

시퀀스 기반 위치추정 시스템을 위한 효율적 노드배치 알고리즘

Efficient Node Deployment Algorithm for Sequence-Based Localization (SBL) Systems

박 현 홍*, 김 윤 학*

Hyun Hong Park*, Yoon Hak Kim*

Abstract

In this paper, we consider node deployment algorithms for the sequence-based localization (SBL) which is recently employed for in-door positioning systems. Whereas previous node selection or deployment algorithms seek to place nodes at centroid of the region where more targets are likely to be found, we observe that the boundaries dividing such regions can be good locations for the nodes in SBL systems. Motivated by this observation, we propose an efficient node deployment algorithm that determines the boundaries by using the well-known K-means algorithm and find the potential node locations based on the bi-section method for low-complexity design. We demonstrate through experiments that the proposed algorithm achieves significant localization performance over random node allocation with a substantially reduced complexity as compared with a full search.

요 약

본 논문에서는 실내 위치 추정시스템에 주로 사용되는 시퀀스 기반 위치추정(Sequence-Based Localization, SBL) 알고리즘의 성능향상을 위한 노드배치 알고리즘에 대해 연구한다. 기존의 노드선택 또는 배치알고리즘은 다수의 타겟이 위치하는 공간의 중심값에 노드들을 위치시켜 성능향상을 이루는 반면, SBL에서는 위치추적 알고리즘 특성상 타겟을 에워싸는 공간에서의 노드배치가 효율적일 수 있음에 주목한다. 이를 실현하기 위해 K-means clustering 알고리즘을 통한 노드배치 가능 공간을 선정하고, 그 선정된 공간상의 효율적 노드위치를 찾기 위해 2분법을 활용하여, 설계 복잡도가 낮은 노드배치 알고리즘을 제시한다. 제안된 노드배치알고리즘은 다양한 모의실험을 통해 무작위 노드배치 알고리즘 대비 뛰어난 위치추정성능을 보여주며, 노드위치를 위한 전역탐색 (full search)과 비교하여, 상당히 낮은 설계복잡도를 유지하면서도 만족할 만한 성능을 보인다.

Key words : Sequence-based localization, K-means algorithm, Node deployment, Sensor selection, Sensor networks

* Dept. of Electronic Engineering, Chosun University

★ Corresponding author

E-mail : yhk@chosun.ac.kr, Tel : +82-62-230-7129

Manuscript received Sep. 4, 2018; revised Sep. 11, 2018;

Accepted Sep. 12, 2018

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

현재까지 무선 센서 네트워크 환경에서의 위치추정 알고리즘은 여러 방면으로 개발되었다. 대표적인 방식은 측정된 신호 에너지의 세기를 통해 목표 물과의 거리를 추정하는 알고리즘이 있으며[1], 특정 방향에 대한 신호의 상관계수를 향상하고, 불필요한 방향에 대한 신호의 상관계수를 감소하는 방법으로 방향성을 가지는 DOA(direction of arrival)

방식이 있다[2]. 그리고 신호가 송신된 시간과 수신된 시간의 차이를 통해 목표물의 방향과 목표물까지의 거리를 추정하는 TDOA (time difference of arrival) 알고리즘이 있다[3], [4].

최근에 제안된 실내위치추적 환경에서 사용되는 시퀀스 기반 위치추정(sequence based localization, SBL) 알고리즘은 다수의 노드로 위치추정공간을 분할하고, 그 분할된 영역에 고유 시퀀스를 할당하며, 이 고유 시퀀스로 목표물의 위치를 추정하는 위치추정 방식이다. 위치추정공간은 2개 노드에서 같은 거리에 있는 점들의 집합인 가상의 직선을 통해 위치추정공간을 분할한다. 이 방법으로 생성된 영역은 가상의 직선으로 둘러싸인 면 영역과 가상의 직선에 해당하는 선 영역, 가상의 직선이 교차하는 점 영역으로 구별하고, 각 영역에 노드 간의 거리 순서를 고려한 고유 시퀀스를 할당하게 된다. 각 노드에서 측정한 목표물과의 거리를 통해 해당 시퀀스 및 영역을 찾게 되며, 해당영역이 나타내는 중심좌표를 목표물 위치로 추정하게 된다[5].

