

시퀀스 기반 위치추정 시스템을 위한 효율적인 양자기 설계 알고리즘

Efficient Quantizer Design 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 an efficient design of quantizers at sensor nodes for sequence-based localization (SBL) systems which recently show a competitive performance for in-door positioning. Since SBL systems locate targets by partitioning the sensor field into subregions, each with an unique sequence number, we use the distance samples between sensors and the sequences for quantizer design in order to propose a low weight design process. Furthermore, we present a new cost function devised to assign the number of samples and the number of unique sequences uniformly into each of quantization partitions and design quantizers by searching the quantization partitions and codewords that minimize the cost function. We finally conduct experiments to demonstrate that the proposed algorithm offers an outstanding localization performance over typical designs while maintaining a substantial reduction of design complexity.

요 약

본 논문에서는 실내 위치 추정 시스템에서 우수한 성능을 보이는 시퀀스 기반 위치추정(Sequence-Based Localization, SBL) 시스템을 위한 효율적인 양자기 설계 알고리즘에 대해 연구한다. SBL 시스템에서는 목표물 위치공간을 다수개의 영역으로 나누고, 각각의 영역에 고유 시퀀스 번호를 할당해서 위치추정이 수행이 되며, 본 연구에서는 이러한 시스템의 위치추정 방식의 특성을 고려하여 노드와 각 고유 시퀀스간의 거리를 양자기 설계를 위한 샘플로 활용하는 방식을 제안하고 이를 통해 기존기술대비, 복잡도를 혁신적으로 개선됨을 보인다, 또한 성능향상을 위해 SBL 시스템에 특화된 새로운 비용함수를 제시하고 이를 최소화하기 위한 최적의 양자화영역 및 코드워드 검색을 통해 기존 양자기 비해 월등한 성능향상을 이룰 수 있음을 다양한 실험조건을 통해 입증한다.

Key words : Sequence-based localization, Sensor networks, Quantizer design, Lloyd design, Distributed systems

* Dept. of Electronic Engineering, Chosun University

★ Corresponding author

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

This work was presented in part at the 2019 IKEEE summer conference, August 2019.

※ Acknowledgment

Manuscript received Feb. 14, 2020; revised Mar. 13, 2020; Accepted Mar. 14, 2020.

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

무선 센서 네트워크 기반의 다양한 위치추정 알고리즘에 대한 연구가 진행되고 있다[1-3]. 그중에서, 수신된 신호의 세기를 통해 목표물 간의 거리를 사용하여 위치를 추정하는 에너지 기반 알고리즘[1], 신호의 방향성을 이용하여 목표물의 위치를 추정하는 DOA(direction of arrival) 알고리즘이 있으며[2], 송신된 신호와 수신된 신호의 시간 차이를 이용하여 목표물의 거리를 추정하는 TDOA(time difference of arrival) 알고리즘[3]이 폭넓게 사용되

고 있다.

또한, 최근에 제안된 방식으로 시퀀스 기반 위치 추정(Sequence based localization, SBL) 방식이 있으며, 이는, 위치추정공간을 배치된 노드와의 거리 순서에 따라 분할하고, 분할된 영역에 각각의 고유 시퀀스를 배정하게 되며, 이때 분할된 영역의 형태에 따라 면 영역과 선 영역, 점 영역으로 구분하게 된다. SBL 알고리즘은 목표물과 노드 간의 거리 순서를 활용하여 목표물이 있는 추정영역을 찾고, 그 영역의 중심점으로 위치를 추정하는 방식이다[4].

