

무선 센서 네트워크에서 C-SCGP를 이용한 RSS/AOA 이상치 제거 기반 표적 위치추정 기법

강세영¹, 이재훈², 송종인³, 정원주^{4*}

¹고려대학교 컴퓨터학과 대학원생, ²고려대학교 컴퓨터학과 교수, ³광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 교수,
⁴고려대학교 인공지능학과 교수

Outlier Reduction using C-SCGP for Target Localization based on RSS/AOA in Wireless Sensor Networks

SeYoung Kang¹, Jaehoon Lee², JongIn Song³, Wonzoo Chung^{4*}

¹Student, Department of Computer Science and Engineering, Korea University

²Professor, Department of Computer Science and Engineering, Korea University

³Professor, School of Electronic Engineering and Computer Science, Gwangju Institute of Science and Technology

⁴Professor, Department of Artificial Intelligence, Korea University

요약 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 이상치를 포함한 수신 신호 강도와 신호의 도달 각도 측정치 기반의 표적 위치추정 성능 저하를 방지하기 위한 이상치 검출 알고리즘 C-SCGP를 제안한다. 센서 오작동, 재밍, 심한 잡음과 같은 다양한 이상치 원인으로 인해 표적 위치추정 정확도가 크게 떨어질 수 있어, 모든 이상치를 탐지하고 제거하는 것이 중요하다. 이러한 이상치를 제거하기 위해 single cluster graph partitioning (SCGP) 알고리즘이 널리 사용되고 있다. 기존의 SCGP 알고리즘은 hyperparameter 최적화를 통한 threshold 설정과 이상치 확률 계산이 필수적이므로 다양한 분야에 효율적인 적용이 제한되어왔다. 본 논문에서 제안된 continuous-SCGP (C-SCGP) 알고리즘은 이러한 SCGP의 약점을 극복한다. 다양한 잡음 환경에서 threshold 설정과 이상치 확률 계산이 필요 없는 제안된 C-SCGP 알고리즘과 threshold 설정과 이상치 확률 계산을 요구하는 SCGP 알고리즘의 이상치 제거 성능이 같음을 최종 추정된 표적의 RMSE 성능을 통하여 검증하였다.

주제어 : 무선센서네트워크, 수신신호강도, 도달각도, 위치추정, 데이터융합, 이상치검출

Abstract In this paper, we propose an outlier detection algorithm called C-SCGP to prevent the degradation of localization performance based on RSS (Received Signal Strength) and AOA (Angle of Arrival) in the presence of outliers in wireless sensor networks. Since the accuracy of target estimation can significantly deteriorate due to various cause of outliers such as malfunction of sensor, jamming, and severe noise, it is important to detect and filter out all outliers. The single cluster graph partitioning (SCGP) algorithm has been widely used to remove such outliers. The proposed continuous-SCGP (C-SCGP) algorithm overcomes the weakness of the SCGP that requires the threshold and computing probability of outliers, which are impractical in many applications. The results of numerical simulations show that the performance of C-SCGP without setting threshold and probability computation is the same performance of SCGP.

Key Words : Wireless Sensor Networks, Received Signal Strength, Angle of Arrival, Localization, Data Fusion, Outlier Detection

*This study is supported from Electronic Warfare Research Center (EWRC) at Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), originally funded by Defense Acquisition Program Administration(DAPA) and Agency for Defense Development (ADD).

*Corresponding Author : Wonzoo Chung (wchung@korea.ac.kr)

Received September 1, 2021

Revised October 19, 2021

Accepted November 20, 2021

Published November 28, 2021

1. 서론

물리적인 환경을 관찰하고 기록하기 위해서 공간적으로 분산된 센서 그룹을 무선 센서 네트워크(Wireless sensor networks (WSNs)라 하며 본래 표적의 위치추정을 목적으로 설계되지 않았다[1]. 최근에 무선 센서 네트워크에서 수신 신호 강도 (Received Signal Strength (RSS))와 도착 각도 (Angle of Arrival (AOA))를 융합하여 표적의 위치를 추정하는 많은 연구가 진행되고 있다[2-5].

센서 오작동, 재밍, 환경에 의한 강한 잡음과 같은 다양한 원인으로 인하여 센서가 이상치 (Outlier)를 수신할 수 있고, 이상치를 포함한 RSS/AOA 측정치를 기반으로 표적의 위치를 추정하면 위치추정 정확도가 크게 떨어질 수 있다. 이러한 성능 저하를 방지하기 위해 이상치 제거를 위한 다양한 partitioning 기법이 연구되었다[6-8].

