

Adjacent Matrix-based Hole Coverage Discovery Technique for Sensor Networks

Mary Wu*

Abstract

Wireless sensor networks are used to monitor and control areas in a variety of military and civilian areas such as battlefield surveillance, intrusion detection, disaster recovery, biological detection, and environmental monitoring. Since the sensor nodes are randomly placed in the area of interest, separation of the sensor network area may occur due to environmental obstacles or a sensor may not exist in some areas. Also, in the situation where the sensor node is placed in a non-relocatable place, some node may exhaust energy or physical hole of the sensor node may cause coverage hole. Coverage holes can affect the performance of the entire sensor network, such as reducing data reliability, changing network topologies, disconnecting data links, and degrading transmission load. It is possible to solve the problem that occurs in the coverage hole by finding a coverage hole in the sensor network and further arranging a new sensor node in the detected coverage hole. The existing coverage hole detection technique is based on the location of the sensor node, but it is inefficient to mount the GPS on the sensor node having limited resources, and performing other location information processing causes a lot of message transmission overhead. In this paper, we propose an Adjacent Matrix-based Hole Coverage Discovery(AMHCD) scheme based on connectivity of neighboring nodes. The method searches for whether the connectivity of the neighboring nodes constitutes a closed shape based on the adjacent matrix, and determines whether the node is an internal node or a boundary node. Therefore, the message overhead for the location information strokes does not occur and can be applied irrespective of the position information error.

▶ Keyword: Sensor network, Coverage hole, Adjacent matrix, Link closed shapes, Boundary node

I. Introduction

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)는 전투 현장 감시, 침입 탐지, 재해 복구, 생물학적 탐지, 환경 감시 등과 같은 다양한 군사 및 민간 분야에서 해당 지역을 모니터링하고 제어하는데 활용된다. 센서는 감지 대상 지역에 임의로 배치되어 환경 데이터를 수집하고, 수집된 데이터는 싱크 노드에게 전송된 후, 어플리케이션에 의해서 가공되어 사용자에게 필요한 서비스로 제공된다[1-6].

센서 노드들이 관심 영역에 무작위로 배치되므로 환경 장애물로 인해 센서 네트워크 영역의 분리가 발생하거나 일부 영역에 센서가 존재하지 않는 경우가 발생한다. 또한 센서 노드가

재배치 불가능한 곳에 배치된 상황에서, 일부 노드가 에너지를 다 소진하여 일부 네트워크 영역이 센서 네트워크 활동에 더 이상 참여하지 못하는 상황이 발생한다. 즉, 커버리지 홀은 센서 노드의 무작위 배치로 인해 센서 네트워크 영역의 임의의 위치에 발생하거나 센서 노드의 수명이 다해서 발생할 수 있다. 이러한 커버리지 홀의 수와 크기는 시간이 지남에 따라 점진적으로 증가한다. 커버리지 홀은 데이터의 신뢰성을 감소시키고, 네트워크 토폴로지의 변경, 데이터 링크의 단절, 전송 부하를 악화시키는 등의 전체 센서 네트워크의 성능에 영향을 줄 수 있다[7-14].

• First Author: Mary Wu, Corresponding Author: Mary Wu

*Mary Wu (mary-wu@ytus.ac.kr), Dept. of Computer Culture, Youngnam Theological University and Seminary

• Received: 2019. 02. 19, Revised: 2019. 03. 29, Accepted: 2019. 04. 22.

커버리지 홀의 발견은 센서 네트워크의 주요 쟁점 중의 하나로써, 커버리지 홀은 홀의 경계 노드를 발견하여 검출할 수 있다. 검출된 커버리지 홀에 새로운 센서 노드를 추가로 배치하여 홀의 크기가 확산되는 것을 방지하거나, 센싱 데이터가 일정한 특성을 갖는다면 커버리지 홀 외부의 센싱 데이터로 커버리지 홀 내의 센싱 데이터의 값을 추정하여 해당 영역의 센서 데이터 신뢰성 감소의 문제를 보완 할 수 있다.

센서 네트워크 커버리지 홀을 발견하는 많은 연구가 있다. DHBND(Coverage Hole and Boundary Nodes Detection)[7]에서 센서 노드는 자신의 위치를 기반으로 이웃 노드들의 좌표를 인식하고, 이웃 간의 거리와 각도 정보를 기반으로 들로네 삼각형을 구성하여 커버리지 홀을 발견한다. 이 방법은 센서 노드들이 자신의 위치를 기준으로 이웃 노드의 위치정보를 인식하고, 들로네 삼각형을 구성하므로 위치정보를 교환하는 메시지 오버헤드가 발생하고, 신호세기에 기반한 좌표 및 거리 정보의 오차가 발생한다.

DCHD(Distributed Coverage Hole Detection)[8]는 센서 노드들이 자신의 이웃 노드 좌표와 센싱 반경 정보를 기반으로 자신의 센싱 반경과 이웃 노드의 센싱 반경의 교차점을 구하여 홀 경계 노드를 발견한다. 이 방법은 센서 노드들이 자신의 위치를 인식하는 환경에서 적용가능하다. 제한된 자원을 가지는 센서 노드에 GPS를 탑재하는 것은 비용측면에서 비효율적이고, 다른 위치정보처리를 수행하는 것은 많은 메시지 전송 오버헤드가 발생한다.