무선 센서 네트워크는 수신 및 송신하는 통신량에 비례하여 에너지 손실이 발생하고, 이러한 에너지 손실로 인해 시스템의 수명이 단축되게 된다. 따라서 시스템 수명 연장을 위해, 통신량을 감소할 수 있는 효율적인 양자화 과정이 필요하며, 위치추정을 하는 데에 있어서 양자화 방법이 시스템의 구성 및 성능에 많은 관여를 하고 있으므로, 효과적인 시스템 성능 및 비용 절감을 위한 다양한 연구가 진행되고 있다[5, 6]. 양자화 구간을 일정한 간격으로 나누어 양자기를 설계하는 균일 양자화(uniform quantization) 방식과 양자화 데이터의 확률적 분포를 고려하여 클러스터링 기법을 활용한 Lloyd 양자화 기법이 있다. 또한, 분산 환경에서 최적의 양자기 설계 방법에 대한 조건을 제안하고[5], 실용적인 양자기 설계기법의 접근방식을 제시하였다[6].

본 논문에서는 SBL 시스템에 적합한 양자기 설계 기법에 대해 연구한다. Lloyd 양자기는 모든 표본과 각 노드간의 거리에 대한 분산도를 고려하여 설계가 되는데, 본 연구에서는 SBL 시스템의 경우 노드와 목표물 표본간의 거리 분산도보다 고유 시퀀스와 노드간의 거리 분산도에 집중하고 이를 통해 표본의 수를 줄여 기존의 양자화 기법보다 낮은 복잡도를 갖는 양자화 방식을 제안하며, 그리고 각 고유 시퀀스에 해당할 확률을 고려하여 표본의 수를 조정함으로써 양자기 설계 알고리즘의 복잡도를 개선한다[7-8].

또한, 제안 양자기 설계 알고리즘의 성능향상을 위해 SBL시스템에 적합한 새로운 비용함수를 제시하고, 이를 최소화하기 위한 각 양자화 영역에서의 코드워드 및 양자화 영역을 갱신하는 검색 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어서 SBL 시스템에 관해 2장에서 간략하게 기술하였으

며, 3장에서는 기존의 양자기와 본 연구에서 제안하는 양자기 설계 알고리즘에 대해 자세하게 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통해 제안 양자기 설계 알고리즘의 우수성을 보이고, 5장에 결론의 순서로 구성된다.

II. 시퀀스 기반 위치추정 시스템 (Sequence-based localization systems)

SBL 시스템에서는 노드 간의 동일한 거리에 있는 점들의 집합으로 이루어진 직선을 통해 위치추정공간을 분할하고, 이렇게 분할된 영역은 다수의 직선으로 이루어진 면 영역, 직선에 해당하는 선 영역 그리고 직선 간의 교점에 해당하는 점 영역으로 구분한다. 그리고 각 영역에 대해 고유 시퀀스를 배정하는데, 이를 배정하는 방식으로 해당 영역과 각 노드와의 거리 순서를 사용한다. SBL 시스템의 위치추정은 각 노드에서 목표물과의 거리를 측정하고, 이를 통해 목표물이 위치할 고유 시퀀스를 찾게되며, 목표물의 위치는 해당 고유 시퀀스의 중심좌표로 추정하게 된다.

그림 1과 같이 노드 A, 노드 B, 노드 C, 노드 D 순으로 노드 4개가 배치된 경우, 18개의 면 영역과 24개의 선 영역, 7개의 점 영역으로 구분된다. 고유 시퀀스 표기법에 대한 예시로 고유 시퀀스[4, 2, 3, 1]에 해당하는 면 영역은 노드 D가 가장 가까운 노드이고, 노드 B, 노드 C, 노드 A 순으로 멀어지는 것을 표기한 것이다. 또한, 선 영역의 경우에 2개의 노드에서 동일한 거리에 존재하는 고유 시퀀스를 의미하며, 예시로 고유 시퀀스[4, 3, 1, 1]의 경우가 있는데, 이는 노드 C와 노드 D에서 가장 가까운 영역이고, 다음으로 노드 B, 노드 A 순서인 고유 시퀀스이다. 점 영역은 2개 이상의 선 영역의 교점을 나타내며, 점 영역의 예시로 고유 시퀀스[3, 3, 1, 1]와 같이 노드 A, 노드 B에서 동일한 거리인 선 영역과 노드 C와 노드 D에서 동일한 거리인 선 영역의 교점을 나타낸다.

