산이 크다는 단점이 있다.

본 논문에서는 CFS 방법을 개선한 자기동조 가중최소자승법(STWLS: Self-Tuning Weighted Least Square) 알고리즘을 제안하였다. 기존의 CFS 방법과 다르게 제안된 방법은 가중최소자승법(weighted least square)을 이용하여 위치 추정치를 계산한다. 그러나 가중치로 사용하는 의사측정치 오차 공분산이 미지 변수인 사용자 위치의 함수이기 때문에 공분산을 추정하여 가중최소자승법을 적용시키는 2단계 추정 방법을 사용하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 AOA 측위 방법들에 대해 설명하고 제안된 STWLS 알고리즘에 대해 설명한다. 3장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존의 AOA 측위방법과 제안한 방법의 성능을 비교 분석 한다.

II 자기동조 가중최소자승법을 이용한 AOA 측위 알고리즘

1. AOA 측정치 모델

사용자의 위치를 $x = [x \ y]^T$, i 번째 센서의 위치를 $x_i = [x_i \ y_i]^T$, $i = 1, 2, \dots, m$ 라고 정의한다. 여기서 m 은 센서의 개수를 나타낸다. 그림 1과 같이 배열안테나에 수신된 신호의 거리차 L 을 이용하여 i 번째 센서의 방위각 α_i 를 구할 수 있다[2]. 이때 배열안테나의 정렬이 기준좌표계와 일치하지 않을 경우 센서의 자세각 오프셋(orientation offset)을 고려하여야 한다. i 번째 센서의 배열안테나가 그림 1과 같이 설치된 경우 기준좌표계에 대한 방위각은 오프셋 각도(offset angle) α_{off}^i 와 배열안테나로 측정된 각도 α_i 의 합으로 나타낼 수 있다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2006. 11. 22., 채택확정 : 2007. 5. 14.

이성호, 김동혁, 노기홍, 박경순 : 충남대학교 정보통신공학과
(yprush@cnu.ac.kr/oneoctave@ivlab.cnu.ac.kr/felove17@nate.com/click98@ivlab.cnu.ac.kr)

성태경 : 충남대학교 전기정보통신공학부(tksaint@cnu.ac.kr)

※ 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 연구결과로 수행되었음.

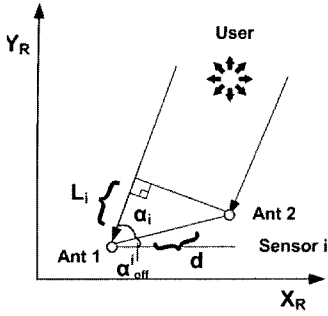


그림 1. 배열 안테나와 AOA 측정치.

Fig. 1. Array antenna and AOA measurement.

$$\alpha_{ri} = \alpha_i + \alpha_{off} \quad (1)$$

또한 방위각 α_{ri} 는 기준좌표계에서 다음과 같은 관계식을 갖는다[1,2].

$$\tan(\alpha_{ri}) = \frac{y - y_i}{x - x_i} \quad (2)$$

측정 잡음을 고려할 경우 α_i 는 배열안테나에 수신된 신호의 거리차 L_i 와 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$d \cos(\alpha_i + v_{\alpha i}) = L_i + v_{li} \quad (3)$$

식에서 d 는 안테나 사이의 거리를 나타낸다. $v_{\alpha i}$ 은 각도측정 잡음이고 v_{li} 은 두 개의 안테나에서 수신된 신호 차에 포함된 잡음이다. v_{li} 가 σ_a^2 의 분산을 갖는 i.i.d.(independent and identically distributed) 백색 정규분포를 갖는다고 가정하면 i 번째 센서에서 얻어지는 AOA 측정식과 근사화된 잡음은 다음과 같다.

$$z_{\alpha i} = \alpha_{ri} + v_{\alpha i} \quad (4)$$

식에서 $v_{\alpha i}$ 는 평균이 0이고 분산이 $\frac{\sigma_a^2}{d^2 \sin^2 \alpha_i}$ 인 i.i.d. 백색

정규잡음이다.