CGCHD(Computational Geometry based Coverage Hole Detection)[9]는 홀 경계 노드를 발견하기 위해서, 센서 노드는 두 홉 이웃 노드에 대한 위치 좌표 정보를 획득한다. 두 홉 이웃 노드 그룹에서 두 개의 이웃 노드를 선택하여 해당 센서 노드와 함께 삼각형을 구성하고, 삼각형 외접원의 중심이 다른 이웃 노드의 센싱 반경에 포함되는지의 여부를 검사한다. 해당 노드는 이러한 과정을 모든 두 홉 이웃 노드에 대해서 수행하고, 외접원의 중심이 다른 이웃 노드의 센싱 반경에 포함되지 않을 때, 자신과 이웃 노드들을 홀 경계 노드로 판별한다. 이 방법 역시 센서 노드의 전역 좌표를 기반으로 수행되므로, 비용측면에서 비효율적이다.

센서 네트워크에서 홀 탐색 및 복구의 기존의 연구가 노드의 상대 위치 또는 절대 위치의 좌표 정보를 기반으로 하는 기법으로 수행되는 것과 달리, 본 연구는 이웃 노드의 연결성 정보만을 기반한 인접행렬 커버리지 홀 탐색 AMHCD(Adjacent Matrix-based Hole Coverage Discovery) 기법을 제안한다. 제안하는 방법은 원홉 이웃 노드간 연결 정보를 교환하여, 각 노드는 투홉 이웃 노드까지의 연결성 정보를 획득하고, 이것을 기반으로 인접행렬을 구성한다. 인접행렬을 기반으로 이웃 노드들의 연결성이 자신을 둘러싼 폐도형을 이루는 지를 검색하여, 해당 노드가 내부 노드인지 경계 노드인지를 판단한다. 제안하는 방법은 위치 정보 획득을 위한 메시지 오버헤드와 위치 정보 오류 없이, 원홉 이웃 노드간의 연결성을 검사하여 커버리지 홀을 판단하므로 실제의 환경에서 적용하기에 쉽다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 소개

하고, 3장에서는 제안하는 기법 AMHCD를 기술한다. 4장에서는 기존 기법과의 성능평가를 통해서 제안하는 기법의 우수성을 보이고, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 연구 결과와 향후 연구방향에 대해서 설명한다.

II. Related works

DHBND[7]는 통신 반경과 센싱 반경이 다른 가정에서 커버리지 홀을 식별한다. 각 센서 노드는 원홉 이웃 노드에 대해서 자신을 원점으로 하는 지역 좌표를 구성한 후, 이웃 노드들과 들로네 삼각형을 구성한다. 들로네 삼각형으로 구성된 센서 노드는 자신의 이웃 노드에 대해서 들로네 삼각형을 구성하고, 이 과정을 센서 네트워크 전체에 대해서 수행한다. 센서 노드는 원홉 이웃 노드들 중에서 센서 노드로 내각의 최소값이 최대가 되도록 하는 다른 두 개의 센서 노드를 선택하여 들로네 삼각형을 구성한다. 들로네 삼각형의 외접원 안에는 다른 센서 노드가 존재하지 않고, 들로네 삼각형 외접원 반경 R 은 $abc/4S$ 의 값으로 나타난다.

외접원의 반경이 센서 노드의 센싱 반경보다 클 경우, 들로네 삼각형을 구성하는 센서 노드는 홀 경계 노드로 판단된다. 그림 1은 센서 노드 n_1, n_2, n_3 가 들로네 삼각형을 구성하고, 들로네 삼각형의 외접원 반경 R 이 센싱 반경 r 보다 큰 것을 보인다. 이 경우 n_1, n_2, n_3 는 홀 경계노드로 판단된다.

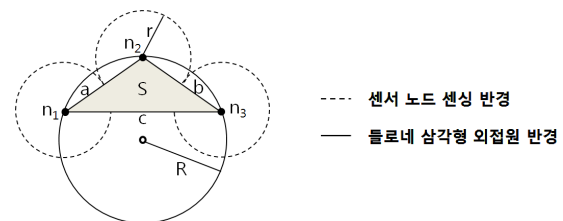


Fig. 1. Delaunay triangulation configuration of sensor nodes

홀 경계 노드들은 같은 커버리지 홀을 구성하는 노드들로 그룹화하는 과정을 수행한다. 이 과정을 통해서 전체 센서 네트워크에서 발생한 커버리지 홀들이 발견된다. 검출된 홀 경계 노드가 같은 커버리지 홀을 구성하는지의 기준은 다음의 두 가지의 경우에 해당한다. 두 개의 들로네 외접원의 중심선이 두 개의 들로네 삼각형 공통선을 지나지 않거나, 중심선이 삼각형의 공통선을 지나고 공통선의 길이가 센싱 반경의 2배보다 크면, 해당 경계 노드는 같은 커버리지 홀을 구성하는 것으로 판단된다.

그림 2는 홀 경계 노드로 선출된 노드가 같은 커버리지 홀을 구성하는지를 판단하는 모델이다. 그림 2a)는 두 개의 들로네 외접원의 중심선과 삼각형의 공통선이 서로 만나지 않는 것을 보이고, 그림 2b)는 두 개의 들로네 외접원의 중심선과 삼각형의 공통선이 만나는 경우를 보인다. 이 경우에 삼각형의 공통선이 센싱 반경의 2배 보다 크면, 해당 경계 노드는 같은 커버리지 홀

을 구성한다. 그림 2a), 2b) 두 경우 모두, 경계 노드 n_1, n_2, n_3 , n_4 은 같은 커버리지 홀을 구성한다.