무선 센서 네트워크 기반의 분산시스템은 노드의 위치에 따라 시스템성능을 크게 좌우하게 되는데, 최적의 시스템성능을 보이기 위해서 노드 위치를 결정하는 연구가 진행되고 있다[6-8]. 목표물의 위치추적(tracking)을 위해 각 노드의 에너지 비용과 위치추적 성능을 고려한 최적의 센서노드를 선택하는 알고리즘이 제시되었으며[6], 각기 다른 센서들과의 상관계수 및 노드들의 남아있는 에너지를 고려하여 위치추적을 위한 최상의 센서노드를 선택하는 알고리즘이 제안되었다[7]. 또한, K-means 알고리즘을 이용하여 노드와 목표물 간의 평균 거리가 최소로 되는 위치에 있는 노드를 선택하는 알고리즘이 제안되었다[8].

위치추적 시스템에서 목표물이 어느 지점에 밀집되어 있는 지가 중요하며, 이에 따른 노드의 위치를 결정할 필요가 있다. 기존의 노드선택법은 목표물의 밀집도가 높은 지점에 노드를 선택하여 노드의 영향력을 크게하는 반면, SBL 알고리즘은 목표물이 어느 영역에 속해 있는지를 찾고, 그 영역의 중심 위치(centroid)를 목표물의 위치라고 추정하기 때문에, 위치추정의 정확도를 높이기 위해서는 목표물의 전체공간을 균일하게 나눌 필요가 있다. 이를 위해서는 노드들이 각 영역을 구분하는 경계면에 위치하도록 설계할 필요가 있다. 본 논문에서는 K-means

clustering 방식을 통해 노드들이 위치할 수 있는 각 영역의 경계면을 찾고 이 경계면에 효율적으로 노드를 배치하는 알고리즘을 제안한다. 또한 노드 배치알고리즘의 설계 복잡도의 감소를 위해 경계면에서의 노드위치를 찾기 위해 이분법이 사용되며, 무작위 노드배치방식 및 전역 탐색 방법과의 비교 시뮬레이션을 통해 제안 알고리즘의 효율성을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서 SBL 알고리즘에 관해 간략하게 소개하였으며, 3장에서는 본 연구에서 제안하는 노드배치알고리즘에 대해 자세하게 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 제안 알고리즘의 우수성을 보이고, 마지막으로 5장에 결론을 기술하였다.

II. 시퀀스 기반 위치추정 (Sequence Based Localization)

SBL 알고리즘은 위치추정공간상의 센서 노드를 활용하여 가상의 직선을 생성하고, 이를 통해 공간을 분할하며, 분할된 각 영역에 대해 고유 시퀀스를 배정하게 되는데, 목표물이 특정 영역에 위치하면, 해당되는 고유 시퀀스가 갖는 좌표를 통해 목표물의 위치를 추정하는 방식이다. 이번 장에서는 SBL 알고리즘에 대해 설명하고 SBL 알고리즘에서의 효과적인 노드의 위치에 대하여 기술한다.

그림 1은 SBL 알고리즘에서 3개의 센서노드(A, B, C)를 활용한 공간분할을 보여주는데, 여기서 6개의 면 영역과 6개의 선 영역 그리고 3개의 가상의 직선이 교차하는 하나의 점 영역으로 나누어지고, 각 영역에 고유 시퀀스는 거리순서에 따라 정해진다. 거리가 같을 경우인 선 영역과 점 영역에는 동일한 번호가 중복으로 표기된다. 예를 들면, 그림 1의 경우, 고유 시퀀스를 노드 A, 노드 B, 노드 C 순서로 표기한다면, 고유 시퀀스 [1 2 3]에 해당하는 면 영역의 경우에 거리 순서가 노드 A, 노드 B, 노드 C 순으로 거리가 멀어짐을 알 수 있다. [1 2 2]에 해당하는 선 영역의 경우에는 노드 B, 노드 C와의 거리가 같은 영역이므로 고유 시퀀스가 이와 같이 배정되며, [1 1 1]에 해당하는 점 영역의 경우에는 3개의 노드와의 거리가 동일한 곳으로 거리에 대한 순서를 동일하게 표기한다.

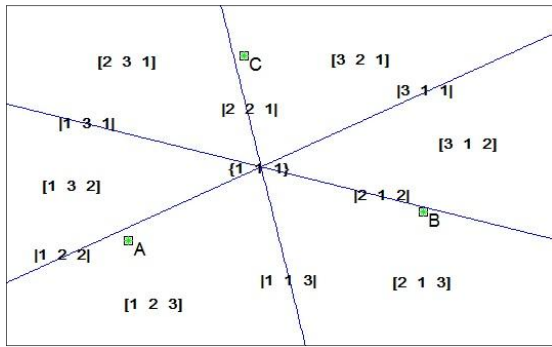


Fig. 1. Division of sensor space and generation of unique sequence in the SBL.