2. Gauss-Newton 방법과 Closed-Form Solution 방법

GN 방법에서는 (2)와 (4)에 의하여 AOA 측정치 $z_{\alpha i}$ 를 다음과 같이 선형화한다[3].

$$\begin{aligned} \delta z_a &= H_a \delta x + w_a \\ \delta z_a &= \begin{bmatrix} z_{\alpha 1} - \alpha_{r01} \\ \vdots \\ z_{\alpha m} - \alpha_{r0m} \end{bmatrix} \quad H_a = \left. \begin{bmatrix} \frac{\partial z_{\alpha 1}}{\partial x} & \frac{\partial z_{\alpha 1}}{\partial y} \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial z_{\alpha m}}{\partial x} & \frac{\partial z_{\alpha m}}{\partial y} \end{bmatrix} \right|_{x=x_0} \quad (5) \\ \delta x &= \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \end{bmatrix} \quad w_a = \begin{bmatrix} v_{\alpha 1} \\ \vdots \\ v_{\alpha m} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

식에서 $x_0 = (x_0, y_0)$ 는 선형화 기준점, α_{r0i} 는 기준좌표계에서의 i 번째 센서와 선형화 기준점과의 방위각이다. GN 방법의 위치추정은 다음 식으로 주어지는 가중최소자승법으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\delta x} &= (H_a^T Q_a^{-1} H_a)^{-1} H_a^T Q_a^{-1} \delta z_a \\ \hat{x} &= x_0 + \hat{\delta x} \end{aligned} \quad (6)$$

$$Q_a = \frac{\sigma_a^2}{d^2} \begin{bmatrix} 1/\sin^2(\alpha_1) & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & 1/\sin^2(\alpha_m) \end{bmatrix}$$

GN 방법은 (6)에서 구한 추정치를 선형화 기준점으로 대체하고 해가 수렴할 때까지 위의 과정을 반복한다. 선형화 기준점은 국지 최소값(local minima)을 피하기 위해 실제 사용자 위치와 근접해야 한다. 실제로 선형화 기준점의 선택은 간단하지 않으며 반복하여 해를 구하는 과정에서 해의 수렴을 보장할 수 없다는 단점이 있다. 또한 반복하는 매 과정마다 가중최소자승법을 사용해야 하므로 많은 계산량을 필요로 한다.

CFS방법의 선형화는 (2)의 관계식을 이용하여 다음과 같이 의사측정치를 만든다[5].

$$\tan z_{\alpha i} = \frac{\sin(z_{\alpha i})}{\cos(z_{\alpha i})} = \frac{y - y_i}{x - x_i} \quad (7)$$

$$x \sin(z_{\alpha i}) - y \cos(z_{\alpha i}) = x_i \sin(z_{\alpha i}) - y_i \cos(z_{\alpha i})$$

식에서 $z_{\alpha i} = \alpha_{ri}$ 로 가정하였으며 (7)을 행렬과 벡터의 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \underline{h} &\equiv \begin{bmatrix} x_1 \sin(z_{\alpha 1}) - y_1 \cos(z_{\alpha 1}) \\ \vdots \\ x_m \sin(z_{\alpha m}) - y_m \cos(z_{\alpha m}) \end{bmatrix} \quad (8) \\ &= \begin{bmatrix} \sin(z_{\alpha 1}) & -\cos(z_{\alpha 1}) \\ \vdots & \vdots \\ \sin(z_{\alpha m}) & -\cos(z_{\alpha m}) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \equiv G_a \underline{x} \end{aligned}$$

하지만 (8)에서 (2)의 α_{ri} 를 $z_{\alpha i}$ 로 가정하여 식을 유도하였기 때문에 측정치의 잡음 특성을 제대로 고려하지 않았으며 CFS 방법의 위치 추정치는 다음과 같이 최소자승법(least square)을 사용하여 구한다.

