

해안에 설치된 비콘 노드를 이용한 해양 모니터링 센서의 순차적인 위치 파악

김 청 산*, 김 은 찬*, 김 기 선*, 최 영 윤**

Sequential localization with Beacon Nodes along the Seashore for Marine Monitoring Sensor Network

Chungsan Kim *, Eunchan Kim *, Kiseon Kim *, Youngyoon Choi **

요 약

진보된 하드웨어 개발 기술 및 다양한 응용 가능성으로 인하여 무선 센서 네트워크 시스템이 현재 또는 미래에 주목받을 것으로 기대된다. 최근 다양한 응용 중에서 해안 및 수중 센서 네트워크 시스템에 대한 관심이 증대되고 있다. 센서 네트워크 시스템을 해양 및 수중에 적용하여 해양 자원 샘플링, 환경 모니터링, 재해 예방, 항로 유도 등 다양한 이점을 얻을 수 있다. 그러나 이러한 응용을 위해서 센서 노드의 위치 정보가 제공되어야 한다. 따라서 해양 및 수중 환경에서 센서 노드들의 위치 정보를 얻기 위해 순차적인 위치 파악(Sequential Localization) 알고리즘을 제안한다. 순차적 위치 파악은 해안가에 적은 수의 비콘 노드를 설치하여 센서 노드의 위치를 파악한다. 순차적인 위치 파악(Sequential Localization) 방법은 위치 에러 누적 현상을 완화하고 최대한 센서 노드들의 위치 파악을 위해 센서 노드들의 위치 파악 순서를 제어하여 위치 정보를 얻는다. 순차적 위치 파악은 센서 노드들의 레퍼런스 노드의 개수에 대한 정보를 가지고 각 센서 노드의 위치 파악 순서를 지정한다. 가장 많은 레퍼런스 노드를 가지는 센서 노드가 위치 파악 시 가장 높은 우선순위를 갖는다. 순차적 위치 파악 알고리즘은 위치 에러 성능뿐만 아니라 최대한의 센서 노드의 위치 좌표를 구하여 센서 네트워크의 커버리지 또한 증대시킨다.

Abstract

Wireless sensor network system is expected to get high attention in research for now and future owing to the advanced hardware development technology and its various applicabilities. Among variety of sensor network systems, the seashore and marine sensor network, which are extended to get sampling of marine resources, environmental monitoring to prevent disaster and to be applied to the area of sea route guidance. For these marine applications to be available, however, the provision of precise location information of every sensor nodes is essential. In this paper, the sequential localization algorithm for obtaining the location information of marine sensor nodes. The sequential localization is done with the utilization of a small number of beacon nodes along the seashore and gets the location of nodes by controlling the sequences of localization and also minimizes the error accumulation. The key idea of this algorithm for localization is that the localization priority of each sensor nodes is determined by the number of reference nodes' information. This sequential algorithm shows the improved error performance and also provide the increased coverage of marine sensor network by enabling the maximum localization of sensor nodes as possible.

▶ Keyword : seashore, marine, localization, TDOA, sequential, beacon node, sensor networks

• 제1저자 : 김청산 • 교신저자 : 최영윤
• 접수일 : 2007. 9.10, 심사일 : 2007. 9.12, 심사완료일 : 2007. 9.20
* 광주과학기술원 ** 육군사관학교 전자정보학과 교수

1. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)는 더욱 발달된 하드웨어 개발로 인하여 현재 또는 미래의 유비쿼터스 사회 실현을 위한 기술로 주목받고 있다. 특히, 해안 및 해양 센서 네트워크 시스템은 매우 다양한 잠재적 응용을 가진다. 해양 환경 감시, 지진, 쓰나미와 같은 재난 예방, 군사적 목적으로 영해 감시 등 다양하다[1-6].

환경 감시: 시간이 흐를수록 환경 문제가 중요시 되고 있다. 이는 대기 환경 뿐 아니라 해양 환경에서도 마찬가지이다. 매년 근해에서 나타나는 적조 현상, 고온 현상으로 인한 병균 발생, 선박 침몰로 인한 해양 오염 등은 매우 큰 경제적 손실을 가져온다. 해양 상태를 모니터링 함으로써 징후를 미리 파악하여 예방할 때 경제적인 타격을 최소화 할 수 있다. 또한 해양 생태계를 관찰함으로써 과학/학문적인 목적에도 이용될 수도 있다.

재난 예방: 최근 해양 지진으로 인한 쓰나미 등과 같은 재난이 일어나고 있다. 또한 해양 개발로 인해 원인 불명의 바닷물의 범람 등과 같은 사고가 생기고 있다. 센서 노드를 해양에 넓게 분포 시켜 재난 징후를 미리 파악하면 자연 재해에 의한 피해를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

군사적 목적: 군사적 민감 지역에 센서 네트워크를 설치함으로써 영해 감시 등과 같은 기능을 수행할 수 있다.