따라서, 노드가 증가함에 따라 위치추정공간을 더 많은 영역으로 분할하게 되므로 성능향상을 이룰 수 있으며, 또한, 노드의 배치 방식에 따라 해당 영역을 좀 더 균일하게 분할하게 되는데 이를 통해, 성능향상을 기대할 수 있다[8-9].

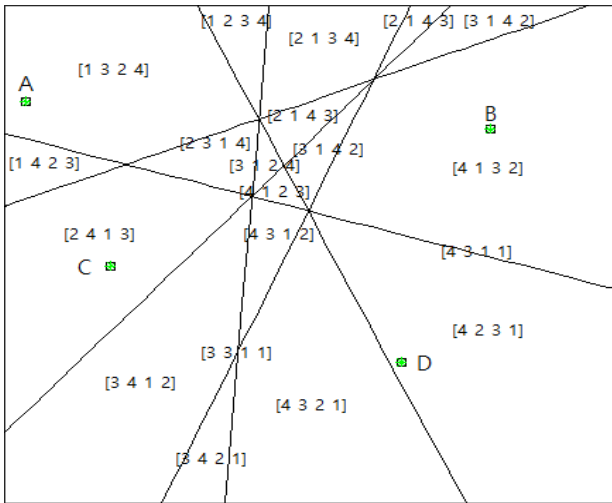


Fig. 1. Division of sensor space and assignment of unique sequence number in SBL system.

그림 1. SBL 시스템의 공간 분할 및 고유 시퀀스 할당

III. 제안 양자기 설계 알고리즘

대표적인 양자화방식으로 균일 양자화(uniform quantization)와 Lloyd 양자화가 있으며, 균일 양자화의 경우 양자화 구간을 나눌 때, 주어진 비트 수 (R)에 따라 2^R 개의 구간으로 나누어 설계하고, Lloyd 양자화의 경우 거리 정보의 분산도를 고려하여, 밀집도가 높은 구간에 많은 양자화 영역 또는 코드워드를 할당하여 전체적인 양자화 오차를 최소화하게 된다.

1. 복잡도설계감소를 위한 샘플추출

본 논문에서 제안하는 양자기 설계 알고리즘은 SBL 시스템의 위치추정방식을 활용하여 기존의 표준방식에서 사용되는 거리 샘플이 아니라 각 고유 시퀀스의 중심값과 해당 노드와의 거리를 학습표본으로 사용하여 양자화 영역 및 코드워드를 정하게 된다. 그림 2는 거리샘플을 구하는 방식을 나타낸다. 수식 (1)에서 $D(i,j)$ 는 i 번째 노드(N_i)와 j 번째 시퀀스(S_j)의 거리를 나타낸다. 노드 A에 대한 2^R 개의 코드워드를 결정하기 위해 이러한 거리 표본샘플을 사용하여 K-means clustering 알고리즘을 적용한다.

$$D(i,j) = |N_i - S_j| \tag{1}$$

위치추정공간에 존재하는 불특정 다수의 목표물과 노드와의 거리 표본을 사용하는 Lloyd 양자기보

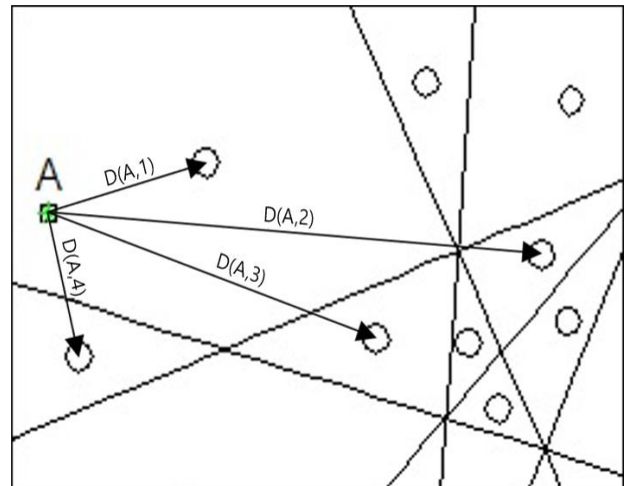


Fig. 2. Generation of distance samples between node and unique sequences.