$$\hat{\underline{x}} = (G_a^T G_a)^{-1} G_a^T \underline{h} \quad (9)$$

3. 자기동조 가중최소자승법(STWLS) 알고리즘

CFS 방법은 (9)를 이용하여 반복하지 않고 한 번에 위치해를 구할 수 있어 위치해가 발산하는 문제가 없다. 하지만 앞 절에서 언급한 바와 같이 의사측정치의 잡음성분을 제대로 고려하지 않았기 때문에 위치추정오차가 측정치 잡음에 민감하고, 추정오차의 공분산이 크다는 단점이 있다. 본 논문에서 제안하는 STWLS는 이러한 CFS 방법의 문제점을 개선하기 위하여 의사측정치의 잡음 공분산을 이용한 가중최소자승법을 사용한다. (8)의 의사측정치의 잡음 공분산은 미지 변수인 사용자 위치에 영향을 받으며, 그 결과 가중최소자승법을 위한 가중행렬을 구할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 2단계 추정방법이 사용되었고 추정방법의 특징을 따라 “자기동조(self-tuning)”라고 명명하였다. 본 논문에서 제안한 방법에서는 1단계로 기존의 CFS 방법을 이용하여 가중치 행렬을 추정하고 2단계로 가중최소자승법을 적용하여 사용자 위치를 추정한다.

(7)을 수정하여 잡음성분을 고려한 의사측정치는 다음과 같다.

$$\tan(z_{\alpha i} - v_{\alpha i}) = \frac{y - y_i}{x - x_i} = \frac{\tan z_{\alpha i} - \tan v_{\alpha i}}{1 + \tan z_{\alpha i} \tan v_{\alpha i}} \quad (10)$$

(10)을 행렬과 벡터의 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \underline{h} &\equiv \begin{bmatrix} x_1 \sin z_{\alpha 1} - y_1 \cos z_{\alpha 1} \\ \vdots \\ x_m \sin z_{\alpha m} - y_m \cos z_{\alpha m} \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} \sin z_{\alpha 1} & -\cos z_{\alpha 1} \\ \vdots & \vdots \\ \sin z_{\alpha m} & -\cos z_{\alpha m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \\ &\quad + \begin{bmatrix} -\tan v_{\alpha 1} (y - y_1) \sin z_{\alpha 1} + (x - x_1) \cos z_{\alpha 1} \\ \vdots \\ -\tan v_{\alpha m} (y - y_m) \sin z_{\alpha m} + (x - x_m) \cos z_{\alpha m} \end{bmatrix} \\ &\equiv G_\alpha \underline{x} + \underline{n}_\alpha \end{aligned} \quad (11)$$

(11)의 의사측정잡음 \underline{n}_α 의 i 번째 성분을 다시 정리 하면 다음과 같다.

$$n_{\alpha i} = \tan v_{\alpha i} \sin v_{\alpha i} [(x - x_i) \sin \alpha_{r_i} - (y - y_i) \cos \alpha_{r_i}] - \sin v_{\alpha i} [(x - x_i) \cos \alpha_{r_i} + (y - y_i) \sin \alpha_{r_i}] \quad (12)$$

$v_{\alpha i}$ 가 충분히 작다고 가정하면 (12)는 다음과 같이 근사화 할 수 있다.

$$n_{\alpha i} \cong -v_{\alpha i} [(x - x_i) \cos \alpha_{r_i} + (y - y_i) \sin \alpha_{r_i}] \quad (13)$$

(4)로부터 (13)의 근사화된 의사측정잡음은 영평균을 갖는 i.i.d. 백색정규분포이며, 다음과 같은 공분산 행렬을 갖는다.

$$\text{cov}(\underline{n}_\alpha) = \Psi = \begin{bmatrix} A_1^2 \sigma_a^2 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & A_m^2 \sigma_a^2 \end{bmatrix} \quad (14)$$

식에서 $A_i = (x - x_i) \cos \alpha_{r_i} + (y - y_i) \sin \alpha_{r_i}$

$$\sigma_{\alpha i}^2 = \frac{\sigma_a^2}{d^2 \sin^2 \alpha_i}$$

(14)의 공분산행렬 Ψ 는 가중최소자승법의 가중치로 사용된다. 그러나 (14)의 사용자위치 (x, y) 와 α_{r_i}, α_i 는 미지 변수이다. 제안한 알고리즘은 먼저 1단계로 Ψ 를 추정하기 위해 기존의 CFS 방법을 이용하여 사용자 위치 추정치 $\hat{x}_a = [\hat{x}, \hat{y}]^T$ 를 구하여 사용자 위치를 대체하였다. 그리고 α_{r_i}, α_i 는 AOA 측정치를 이용하여 각각 $z_{\alpha i}, z_{\alpha i} - \alpha_{\text{off}i}$ 로 대체하였다. 따라서 의사측정잡음의 공분산행렬 추정치는 다음과 같다.