Single cluster graph partitioning (SCGP) 알고리즘 [8]은 많은 분야에서 사용되고 있는 이상치 검출 알고리즘이다. SCGP 알고리즘을 사용하여 도착시간 차이 (Time Difference of Arrival (TDOA))와 도플러 주파수 차이 (Frequency Difference of Arrival (FDOA))를 기반으로 표적의 위치와 속도를 추정하는 알고리즘에서 이상치를 제거하는 선행 연구가 있다 [9]. 하지만, RSS/AOA 측정치를 기반으로 표적의 위치를 추정하는 연구에 있어 이러한 이상치를 제거하는 연구가 많이 이루어지고 있지 않다.

참고 논문 [8, 9]에서 SCGP 알고리즘은 threshold를 사용하여 1과 0으로 이루어진 인접 행렬 (Adjacency Matrix)를 구하고, 이를 기반으로 표적의 위치를 추정하는데 요구되는 최소한의 정상치 정보를 찾고, Gaussian 잡음 가정하에 남은 정보에 대한 확률을 구하여 이상치를 판단한다. 하지만, 이때 최적의 threshold 값을 구하는 것이 중요하여 많은 try-and-error를 통하여 threshold 값을 구하게 된다. 더욱이 이상치여부 판단에 필요한 확률 계산은 많은 양의 사전지식 (Prior Information)이 필요하여 다양한 응용 분야 적용에 많은 제약을 보이고 있다. 따라서 SCGP 약점을 극복하는 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 기존 SCGP 알고리즘의 약점을 극복하는 continuous-SCGP (C-SCGP) 알고리즘을 제안하였다. C-SCGP 알고리즘은 threshold를 사용하지

않고 smooth 한 거리 기반의 인접 행렬을 구하고, 확률이 아닌 평균값에 대한 에러 값을 통한 근사로 측정치의 이상치 여부를 판단하였다. 이러한 C-SCGP 알고리즘이 RSS와 AOA 기반의 위치추정 응용에서 SCGP를 능가하는 성능을 보이게 됨을 시뮬레이션을 통하여 검증하였다.

2. RSS와 AOA 정보 기반의 위치추정

Fig. 1은 i 번째 센서와 표적 간의 거리와 각도를 보여준다. 본 논문에서는 N 개의 센서와 1개의 표적으로 이루어진 무선 센서 네트워크를 고려하였다. i 번째 센서는 $\vec{a}_i = [a_{ix}, a_{iy}, a_{iz}]^T$, 표적은 $\vec{x} = [x_x, x_y, x_z]^T$ 로 위치를 나타내었다. 각 센서에서 표적의 신호를 수신하고, 수신 신호에서 RSS와 AOA 측정치를 얻을 수 있다고 가정하였다[2-5].

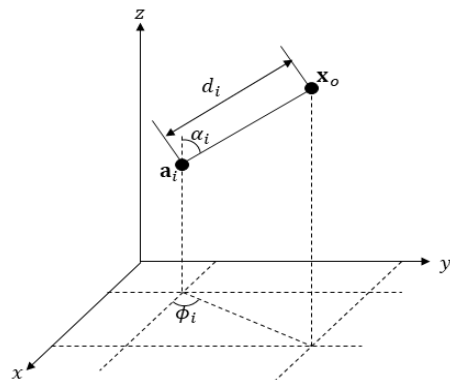


Fig. 1. Network model between a target and sensors in 3-D.

잡음이 있는 환경에서 RSS와 AOA 정보를 각각 $\hat{P}_i, \hat{\phi}_i, \hat{\alpha}_i$ 로 정의하였다.

RSS 정보는 다음과 같이 정의된다.

$$P_i = P_T \left(\frac{d_0}{d_i} \right)^\gamma 10^{-\frac{L_0}{10}} \quad (1)$$

여기서 P_T 는 표적의 전송파워이고, d_0 는 참조 (reference) 거리, d_i 는 i 번째 센서와 표적 간의 거리, γ 는 경로 손실 지수 (path loss exponent), L_0 는 경로 손실 (path loss)이다. 본 논문에서는

$P_0 := P_T - L_0$ 를 거리 d_0 에서 수신한 표적 파워로 정의하고, d_0 는 1m로 설정하였다. 잡음이 있는 환경에서 RSS (dB)는 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{P}_i = P_0 - 10\gamma \log_{10}(d_i) + w_i \quad (2)$$

여기서 $i = 1, \dots, N$ 이고, w_i 는 평균이 0이고 분산이 σ_w^2 인 Gaussian 잡음이다.