그림 1. SBL 알고리즘의 공간 분할 및 고유 시퀀스

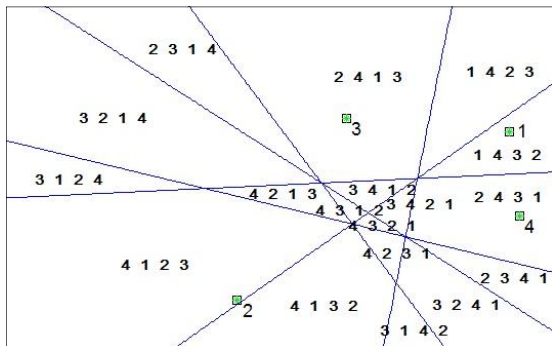


Fig. 2. Division of sensor space using randomly placed sensor nodes.

그림 2. 노드가 무작위로 배치된 공간분할

이렇게 고유 시퀀스가 정해지면, 해당 영역의 중심 값을 고유시퀀스에 매핑하게 되고, 센서측정값을 통해 거리메트릭(자세한 사항은 참고문헌 [5] 참조)이 최소가 되는 고유시퀀스를 찾게 되고, 해당 시퀀스에 매핑된 중심값을 목표물의 위치추정치로 결정하게 된다. 그림 2와 3은 노드의 위치에 따른 SBL에 의한 공간분할을 보여주는데 그림 2는 그림

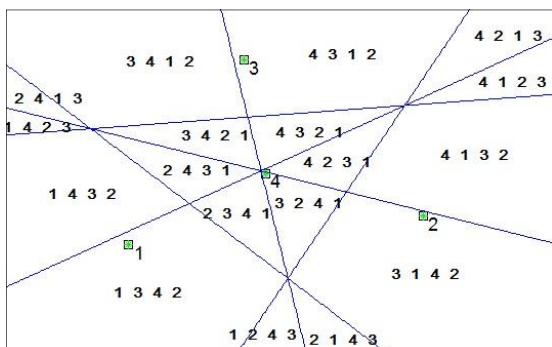


Fig. 3. Division of sensor space using the proposed node allocation algorithm

그림 3. 노드배치알고리즘을 활용한 공간분할

3에 비해 상대적으로 분할된 영역들이 균등하지 않으며, 이는 위치추적에 대한 오차를 크게 한다. 결국, 각 영역의 크기가 일정하게 분할 될 때, 오차가 균등하게 분포하게 되어 평균오차가 최소가 된다고 할 수 있다.

본 논문에서는 SBL 시스템의 위치추적 성능향상을 위해 균등한 공간분할을 하기 위한 효율적인 노드배치 알고리즘에 대해 제안하며, 무작위로 노드를 선택할 경우와의 성능비교를 통해 제안알고리즘의 효율성을 보인다.

III. 노드배치알고리즘

SBL 알고리즘은 노드의 효과적 배치에 따라 공간이 규칙적으로 나누어지고, 특히 목표물의 밀집도가 높은 지점을 분할할 때, 성능향상을 기대할 수 있다. 그림 2와 같이 노드의 위치를 무작위로 지정하면 영역의 크기가 불규칙한 것을 확인할 수 있고, 이 현상을 보완하기 위해 그림 3과 같이 n 개의 노드 중 $n-1$ 개는 목표물들을 둘러싸는 경계면에 위치하고, $n-1$ 개 노드의 중심에 n 번째 노드를 위치하게 하여 SBL에 의한 공간분할을 균등하게 한다. 이를 위해, 이번 장에서는 K-means clustering 알고리즘을 사용하여 영역 크기가 균일하게 나누어지도록 어떻게 노드위치를 위한 가이드라인을 결정하고, 이러한 가이드라인을 적용하여 효과적인 노드를 배치하는지에 대해 설명한다.