$$\hat{\Psi} = \begin{bmatrix} \hat{A}_1^2 \hat{\sigma}_{\alpha 1}^2 & 0 & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \hat{A}_m^2 \hat{\sigma}_{\alpha m}^2 \end{bmatrix} \quad (15)$$

식에서 $\hat{A}_i = (\hat{x} - x_i) \cos z_{\alpha i} + (\hat{y} - y_i) \sin z_{\alpha i}$

$$\hat{\sigma}_{\alpha i}^2 = \frac{\sigma_a^2}{d^2 \sin^2 (z_{\alpha i} - \alpha_{\text{off}i})}$$

제안한 STWLS의 최종적인 추정치는 (15)의 가중치행렬

을 이용하여 다음과 같이 가중최소자승법으로 구한다.

$$\hat{\underline{x}}_a = (G_a^T \hat{\Psi}^{-1} G_a)^{-1} G_a^T \hat{\Psi}^{-1} \underline{h} \quad (16)$$

III. 모의 실험결과

MATLAB을 이용한 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안한 STWLS 방법과 기존의 GN 방법 및 CFS 방법의 성능을 비교하였다. 작업환경의 크기는 12×12m로 설정하였고 사용자의 위치는 X, Y축을 각각 -5m에서 5m까지 1m씩 변화시키면서 121개의 측위 기준점에서 시뮬레이션을 수행하였다. 센서의 좌표는 그림 2와 같이 설정하였다. 센서의 개수가 4개일 경우에는 대칭성을 피하기 위하여 그림 2(b)와 같이 ‘ㄱ’자 모양으로 센서를 배치하였고, 센서의 개수가 3개일 경우에는 ‘ㄱ’자로 배치할 경우 GN 방법의 발산이 심하게 나타나 비교가 어렵기 때문에 GN 방법의 발산이 비교적 적게 발생하도록 센서를 삼각형모양으로 배치하였다. AOA 측정치의 잡음 생성을 위하여 (4)의 σ_a 은 1cm, 안테나 거리 d 는 10cm로 설정하였다. 사용자의 위치에 따른 3가지 방법의 성능을 비교하기 위하여 121개의 측위 점에서 각각 100회의 시뮬레이션을 통하여 3가지 방법의 추정 오차의 표준편차, 오차분포를 비교하였다. 이때 GN방법에서의 수렴의 기준은 잡음분산 σ_a 을 고려하여 이전 추정치와 다음 추정치 사이의 거리가 1cm 이내가 되는 것으로 하였다.

그림 3은 센서의 개수가 3개일 경우에 3가지 방법의 추정오차의 표준편차를 비교한 것이며, 표1은 주요 측위 점에서의 표준편차를 수치로 비교한 것이다. 그림 3(d)에서 보는 것과 같이 GN 방법은 사용자의 위치가 (-5, -5), (-5, 5) 지점 부근일 때 발산하는 것을 알 수 있다. 표 1에서 GN 방법이 40%의 측위 점에서 가장 좋은 성능을 나타내지만 그 외의 지점에서는 발산하거나 좋지 않은 성능을 보이는 것을 알 수 있으며, 이는 GN방법이 센서의 배치에 민감하다는 것을 의미한다. 제안된 방법은 CFS 방법과 비교하여 모든 지점에서 나은 성능을 나타내며, 121개의 측위 기준점에서의 실험 결과를 볼 때 평균적으로 약 8%의 성능 향상을 보인다.