모든 센서에 배열 안테나 (array antenna)나 지향성 안테나 (directional antenna)가 설치되어 있어 AOA를 측정할 수 있다고 가정하고 [3], 잡음이 있는 환경에서 방위각 ($\hat{\phi}_i$)와 고도각 ($\hat{\alpha}_i$)는 다음과 같이 센서와 표적의 위치에 대한 함수로 정의된다.

$$\hat{\phi}_i = \tan^{-1} \left(\frac{x_y - a_{iy}}{x_x - a_{ix}} \right) + u_i \quad (3)$$

$$\hat{\alpha}_i = \cos^{-1} \left(\frac{x_z - a_{iz}}{d_i} \right) + v_i \quad (4)$$

여기서 $i = 1, \dots, N$ 이고, u_i 와 v_i 는 각각 평균이 0이고 각각 분산이 σ_u^2 과 σ_v^2 인 Gaussian 잡음이다.

식 (2), (3), (4)를 간단한 계산을 통해 비선형 방정식에서 선형 방정식으로 유도할 수 있다[4].

$$\begin{aligned} \lambda_i \vec{u}_i^T (\vec{x} - \vec{a}_i) - \eta d_0 &= \epsilon_{i1} \\ \vec{c}_i^T (\vec{x} - \vec{a}_i) &= \epsilon_{i2} \\ (\cos(\alpha_i) \vec{u}_i - 1)^T (\vec{x} - \vec{a}_i) &= \epsilon_{i3} \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $\epsilon_{i1}, \epsilon_{i2}, \epsilon_{i3}$ 는 각각 RSS와 AOA 에러로 발생한 파라미터 에러이고, 식 (5)에 들어가는 보조 변수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \lambda_i &= 10^{\frac{P_i}{10\gamma}}, \eta = 10^{\frac{P_0}{10\gamma}}, \vec{c}_i = [-\sin(\phi_i), \cos(\phi_i), 0]^T \\ \vec{u}_i &= [\cos(\phi_i)\sin(\alpha_i), \sin(\phi_i)\sin(\alpha_i), \cos(\alpha_i)]^T \end{aligned}$$

식 (5)를 다음과 같이 행렬로 표현할 수 있다.

$$A\vec{x} = \vec{b} \quad (6)$$

여기서

$$A = \begin{bmatrix} \lambda_1 \vec{u}_1^T \\ \vdots \\ \lambda_N \vec{u}_N^T \\ \vec{c}_1^T \\ \vdots \\ \vec{c}_N^T \\ (\cos(\alpha_1) \vec{u}_1 - 1)^T \\ \vdots \\ (\cos(\alpha_N) \vec{u}_N - 1)^T \end{bmatrix}, \vec{b} = \begin{bmatrix} \lambda_1 \vec{u}_1^T \vec{a}_1 + \eta d_0 \\ \vdots \\ \lambda_N \vec{u}_N^T \vec{a}_N + \eta d_0 \\ \vec{c}_1^T \vec{a}_1 \\ \vdots \\ \vec{c}_N^T \vec{a}_N \\ (\cos(\alpha_1) \vec{u}_1 - 1)^T \vec{a}_1 \\ \vdots \\ (\cos(\alpha_N) \vec{u}_N - 1)^T \vec{a}_N \end{bmatrix}$$

본 논문에서는 식 (6)을 기반으로 다음 weighted least squares 식을 사용하여 표적의 위치를 구한다.

$$\hat{\vec{x}} = (A^T W A)^{-1} A^T W \vec{b} \quad (7)$$

본 논문에서는 표적의 위치를 추정하기 위해 가중치 행렬 W 를 [4]에서 사용한 approximated error covariance matrix의 역행렬로 사용하였다.

하지만, RSS/AOA 측정치에 이상치가 포함되어 있다면 파라미터 에러 ($\epsilon_{i1}, \epsilon_{i2}, \epsilon_{i3}$)가 증가하여 위치추정 정확도가 떨어지게 된다. 따라서, 이상치를 검출하여 정상치만을 사용하여 표적의 위치를 추정해야 한다.