그림 2. 노드와 고유 시퀀스간의 거리표본 추출

다 제안 양자기 설계 알고리즘이 시스템 복잡도면에서 낮아지게 된다. 또한, 위치추정공간에서 고유 시퀀스에 해당할 확률을 고려하여, 확률이 높은 경우에 추가적인 표본을 추출하게 되는데, 이를 위해 K-means clustering 알고리즘을 통해 해당표본을 추출한다.

예를 들어, 그림 1과 같은 경우에 목표물이 5,000개가 분포되어있다면, Lloyd 양자화의 경우 5,000개의 표본을 이용하여 설계가 되지만, 제안 양자기 설계 알고리즘인 경우 전체 고유 시퀀스 갯수가 49개라면, 표본을 49개로 추출하여 수행하게 된다.

주목할 것은 고유 시퀀스의 면적 크기 차이로 인해 목표물이 해당 시퀀스에 위치할 확률이 다르게 발생한다. 이러한 확률의 차이를 고려하지 않고 고유 시퀀스에 하나의 표본을 추출하여 설계가 진행될 수 있지만(SBL Q #1), 이러한 확률적 차이를 활용하여 성능개선을 추구할 수 있다. 본 연구에서는, 평균 확률을 지정하여 이를 초과한 경우, 평균 확률의 배수로 초과한 경우에 대해 각각 추가적인 표본을 배정하는 방식을 사용하며, 고유 시퀀스에 배정될 표본의 수가 정해지면, 각 고유 시퀀스에 K-means clustering 알고리즘을 적용하여 배당된 표본을 추출하여 양자기 설계를 진행하게 된다(SBL Q #2). 예를 들어 고유 시퀀스의 수가 50개이고, 각 고유 시퀀스에 해당할 평균 확률이 2%라 할 때, 고유 시퀀스의 확률이 1%, 3%, 6%라 하면 각 1개, 2개, 3개의 표본을 배정한다. 그림 3에서의 검은 점은 각 고유 시퀀스에 배정된 샘플을 보여준다.

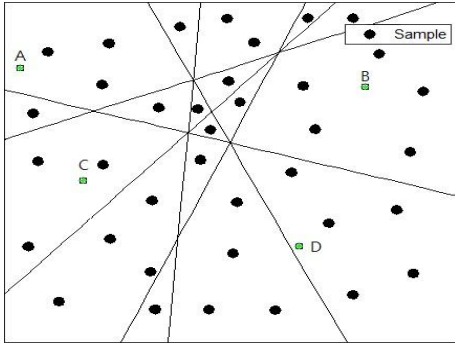


Fig. 3. The extracted samples in unique sequences by K-means clustering.

그림 3. K-means clustering 알고리즘을 통해 각 고유 시퀀스에 배정된 표본

2. 성능향상을 위한 새로운 비용함수 제안

양자기설계에 사용될 샘플을 추출하였다면, 그 다음은 이를 사용하여 양자화영역 및 코드워드를 생성하는 과정을 통해 양자기 설계를 수행하게 되는데, 이를 위해 기존의 K-means clustering 방식을 적용할 수 있으며(SBL Q #1, SBL Q #2), 본 논문에서는 성능향상을 위해 새로운 비용함수(수식 (2))를 제안하고, 이를 최소화하는 양자화영역 및 코드워드를 결정하게 된다. 새로운 비용함수는 설계과정동안 각 양자화영역에 샘플과 고유시퀀스의 수를 균일하게 분포하도록 하기 위한 장치이며 구체적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\min \left(|C_i^l - C_{req}|^2 + \lambda |S_i^l - S_{req}|^2 \right), l=1, \dots, 2^R \quad (2)$$

여기서, C_{req} 와 S_{req} 는 각 양자화 영역에 분포하게 될 표본샘플 및 고유 시퀀스의 평균갯수이고, C_i^l 는 i 번째 노드의 l 번째 양자화 영역이며, S_i^l 는 i 번째 노드의 l 번째 양자화 영역에 고유 시퀀스의 갯수를 의미한다. 그리고 λ 는 샘플과 고유시퀀스와의 적절한 관계를 찾기 위한 실험변수이며, 실험을 통해 성능이 최대가 되는 λ 값을 정하게 된다.