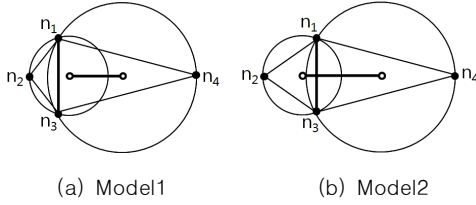


Fig. 2. The same coverage hole decision model

DCHD[8]는 모든 센서 노드는 전역 좌표를 가지고 통신 반경과 센싱 반경이 다른 가정에서 커버리지 홀을 식별한다. 센서 노드는 원홉 통신 이웃 노드의 위치와 센싱 반경 정보를 수집하여, 이웃 노드간 거리가 센싱 반경의 합보다 작은 이웃에 대해 센싱 범위에서 중복 영역의 형태를 검사한다. 이웃 노드의 센싱 영역이 현재 노드의 센싱 영역에 완전 중복되는 경우, 해당 노드는 이 이웃 노드는 중복 노드 목록에 추가한다. 그림 3a)에서 n_1 의 센싱 영역은 이웃 노드 n_2 의 센싱 영역을 완전히 포함하는 것을 보인다. 이웃 노드의 센싱 영역이 해당 노드의 센싱 영역에 부분적으로 중복되는 경우, 센서 노드는 센싱 영역의 교차점을 구하고, 이 교차점을 포함하는 다른 노드가 존재하는지를 검사한다. 이 교차점을 포함하는 이웃 노드가 존재하지 않을 때, 교차점을 구성하는 해당 노드와 이웃 노드는 홀 경계 노드로 판별된다. 그림 3b)에서 n_1 의 센싱 영역과 n_2 의 센싱 영역이 일부분 중복되는 것을 보인다. 이 경우, 센서 노드 n_1 은 센서 노드 n_2 의 센싱 영역 교차점 p 를 구하고, 다른 이웃의 센싱 영역이 이 교차점 p 를 포함하는지를 검사한다. 교차점 p 를 포함하는 센싱 이웃이 존재하지 않을 때, 자신과 교차점을 구성하는 이웃 노드 n_2 를 홀 경계 노드로 판별한다.

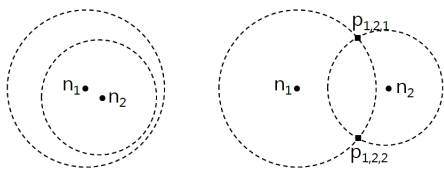


Fig. 3. Neighboring node sensing area model

홀 경계 노드가 같은 커버리지 홀에 속한지를 판단하기 위해서, 홀 경계 노드는 이웃 노드에게 ‘홀 경계 발견’ 메시지를 전송한다. 이 메시지를 받은 이웃 홀 경계 노드는 자신이 메시지를 전송한 홀 경계 노드와 같은 홀에 있음을 인식하고, 다시 이웃 노드에게 ‘홀 경계 발견’ 메시지를 전송한다. 이와 같은 방법으로 같은 커버리지 홀을 공유하는 경계 노드를 식별하여, 전체 센서 네트워크에서 커버리지 홀을 검출한다.

CGCHD[9]는 모든 센서 노드는 전역 좌표를 가지고 통신 반경과 센싱 반경이 같은 가정에서 커버리지 홀을 식별한다. 센서 노드는 두 홉 이웃 노드에 대한 위치 좌표를 획득한 후, 자신의 투홉 이웃 노드를 x축 기준으로 상위 노드 집합과 하위 노드 집합으로 나누고,

x축 값으로 이웃 노드들을 정렬한다. 그림 4는 센서 노드 n_1 은 상위노드 그룹을 $N_{\text{ux}} = \{n_3, n_2, n_4\}$ 와 같이 x축 값으로 오름차순으로 정렬하고, 하위노드 그룹을 $N_{\text{dx}} = \{n_5, n_6, n_7, n_8\}$ 와 같이 x축 값으로 내림차순으로 정렬한 것을 보인다. 센서 노드 n_1 은 상위 노드 그룹에서 차례대로 2개의 노드를 선택하여 삼각형을 구성하고, 외접원의 중심이 이웃 노드의 센싱 반경에 있는지를 판단한다. 그림 4a)에서, n_1, n_2, n_3 삼각형의 외접원의 중심이 이웃 노드의 센싱 반경에 포함되므로, 센서 노드 n_1, n_2, n_3 은 홀 경계에 있지 않고, 센서 노드 간에 서로 연결된 내부에 있다고 판단한다. 그림 4b)에서, n_1, n_3, n_4 삼각형의 외접원의 중심이 이웃 노드의 센싱 반경에 포함되지 않으므로, 센서 노드 n_1, n_3, n_4 은 하나의 커버리지 홀을 공유하고 있다고 판단한다. 이 과정은 모든 투홉 이웃 노드에 대해서 수행된다. 이 방법 또한, 전역 좌표를 기반으로 하므로, 센서 네트워크에 적용하기에 비용 측면에서 효율적이고, 위치 정보를 교환하는데 많은 양의 메시지 교환이 요구된다.