3. 이상치 검출 알고리즘

이상치를 포함한 RSS/AOA 측정치를 기반으로 표적의 위치를 추정하면 표적 위치추정 정확도가 크게 떨어질 수 있어, 센서의 측정치를 사용하기 전에 이상치를 검출하여 이상치를 제거하는 과정이 필요하다 [10,11].

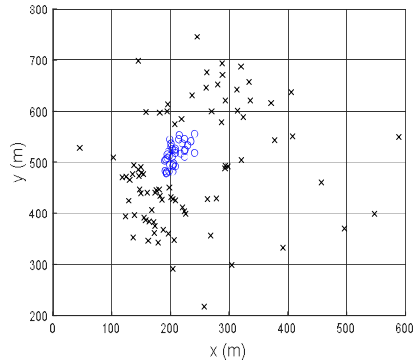


Fig. 3. Initial target estimates based on all combinations of measurements using 3 sensors in 3-D.

RSS와 AOA 측정치를 사용하면 이론적으로 1개의

측정치 세트만을 사용하여 표적의 위치를 추정할 수 있지만 [12] 본 논문에서는 잡음 환경에서 정확도를 높이기 위해 3개의 측정치(노드)를 사용하는 것을 제안한다.

Fig. 2와 3은 10개의 센서 중에서 3개의 센서가 이상치를 갖는 잡음 환경에서 각각 1개의 센서(Fig. 2)와 3개의 센서(Fig. 3)를 사용하여 얻은 초기 추정 위치를 보여준다 (파란 o 표시는 정상치만을 사용하여 얻은 초기 추정 위치이고 검은 x 표시는 1개 이상의 이상치가 포함된 센서가 사용된 경우의 초기 추정 위치이다).

Fig. 2와 3에서 보듯이 1개의 센서를 사용한 경우의 초기 추정 위치들의 개수가 적고(${}_{10}C_1$) 잡음에 영향을 많이 받아 정상치를 사용한 초기 위치추정 군집과 이상치를 사용한 초기 위치추정 군집과의 구별이 어려우나, 3개의 센서를 사용한 경우 초기 추정 위치들의 개수가 많아지고(${}_{10}C_3$) 잡음에 영향을 비교적 덜 받아 정상치만으로 이루어진 초기 위치추정 군집과 이상치를 포함한 초기 위치추정 군집의 구별이 용이해지는 경향을 확인할 수 있다.

인접 행렬을 구하기에 앞서 3개의 RSS와 AOA 측정치를 사용하여 ${}_{N}C_3$ 개의 초기 표적을 추정한다. 이를 기반으로 smooth 정규화 인접 행렬 D 는 다음과 같이 구한다.

$$D(i, j) = \begin{cases} \frac{\min(\|\vec{x}_i - \vec{x}_j\|)}{\|\vec{x}_i - \vec{x}_j\|} & \text{for } i \neq j \\ 1 & \text{for } i = j \end{cases} \quad (8)$$

여기서 \vec{x} 는 RSS/AOA 측정치 조합으로 추정된 표적의 위치이다. 이는 threshold에 대하여 0과 1의 값을 가지는 기존의 SCGP의 인접 행렬과 차별화된다.

식 (8)에서 구한 인접 행렬을 사용하여 아래 수식에서 최대가 되는 벡터 $\vec{\gamma}^*$ 를 찾는다. 벡터 $\vec{\gamma}^*$ 는 가장 큰 곱셈값을 갖는 고유벡터이다 [10].

$$\vec{\gamma}^* = \arg \max_{\vec{\gamma}} \frac{\vec{\gamma}^T D \vec{\gamma}}{\vec{\gamma}^T \vec{\gamma}} \quad (9)$$

벡터 $\vec{\gamma}^*$ 는 각 3개의 RSS와 AOA 측정치와 연관되어 있다. 벡터 $\vec{\gamma}^*$ 의 요소 중 가장 큰 요소와 관련이 있는 3개의 RSS와 AOA 측정치를 추출하여 3개의 정상치 RSS/AOA 측정치를 찾는다.