본 논문에서 제안하는 양자기 설계 알고리즘은 다음과 같이 요약될 수 있다.

단계 1: SBL 시스템의 위치추정공간 분할 후 각 고유 시퀀스에 해당하는 확률에 따라 표본의 수를 결정한다.

단계 2: 표본의 수를 이용하여 각 고유 시퀀스에 K-means clustering을 적용하여 표본을 추출한다.

단계 3: 추출된 표본을 사용하여 K-means clustering 적용 또는 새로운 비용함수 최소화를 통해 코드워드와 양자화 영역을 결정한다.

단계 4: 단계3의 과정을 코드워드 및 양자화영역에 변화가 없을 때까지 반복한다.

IV. 시뮬레이션

1. 시뮬레이션 모델

실내위치추정을 위해, 실내 환경에서 널리 이용되는 신호모델인 log-normal shadowing 모델을 이용하며, 이 모델은 거리에 따른 감쇄 현상을 예측하기 위해 사용된다. 수신신호세기(Received signal strength)는 수식 (3)로 표현된다[5].

$$P_R(d) = P_T - PL(d_0) - 10\eta \log_{10} \frac{d}{d_0} + X_\sigma \quad (3)$$

$$d_e = 10^{\frac{P_T - PL(d_0) - P_R}{10\eta}} \quad (4)$$

여기서 P_R 은 수신 신호의 세기, P_T 은 송신 신호의 세기를 의미하며, $PL(d_0)$ 은 기준거리(d_0)에 대한 경로손실량, η 는 경로손실 지수로 실내 환경일 때, $\eta=4$ 로 지정 한다. X_σ 는 정규분포 $N(0, \sigma^2)$ 을 따르는 잡음이고, d 는 목표물과 노드간의 실제 거리를 나타낸다. 신호 모델인 수식 (3)을 d 에 대하여 정리하면, 추정거리(d_e)를 구할 수 있고, 이는 수식 (4)과 같이 표현된다. 기존의 양자기와 제안 양자기 설계 알고리즘의 성능 비교를 위해 다양한 환경에서의 실험을 진행하였고, 제안 양자기 설계 알고리즘의 뛰어난 성능을 입증하였다.

2. 제안 양자기 설계 알고리즘 성능평가

제안 양자기 설계 알고리즘의 성능 비교를 위해 평면좌표(100m × 100m)인 위치추정공간에 5000개의 목표물을 배치하였고, 100회 과정을 통해 평균결과를 도출하였다. 균일 양자기와 표준방식 양자기(Lloyd Q), 제안한 표본추출방식을 사용한 양자기(SBL Q#1, SBL Q#2), 그리고 새로운 비용함수를 사용한 제안 양자기(Proposed SBL Q#1, Proposed SBL Q#2)에 대하여 성능평가를 진행하였다. 그림 4에서 3비트를 사용할 경우, 표준방식 양자기와 제안한 표본추출방식을 사용한 양자기의 설계 복잡도를 노드 개수에 따라 비교하였다. 그림 5에서는

노드 6개, 3비트일때, 제안 양자기 설계 알고리즘의 λ 변화에 따른 성능 비교를 하였으며, Proposed SBL Q#1인 경우 $\lambda=0.6$, Proposed SBL Q#2인 경우 $\lambda=0.2$ 에 뛰어난 성능을 확인하였다.