기타: 또한 위치 정보를 제공하는 센서 네트워크 시스템과 수중 모니터링 장치를 이용하여 수중 압초, 수심 정보 등을 이용하여 선박들의 항해를 보조할 수도 있을 것이다. 이와 같이 해양 센서 네트워크 시스템은 기존의 육상 시스템과 같이 커다란 잠재성을 지니고 있다.

이러한 응용을 위해서는 측정된 데이터가 어느 지점에서 관측되었는지 아는 것이 매우 중요하다. 따라서 센서 노드의 위치 정보를 얻기 위해 위치 파악 알고리즘 개발이 요구된다. 위치 파악을 위해서 센서 노드 사이의 거리를 측정하여 multilateration 등과 같은 방법을 이용하여 센서 노드의 위치를 계산할 수 있다. 거리 측정 기술에는 신호의 세기를 측정하여 거리 정보를 얻는 RSSI (received signal strength indicator), 신호 전달 시간을 측정하는 TOA (time of arrival), TDOA (time difference of arrival), 각 (angle) 정보를 계산하는 AOA (angle of arrival) 등이 있다[7]. 이러한 기술들은 RF 신호를 이용하여 왔지만, 해양 수중 환경에서는 radio wave를 상당부분 흡수해서 RF 신호

사용은 불가능하다. 실제로 수중에서 MICA2의 전송 거리는 120cm 전송거리를 갖는다고 Southern California Univ.의 Robotic Embedded Systems Laboratory (RESL)에서 실험에 의해 알려졌다[1]. RF 신호의 대안으로 acoustic wave가 해양 수중 환경에서 주목받고 있다. acoustic wave는 해양 수중 환경 뿐만 아니라 기존 위치 파악 알고리즘에서 거리를 측정하기 위해 TOA 또는 TDOA를 이용하기 위해 사용되고 있다[8]. acoustic wave는 수중에서 멀리 전파할 수 있고, 거리 측정 정확도 면에서 RF 신호보다 훨씬 뛰어난 장점을 가지고 있다.

센서 네트워크에서 센서 노드의 위치 파악하는 방법에도 중앙 처리 또는 분산 처리 방식이 있다. 넓은 영역에 다수의 센서 노드가 존재하는 응용에서 중앙 처리 방식은 적합하지 않다. 중앙 처리 방식에서 위치 파악에 필요한 모든 정보를 수집하는 것은 네트워크의 오버헤드를 야기시킨다. 특히 동적인 센서 네트워크에서 매번 위치 관련 정보를 중앙 센터로 전달하는 것은 에너지 소모를 매우 가중시킨다. 반면에 분산 처리 방식은 센서 노드가 주변 노드와의 상호 통신을 통하여 자율적인 위치 파악은 물론 센서 네트워크의 자율적인 네트워크 설정이 가능하다. 따라서 대규모 센서 네트워크에서 분산 처리 방식의 위치 파악 알고리즘들이 연구되고 있다 [9, 10].

본 논문에서는 acoustic wave를 이용한 TDOA 기술을 이용하여 거리 측정을 하고, recursive localization (RL)을 기반으로 대규모 센서 네트워크의 센서 노드 위치를 파악해 나간다. RL은 iterative multilateration을 기반으로 레퍼런스 노드의 선택 방법을 제안하였다[5]. RL은 분산 처리 방식으로 센서 노드는 위치 파악을 하기 위해 우선 레퍼런스 노드를 선택하고 두 번째로 거리 측정후 위치 계산을 한다. 마지막으로 위치 정보를 얻어서 레퍼런스 노드가 된다. RL은 센서 노드들의 절대 위치 좌표를 얻기 위해 5%의 (GPS 수신기 또는 관리자에 의해 위치를 알고 있는) 비콘 노드를 이용하였다. 하지만 대규모 센서 네트워크에서 5%는 수십 개에서 수백 개가 될 수 있다. 다수의 비콘 노드 사용은 시스템 비용을 증대시키므로 적은 수의 비콘 노드가 존재하는 대규모 센서 네트워크를 고려한다. 즉 적은 수의 비콘 노드를 해안의 알려진 위치에 설치하여 해안가 및 해양에 분포되어 있는 센서 노드의 위치를 파악한다. 그러나 적은 수의 비콘 노드 사용으로 위치 여러 누적 현상이 심화될 수 있다. 위치 여러 누적 현상을 최소화하고 센서 네트워크 시스템 커버리지를 향상시키기 위해 순차적 위치 파악 (sequential localization) 알고리즘을 제안한다. SL (sequential localization)은 센서 노드의 위치 파악

순서를 제어하여 센서 노드의 위치 좌표를 구한다. 위치 파악 순서는 센서 노드의 레퍼런스 노드의 수에 따라 결정된다. 레퍼런스 노드 수가 많은 센서 노드부터 위치 파악을 수행한다. 이러한 순차적 방법은 평균적으로 센서 노드의 레퍼런스 노드의 수가 증가하여 위치 정확도뿐만 신속한 위치 파악이 가능하게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 해양 모니터링 시스템에서 위치 파악 문제에 대해서 고려하고, 3장에서는 순차적 위치 파악 알고리즘에 대해서 구체적으로 기술한다. 4장은 시뮬레이션을 통해 순차적 위치 파악 알고리즘의 성능을 평가하고, 마지막으로 5장은 결론으로 끝맺는다.