1. 노드배치를 위한 가이드라인 결정

K-means clustering 알고리즘을 이용하여 목표물 (T_j)이 위치하는 전체공간을 $n-1$ 개의 클러스터그룹 S_k 로 나누고, 각 클러스터 그룹내에서 새로운 클러스터 (U_k)를 생성하는 방법의 반복과정을 통하여 목표물과 해당 클러스터와의 평균 거리가 최소로 되도록 공간을 분할하게 된다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$S_k = \{T_j : \|T_j - U_k^c\| < \|T_j - U_m^c\|\} \quad (2)$$

$$U_k^{c+1} = E[T_j | T_j \in S_k] \quad (3)$$

여기서 S_k 는 클러스터 k 번째그룹이며, T_j 는 j 번째 목표물, U_k^c 는 c 회 반복과정에서 k 번째 클러스터를 나타내고, k 는 $1, \dots, n-1$ 인 상수이다. 이렇게 해서

생성된 클러스터그룹 간의 경계면 중에 k 개의 가이드라인 G_k 을 선택하게 된다. k 개 이상의 경계면이 존재하는 경우 각 경계면상에서의 중심위치에 노드를 배치하고 이 노드들 중에 k 개로 구성된 조합 중 최소의 위치오차를 보이는 조합을 가이드라인으로 활용하게 된다. 노드 개수($=n$)가 4인 경우 K-means clustering 알고리즘을 통해 찾은 U_k, G_k, S_k 를 그림 4에 나타내었다.

2. 노드 위치 선택

G_k 상에 있는 노드의 위치를 효율적으로 선택하는 방법으로 복잡도가 낮은 2분법이 사용된다. 2분법과 전역 탐색 방법의 복잡도 및 성능은 4장의 시뮬레이션에서 비교하였다. 2분법은 이분된 각 구간의 중심에 대한 오차를 비교하고, 비교한 오차에 따라 이분할 구간을 갱신하며, 구간의 길이가 기준 거리보다 작아질 때 반복과정을 종료한다. 본 논문에서 노드 위치를 선택하기 위한 2분법을 그림 4에 나타내었다. 여기서 l 은 반복횟수를 나타내고, A_l 와 B_l 는 G_k 상에서 나뉘어진 구간을 나타내며, C_l 는 A_l 와 B_l 의 중심으로, a 와 b 는 C_l 를 중심으로 나뉘어진 각 구간의 비교위치로 만약 a 가 작은 위치오차를 보인다면, 다음 탐색할 구간은 $[A_{l+1} B_{l+1}]=[A_l C_l]$ 이 된다. 이러한 반복과정을 통해 $n-1$ 노드의 위치가 정해지면, 마지막, n 번째 노드의 위치는 $n-1$ 개의 노드로 이루어진 다각형의 중심으로 지정한다.

본 논문에서 제시하는 노드배치알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

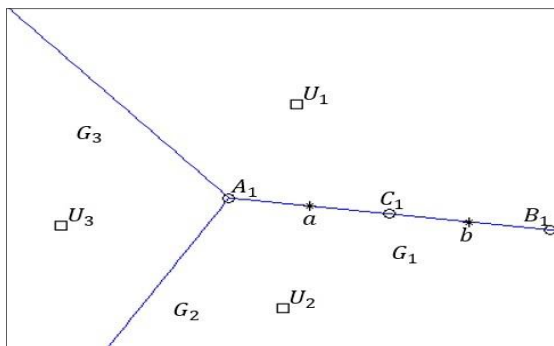


Fig. 4. Node selection using node guidelines and bisection method

그림 4. 노드가이드라인과 2분법을 이용한 노드 위치 선택

단계 1 : K-means clustering 알고리즘을 통해 경계면을 생성한다. 이때 목표물의 밀집도가 높은 공

간을 둘러싸는 더 많은 경계면을 생성하게 된다.

단계 2 : 클러스터 그룹간의 경계면 중에서 k 개의 노드 가이드라인을 선택한다.

단계 3 : 2분법을 통해 선택된 각각의 노드 가이드라인 상에서 위치오차가 최소가 되는 각 노드의 위치를 선정한다.