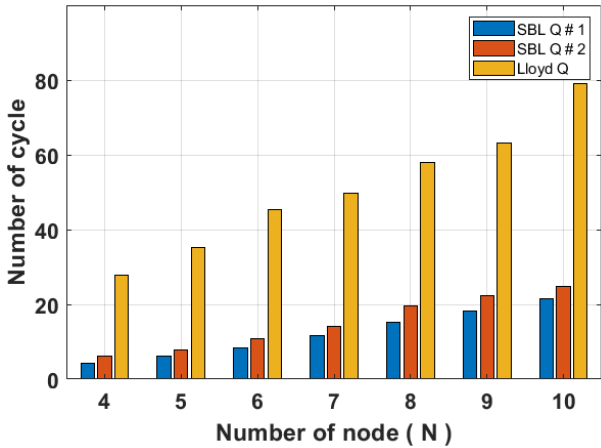


Fig. 4. Comparison of design complexity.
그림 4. 설계 복잡도 비교

그림 6에서는 노드 6개인 경우, 비트 수의 변화에 따른 각 양자기 설계 알고리즘의 성능 비교를 하였다. 그림 7에서는 3 비트일때, 노드 수에 따른 각 양자기 설계 알고리즘의 성능 비교를 하였고, 노드가 6개, 3비트일 때, 신호잡음(σ)의 세기 변화에 대한 성능 비교를 그림 8에서 보였다.

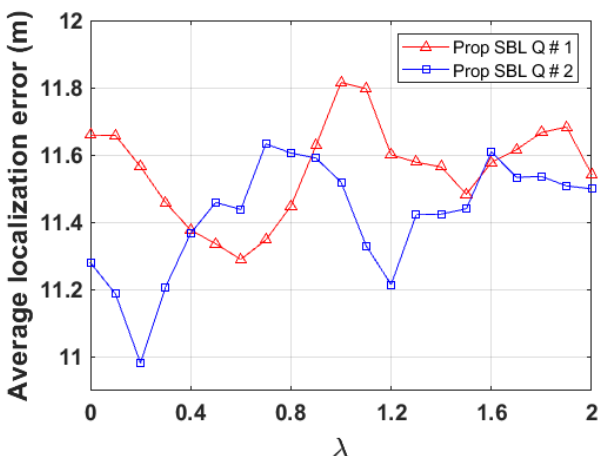


Fig. 5. Performance comparison according number of λ .
그림 5. λ 의 변화에 따른 제안 알고리즘의 성능 비교

그림 6, 7, 8 실험에서 λ 는 그림 5에서 가장 뛰어난 성능을 보인 값을 사용하였으며, 다양한 실험조건에서 제안 양자기의 뛰어난 성능향상을 확인하였다.

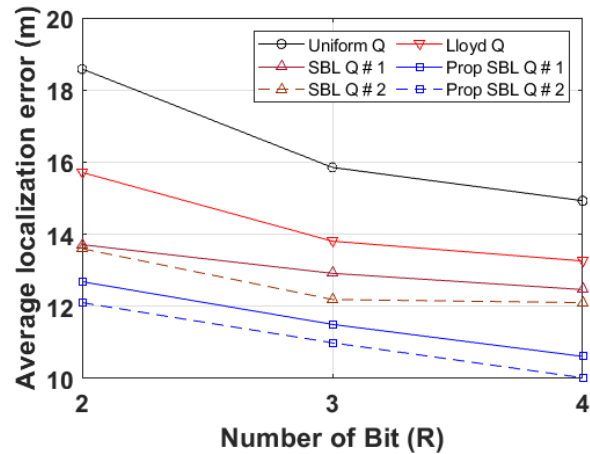


Fig. 6. Performance comparison by varying the number of bits assigned to each node.