II. 해양 응용에서 위치 파악 문제

그림 1과 같이 해안가에 소수의 비콘 노드가 설치되어 있고 센서 노드들이 부표에 부착되어 해수면에 분포되어 있는 센서 네트워크를 고려한다.

위치 파악 문제: acoustic wave를 이용, TDOA 측정을 통해 거리 정보를 얻고, 센서 노드의 위치를 계산한다. M 개의 비콘 노드와 N 개의 (위치를 모르는) 센서 노드가 존재하는 센서 네트워크를 가정하자. 위치를 모르는 센서 노드를 *unknown* 노드로 정의한다. 비콘 노드와 *unknown* 노드의 위치를 d -dimension에서 $X_i \in \mathbb{R}^d$ ($i = 1, \dots, M$) 와 ($i = M+1, \dots, M+N$) 로 정의한다. p_{ij} 를 노드 i 와 노드 j 의 측정된 거리로 가정하면 위치 파악 문제는 다음과 같다.

Given : X_i and p_{si} for $i \in Ref$
 Estimate : X_s for *unknown node s*.

*Ref*는 위치 파악을 통해 자신의 위치를 알고 있는 노드이다. *unknown* 노드 s 는 *Ref* 노드들의 위치와 거리 측정을 통해 자신의 위치를 계산한다.

거리 측정: 기존의 위치 파악 알고리즘은 RF 신호의 에너지 또는 신호 전달 시간을 측정하여 거리 정보를 얻을 수 있었다. 하지만 수중 환경에 RF 신호의 사용은 전송 거리의 제한으로 거리 측정은 물론 통신에도 사용될 수 없다. 따라서 해양 응용에서는 거리 측정 정확성 뿐만 아니라 수중 환경에서 센서 노드간의 통신을 위하여 acoustic wave를 이용한다. 또한 거리 측정은 acoustic wave를 이용하여 TDOA 기술을 사용한다.

$$\Delta T_{1i} = T_i - T_1 \dots\dots\dots (1)$$

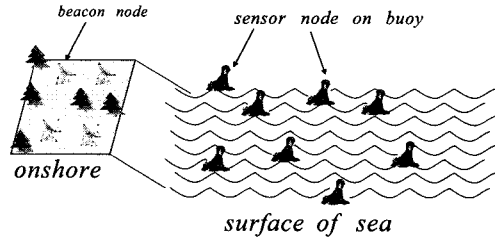
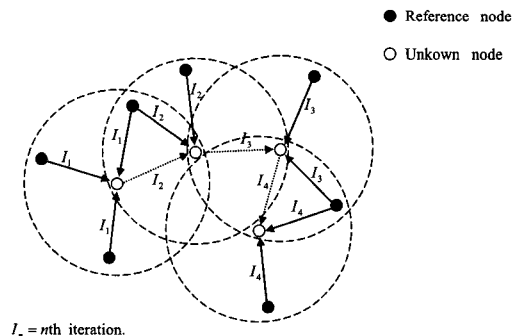


그림 1. 해안/해양 모니터링 센서 네트워크
 Fig. 1. Seashore/Marine Monitoring Sensor Network

T_1, T_i 는 각각 $1^{th}, i^{th}$ 레퍼런스 노드에서 *unknown* 노드 s 로의 TOA 이고 ΔT_{1i} 는 T_1 과 T_i 의 TDOA이다. TDOA에 acoustic wave 속도 (c)를 이용하여 거리 정보를 얻을 수 있다.

센서 노드 배치: 해양 응용을 위해서 센서 노드의 분포 또한 중요한 고려 사항이다. 절대 위치 좌표를 가지고 있는 비콘 노드는 고정된 위치에 설치되어야 한다. 해수면에 부표를 이용하여 비콘 노드를 설치한다면 파도, 풍속, 해류에 의해 비콘 노드의 위치가 고정되지 않고 움직일 것이다. 따라서 M 개의 비콘 노드는 해안가에 (알려진 위치에) 설치된다. N 개의 *unknown* 노드는 해양 환경 모니터링등과 같은 응용을 위해 해수면 또는 확장하여 해양 수중에 분포될 수도 있다. M 개의 비콘 노드를 이용하여 *unknown* 노드의 위치를 파악해 나간다. 따라서 비콘 노드 주변부터 위치 파악을 시작하여 그림 2와 같이 반복적인 multilateration을 통해 전체 센서 노드의 위치 정보를 획득한다.



$I_n = n$ th iteration.

그림 2. Iterative multilateration 위치 파악
 Fig. 2. Iterative Multilateration Location

III. 순차적 위치 파악

순차적 위치 파악 (SL) 알고리즘은 *unknown* 노드의 위치 파악 순서를 제어한다. SL은 크게 위치 파악 순서 제어와 위치 측정 부분으로 나뉠수 있다. 위치 파악 순서 제어 부분에서는 *unknown* 노드의 위치 파악 순서를 지정하여 그 순서에 따라 위치 파악을 하도록 제어한다.