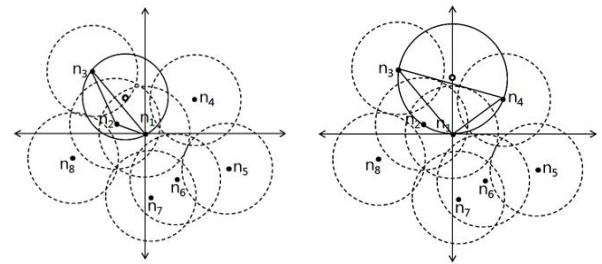


Fig. 4. Triangular and circumscribed models composed of neighboring nodes

Fig. 4. Triangular and circumscribed models composed of neighboring nodes

III. AMHCD(Adjacent Matrix-based Hole Coverage Discovery)

제한하는 연결성 기반 인접행렬 커버리지 홀 검출 방법은 자신의 이웃 노드의 연결성을 기반으로 홀 경계 노드를 판별한다. 이웃 노드의 연결성이 폐도형 형태로 둘러쌀 때, 해당 노드는 내부 노드로 판단되고, 주위를 폐도형 연결로 둘러쌀 수 없을 때, 홀 경계 노드로 판단된다. 이웃 노드간의 연결성을 파악하는 것은 인접 행렬의 계산으로 이루어진다. 커버리지 홀 검출은 홀 경계 노드 발견과 커버리지 홀 식별 과정으로 이루어지고, 홀 경계 노드 발견은 이웃 관계 인접행렬 생성, 인접행렬기반 내부 노드 판별, 인접행렬기반 홀 경계 노드 판별의 3단계로 이루어진다.

1. Hole boundary node discovery

1.1 Neighbor node adjacency matrix

센서 노드는 자신의 ID를 포함하여 ‘Hello’ 메시지를 발송하고, ‘Hello’ 메시지를 수신한 노드는 자신의 이웃 노드 목록에 ‘Hello’ 메시지를 송신한 원 홉 이웃 노드를 추가한다. 센서 노드가 이웃

목록을 작성하는 시간을 제한하기 위해서 이웃 노드 목록 타이머를 사용한다. 센서 노드는 'Hello' 메시지를 발송할 때, 이웃 노드 목록 타이머를 시작하고, 이웃 노드 목록 타이머가 만료되면, 센서 노드는 자신의 원홉 이웃 노드 정보를 포함하여 '원홉 이웃 목록' 메시지를 발송한다. '원홉 이웃 목록' 메시지를 수신한 이웃 노드는 투홉 이웃 노드까지 연결정보를 수집하고, 이 정보를 기반으로 '원홉 이웃 노드간 인접행렬'과 '원홉-투홉 이웃노드 인접행렬'을 생성한다. 그림 6은 그림 5의 센서 네트워크에서 센서 노드 38 '원홉 이웃 노드간 인접행렬'과 '원홉-투홉 이웃노드 인접행렬'을 나타낸다.

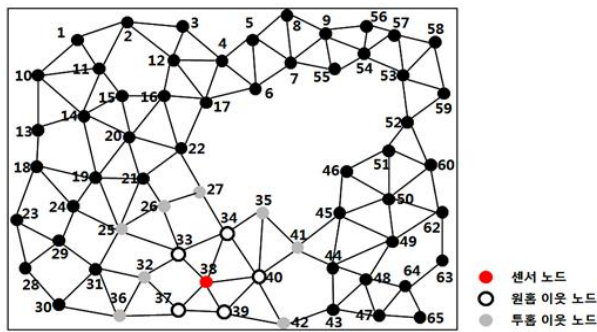


Fig. 5. Sensor network model

	33	34	37	39	40
33	0	1	0	0	0
34	1	0	0	0	1
37	0	0	0	1	0
39	0	0	1	0	1
40	0	1	0	1	0

	33	34	37	39	40
25	1	0	0	0	0
26	1	0	0	0	0
27	0	1	0	0	0
32	1	0	1	0	0
35	0	1	0	0	1
36	0	0	1	0	0
41	0	0	0	0	1
42	0	0	0	1	0

(a) Between one hop neighbor nodes (b) Between one hop and two hop neighbor nodes

Fig. 6. The adjacency matrices of node 38

1.2 Adjacent matrix-based internal node discrimination

센서 노드는 인접행렬을 기반으로 자신의 이웃 노드 연결성이 폐도형 형태로 되어 있는지를 검사한다. 그림 6(a)는 노드 38의 '원홉 이웃 노드간 인접행렬'이고, 행과 열은 노드 38의 원홉 이웃 노드를 나타낸다. 그림 6(b)는 노드 38의 '원홉-투홉 이웃노드 인접행렬'로써 행은 노드 38의 원홉 이웃 노드, 열은 노드 38의 투홉 이웃 노드를 나타낸다.

'원홉 이웃 노드간 인접행렬'에서 연결선의 시작 노드는 행의 합이 작은 노드를 선택한다. 그림 6(a)에서 33노드와 37노드의 행의 합이 1이고 나머지 노드의 행의 합은 2이므로, 33노드와 37노드 중 임의의 하나를 선택하여 알고리즘의 현재 노드로 지정하고, 이 노드를 연결선의 시작 노드로 지정한다. '원홉 이웃 노드간 인접행렬'에서 현재 노드의 열을 검사하여, 1의 값을 가지는 행을 다음 현재 노드로 지정한다. 그림 6(a)에서 33노드 열을 검사하여, 1의 값을 가지는 행이 34행이므로, 34를 다음 현재 노드로 지정한다. 34노드 열을 검사하여, 1의 값을 가지는 행이 33행과 40행인데,

33는 이전에 연결선에 포함되었으므로, 40을 다음 현재 노드로 지정한다. 40노드 열을 검사하여, 1의 값을 가지는 행이 34행과 39행인데, 34는 이전에 연결선에 포함되었으므로, 39를 다음 현재 노드로 지정한다. 39노드 열을 검사하여, 1의 값을 가지는 행이 37행과 40행인데, 40은 이전에 연결선에 포함되었으므로, 37을 다음 현재 노드로 지정한다. 37노드 열을 검사하여, 1의 값을 가지는 행이 39행인데, 39는 이전에 연결선에 포함되었으므로, 다음 현재 노드로 지정할 노드가 없음을 확인한다. 모든 원홉 이웃 노드에 대한 검사를 마치면, 연결선을 확인하여, 시작 노드와 끝 노드가 연결성을 가지는지 확인한다. 원홉 이웃 노드간 연결선은 33-34-40-39-37로 구성된다.