그림 6. 비트 수에 따른 설계 알고리즘의 성능 비교

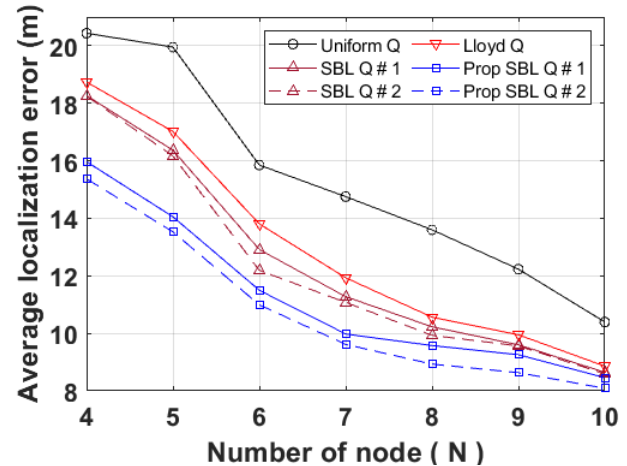


Fig. 7. Performance comparison by varying the number of nodes deployed in sensor field.

그림 7. 노드 수에 따른 설계 알고리즘의 성능 비교

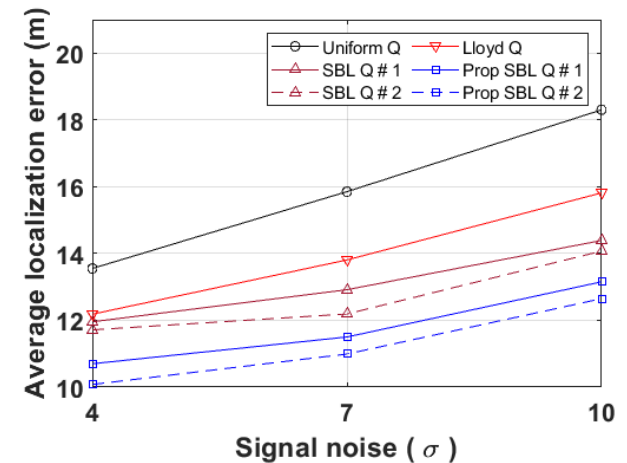


Fig. 8. Performance evaluation in presence of measurement noise.

그림 8. 신호잡음에 따른 제안 양자기의 성능 평가

V. 결론

본 논문에서는 SBL 시스템에 효율적인 양자기 설계 알고리즘을 제안하였다. 이를 위해 고유 시퀀스와 각 노드간의 평균 거리를 통해 표본의 수를 축소하여 양자기 설계 알고리즘의 복잡도를 감소하였고, 양자기 설계 알고리즘의 성능을 향상하기 위해 양자화 영역에 균일한 표본 및 고유 시퀀스 갯수가 분포하도록 새로운 비용함수를 제안하였고, 실험을 통해 기존의 양자기 대비 제안 양자기 설계 알고리즘의 성능향상을 입증하였다.

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/S1110865703212075
- [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] 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.
- [4] 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
- [5] W. M. Lam and A. R. Reilbman, "Design of quantizers for decentralized estimation systems," *IEEE Transactions on Communications*, vol.41, no.11, pp.1602-1605, 1993.
- [6] M. Longo, T. Lookabaugh and R. Gray, "Quantization for decentralized Hypothesis testing under communication constraints," *IEEE Transactions on Information Theory*, vol.36, no.2, pp.241-255, 1990. DOI: 10.1109/18.52470
- [7] H. H. Park and Y. H. Kim, "Quantizer design algorithm for sequence based localization," *IKEEE 2019 Summer Conference*, pp.124-125, 2019.
- [8] H. H. Park, "Study of Efficient Node Deployment and Quantizer Design Algorithms for Sequence-Based Localization (SBL) Systems," Master's Thesis, *Graduate School of Chosun University*, 2020.
- [9] H. H. Park and Y. H. Kim, "Efficient Node Deployment Algorithm for Sequence-Based Localization (SBL) Systems," *Journal of IKEEE*, vol.22, no.3, pp.658-663, 2018.
DOI: 10.7471/ikeee.2018.22.3.658

BIOGRAPHY

Hyun Hong Park (Member)



2018 : BS degree in Electronic Engineering, Chosun University.
2020 : MS degree in Electronic Engineering, Chosun University.

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.