3.1 위치 파악 순서 제어

센서 노드 배치 후 오직 비콘 노드만이 위치 좌표를 가지고 있다. 따라서 비콘 노드의 *unknown* 노드부터 비콘 노드를 레퍼런스 노드로 이용하여 위치 파악을 수행한다. 위치 파악 순서는 중앙 처리 방식이 아닌 *unknown* 노드 중에서 특정 노드 (*task node*)에서 실행된다. 위치 파악 제어는 다음과 같은 과정을 거쳐 이루어진다.

가. *unknown* 노드는 비콘 노드 또는 레퍼런스 노드가 먼저 브로드캐스트 패킷을 수신하는 즉시 NP를 브로드캐스팅 하면서 *task node*가 된다.

나. NP를 수신하는 *unknown* 노드들은 자신들의 레퍼런스 노드 개수가 위치 파악을 수행할 수 있도록 충분한 경우에 n_i 를 *task node*에 전송한다.

다. *task node*는 n_i 를 수집해서, n_i 크기에 따라 *unknown* 노드를 정렬한다.

라. 그리고 위치 파악 순서를 가지고 있는 SP를 브로드캐스팅한다.

마. SP를 수신한 *unknown* 노드는 자신의 순서를 기다린다. 자신의 순서가 되면 위치 좌표를 계산하고 CP를 브로드캐스팅한다.

바. *task node*는 CP를 다시 브로드캐스팅하고 다음 순서 *unknown* 노는 CP를 확인, 자신의 순서이면 위치 좌표를 계산한다.

순차적 위치 파악 알고리즘은 위와 같은 과정을 반복하여 위치 파악 순서를 제어하여 *unknown* 노드들의 위치를 계산한다(표 1참조).

3. make an order based n_i	send n_i to the task node else wait until $n_i > r$ end
4. broadcast SP	5. receive SP: if its turn position estimation broadcast CP else wait its turn end
6. re-broadcast CP from <i>unknown node</i>	
NP (notice packet): by broadcasting NP, a <i>unknown node</i> becomes task node, and request n_i	
SP (sequence packet): SP includes the order of localization	
CP (complete packet): notice that <i>unknown node</i> estimate position	
n_i : # of reference nodes of <i>unknown node i</i>	

순차적 위치 파악 알고리즘을 예제로 살펴보자. 그림 3에서 위치 좌표를 계산하여 위치 정보를 가지는 레퍼런스 노드가 *unknown* 노드의 위치 파악을 위해 브로드캐스팅을 한다. 레퍼런스 노드는 브로드캐스팅을 통해 위치 정보를 *unknown* 노드에 제공한다. 위치 계산에 필요한 충분한 수의 레퍼런스 노드를 가지는 *unknown* 노드는 브로드캐스팅을 듣고서 바로 NP를 전송한다. 하지만 이때 다른 *unknown* 노드가 먼저 NP를 브로드캐스팅했다면 *task node*가 될 수 없다. 그림 4에서는 노드 D가 *task node*가 되어서 NP를 브로드캐스팅하여 *unknown* 노드들로부터 n_i 정보를 수집하여 SP('D' 'A' 'B' 'F')를 브로드캐스팅한다. 각 *unknown* 노드들은 SP를 받고 자신의 순서를 기다린다. SP에 따라 노드 D가 첫 번째로 위치 계산을 한다. 그림 5에서 보는 바와 같이 노드 D는 위치 계산후 자신의 순서가 끝났음을 알리는 CP를 전송한다. 두 번째 순서인 노드 A는 CP를 수신하고 자신의 순서를 알고 위치 계산을 수행한다. 이와 같은 과정을 통하여 *unknown* 노드의 위치를 파악해 나간다.

표 1. 위치파악 제어 센싱 순서
Table. 1. Sequence of Control Sensing for Location

task node	unknown node
1. broadcast NP	
	2. receive NP: if $n_i < r$

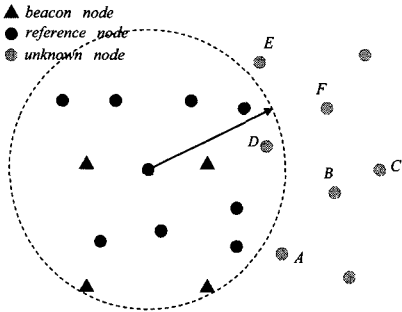


그림 3. 레퍼런스 노드가 unknown 노드의 위치 파악을 위한 브로드캐스팅
Fig. 3. Broadcasting for the Location of Unknown Mode by Reference Node

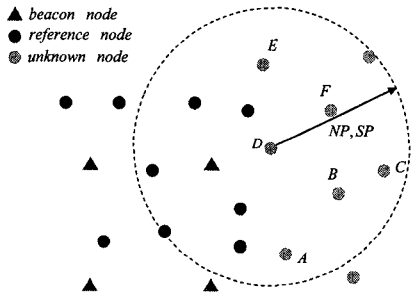


그림 4. 노드 D가 NP를 브로드캐스팅하면서 task 노드가 되어 SP를 전송
Fig. 4. Transmission of SP as Broadcasting NP by Node D as a Task Node