'원홉 이웃 노드간 인접행렬'에서 시작 노드의 열과 끝 노드의 행이 1의 값을 가질 때, 시작 노드와 끝 노드는 서로 원홉 관계에 있고, 이로 인해 해당 노드의 원홉 이웃 노드들로 이루어진 노드들이 폐도형의 형태로 서로 연결되어 있음을 확인한다. 시작 노드의 열과 끝 노드의 행이 0의 값을 가질 때, '원홉-투홉 이웃노드 인접행렬'에서 시작 노드와 끝 노드의 연결성을 확인한다. 그림 6(a)의 '원홉 이웃 노드간 인접행렬'에서 시작 노드 33열과 37행의 값이 0이므로 '원홉-투홉 이웃노드 인접행렬'에서 두 노드의 연결성을 검사한다. 그림 6(b)에서 시작 노드 33열과 끝 노드 37행이 동시에 연결성을 가지는 행이 32행에서 존재하므로, 시작 노드와 끝 노드간의 연결성이 있음을 확인한다. 해당 노드 38은 이웃 노드간에 폐도형의 연결성을 이루는 것을 확인하고, 자신을 내부 노드로 판단한다. 시작 노드와 끝 노드가 '원홉-투홉 이웃노드 인접행렬'에서 연결성을 가지지 않을 경우, 해당 노드는 경계 후보 노드로 판단된다.

다음은 인접행렬기반 내부 노드 판별의 알고리즘이고, 이 알고리즘은 센서 네트워크 모든 노드에서 수행되어 자신이 홀 경계 노드인지를 판단한다.

Table 1. Notation of elements in an algorithm

N_C	The current node
L_C	The current node of connecting line
L_S	The start node of connecting line
L_E	The end node of connecting line
A₁₋₁	Adjacency matrix between one hop neighbor nodes
A₁₋₂	Adjacency matrix between one hop and two hop neighbor nodes
N_R	Reference node
N_I	Internal node
N_{BC}	Boundary candidate node
N_B	Boundary node
N _C ← A node with a small sum of a row in the adjacent matrix	
L _C ← N _C	
For each node i	
// i=[1:N], N : the number of one hop neighbors	
If there is the '1' element in the N _C column of A ₁₋₁ , L _C ← the row and N _C ← the row	
End For	
Check connectivity of L _S and L _E	
If the value of the row of L _S and the row of L _E in the A ₁₋₁ is 1, L _S and L _E are connected	
If there is a row in which the columns of L _S and L _E are both 1 in the A ₁₋₂ , L _S and L _E are connected	
If L _S and L _E have connectivity, N _R is identified as a N _I or a N _{BC}	

1.3 Adjacent matrix-based hole boundary node discrimination

인접행렬기반 내부 노드 판별과정에서 시작 노드와 끝 노드 사이에 연결성이 없을 경우, 해당 노드는 경계 후보 노드가 되고, 시작 노드와 끝 노드의 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’ 정보를 기반으로 경계 노드 판단을 수행한다. 그림 7은 센서 노드 40을 기준으로 원홉 이웃 노드와 투홉 이웃 노드를 나타내고, 그림 8은 센서 노드 40의 ‘원홉 이웃 노드간 인접행렬’과 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’을 나타낸다. ‘원홉 이웃 노드간 인접행렬’에서 행의 합이 작은 노드가 41과 42이므로, 임의의 41노드를 시작 노드로 지정하여 41-35-34-38-39-42의 연결선을 가진다. 시작 노드와 끝 노드의 연결성을 확인하기 위해서, 그림 8a)의 ‘원홉 이웃 노드간 인접행렬’에서 시작 노드 41열과 끝 노드 42행의 값이 0이므로 시작 노드와 끝 노드간에 원홉 연결은 없는 것으로 판단된다. 그림 8b)의 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’에서 시작 노드 41열과 끝 노드 42열이 동시에 연결성을 가지는 행이 존재하지 않으므로 센서 노드 40은 경계 후보 노드로 판단된다.

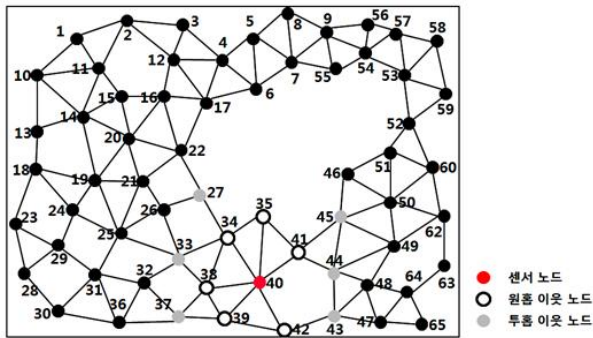


Fig. 7. Sensor network model

	34	35	38	39	41	42
34	0	1	1	0	0	0
35	1	0	0	0	1	0
38	1	0	0	1	0	0
39	0	0	1	0	0	1
41	0	1	0	0	0	0
42	0	0	0	1	0	0

	34	35	38	39	41	42
27	1	0	0	0	0	0
33	1	0	1	0	0	0
37	0	0	1	1	0	0
43	0	0	0	0	0	1
44	0	0	0	0	1	0
45	0	0	0	0	1	0

(a) Between one hop neighbor nodes (b) Between one hop and two hop neighbor nodes

Fig. 8. The adjacency matrices of node 40

경계 후보 노드는 시작 노드와 끝 노드에게 ‘경계 후보 노드 알림’ 메시지를 전송하면, 시작 노드와 끝 노드는 자신의 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’ 정보를 포함하여 응답 메시지를 전송한다. 해당 노드는 시작 노드의 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’을 기반으로 최종 경계 노드 판단을 수행한다.

