

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2018.4.4.367>

JCCT 2018-5-48

무선 센서 네트워크의 경계노드 검출

Boundary Node Detection in Wireless Sensor Network

김영균*

Youngkyun Kim*

요약 본 논문은 무선 센서 네트워크의 경계노드를 효과적으로 검출하는 알고리즘을 제안한다. 경계노드는 센서 네트워크의 외부 경계 또는 홀의 경계에 존재하는 센서이다. 제안한 알고리즘은 센서의 위치정보만을 이용하여 네트워크의 경계노드를 검출한다. 또한 검출 속도를 향상시키기 위해 센서는 거리에 따라 근접한 센서와의 중첩영역을 먼저 계산한다. 알고리즘의 동작을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 현실 세계를 최대한 반영하기 위해 정해진 영역에 여러 개의 장애물을 설치하고 센서의 개수를 500~1500개 범위에서 다르게 배치하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 알고리즘이 네트워크 외부 및 홀의 경계에 존재하는 경계노드들을 효과적으로 검출하는 것을 확인하였다.

주요어 : 무선 센서 네트워크, 경계노드, 감지영역, 중첩영역, 교차점 중심각, 경계교차점, 중첩각

Abstract This paper proposed an algorithm that detects boundary nodes effectively in wireless sensor network. A boundary node is a sensor that lies on the border of network holes or the outer boundary of wireless sensor network. Proposed algorithm detects boundary nodes using only the position information of sensors. In addition, to improve detect performance, sensor computes the overlap area of nearest sensor first. Simulation is performed to validate the process of the proposed algorithm. In Simulation, several obstacles are placed and varying number of sensors in the range of 500~1500 are deployed in the area in order to reflect real world. The simulation results shows that proposed algorithm detects boundary nodes effectively that are located on the border of holes and the outer boundary of wireless sensor network.

Key words : Wireless Sensor Network, Boundary Node, Sensing Area, Overlap Area, Intersection Point Angle, Boundary Intersection Point, Overlap Angle

1. 서 론

무선 센서 네트워크 (Wireless Sensor Network)는 주변 환경을 감지하기 위해 지정된 영역에 대량으로 분산 배치된 센서들이 무선으로 연결된 네트워크다. 센서들이

주변 상태를 감지하여 네트워크를 통해 전송하면 클라이언트는 수신한 정보를 이용하여 원격에서 관심 영역의 상태를 감지할 수 있다. 무선 센서 네트워크는 사물 인터넷을 구현함에 있어서 매우 핵심적으로 적용될 수 있기 때문에 최근에 많은 주목을 받고 있다. 이러한 무선 센서

*정회원, 안산대학교 인터넷정보과 (교신저자)
접수일: 2018년 8월 12일, 수정완료일: 2018년 9월 2일
게재확정일: 2018년 9월 24일

Received: August 12, 2018 / Revised: September 2, 2018

Accepted: September 24, 2018

*Corresponding Author: ykkim@ansan.ac.kr

Dept. of Internet Information, Ansan University, Korea

네트워크의 응용 분야는 산림 및 하천 등의 환경감시, 재난감시, 건물 및 교량 관리, 농작물 관리, 수색 및 구조 등 매우 다양하다[1].

센서 네트워크 응용에 있어서 해양, 산림, 하천 등과 같이 사람이 직접 접근하여 센서를 배치하기 어려운 환경에서는 일반적으로 항공기 등을 이용하여 센서들을 대상 지역에 무작위로 배치한다[2]. 이와 같이 대량의 센서를 무작위로 배치하는 센서 네트워크의 응용에서 주변 환경에 대한 네트워크의 정보 수집 능력은 대상 영역에 배치된 센서들의 위치와 네트워크의 감지영역 크기에 의해 결정된다. 특히 센서 네트워크를 통해 수집된 정보의 유효성 및 효과성은 센서의 배치와 센서 네트워크의 구성 형태에 따라 많은 영향을 받는다. 따라서 영역에 무작위로 배치된 센서들이 형성한 네트워크를 형태를 이해하고 네트워크가 펼쳐진 전체적인 범위와 크기, 그리고 장애물 등으로 인해 센서가 배치되지 않아 네트워크 내부에 생성된 홀(hole)을 파악하는 것이 네트워크 성능에 있어서 매우 중요한 요소이다[2][3].