3.2 글자 정렬

추출된 *unknown* 노드는 순서에 따라 위치 계산을 하게 된다. 위치 계산은 비콘 노드 또는 레퍼런스 노드의 위치

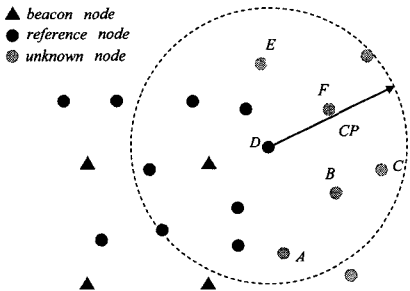


그림 5. 노드 D가 위치 계산을 끝내고 CP 브로드캐스팅
Fig. 5. Broadcasting CP after Completing the Location by Node D

좌표와 거리 정보를 이용하여 이루어진다. 거리 정보는 acoustic wave를 이용하여 식 (1)에 정의되어 있는 TDOA를 측정하여 얻는다. 2차원 영역에서 레퍼런스 노드가 4개 이상이 존재하면 식 (4)를 이용하여 *unknown* 노드의 위치 좌표를 바로 구할 수 있다. 하지만 계산된 위치 좌표 값이 큰 위치 에러를 가지는지 확인할 필요가 있다. 큰 위치 에러를 가지는 레퍼런스 노드는 위치 파악 시 위치 에러 누적 현상에 큰 영향을 끼친다. 위치 에러의 정도를 판단하기 위해 *residual value* 이용한다. 식 (6)에 의해 구해진 위치 좌표 (\hat{x}, \hat{y}) 에 대한 *residual value*는 식 (7)과 같이 정의된다[5].

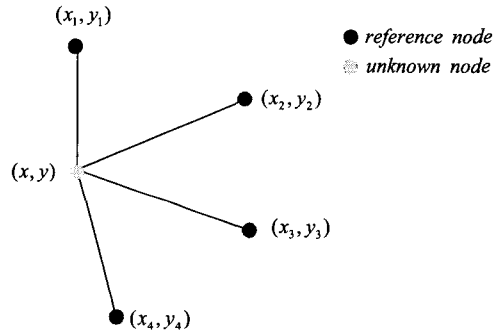


그림 6. unknown 노드의 위치 계산
Fig. 6. The Location of Unknown Node

$$Ax = b \dots\dots\dots (4)$$

$$A = \begin{bmatrix} 2x_1 - 2x_2 & 2y_1 - 2y_2 & -2c\Delta T_{12} \\ 2x_1 - 2x_3 & 2y_1 - 2y_3 & -2c\Delta T_{13} \\ 2x_1 - 2x_4 & 2y_1 - 2y_4 & -2c\Delta T_{14} \end{bmatrix} \dots\dots\dots (5)$$

$$x = \begin{bmatrix} x \\ y \\ d \end{bmatrix}, \quad b = \begin{bmatrix} c^2\Delta T_{12}^2 + x_1^2 + y_1^2 - x_2^2 - y_2^2 \\ c^2\Delta T_{13}^2 + x_1^2 + y_1^2 - x_3^2 - y_3^2 \\ c^2\Delta T_{14}^2 + x_1^2 + y_1^2 - x_4^2 - y_4^2 \end{bmatrix}$$

$$\hat{x} = (A^T A)^{-1} A^T b \dots\dots\dots (6)$$

$$residual(\hat{x}, \hat{y}) = \sum_{i \in reference} \left(\sqrt{(x_i - \hat{x})^2 - (y_i - \hat{y})^2} - d_i \right) \dots\dots (7)$$

d_i 는 레퍼런스 노드 i 와 측정된 거리이고, (x_i, y_i) 는 레퍼런스 노드 i 의 위치 좌표이다. 즉 위치 계산 후 모든 레퍼런스 노드와의 residual value가 작다. 비콘 노드는 정확한 위치 정보를 가지고 있으므로 residual value를 0으로 생각할 수 있다. 따라서 임계값을 정하여 구해진 위치 좌표가 임계값 이상이면 위치 계산을 다시 반복한다.

IV. 성능 평가 및 분석

4.1 모의 실험 모델

모의 실험을 위해 표 2와 같은 파라미터 값을 적용하였다. 비콘 노드는 위치 파악 시작을 위한 최소한의 개수를 이용하여 성능을 분석하고자 하였다. 또한 낮은 노드 밀도와 높은 노드 밀도를 가지는 센서 네트워크에서 성능을 비교하기 위하여 두 개의 노드 밀도 값을 가지는 센서 네트워크를 생성하였다. TOA 에러 모델은 노멀 분포를 따르도록 하였다. 0.0005 값은 [11, 12]에서 실험에 의하여 TOA 측정 에러가 $500\mu s$ 이내의 정확성을 확인하였다.

acoustic wave 속도는 주변 환경에 의해 변화할 수 있지만, 모의 실험을 위해 340 m/s 로 정하였다. 본 논문에서 고려하는 네트워크 구조는 그림 7과 같다. 해안가에 비콘 노드를 설치할 수 있다. 해안가에 (알려진 위치에) 비콘 노드를 설치하여, 해수면에 떠있는 부표의 센서 노드의 위치 좌표를 계산할 수 있다. 이를 확장하여 수중에 센서 노드들의 위치 좌표 계산도 가능하다. 또한 알고리즘의 성능 비교를 위해서 레퍼런스 선택을 통한 Albowiz의 RL[5]방법과 위치 파악 순서를 제어하지 않는 Non-Sequential(NS) 방법과 비교하였다.