그림 9a)는 시작 노드 41의 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’이고, 그림 9b)는 끝 노드 42의 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’이다. 해당 노드는 시작 노드와 끝 노드의 ‘원홉-투홉 이웃노드

인접행렬’에서 연결선에 포함된 노드를 제외한 열을 조사한다. 시작 노드 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’에서 연결선에 포함된 노드 35, 노드 40 열을 제외하고, 남은 노드 44열, 45열에 대해서 검사한다. 끝 노드 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’ 연결선에 포함된 노드 39, 노드 40 열을 제외하고, 남은 노드 43열에 대해서 검사한다.

먼저, 시작 노드의 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’에서 열의 요소 중, 끝 노드에 해당하는 연결이 있는지 검사한다. 시작노드의 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’에서 노드 44열과 끝 노드의 원홉 노드에 해당하는 43행이 1의 값을 가지므로, 시작 노드와 끝 노드는 연결성을 가지는 것으로 판단된다.

시작노드의 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’에서 열의 요소 중에 끝 노드행의 값이 1을 가지는 요소가 없을 때, 다음 단계의 연결성 판단 과정이 수행된다. 시작 노드 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’의 행과 끝 노드 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’의 같은 행이 있고, 그리고 값이 1이 되는 열이 존재하면, 시작 노드와 끝 노드는 연결성이 있다고 판단된다. 그림 9에서 노드 48 행이 시작 노드 41의 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’과 끝 노드 42의 ‘원홉-투홉 이웃노드 인접행렬’에서 모두 존재하고, 그 값이 1이 되는 열이 두 인접행렬에서 존재한다.

	35	40	44	45
34	1	1	0	0
38	0	1	0	0
39	0	1	0	0
42	0	1	0	0
43	0	0	1	0
46	0	0	0	1
48	0	0	1	0
49	0	0	1	1
50	0	0	0	1

	39	40	43
34	0	1	0
35	0	1	0
37	1	0	0
38	1	1	0
41	0	1	0
44	0	0	1
47	0	0	1
48	0	0	1

(a) Start node (node 41) (b) End node (node 42)

Fig. 9. Adjacent matrices between one hop and two hop neighbor nodes

다음은 인접행렬기반 홀 경계 노드 판별의 알고리즘이다.

1. Determine the final boundary node;
By checking columns in the A_{1-2} of L_S , if there is a case where the value of the L_E node row becomes 1, L_S and L_E are connected. Go to 3
2. Determine the final boundary node;
By checking columns in the A_{1-2} of L_S and L_E , If there is an identical row with a value of 1, L_S and L_E are connected
3. If L_S and L_E don't have connectivity, N_{R_i} is identified as a N_B

그림 10은 홀 경계 노드 발견의 3단계 과정을 거친 결과이다. 센서 노드 40의 이웃 노드간의 연결성이 폐도형의 형태를 가지므로 노드 40은 내부 노드로 판단된다.

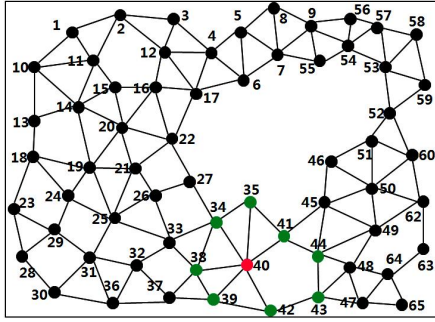


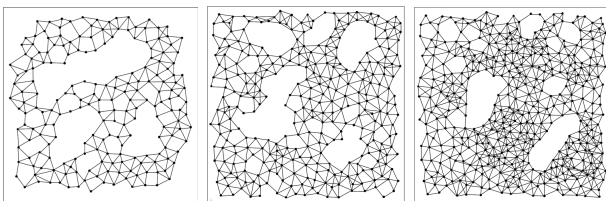
Fig. 10. Neighboring nodes in closed shape

2. Identifying coverage holes

같은 커버리지 홀을 이루는 홀 경계 노드는 같은 커버리지 홀 id를 가진다. 이것을 위해서, 홀 경계 노드는 임의의 수를 발생시키고, 이것을 자신의 커버리지 홀 id값으로 설정하고, ‘커버리지 홀 식별’ 메시지에 포함하여 이웃 경계 노드에게 전송한다. ‘커버리지 홀 식별’ 메시지는 자신의 id, 커버리지 홀 id, 시작 노드 id, 끝 노드 id를 포함한다. 이웃 경계 노드로부터 ‘커버리지 홀 식별’ 메시지를 수신한 경계 노드는 메시지에 포함된 시작 노드 id나 끝 노드 id 중에 자신의 id가 있으면, 같은 커버리지 홀임을 인식한다. 자신의 커버리지 홀 id와 이웃 경계 노드로부터 수신한 커버리지 홀 id 값을 비교하여, 작은 값을 커버리지 id를 자신의 커버리지 id로 하고, ‘커버리지 홀 식별’ 메시지에 포함하여 이웃 노드로 전송한다. 자신의 커버리지 홀 id 값과 이웃 경계 노드로부터 수신한 ‘커버리지 홀 식별’ 메시지의 커버리지 홀 id 값과 같을 때, ‘커버리지 홀 식별’ 메시지 전송을 중단한다.