본 논문은 센서 네트워크의 감지영역을 파악하기 위해 센서 네트워크의 외부 경계와 내부 홀의 경계를 형성하는 센서들을 신속하게 찾아내는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 무선 센서 네트워크의 전체적인 구성 형태를 신속하게 파악하기 위해 센서들의 연결 정보만을 활용한다.

본 논문에서는 제안하는 알고리즘의 우수성을 다음과 같이 기술한다. 2장에서는 관련연구를 살펴보고, 제안하는 알고리즘의 기본 개념을 3장에서 설명한다. 4장에서는 제안한 알고리즘의 동작을 시뮬레이션으로 검증하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

무선 센서가 배치되어 인접한 센서를 인식하고 네트워크를 구성하면, 전체 네트워크에 대한 형태 및 연결구조, 홀의 크기 등을 파악하는 것은 네트워크 성능 및 효과를 분석하는데 있어서 매우 중요하다. 이러한 네트워크의 형태 및 연결 구조를 파악하기 위해 네트워크의 경계노드를 검출하는 다양한 방법이 분석되었으며, 이들 방법은 크게 위치정보를 활용하는 방법과 센서들 간의 연결정보를 활용하는 방법으로 구분할 수 있다.

먼저 위치정보를 활용하여 경계노드를 검출하는 방법으로서, 이러한 연구에서는 각 센서가 위치 정보를 가지고 있음을 가정한다. [4]는 각 센서가 인접한 다른 노드와의 거리를 구하여 경계노드 여부를 판단하는 방법을 제시한다. [5][6]은 센서가 다른 센서와 형성한 모든 중첩영역의 교차점이 다른 임의의 센서에 의해 포함되는지 여부를 확인함으로써 경계노드 여부를 판단한다. [7]은 들로네 삼각 분할[8]에 근거한 원을 이용하여 경계노드를 검출한다. 이들 접근 방법은 경계노드를 검출하기 위해 각 센서로부터 2 홉(hop) 거리 이상의 다른 센서 정보가 필요하며 이로 인해 과도한 계산 과정을 수행한다.

다음은 센서들 간의 연결 정보만을 활용하여 경계노드를 검출하는 방법으로서, 각 센서들은 위치 정보를 가지고 있지 않고 센서들의 연결 정보를 이용하여 경계노드를 검출한다. [9][10]은 2~3 홉 거리의 센서정보를 이용하여 각 센서의 차수(degree)에 따라 등고선(contour)을 형성하여 경계노드를 검출한다. [11]은 k 홉 거리의 센서와 원(circle)을 형성하는지를 확인함으로써 경계노드 여부를 판단한다. 하지만 이러한 접근 방법은 위치정보를 사용하지 않지만 반복되는 브로드캐스팅으로 인해 높은 통신비용 발생하며 경계노드를 너무 많이 표시한다.

본 논문에서는 센서들의 위치 정보를 활용하여 경계노드를 신속하게 검출하는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 기존 방법과는 다르게 1 홉 거리의 센서 정보만을 활용하며, 각 센서에서 분산 실행함으로써 네트워크 외부 및 내부 홀에 존재하는 경계노드를 실시간으로 검출한다.

III. 경계노드 검출

1. 모델 및 가정

대상 영역에 센서가 무작위로 배치되면, 센서는 위치 정보를 파악한 후 주기적으로 Hello 메시지를 브로드캐스팅 한다. Hello 메시지를 수신한 센서는 응답 메시지를 전송하고 Hello 메시지를 발송한 센서를 이웃노드로 인식한다.