IV. 시뮬레이션

1. 시뮬레이션 모델

무선 채널 환경에서 실내위치추적을 위해 사용되는 신호모델로 log-normal shadowing 모델이 널리 사용되고 있으며, 이 모델은 수신신호세기(Received signal strength)의 거리에 따른 감쇄현상을 예측할 수 있게 해주는데, 이를 적용하여 목표물과 노드와의 거리측정이 가능하다 [5]. 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$P_R(d) = P_T - PL(d0) - 10\eta \log_{10} \frac{d}{d0} + X_\sigma \quad (5)$$

$$d_e = 10^{\frac{P_T - PL(d0) - P_R}{10\eta}} \quad (6)$$

여기서 P_R 은 거리에 따른 수신신호세기, P_T 은 송신신호세기, $PL(d0)$ 은 기준거리($d0=1m$)에 대한 경로손실량, η 는 경로손실 지수, X_σ 는 정규분포 $N(0, \sigma^2)$ 을 따르는 잡음, d 는 노드와 목표물의 실제 거리를 나타낸다. 수식 (5)을 이용하여 d 에 대하여 정리하면, 잡음이 섞인 거리(d_e)를 찾을 수 있다. 수식 (6)을 통해 추정된 거리(d_e)를 계산하고, 거리 순서에 따라 고유 시퀀스를 설정하게 된다. 본 실험에서는 실내기반 위치추적을 위해 다른 언급이 없는 한 신호모델 변수를 $\sigma=7, \eta=4$ 로 지정한다 [5]. 제안한 노드배치알고리즘의 성능 및 복잡도 개선을 보이기 위해 다양한 환경에서 실험이 진행되었으며 뛰어난 성능을 보임을 입증하였다.

2. 노드선택알고리즘의 성능평가

노드선택알고리즘의 성능 비교를 위한 실험은 평면좌표 $100m \times 100m$ 인 위치추정공간에 목표물을 1000개를 배치하였으며, 목표물의 배치 분포는 균등분포(uniform distribution)와 정규분포(Gaussian distribution)로 나누어 실험이 진행되었다. 그림 5는 노드의 개수에 따른 제안 알고리즘의 성능을 보

여준다. 무작위로 노드를 배치한 경우와 비교하여 뛰어난 성능을 보임을 알 수 있으며, 또한 전역탐색과 비교하여 복잡도 대비 우수한 성능을 나타낼 수 있다. 그림 6과 그림 7은 은 목표물의 배치가 균등분포와 정규분포를 따르는 경우의 신호잡음의 세기 변화에 따른 성능을 보여준다. 제안 알고리즘이 무작위 배치에 비해 월등한 성능을 보임을 알 수 있다. 여기서, 정규분포는 위치추정공간의 중심인 (50, 50)을 평균으로 표준편차(s)의 변화에 따른 목표물의 배치에 대해 실험이 진행 되었다.

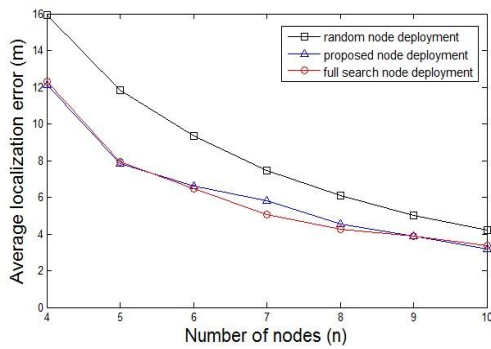


Fig. 5. Performance comparison: proposed algorithm vs. random deployment
 그림 5. 노드 개수에 따른 제안 알고리즘의 성능 비교

3. 노드선택알고리즘의 복잡도 개선

노드가이드라인 위에 존재하는 가장 효율적인 노드의 위치를 선택하기 위한 전역 탐색 방법과 2분법의 복잡도를 SBL 알고리즘의 실행횟수 (cycle)를 통해 비교하였다. 그림 8은 배치된 노드 갯수에 따른 SBL 알고리즘이 실행된 횟수(cycle)를 나타내며, 설계복잡도의 상당한 개선을 확인할 수 있다.

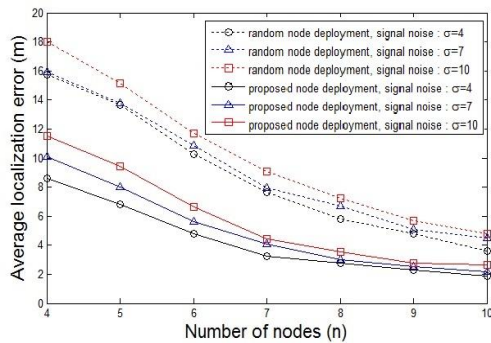


Fig. 6. Performance evaluation: the proposed algorithm is evaluated for uniform distribution of targets in presence of measurement noise
 그림 6. 목표물의 균등분포의 경우 신호잡음에 따른 제안알고리즘의 성능평가