IV. Experiment

제한한 인접행렬 기반 커버리지 홀 발견 AMHCD 기법의 효율성을 검증하기 위해서 실험을 수행하였다. 비교 대상은 센싱 반경 교차점을 기반한 DCHD를 사용하였다. C언어를 이용하여 200m x 200m의 영역에 200개, 300개, 400개의 노드를 임의로 배치하여 실험하였다. 전송범위는 30m, 제어 메시지 512kbit, 데이터 메시지 2048kbit를 사용하였다. 그림 11의 센서 노드가 200개, 300개, 400개인 토폴로지에서 계산량, 메시지에 대한 실험을 수행하였다.



(a) 200 nodes (b) 300 nodes (c) 400 nodes

Fig. 11. Sensor network model

DCHD 기법에서 센서 노드의 위치를 얻기 위해서, 위치 인식 방법 AOA(Angle of arrival)[15]를 사용하였다. AOA는 센서 노드의 위치를 인식하기 위해서, 메시지 수신 거리와 각도를 이용한다. 그림 12는 센서 노드의 위치를 얻기 위한 AoA기법의 모델이다. Anchor 노드는 기준 노드이고, r_1 은 Anchor 노드로부터 측정된 거리이고, α_1 는 수신된 메시지의 각도이다.

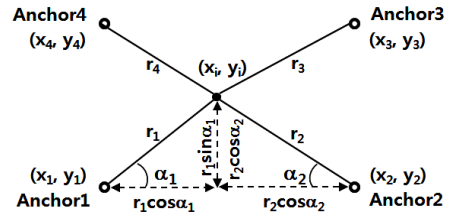


Fig. 12. AoA Location Technique

그림 12에서 식 [1]을 만들고, 센서 노드의 위치는 [2]에 의해서 계산된다.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \\ 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, X = \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix}, b = \begin{bmatrix} x_1 + r_1 \cos \alpha_1 \\ y_1 + r_1 \sin \alpha_1 \\ x_2 - r_2 \cos \alpha_2 \\ y_2 + r_2 \sin \alpha_2 \\ x_3 - r_3 \cos \alpha_3 \\ y_3 - r_3 \sin \alpha_3 \\ x_4 + r_4 \cos \alpha_4 \\ y_4 - r_4 \sin \alpha_4 \end{bmatrix} \quad [1]$$

$$X = (H^T H)^{-1} H^T b \quad [2]$$

그림 13은 DCHD와 제안한 AMHCD 기법의 계산량 비교 실험의 결과이다. 제안한 AMHCD 기법이 DCHD 기법보다 약 26% 계산량의 향상을 보인다. DCHD 기법은 모든 센서 노드가 절대 좌표를 생성하므로 많은 계산량이 요구되는 것으로 분석된다.

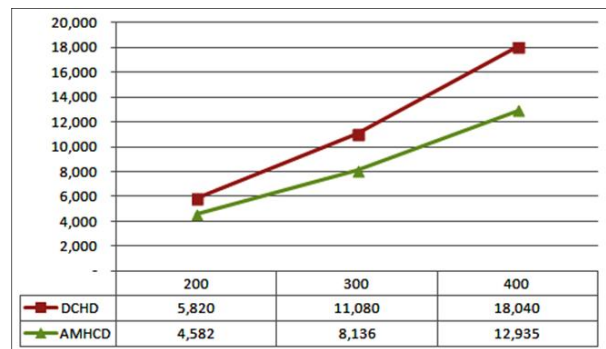


Fig. 13. Amount of calculation of the hole coverage detection methods

그림 14는 DCHD와 제안한 AMHCD 기법의 메시지 전송량 비교 실험의 결과이다. DCHD 기법은 절대 좌표를 구성하기 위한

메시지가 전송되고, 이후 자신의 좌표와 센싱 반경을 알리는 메시지가 전송된다. 또한 이웃 노드의 센싱 반경이 일부 중복될 경우, 교차점을 구하고, 교차점이 어떤 이웃 노드의 센싱반경 안에 들지 않을 때, 경계 노드임을 알리는 메시지가 전송된다. 제안한 AMHCD 기법에서는 센서 노드가 Hello 메시지, 원홉 이웃 목록 메시지, 경계 후보 노드일 경우, ‘경계 후보 노드 알림’ 메시지를 전송한다. 실험 결과는 제안한 AMHCD 기법이 DCHD 기법보다 약 22% 적은 양의 메시지를 전송하는 것을 보인다.