위의 방법으로 찾은 $n(=3)$ 개의 RSS/AOA 측정치를 정상치라고 가정하고, 이를 기반으로 참조 표적 \vec{x}_r 을 추정한다. n 개의 정상치에 남은 $N-n$ 개의 측정치를 각각 하나씩 추가하여 $N-n$ 개의 표적 위치 \vec{x}_l 를 추정하였다. 남은 RSS/AOA 측정치의 이상치 판단을 위하여 \vec{x}_r 과 \vec{x}_l 의 에러와 에러의 평균을 다음과 같이 계산하였다.

$$e_l = \|\vec{x}_r - \vec{x}_l\| \text{ for } l=1, \dots, N-n \quad (10)$$

$$\bar{e} = \frac{1}{N-n} \sum_{l=1}^{N-n} e_l \quad (11)$$

센서 l 에 대해서 e_l 이 \bar{e} 보다 작으면 정상치라 판단하고 그렇지 않으면 이상치라 판단하여 제외한 후 정상치라 판단된 측정치만을 ECWLS 알고리즘에 적용하여 최종 표적의 위치를 추정한다.

4. 모의실험 결과

본 논문의 모의실험에서 $N(=10)$ 개의 센서와 1개의 표적은 Fig. 4와 Table 1과 같이 설정하였고, 각 센서와 표적은 고정되어 있다.

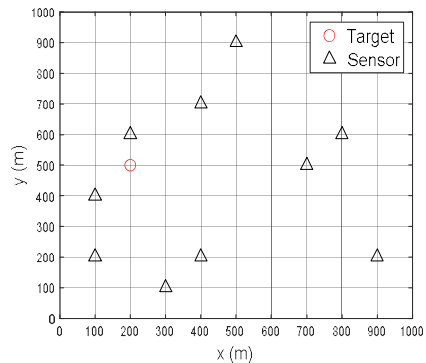


Fig. 4. Position of target and sensors in 2-D.

Table 1. Position of target and sensors

	Position (m, m, m)
Target	(200, 500, 300)
Sensors	(400, 200, 800), (300, 100, 800), (400, 700, 200), (100, 400, 300), (100, 200, 100), (500, 900, 900), (900, 200, 600), (200, 600, 300), (800, 600, 200), (700, 500, 100)

선행 연구 [9]를 따라 대부분의 센서 측정치가 정상치이며 이상치를 갖는 센서의 개수가 정상치를 갖는 센서의 개수보다 작다고 가정하여 전체 센서 중에서 3개의 센서에서 이상치를 수신하였다고 가정한다. 정상치 RSS와 AOA 측정치 잡음은 평균이 0이고 분산이 각각 $\sigma_w^2, \sigma_u^2, \sigma_v^2$ 인 Gaussian 잡음으로 설정하였다. 이상치의 잡음은 큰 바이어스 (bias)와 분산을 갖도록 평균이 각각 $\mu_{ow}, \mu_{ou}, \mu_{ov}$ 이고 분산이 각각 $\sigma_{ow}^2, \sigma_{ou}^2, \sigma_{ov}^2$ 인 Gaussian 잡음으로 모델을 하였고[13], 평균은 실제 값에 1배에서 2배까지 균일한 분포를 갖고 분산은 정상치 잡음의 분산에 2.18배로 설정하였다[14].

제안된 알고리즘의 성능을 확인하기 위해서 root mean square error (RMSE)를 사용하였고, 다음과 같이 정의한다.

$$RMSE = \sqrt{\sum_i \frac{M_c \|\vec{x} - \hat{x}_i\|^2}{M_c}} \quad (11)$$

여기서 M_c 는 Monte Carlo run의 개수이고 10,000으로 설정하였다. \hat{x}_i 는 i 번째 Monte Carlo run에서 실제 표적 \vec{x} 을 추정한 결과이다. 표적의 전송 파워 (P_0)는 -10 (dBm), PLE (γ)는 2.2로 설정하였다.

Fig. 5에서 RSS 정상치 잡음의 표준편차가 1dB에서 6dB까지 증가하고 AOA 측정치 잡음의 표준편차가 $\sigma_u = \sigma_v = 5^\circ$ 일 때 3개의 이상치 정보를 포함한 모든 10개의 센서를 사용하여 얻은 RMSE 결과, 정상치 정보만을 갖는 7개 센서를 사용하여 얻은 RMSE 결과, 기존 SCGP 알고리즘을 사용하여 얻은 RMSE 결과, 제안된 C-SCGP 알고리즘을 사용하여 얻은 RMSE 결과를 비교하였다. RSS 정상치 잡음의 표준편차가 2dB 이하에서 제안된 C-SCGP 알고리즘이 SCGP 알고리즘보다 더 뛰어난 RMSE 성능을 보이고, 3dB 이상에서 제안된 C-SCGP 알고리즘이 SCGP 알고리즘과 유사한 RMSE 성능을 갖는 것을 확인하였다.