센서는 각 이웃노드에 대해 거리, 감지영역의 중첩 범위를 계산한 후, 이를 바탕으로 센서의 감지영역 경계와

이웃노드들의 감지영역이 중첩되는 범위를 구한다. 그리고 이 범위가 센서를 중심으로 $0 \sim 2\pi$ 구간에서 연속인지를 확인함으로써 센서가 경계노드인지를 판단한다.

이를 위하여 본 논문에서는 다음과 같은 조건을 전제로 한다.

- 센서는 감지하고자 하는 대상 영역에 무작위로 배치된다.
- 모든 센서는 GPS 기능을 가지고 있으며, 대상 영역에 배치되면 자율적으로 위치 정보를 구할 수 있다.
- 센서의 감지거리(Sensing Distance)는 센서가 주변 환경을 감지하고 정보를 수집할 수 있는 거리를 의미하며 크기는 R 이다.
- 센서의 전송거리(Communication Distance)는 센서들이 수집한 정보를 서로 송수신할 수 있는 거리를 의미하며 크기는 센서 감지거리의 2배인 $2R$ 이다.
- 모든 센서는 동일한 종류이며, 따라서 감지거리, 전송거리가 모두 동일하다.

2. 용어 및 기본 개념

대상 영역에 배치된 센서 네트워크의 경계노드를 효과적으로 검출하는 알고리즘을 적용하기 위해 본 논문에서 사용된 용어와 이에 대한 기본개념은 다음과 같다.

- 감지영역 (Sensing Area) : 센서가 주변 환경의 변화를 감지할 수 있는 범위. 그림 1과 같이 감지영역은 센서의 감지거리 R 을 반경으로 하는 원이다.
- 중첩영역 (Overlap Area) : 서로 다른 센서들의 감지영역이 서로 중첩되는 영역. 그림 1에서 두 원의 교집합을 의미한다.
- 경계교차점 (Boundary Intersection Point) : 두 센서의 감지영역 경계를 따라 중첩영역이 시작하고 끝나는 지점. 그림 1에서 센서 $v(i)$ 와 $v(j)$ 에 의해 생성된 경계교차점은 $a(ij)$, $b(ij)$ 이다.
- 교차점 중심각 (Intersection Point Central Angle) : 센서와 다른 하나의 이웃 센서가 생성한 경계교차점을 경유하는 가상의 선이 센서의

중심에서 이루는 각. 그림 1에서 센서 $v(i)$ 와 센서 $v(j)$ 에 의해 생성된 두 개의 경계교차점 $a(ij)$, $b(ij)$ 의 교차점 중심각은 이 두 개의 교차점과 센서의 중심을 지나는 가상의 선 $a(ij)v(i)$ 와 $b(ij)v(i)$ 이 이루는 각 $\angle a(ij)v(i)b(ij)$ 이다.

- 중첩각 (Overlap Angle) : 센서와 센서의 모든 이웃노드에 의해 생성된 교차점 중심각을 통합한 각. 그림 2(a)에서 센서 $v(i)$ 의 이웃노드가 $v(j)$, $v(k)$, $v(l)$ 일 때, 이들 이웃노드들에 의해 생성된 센서 $v(i)$ 의 중첩각은 2개이며, 이들 중첩각은 각각 센서 $v(j)$ 에 의해 생성된 $\angle a(ij)v(i)b(ij)$, 센서 $v(k)$ 와 $v(l)$ 에 의해 생성된 $\angle a(il)v(i)b(ik)$ 이다. 그림 2(b)에서는 센서 $v(i)$ 의 모든 감지영역 경계가 이웃노드들의 감지영역과 중첩되므로 센서 $v(i)$ 의 중첩각은 2π 이다.