표 2. 모의 실험 파라미터
Table 2. Parameters in Simulation

네트워크 크기	70 × 70 m ²
비콘 노드의 개수 (M)	4
노드 통신 거리	12.5 m
노드 밀도 ρ (# of node/area)	0.04, 0.08
residual value 임계값 γ	0.1
TOA 에러 모델	Norm(0, 0.0005)
acoustic wave 속도	340 m/s

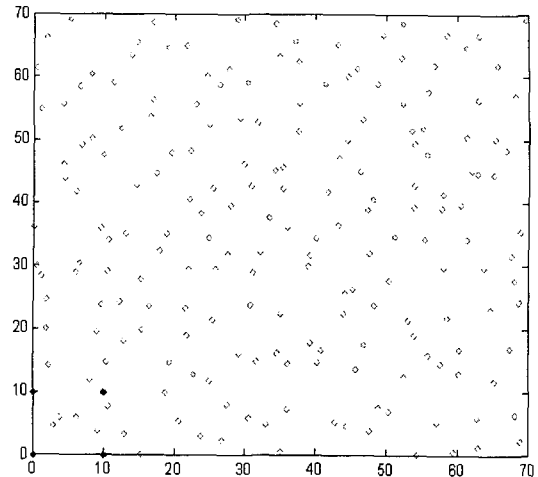


그림 7. 센서 네트워크 맵 (70×70m², M=4, $\rho=0.04$)
Fig. 7. Sensor Network Map

4.2 위치 에러 성능

그림 8과 9는 RL 알고리즘과 제안된 SL 알고리즘을 통한 위치 좌표를 구한 맵을 보여주고 있다. 비콘 노드가 이와 같이 설치되어 있는 경우 위치 파악을 반복하면서 위치 에러가 누적된다. 따라서 비콘 노드에서 멀리 떨어져 있는 센서 노드의 위치 에러가 증가하게 된다. 그림 9에서 보는 바와 같이 RL 방법에서 멀리 위치한 센서 노드의 위치 에러가 큰 것을 확인할 수 있다.

전체적인 위치 에러는 맵에서 위치 좌표를 획득한 노드들의 위치 에러를 평균하여 계산한다. 그림 8, 9에서 보는 바와 같이 모든 노드가 자신의 위치를 얻지 못 할 수도 있다. 따라서 전체 노드의 90% 이상의 센서 노드가 발견된 맵을 선택해서 전체적인 위치 에러를 계산하였다.

그림 10은 평균 위치 에러와 에러의 분산을 보여준다. 낮은 노드 밀도에서 제안된 SL 방법이 더 적은 위치 에러를 보인다. 특히 높은 노드 밀도 환경에서는 더 낮은 위치 에러를 보이고 있다. 하지만 낮은 밀도에서 위치 성능면에서 NS 방법과 비교적 낮은 성능 차이를 보이고 있다. SL은 또한 낮은 분산을 보여주는데, 이는 알고리즘의 거리 측정 에러 및 레퍼런스 노드의 위치 에러에 대해서 더 강함을 보여준다.

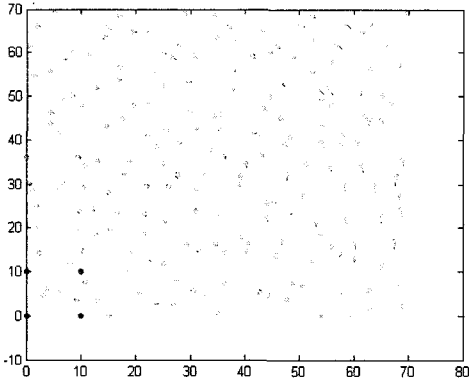


그림 8. SL에 의한 센서 노드의 위치 파악 ($\rho = 0.04$)
Fig. 8. The Location of Sensor Node Using SL

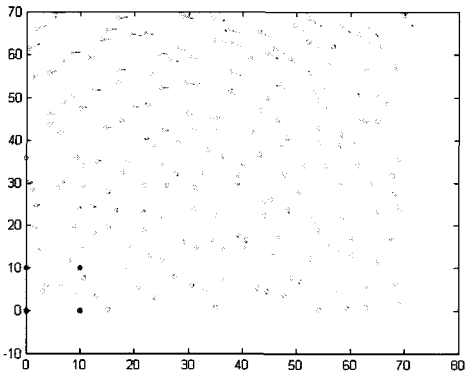
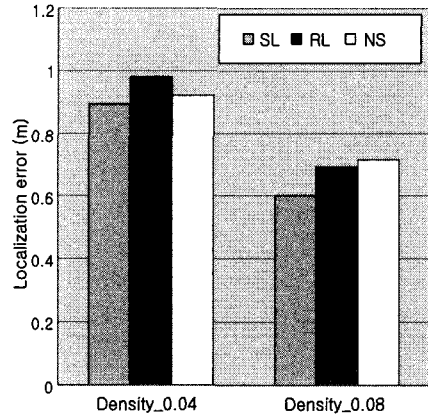