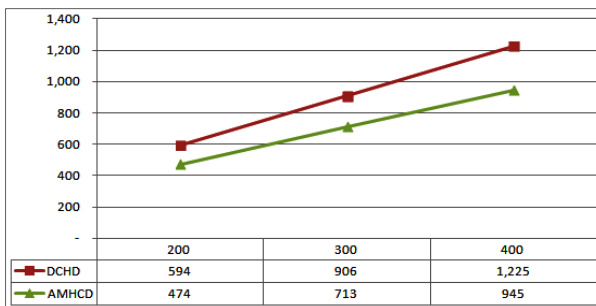


Fig. 14. Amount of message of the hole coverage detection methods

V. Conclusions

본 논문은 센서 네트워크에서 발생하는 커버리지 홀을 인접 행렬을 기반으로 발견하는 기법을 제안했다. 기존의 연구에서 제안하는 커버리지 홀 기법은 센서 노드의 위치를 기반하여, 경계 노드를 판별하고, 커버리지 홀을 식별하는 방법으로, 제한된 자원을 가지는 센서 노드에 위치 기법을 적용하는 것은 오류발생과 에너지 사용면에서 실질적으로 적용하기에 매우 부적합한 것을 판단된다. 제안하는 AMHCD 기법은 이웃의 연결 정보를 인접행렬을 구성하고, 원홉 이웃 노드가 폐도형의 연결성을 가지는지 판단하여, 해당 노드가 내부 노드인지 경계 노드인지를 판단한다. 계산량과 메시지량의 비교 실험에서 기존의 기법보다 높은 효율성을 보여준다. 메시지 전송량은 노드의 에너지 소모량과 매우 높은 연관성이 있으므로, 제안한 기법은 센서 노드의 제한된 에너지 자원을 효율적으로 사용하는 것을 보인다.

향후 연구로써 제안한 연구에 대해서 시뮬레이터를 통한 실험을 수행하고, 분석한 결과에 기반하여, 최적의 위치에 센서 노드를 추가하는 연구를 진행할 계획이다.

REFERENCES

[1] Xiaoqing Yu, Pute Wu, Wenting Han, Zenglin Zhang, "A survey on wireless sensor network infrastructure for

agriculture," *Computer Standards & Interfaces*, Vol. 35, Issue 1, pp. 59-64, Jan. 2013.

[2] Mary Wu, Hyunjin Park, ChongGun Kim, "Multihop Routing based on the Topology Matrix in Cluster Sensor Networks," *Journal of The Institute of Signal Processing and Systems*, Vol. 14, No. 1, pp. 45-50, Jan. 2013.

[3] Zhao Han, Jie Wu, Jie Zhang, Liefeng Liu, Kaiyun Tian, "A general self-organized tree-based energy-balance routing protocol for wireless sensor network," *IEEE Transactions on Nuclear Science*, Vol. 61, Issue 2, pp. 732-740, Apr. 2014.

[4] Mary Wu, "Balanced Cluster-based Multi-hop Routing in Sensor Networks," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 19, No. 5, pp. 910-917, May. 2016.

[5] Mary Wu, "An Efficient Routing Protocol for Mobile Sinks in Sensor Networks," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 20, No. 4, pp. 640-648, Apr. 2017.

[6] Mary Wu, "Strong Connection Clustering Scheme for Shortest Distance Multi-hop Transmission in Mobile Sensor Networks," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 21, No. 6, pp. 667-677, Jun. 2018.

[7] Wei Li, Wei Zhang, "Coverage hole and boundary nodes detection in wireless sensor networks," *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 48, pp. 35-43, Feb. 2015.

[8] Ahmed M. Khedr, Walid Osamy, Ahmed Salim, "Distributed coverage hole detection and recovery scheme for heterogeneous wireless sensor networks," *Computer Communications*, Vol. 124, pp. 61-75, Jun. 2018.

[9] Hwa-Chun Ma, Prasan Kumar Sahoo, Wen-Wen Chen, "Computational Geometry based distributed coverage hole detection protocol for the wireless sensor networks," *Journal of Network and Computer Applications*, Vol. 34, Issue 5, pp. 1743-1756, Sep. 2011.

[10] Anju Sangwan, Rishi Pal Singh, "Coverage Hole Detection and Healing to Enhance Coverage and Connectivity in 3D Spaces for WSNs: A Mathematical Analysis," *Wireless Personal Communications*, Vol. 96, Issue 2, pp. 2863-2876, Sep. 2017.

[11] Shuangjiao Zhai, Zhanyong Tang, Dajin Wang, Zhanglei Li, Xiaojiang Chen, Dingyi Fang, Feng Chen, "Coverage Hole Detection and Recovery in Wireless Sensor Networks Based on RSSI-Based Localization," *IEEE International Conference on Computational Science and Engineering (CSE) and IEEE International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC)*, 21-24 Jul. 2017.

[12] Tarachand AmgothEmail author, Prasanta K. Jana, "Coverage hole detection and restoration algorithm for wireless sensor networks," *Peer-to-Peer Networking*

- and Applications, Vol. 10, Issue 1, pp. 66-78, Jan. 2017.
- [13] Wei Li, Yuwei Wu, "Tree-based coverage hole detection and healing method in wireless sensor networks," Computer Networks, Vol. 103, pp. 33-43, Jul. 2016.
- [14] Rachid Beghdad, Amar Lamraoui, "Boundary and holes recognition in wireless sensor networks," Journal of Innovation in Digital Ecosystems, Vol. 3, Issue 1, pp. 1-14, Jun. 2016.
- [15] Aditi Shrivastava, Priya Bharti, "Localization Techniques for Wireless Sensor Networks," International Journal of Computer Application, Vol 116, No. 12, pp. 13-18, Apr. 2015.

Authors



Mary Wu received the B.S. degrees in Mathematics and the M.S. degrees and the Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from Yeungnam University, Korea, in 1996, 2001 and 2005, respectively. Dr. Wu was a lecture professor in

Computer Science and Engineering from Yeungnam University from 2005 to 2012. She has been working as an assistant professor in Computer Culture from Youngnam Theological University and Seminary since 2013. She is interested in Mobile Computing, Wireless Network, Sensor Network, Big Data, IoT