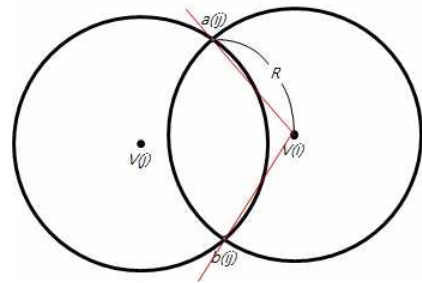
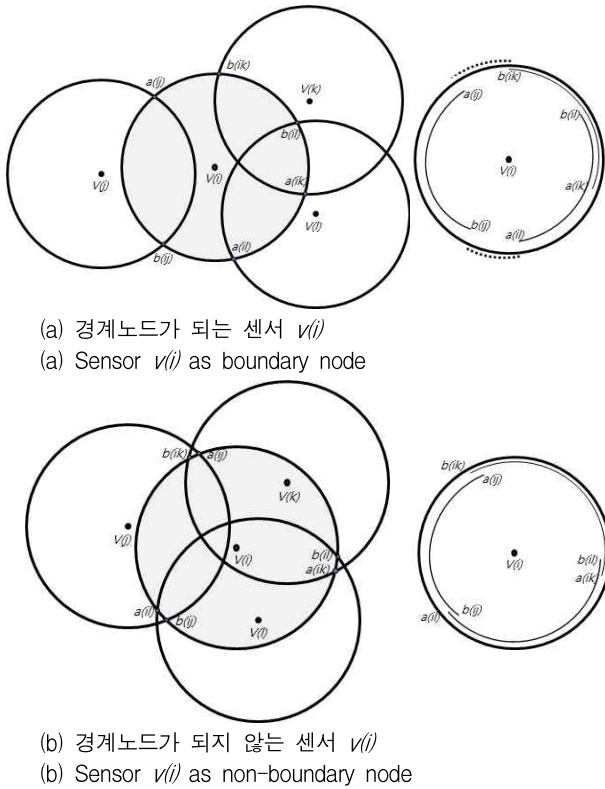


그림 1. 센서의 감지영역과 경계교차점
 Figure 1. Sensing area and boundary intersection points of sensors

센서의 경계노드 여부는 다음과 같이 구별한다. 센서는 모든 이웃노드에 대해 중첩각을 구하고, 중첩각이 $0 \sim 2\pi$ 구간에서 연속인지를 확인한다. 만일 중첩각이 $0 \sim 2\pi$ 구간에서 연속이면 이 센서는 다른 센서들에 의해 둘러싸여 있으므로 경계노드가 아니다. 하지만 중첩각이 $0 \sim 2\pi$ 구간에서 연속하지 않으면 단절된 구간에서 다른 센서들과 중첩영역이 없음을 의미하며, 따라서 센서 네트워크의 감지영역 경계에 위치하는 경계노드이다.

예를 들면, 그림 2(a)에서 센서 $v(i)$ 의 이웃노드는 센서 $v(j)$, $v(k)$, $v(l)$ 로 이루어져 있다. 센서 $v(i)$ 는 이웃노드들과 경계교차점 중심각을 각각 $\angle a(ij)v(i)b(ij)$, $\angle a(ik)v(i)b(ik)$, $\angle a(il)v(i)b(il)$ 을 형성한다. 이때, 경계교차점 중심각의 최솟값과 최댓값은 각각 0 , 2π 이나, 그림에서 점선으로 표시되는 두 개의 범위 $b(ik)a(ij)$,

$b(ij)a(il)$ 에서 불연속하기 때문에 경계노드이다. 반면에 그림 2(b)에서 센서 $v(i)$ 는 센서 $v(j), v(k), v(l)$ 를 이웃노드로 가지고 있으며 이웃노드들과 경계교차점 중심각을 각각 $\angle a(ij)v(i)b(ij), \angle a(ik)v(i)b(ik), \angle a(il)v(i)b(il)$ 을 형성한다. 이때, 교차점 중심각의 최솟값과 최댓값이 각각 $0, 2\pi$ 이고, 모든 범위에서 연속하기 때문에 경계노드가 아니다.