그림 4는 센서의 개수가 3개일 경우에 주요 지점에서의 3가지 방법의 오차분포를 나타낸 것이다. 오차타원체의 크기는 다른 방법에 비해 CFS방법이 가장 크며 제안된 방법과 GN방법의 오차타원체의 크기는 유사하다. 하지만 제안

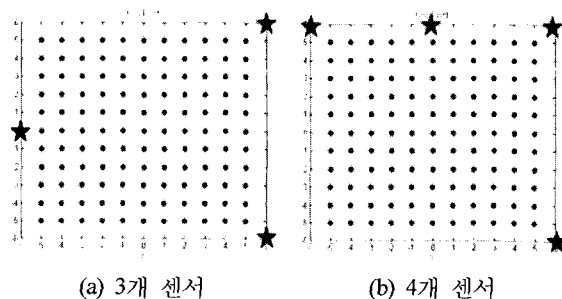


그림 2. 센서 배치.

Fig. 2. Sensor geometry.

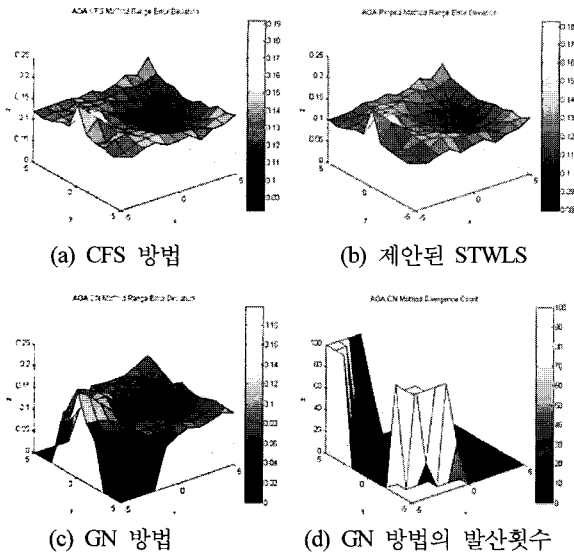


그림 3. 3개 센서일 경우의 추정오차 표준편차.
Fig. 3. Standard deviation of estimation error(3 sensor case).

표 1. 3개 센서일 경우의 추정오차 표준편차.

Table 1. Standard deviation of estimation error(3 sensor case).

User position	CF Solution	Proposed method	GN method	User position	CF Solution	Proposed method	GN method
(-5,-5)	0.133	0.118	-	(0, 5)	0.126	0.114	0.106
(-5,0)	0.190	0.182	0.175	(3,-3)	0.109	0.100	0.108
(-5,5)	0.116	0.097	-	(3, 0)	0.091	0.090	0.084
(-3,-3)	0.120	0.101	0.119	(3, 3)	0.103	0.097	0.108
(-3,0)	0.141	0.133	0.126	(5,-5)	0.144	0.130	0.135
(-3,3)	0.123	0.118	0.113	(5, 0)	0.110	0.105	0.112
(0,-5)	0.131	0.123	0.113	(5, 5)	0.145	0.134	0.151
(0, 0)	0.095	0.092	0.095				

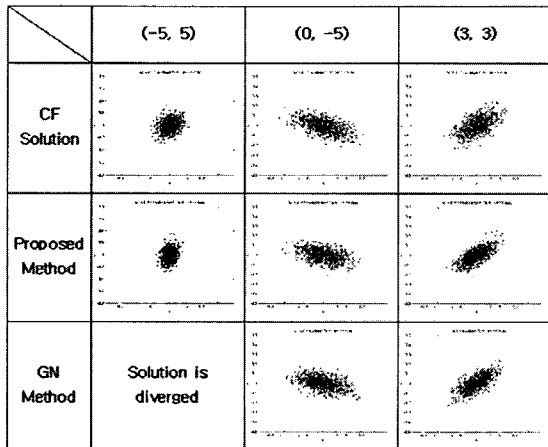


그림 4. 3개 센서일 경우의 오차분포.
Fig. 4. Error distribution(3 sensor case).

된 방법은 해가 발산하지 않는다는 점에서 GN 방법보다 우수함을 알 수 있다.