그림 9. RL에 의한 센서 노드의 위치 파악 ($\rho = 0.04$)
Fig. 9. The Location of Sensor Node Using RL

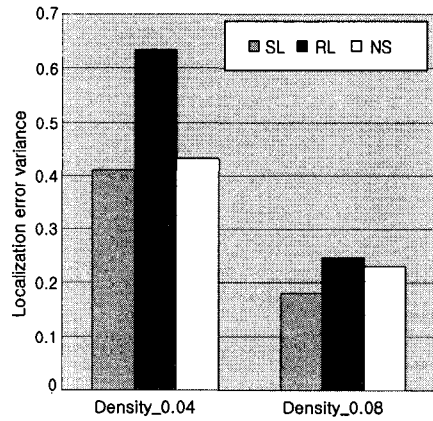


그림 10. 위치 에러 성능 비교
Fig. 10. The Performance Comparison of Location Error

4.3 Localizability 및 위치 계산 비용

위치 파악 알고리즘에 있어서 낮은 위치 에러 성능도 중요하지만 그 이전에 최대한의 센서 노드의 위치 정보를 획득하는 것이 우선이다. Localizability는 1000번의 모의 실험 동안 90% 이상의 센서 노드가 발견된 맵들의 개수로 정의한다. 그림 11에서 보는 바와 같이 제안된 SL 방법이 더 많은 센서 노드의 위치를 계산하여 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 특히, 낮은 밀도에서 비슷한 위치 에러 성능을 보여준 NS 방법은 가장 낮은 localizability를 보여줌을 알 수 있다. 본 모의 실험에서 적은 수의 비콘 노드를 사용했지만, 비콘 노드의 수를 증가함으로써 localizability를 향상시킬 수 있다. 이는 곧 센서 네트워크의 커버리지의 증가를 의미한다.

또한 위치 계산 횟수면에서 알고리즘의 성능을 분석할 수 있다. 전반적으로 제안된 SL 방법이 가장 우수한 성능을 보이고 있다. 즉 센서 노드가 위치 좌표를 얻는데 소요되는 시간이 짧다. 특히 NS 방법과 비교할 때, 위치 파악 순서를 제어의 유무에 따라 계산 횟수에서 큰 차이가 있음을 확인할 수 있다. 하지만 순서 제어에 따른 패킷 오버 헤드와 레퍼런스 노드 개수에 따라 계산 복잡도에 대해서도 고려되어야 한다.

V. 결론

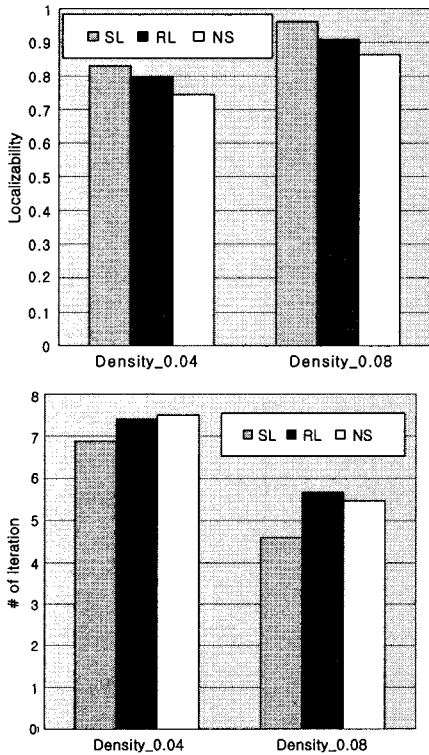


그림 11. localizability 및 위치 계산 횟수 성능 비교

Fig. 11. The Performance Comparison of Localizability and Number of Computation

센서 네트워크에서 다양한 응용을 위해 센서 노드의 위치 정보는 필수적인 요소이다. 다양한 응용 중에서 본 논문은 해양 모니터링에 대해서 고려한 위치 파악 알고리즘을 제안하였다. 해양 및 수중 센서 네트워크 시스템은 잠재적인 수요와 활용 가능성으로 인해 관심이 높아지고 있다. 특히 해저 지진으로 인한 쓰나미와 같은 자연 재해 예방을 위한 응용은 그 가치가 인적, 경제적 차원에서 매우 크다. 이 외에도 영해 감시, 생태계 모니터링 등 매우 다양한 응용이 센서 네트워크 시스템을 통하여 실현될 수 있다.