(a) 경계노드가 되는 센서 $v(i)$
(a) Sensor $v(i)$ as boundary node

(b) 경계노드가 되지 않는 센서 $v(i)$
(b) Sensor $v(i)$ as non-boundary node

그림 2. 센서 배치에 따른 경계노드 구분
Figure 2. Boundary node decision based on sensor deployment

3. 제안 알고리즘

본 논문에서 제안하는 경계노드 검출 알고리즘은 각 센서에서 지역적으로 분산되어 수행된다. 알고리즘의 동작은 그림 3과 같은 과정으로 이루어져 있다. 주요 과정에 대한 수행 내용은 다음과 같다.

- 이웃노드 구성

대상 영역에 무작위로 배치된 센서는 GPS 기능을 이용하여 위치를 파악한 후, Hello 메시지를 브로드캐스팅 한다. Hello 메시지는 센서의 고유번호(ID)와 위치 정보를 포함한다. Hello 메시지를 수신한 센서는 메시

지를 발송한 센서를 이웃노드로 인식하고, 이웃노드 집합 $N(i)$ 에 포함시킨다.

- 교차점 중심각 및 중첩각 추출

센서는 이웃노드 $N(i)$ 에 속한 모든 센서에 대해 개별적으로 센서 간 거리, 중첩영역, 교차점 중심각을 계산한다. 그리고 모든 이웃노드들과의 교차점 중심각을 모두 통합하여 센서의 중첩각을 구한다.

- 경계노드 여부 판단

센서의 중첩각이 $0 \sim 2\pi$ 범위에서 연속인지를 확인함으로써 센서가 경계노드인지 여부를 판단한다. 만일 중첩각이 $0 \sim 2\pi$ 구간에서 연속이면 센서는 다른 센서들에 의해 둘러싸여 있음을 의미하므로 경계노드가 아니다. 하지만 중첩각이 연속하지 않으면 센서는 네트워크의 경계면에 위치한다는 것을 의미하며, 따라서 센서는 경계노드이다.

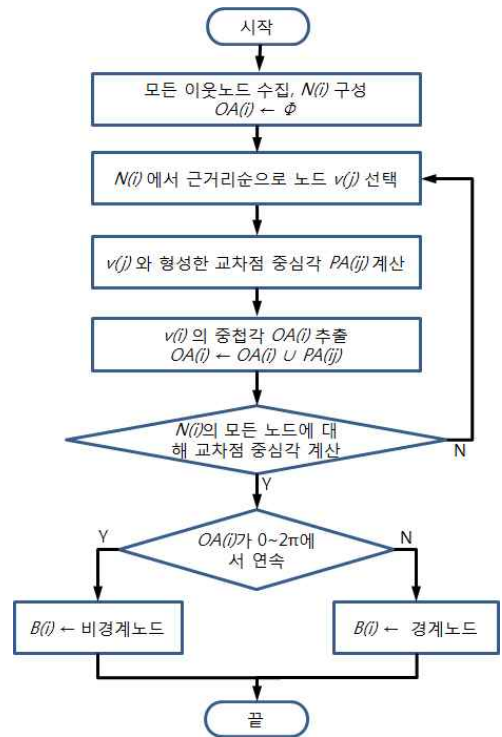


그림 3. 제안 알고리즘의 흐름도
Figure 3. Proposed algorithm flowchart

IV. 시뮬레이션 및 결과

1. 구현환경

제안하는 알고리즘의 동작을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 C++로 구현하였으며, 시뮬레이션 수행을 위해 설정한 파라미터와 초기 값은 다음의 표 1과 같다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
 Table 1. Simulation Parameters