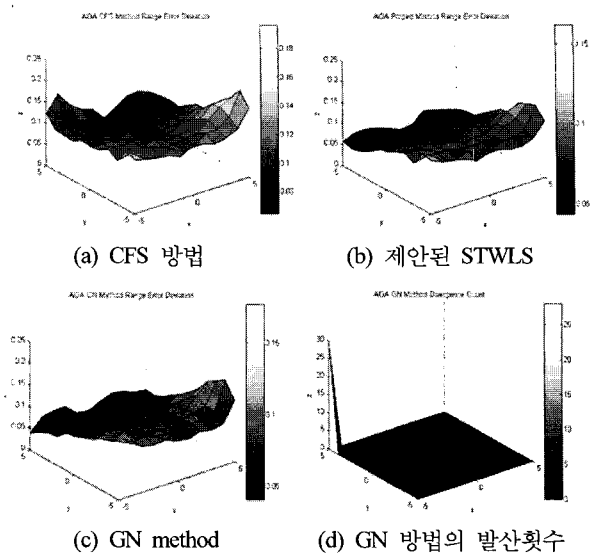


그림 5. 4개 센서일 경우의 추정오차 표준편차.
Fig. 5. Standard deviation of estimation error(4 sensor case).

표 2. 4개 센서일 경우의 추정오차 표준편차.

Table 2. Standard deviation of estimation error(4 sensor case).

User position	CF Solution	Proposed method	GN method	User position	CF Solution	Proposed method	GN method
(-5,-5)	0.125	0.123	0.110	(0, 5)	0.076	0.042	0.041
(-5,0)	0.102	0.091	0.098	(3,-3)	0.123	0.111	0.118
(-5,5)	0.109	0.059	-	(3, 0)	0.099	0.090	0.082
(-3,-3)	0.119	0.119	0.102	(3, 3)	0.065	0.055	0.055
(-3,0)	0.092	0.079	0.085	(5,-5)	0.180	0.136	0.122
(-3,3)	0.074	0.054	0.053	(5, 0)	0.113	0.100	0.100
(0,-5)	0.106	0.096	0.088	(5, 5)	0.091	0.049	0.050
(0, 0)	0.086	0.086	0.085				

그림 5는 센서의 개수가 4개일 경우에 3가지 방법의 표준편차를 비교한 것이고 표 2는 주요 측위 점에서 표준편차를 수치로 비교한 것이다. GN 방법은 그림 5(d)에서 보는 것과 같이 사용자의 위치가 (-5, 5)지점에서 발산하는 것을 알 수 있다. GN 방법은 67%의 작업환경에서 가장 좋은 성능을 보이고 있으며, 센서의 개수가 3개일 경우와 비교해서 뚜렷한 성능향상을 보여준다. 이와 같이 센서의 개수가 늘어날수록 측위성능이 향상되는 것은 이미 알려진 사실이다[4]. 제안된 방법은 모든 지점에서 CFS 방법보다 나은 성능을 보이며, 121개의 측위 기준점 데이터를 분석할 때 평균적으로 약 17%의 성능향상을 나타낸다. GN방법과 마찬가지로 제안된 방법은 센서의 개수가 증가할수록 성능이 대폭 향상되며, GN 방법과 동등한 성능을 보인 경우를 포함하여 47%의 작업환경에서 가장 좋은 성능을 보인다. 주목할 것은 센서가 4개인 경우에도 GN 방법은 여전히 특정 지역에서 해가 발산하는 문제를 보이고 있다는 것이다.

그림 6은 센서의 개수가 4개일 경우에 주요 지점에서의 3가지 방법의 오차분포를 나타낸 것이다. 오차타원체의 크

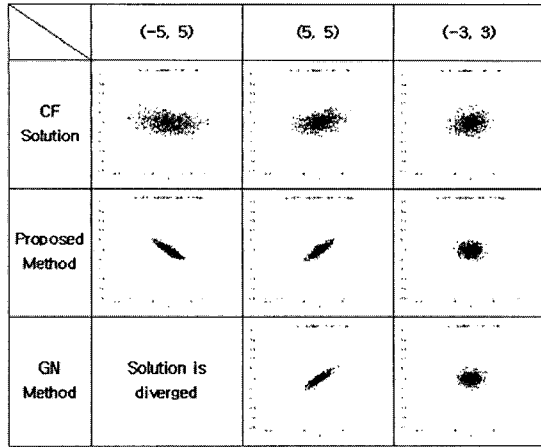


그림 6. 4개 센서일 경우의 오차분포.
Fig. 6. Error distribution(4 sensor case).