제안된 순차적 위치 파악(SL) 알고리즘은 Albowicz의 recursive localization(RL)을 기반으로 센서 노드의 위치 좌표를 파악해 나간다. SL은 해양 모니터링 시스템을 고려하여 해안가에 소수의 비콘 노드를 설치하고 해안가 및 해수면의 센서 노드가 분포되어 있는 센서 네트워크를 가정하였다.

또한 거리 측정의 정확도를 위해서 acoustic wave를 이용하였다. acoustic wave는 정확도 뿐만 수중에서 전파가 가능하기 때문에 해양 및 수중 환경에서 RF 신호를 대신하여 통신이 가능케 한다. 이러한 가정 하에 SL은 unknown 노드의 위치 파악 순서를 제어하여 위치 좌표를 계산한다. SL방법으로 위치 에러는 물론 localizability를 향상시켜 시스템의 커버리지를 향상시킬 수 있으며, 더 나은 성능을 위해 간단히 비콘 노드 개수(M)을 증가시킬 수도 있다. 모니터링 지역의 넓이에 따라 적절한 위치 에러 성능 및 커버리지를 얻기 위해서 추가의 비콘 노드가 필요할 수도 있다.

SL 방법은 상대적으로 R 보다 많은 수의 레퍼런스 노드의 사용으로 LSE(least square estimation)를 이용한 위치 계산시 행렬의 복잡도가 상당히 증가한다. 행렬의 복잡도면에서 성능을 비교할 필요가 있다. 또한 순서 제어를 위한 패킷 오버헤드 등과 위치 에러 성능 사이의 trade-off를 살펴볼 필요가 있다. 실제적인 해양 모니터링 시스템 구현을 위해서 주변 환경에 따른 acoustic wave 속도의 변화, 해수면에 분포되어 있는 센서 노드의 위치 변화 등에 대해서 고려할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks: research challenges," *Ad Hoc Networks* (Elsevier), Vol. 3, no. 3, pp. 257-279, Mar. 2005.
- [2] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "Challenges for Efficient Communication in Underwater Acoustic Sensor Networks", *ACM Sigbed Review*, Vol. 1, no 2, July 2004.
- [3] I. F. Akyildiz, D. Pompili, and T. Melodia, "State-of-the-Art in Protocol Research for Underwater Acoustic Sensor Networks," *Proc. of ACM International Workshop on Under-Water Networks (WUWNet)*, Sep. 2006.
- [4] K. Ssu, C. Ou, and H. Jiau, "Localization with mobile anchor points in wireless sensor networks," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, pp. 1187-1197, 2004.
- [5] J. Albowicz, A. Chen, and L. Zhang, "Recursive position estimation in sensor networks," *Network Protocols*, pp. 35-41, 2001.

- [6] A. Mahajan, and M. Walworth, "3-D position sensing using the difference in the time-of-flights from a wave source to various receivers," IEEE Trans. Robotics and Automation, pp. 91-94, 2001.
- [7] A. Sayed, A. Tarighat, and N. Khajehnouri, "Network-based wireless location," IEEE Signal Processing Mag., pp. 24-40, 2005.
- [8] K. Frampton, "Acoustic self-localization in a distributed sensor network," IEEE Sensors Journal, pp. 166-172, 2005.
- [9] W. Wang and B. Soong, "A distributed heuristics of localization in wireless sensor network," 2006 WiCOM, pp. 1-4, Sept. 2006.
- [10] J.A Costa, N. Patwari, A.O., III Hero, "Achieving high-accuracy distributed localization in sensor networks," Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2005. Proceedings. (ICASSP '05) Vol. 3, pp. 641-644, March 2005.
- [11] G. Simon, M. Maroti, A. Ledeczi, G. Balogh, B. Kusy, A. Nadas, G. Pap, J. Sallai, and K. Frampton, "Sensor network-based countersniper system," Conference of SenSys., Nov. 2004.
- [12] P. Julian, A. Andreou, P. Mandolesi, and D. Goldberg, "A low-power CMOS integrated circuit for bearing estimation," Proc. of the 2003 International Symposium on Circuits and Systems, vol. 5, pp. 305-308, May 2003.

저 자 소개

김 은 찬

송실대학교 정보통신공학과 학사

졸업

광주과학기술원 정보통신공학과

석사 졸업

현재 광주과학기술원 정보통신공

학과 박사 재학중

관심분야 : 센서 네트워크 및 이

동통신 전공

김 청 산

전남대학교 전자공학과 학사 졸업

광주과학기술원 정보통신공학과

석사 졸업

현재 광주과학기술원 정보통신공

학과 박사 재학중

관심분야 : 센서 네트워크 및 이

동통신 전공

김 기 선

서울대학교 전자공학과 학사 졸업

미국 남가주대학 전기전자과 박사

현재 광주과학기술원 정보통신공

학과 교수

관심분야 : 통신시스템 및 구현

최 영 윤

육군사관학교 전자공학과 학사 졸업

미남기주대학 전자공학 석사

미남기주대학 전자공학 박사

현 육군사관학교 전자정보학과 교수

관심분야 : 군 기술종합정보통신

체계, 무선데이터통신, 광

대역 멀티미디어 이동통

신기술