파라미터		값
센서 개수	N	500~1500개
센서 배치영역	A	400m x 400m
감지신호 크기	R	20m
전송신호 크기	2R	40m

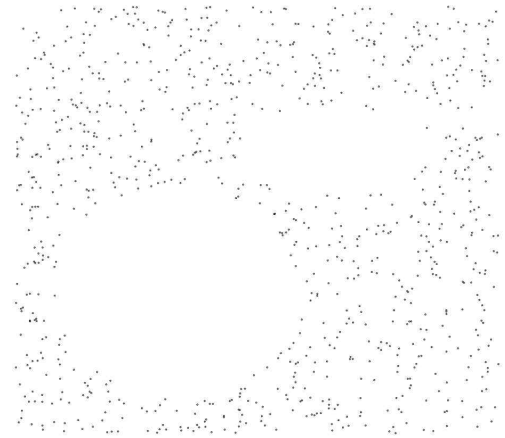
센서는 400m x 400m 정방형 영역에 500~1500개 범위에서 200개 단위로 다양한 개수를 무작위로 배치하였다. 센서는 동일 종류로서 주변 상황을 감지하는 감지신호의 크기는 20m이고 센서 간 통신을 위한 전송신호 크기는 감지신호의 2배 크기인 40m이다.

2. 시뮬레이션 결과

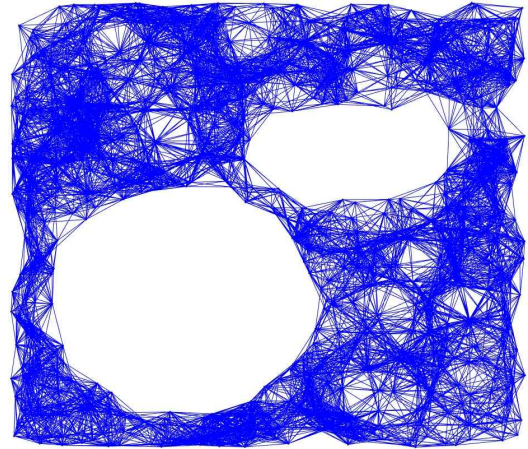
시뮬레이션을 수행한 결과는 그림 4와 같다. 그림 4(a)는 센서 1000개를 영역에 배치하였을 때의 초기 형태이다. 실제 환경을 최대한 반영하기 위해 장애물에 의해 센서가 배치되지 않은 홀을 2개 지역에 설정하였다. 그림에서 센서는 점으로 표시되며, 2개의 홀(hole)이 생성되었다. 그림 4(b)는 센서들이 Hello 메시지를 송수신하여 전송거리 이내에 존재하는 다른 센서들을 이웃노드로 인식하고 서로 링크를 설정한 결과이다. 그림 4(c)는 센서들이 중첩각을 계산하여 경계노드 여부를 판단한 결과이다. 그림에서는 큰 원으로 표시된 센서들이 경계노드이다. 센서 네트워크의 외부 경계면과 네트워크 홀의 경계면에 존재하는 센서들이 경계노드임을 보인다.

V. 결론

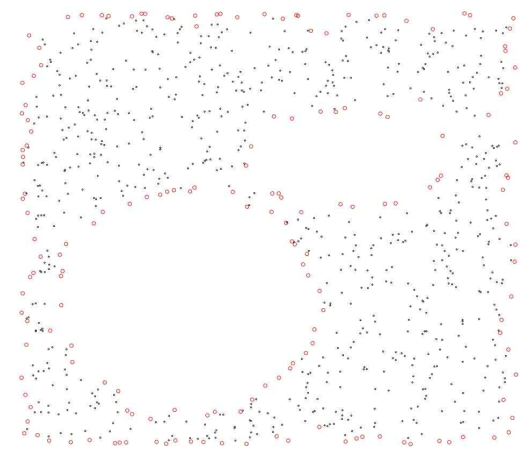
본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 경계노드를 효과적으로 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 경계노드는 네트워크의 외부 경계면 및 네트워크 홀의 경계면을 형



(a) 센서 배치
 (a) Sensor deployment



(b) 이웃노드와 링크 설정
 (b) Link establishment with neighbor nodes



(c) 경계노드 검출
 (c) Boundary node detection

그림 4. 센서 네트워크의 경계노드 검출
 Figure 4. Boundary nodes detection of sensor network

성하는 센서로서 이들 센서들의 위치를 추출함으로써 전체 네트워크의 형태를 파악할 수 있다. 제안한 알고리즘은 대상 영역에 무작위로 배치된 센서의 위치정보만을 활용하여 효과적으로 경계노드를 파악한다. 또한 검출 속도를 향상시키기 위해 센서는 이웃노드와의 거리에 따라 근접한 센서부터 중첩영역과 중첩각을 구하여 경계노드인지 여부를 판단한다.