기는 다른 방법에 비해 CFS 방법이 가장 크며 제안된 방법과 GN 방법의 오차타원체의 크기는 유사하다. 그림 4와 그림 6을 비교하였을 때 제안된 STWLS는 GN 방법과 마찬가지로 CFS 방법과 비교하여 센서의 개수가 증가할수록 뚜렷한 성능향상을 보여줌을 다시 확인 할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 기존의 CFS 방법을 수정한 새로운 AOA 측위 알고리즘을 제안하였다. 제안된 방법에서는 측위 정확도 향상을 위하여 2단계 추정방법을 사용한 자기동조 가중최소자승법을 적용하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 STWLS

방법은 CFS 방법에 비해 센서의 개수가 3개일 때 8%, 그리고 센서의 개수가 4개일 때 17%의 성능이 향상되었다. GN 방법과 비교할 때 STWLS 방법은 GN 방법과 다르게 추정치가 발산하는 경우가 발생하지 않으며, GN 방법이 수렴할 경우에 두 가지 방법의 성능이 유사하였다. 제안된 방법은 기존의 AOA 측위 알고리즘과 비교하여 추정치의 발산 문제가 없으면서 정확한 위치 추정치를 제공할 수 있다는 장점을 가지며, 따라서 STWLS 방법은 AOA 측정치를 이용한 측위 시스템에 좋은 대안이 될 것이다.

참고문헌

- [1] I. Oppermann, M. Hämmäläinen, and J. Inatti, *UWB Theory and Applications*, John Wiley & Sons Ltd., 2004.
- [2] M. Ghavami, L. B. Michael, and R. Kohno, *Ultra Wideband Signals and Systems in Communication Engineering*, John Wiley & Sons Ltd., 2004.
- [3] W. H. Foy, "Position-location solutions by Taylor series estimation," *IEEE Trans. Aerosp. Electro. Syst.*, vol. AES-12, pp. 187-194, Mar. 1976.
- [4] D. J. Torrieri, "Statistical theory of passive location systems," *IEEE Transactions on Aerosp. and Electro. Syst.*, vol. AES-20, pp. 183-198, Mar. 1984.
- [5] A. Pagès-Zamora, J. Vidal Manzano, and D. H. Brooks, "Closed-form solution for positioning based on angle of arrival measurements," *The 13th IEEE Int. Symposium Personal, Indoor and Mobile Radio Communication*, vol. 4, pp. 1522- 1526, Sep. 2002.



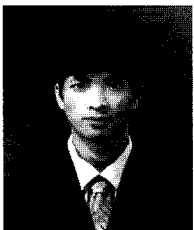
이 성 호

2005년 충남대 전기정보통신공학부 졸업. 2007년 동 대학원 정보통신공학과 졸업(석사). 관심분야는 Signal Processing, 측위알고리즘, UWB.



김 동 혁

2005년 충남대 전기정보통신공학부 졸업. 2007년 동 대학원 정보통신공학과 졸업(석사). 2007년~현재 동 대학원 정보통신공학과 박사과정. 관심분야는 GPS & GNSS, UWB, 실내측위.



노 기 홍

2006년 충남대 전기정보통신공학부 졸업. 2006년~현재 충남대 정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 GPS & GNSS, Signal Processing, Navigation.



박 경 순

2006년 충남대 전기정보통신공학부 졸업. 2006년~현재 충남대 정보통신공학과 석사과정. 관심분야는 측위 알고리즘, IEEE 802.15.4, Signal Processing.



성 태 경

1984년 서울대 제어계측공학과 졸업. 1986년 동 대학원 석사. 1992년 동 대학원 박사. 1997년~현재 충남대 전기정보통신공학부 교수. 관심분야는 GPS & GNSS, 무선측위 신호처리, 텔레메틱스.