Fig. 6에서 AOA 정상치 잡음의 표준편차가 1도에서 10도까지 증가하고 RSS 정상치 잡음의 표준편차 σ_w 가 3dB일 때 RMSE 성능을 비교하였다. AOA 정상치 잡음의 표준편차가 4도 이하일 때 기존 SCGP 알고리즘의 RMSE 성능이 더 좋지만, AOA 정상치 잡음의 표준편차가 5도 이상 때 제안된 C-SCGP 알고리즘이

더욱 뛰어난 RMSE 성능을 갖는다.

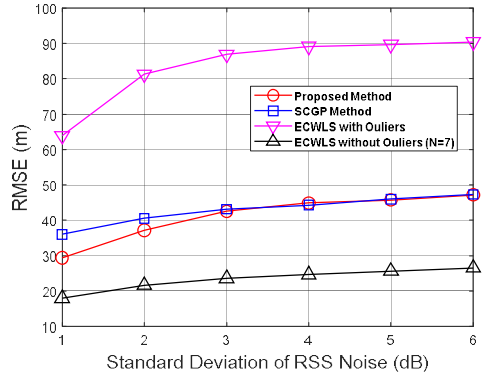


Fig. 5. RMSE of target estimation according to standard deviation of RSS noise.

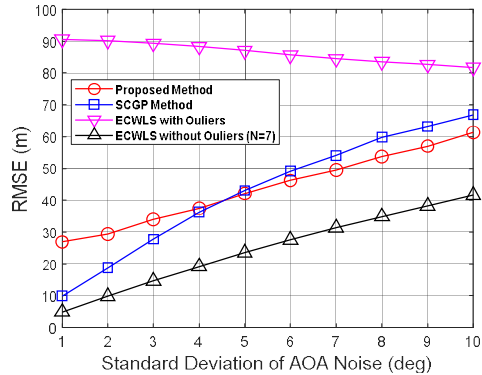


Fig. 6. RMSE of target estimation according to standard deviation of AOA noise.

5. 결론

본 논문에서는 이상치로 인한 위치 추정 정확도 저하를 방지하기 위해 기존 SCGP 알고리즘의 약점을 극복한 C-SCGP 알고리즘을 제안하였다. 제안된 C-SCGP 알고리즘은 SCGP 알고리즘의 약점인 threshold 설정과 이상치 확률 계산 과정을 제거하여 threshold 설정과 이상치 확률 계산 과정이 필요 없다. 이상치를 제거하기 위해 제안된 C-SCGP 알고리즘은 SCGP 알고리즘의 약점인 threshold 설정과 이상치 확률 계산의 필요성을 제거하여 계산 복잡도를 단순화하였다. 다양한 잡음 환경에서 C-SCGP 알고리즘과 SCGP 알고리즘의 이상치 제거 성능을 RMSE로 비교하였고, 계산 복잡도가 낮은 C-SCGP 알고리즘 성능과 기존의 SCGP 알고리즘의 이상치 제거 성능이 같음을 보였다.