제안한 알고리즘의 동작을 검증하기 위해 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 현실 세계를 최대한 반영하기 위해 정해진 영역에 2개의 장애물을 설정하고 센서의 개수를 500~1500개 범위에서 다양하게 배치하면서 반복 수행하였다. 시뮬레이션을 통하여 제안한 알고리즘이 네트워크 외부의 경계노드와 내부의 홀을 구성하는 경계노드를 최소 개수로 정확하게 검출하는 것을 확인하였다.

향후 연구에서는 센서의 위치 정보를 활용하지 않고 센서들의 연결 정보만을 활용하여 실시간으로 네트워크의 경계와 홀의 형태를 파악하는 방법을 분석하고자 한다.

References

- [1] Sabri, Naseer, et al. "Towards smart wireless sensor actor networks: Design factors and applications", IEEE Symposium on Industrial Electronics and Applications (ISIEA), pp. 704-708, 2011.
- [2] Y. C. Wang, F. J. Wu, and Y. C. Tseng, "Mobility management algorithms and applications for mobile sensor networks", Wireless Communications and Mobile Computing, vol. 12, no. 1, pp. 7 - 21, 2012.
- [3] M. Saoudi, et al. "D-LPCN: A distributed least polar-angle connected node algorithm for finding the boundary of a wireless sensor network". Ad Hoc Networks, pp. 56-71, 2017.
- [4] A. M. Khedr, W. Osamy, "Minimum connected cover of a query region in heterogeneous wireless sensor networks", Information Sciences, pp. 153-163, 2013.
- [5] W. T. Wang and K. F. Ssu, "Obstacle detection and estimation in wireless sensor networks", Computer Networks, vol. 57, no. 4, pp. 858 - 868, 2013.
- [6] L. Zhao, et al. "Detecting boundary nodes and coverage holes in wireless sensor networks", Mobile Information Systems, 2016.
- [7] W. Li and W. Zhang, "Coverage hole and boundary nodes detection in wireless sensor networks", Journal of Network and Computer Applications, vol. 48, pp. 35 - 43, 2015.
- [8] X. Y. Li, G. Calinescu, P. J. Wan and Y. Wang, "Localized delaunay triangulation with application in ad hoc wireless networks", IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 14, no. 10, pp. 1035 - 1047, 2003.
- [9] W. C. Chu and K. F. Ssu, "Location-free boundary detection in mobile wireless sensor networks with a distributed approach", Computer Networks, vol. 70, pp. 96 - 112, 2014.
- [10] B. Huang, W. Wu, G. Gao and T. Zhang, "Recognizing boundaries in wireless sensor networks based on local connectivity information", International Journal of Distributed Sensor Networks, vol. 2014, Article ID 897039, 12 pages, 2014.
- [11] I. M. Khan, N. Jabeur and S. Zeadally, "Hop-based approach for holes and boundary detection in wireless sensor networks," IET Wireless Sensor Systems, vol. 2, no. 4, pp. 328 - 337, 2012.
- [12] Y. Kim, "Clustering for improved Actor Connectivity and Coverage in Wireless Sensor and Actor Networks", Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 19, No. 8, pp. 63-71, 2014.
- [13] Y. M. Kim, et al. "Adaptive method for selecting Cluster Head according to the energy of the sensor node", International Journal of Advanced Culture Technology(IJACT), Vol. 4 No. 2, pp. 19-26, 2016.