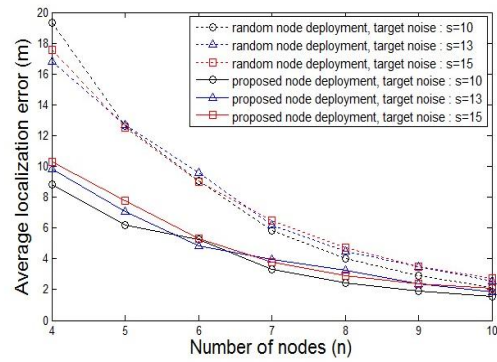


Fig. 7. Performance evaluation: the proposed algorithm is evaluated for normal distribution of targets in presence of measurement noise
 그림 7. 목표물의 정규분포의 경우 신호잡음(표준편차 s)에 따른 제안알고리즘의 성능평가

V. 결론

본 논문에서는 실내위치추정에서 사용되는 SBL 알고리즘의 성능을 개선하기 위하여 센서노드의 위치를 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 이를 실현하기 위해 K-means clustering 알고리즘을 통하여 노드가 위치할 수 있는 가상의 가이드 라인을 설정하고, 이 가이드라인상에서의 효율적 탐색을 위해 이분법을 적용하여 높은 성능을 유지하면서 설계복잡도를 크게 개선하였다. 실험을 통해 무작위 노드배치 및 전역탐색 방법과 비교하여 월등한 성능향상을 보임을 확인하였다.

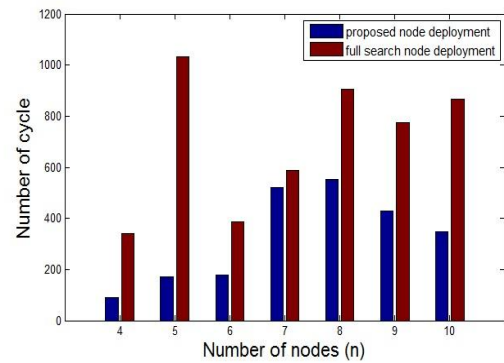


Fig. 8. Comparison of design complexity: proposed algorithm vs. full search
 그림 8. 설계 복잡도 비교 제안 알고리즘 vs 전역탐색

References

[1] D. Li and Y. H. Hu, "Energy-based collaborative source localization using acoustic microsensor array," *EURASIP Journal on Advances in Signal*

Processing, vol.4, pp.321-337, 2003.

DOI:10.1155/S111086570

[2] J. C. Chen, K. Ya, and R. E. Hudson. "Source localization and beamforming," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol.19, no.2, pp.30-39. 2002. DOI: 10.1109/79.985676

[3] D. Li, K. D. Wong, Y. H. Hu and A. M. Sayeed "Detection, classification, and tracking of targets." *IEEE Signal Processing Magazine*, vol.19, no.2, pp.17-29, 2002. DOI: 10.1109/79.985674

[4] P. W. Boettcher, G. A. Shaw, "A distributed time-difference of arrival algorithm for acoustic bearing estimation." *Proc. 4th Conf. on Information Fusion*, vol.1, 2002.

[5] K. Yedavalli and B. Krishnamachari, "Sequence-based localization in wireless sensor networks." *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol.7, no.1, pp.81-94. 2008. DOI: 10.1109/TMC.2008.4387797

[6] Y. Wang and D. Wang, "Energy-efficient node selection for target tracking in wireless sensor networks." *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol.9, no.1, pp.127-137. 2013. DOI:10.1155/2013/830950

[7] J. Feng, H. Zhao and B. Lian, "Efficient and adaptive node selection for target tracking in wireless sensor network." *Journal of Sensors*, vol.2016, pp.1-9, 2016. DOI:10.1155/2016/9152962

[8] Y. H. Kim, "Geometry-based sensor selection for large wireless sensor networks." *Journal of Information and Communication Convergence Engineering*, vol.12, no.1, pp.8-13, 2014.

DOI:10.6109/jicce.2014.12.1.008

Yoon Hak Kim (Member)



1992 : BS degree in Electronic Engineering, Yonsei University.
1994 : MS degree in Electronic Engineering, Yonsei University
2007 : PhD degree in Electrical Engineering, University of Southern California (USC).

2012~Present : Associate Professor, Chosun University.

BIOGRAPHY

Hyun Hong Park (Member)



2018 : BS degree in Electronic Engineering, Chosun University.
2018~ : MS degree in Electronic Engineering, Chosun University.