REFERENCES

- [1] I.F. Akyildiz, W. Su, E. Sankarasubramaniam & E. Cayirci. (2002). Wireless sensor networks: a survey. *Computer Networks*, 38(4), 393-422.
- [2] S. Tomic, M. Beko, R. Dinis & L. Bernardo. (2018). On Target Localization Using Combined RSS and AoA Measurements. *Sensors*, 18(4), 1266. DOI : 10.3390/s18041266
- [3] S. Tomic, M. Beko, L. M. Camarinha-Matos & L. B. Oliveira. (2020). Distributed Localization with Complemented RSS and AOA Measurements: Theory and Methods. *Applied Sciences*, 10(1), 272. DOI : 10.3390/app10010272
- [4] S. Y. Kang, T. H. Kim & W. Z. Chung. (2020). Hybrid RSS/AOA localization using approximated weighted least square in wireless sensor networks. *Sensors*, 20(4), 1159. DOI : 10.3390/s20041159
- [5] S. Chang, Y. Zheng, P. An, J. Bao & J. Li. (2020). 3-D RSS-AOA Based Target Localization Method in Wireless Sensor Networks Using Convex Relaxation. *IEEE Access*, 8, 106901-106909. DOI : 10.1109/ACCESS.2020.3000793
- [6] J. Shi & J. Malik. (2000). Normalized cuts and image segmentation. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22(8), 888-905. DOI : 10.1109/34.868688
- [7] C. Ding, X. He, H. Zha, M. Gu, & H. D. Simon. (2001). A min-max cut for graph partitioning and data clustering. *Proceedings 2001 IEEE International Conference on Data Mining*, 107-114. DOI : 10.1109/ICDM.2001.989507
- [8] E. Olson, M. Walter, J. Leonard, & S. Teller. (2005). Single cluster graph partitioning for robotics applications. *Proceedings of Robotics Science and Systems*, 265-272.
- [9] Y. G. Yoo & J. H. Lee. (2020). Robust Location Estimation based on TDOA and FDOA using Outlier Detection Algorithm, *Journal of Convergence for Information Technology*, 10(9), 15-21. DOI : 10.22156/CS4SMB.2020.10.09.015
- [10] E. Olson, J. J. Leonard & S. Teller. (2006). Robust Range-Only Beacon Localization. *IEEE Journal of Oceanic Engineering*, 31(4), 949-958. DOI : 10.1109/JOE.2006.880386
- [11] S. Al-Samahi, Y. Zhang & K. C. Ho. (2020). Elliptic and hyperbolic localization using minimum measurement solutions. *Signal Processing* 167, Article 107273. DOI : 10.1016/j.sigpro.2019.107273
- [12] S. Y. Kang, T. H. Kim & W. Z. Chung. (2021). Multi-Target Localization Based on Unidentified Multiple RSS/AOA Measurements in Wireless Sensor Networks. *Sensors*, 21(13), 4455. DOI : 10.3390/s21134455
- [13] F. Gustafsson.(2005). Mobile Positioning Using Wireless Networks. *IEEE Signal Processing Magazine*, 22(4), 41-53. DOI : 10.1109.MSP.2005.1458284
- [14] S. Al-Samahi, Y. Zhang & K. C. Ho. (2020). Elliptic and hyperbolic localization using minimum measurement solutions. *Signal Processing* 167, Article 107273. DOI : 10.1016/j.sigpro.2019.107273

강 세 영(Seyoung Kang)

[학생회원]



- 2018년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 (공학사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 고려대학교 컴퓨터학과 석·박통합과정
- 관심분야 : 통신신호처리 등
- E-Mail : sykang0229@korea.ac.kr

이 재 훈(Jaehoon Lee)

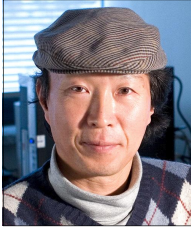
[정회원]



- 1997년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학사)
- 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기공학과 (공학석사)
- 2003년 2월 : 고려대학교 전파공학과 (공학박사)
- 2003년 3월 ~ 2008년 2월 : 삼성전자
- 2008년 3월~현재 : 고려대학교 컴퓨터학과 교수
- 관심분야 : 전자전 센서, 초고주파 회로, IoT, SDR 등
- E-Mail : ejhoon@korea.ac.kr

송 종 인(Jongin Song)

[정회원]



- 1980년 2월 : 서울대학교 (공학사)
- 1982년 2월 : 한국과학기술원 (공학석사)
- 1990년 10월 : Columbia University Electrical Engineering (공학박사)
- 1994년 6월 ~ 현재 : 광주과학기술원 전기전자컴퓨터공학부 교수
- 관심분야 : 유무선 통합 통신시스템, Brain Compute Interface
- E-Mail : jisong@gist.ac.kr

정 원 주(Wonzoo Chung)

[정회원]



- 1989년 2월: 고려대학교 (공학사)
- 1999년 5월: Cornell University Electrical Engineering (공학석사)
- 2003년 5월: Cornell University Electrical Engineering (공학박사)
- 2003년 8월: Dotcast Inc. Senior System Architect
- 2008년 3월 ~ 2020년 8월: 고려대학교 컴퓨터학과 교수
- 2020년 9월 ~ 현재: 고려대학교 인공지능학과 교수
- 관심분야 : 신호처리, 통계신호학습 등
- E-Mail : wchung@korea.ac.kr