

# 센서 네트워크에서 센싱 반경 교차점 기반 홀 복구 기법

우 매 리<sup>†</sup>

## A Sensing Radius Intersection Based Coverage Hole Recovery Method in Wireless Sensor Network

Mary Wu<sup>†</sup>

### ABSTRACT

Since the sensor nodes are randomly arranged in the region of interest, it may happen that the sensor network area is separated or there is no sensor node in some area. In addition, after the sensor nodes are deployed in the sensor network, a coverage hole may occur due to the exhaustion of energy or physical destruction of the sensor nodes. The coverage hole can greatly affect the overall performance of the sensor network, such as reducing the data reliability of the sensor network, changing the network topology, disconnecting the data link, and worsening the transmission load. Therefore, sensor network coverage hole recovery has been studied. Existing coverage hole recovery studies present very complex geometric methods and procedures in the two-step process of finding a coverage hole and recovering a coverage hole. This study proposes a method for discovering and recovering a coverage hole in a sensor network, discovering that the sensor node is a boundary node by itself, and determining the location of a mobile node to be added. The proposed method is expected to have better efficiency in terms of complexity and message transmission compared to previous methods.

**Key words:** Hole Boundary, Hole Recovery, Radius Intersection, Mobile Node, Coverage Redundancy

### 1. 서 론

무선 센서 네트워크는 수많은 센서 노드들을 특정 지역에 배치하여 환경 및 생물학적 모니터링, 전투 현장 모니터링, 침입 감지, 재난 감지, 시설 상태 감지 등과 같은 다양한 목적으로 발생하는 현상을 모니터링하고 적절한 제어를 수행하기 위해서 사용된다. 센서 노드들은 특정 지역에 배치되어 상태 데이터를 수집하고, 수집한 데이터를 무선 통신을 통하여 싱크 노드로 전송한다. 싱크 노드가 센서 노드로부터 수집한 데이터는 사용목적에 맞게 분석 및 가공되어, 사용자 어플리케이션의 형태로 서비스된다[1-6].

센서 노드들이 특정 영역에 무작위 방식으로 배치

될 때, 센서 네트워크에서 센서 노드의 밀도는 일정하지 않을 수 있다. 센서 노드의 밀도가 낮은 영역에서, 센서 노드가 배치되지 않으므로 일정 영역에 대해서 환경 정보를 센싱하지 못하는 영역, 커버리지 홀이 발생할 수 있다. 이 커버리지 홀은 환경에 존재하는 장애물에 의해서도 발생할 수 있다. 센서 네트워크를 구성하는 센서 노드는 소형으로 제한된 자원과 배터리를 에너지원으로 동작하는데, 센서 노드는 배터리를 교환하거나 재충전하여 사용하기 어려우므로 일부 노드가 에너지를 다 소진할 때, 해당 센서 노드가 배치된 일부 네트워크 영역이 더 이상 그 기능을 수행하지 못하는 상황이 발생한다. 즉, 센서 네트워크 커버리지 홀은 센서 노드의 임의 배치로 인해

※ Corresponding Author : Mary Wu, Address: (38451) 26, Bonghoe 1-gil, Jillyang-eup, Gyeongsan-si, Gyeong-sangbuk-do, Republic of Korea, TEL : +82-53-850-0580, FAX : +82-53-852-9815, E-mail : mary-wu@hanmail.net

Receipt date : Dec. 30, 2020, Revision date : Jan. 29, 2021  
Approval date : Feb. 3, 2021

<sup>†</sup> Dept. of Computer Culture, Youngnam Theological University and Seminary, Korea

발생하거나 수명이 다한 센서 노드가 제 기능을 수행하지 못함으로써 발생할 수 있다. 센서 네트워크에서 커버리지 홀의 개수와 크기는 시간에 따라 점차적으로 증가할 수 있다. 커버리지 홀의 발생은 네트워크 토폴로지의 변경 및 데이터 전송링크의 단절로 인해, 데이터의 신뢰성을 감소시키고, 정상적인 네트워크를 위한 추가 프로세서의 요구 및 메시지 전송 부하 발생 시키는 등, 전체 센서 네트워크의 성능에 큰 영향을 끼친다[7-18].

커버리지 홀의 발견 및 복구는 센서 네트워크의 데이터 신뢰성 및 지연, 효율적인 센서 네트워크를 수행하기 위한 중요한 요소로써, 커버리지 홀을 발견하고 복구하는 많은 연구가 존재한다. 센서 네트워크에서 커버리지 홀은 커버리지 홀 경계의 노드들이 가지는 특징을 이용하여 발견할 수 있다. 커버리지 홀을 복구하기 위해서 기존의 센서 노드들이 커버리지 홀로 이동하거나 새로운 이동 노드를 추가로 배치하여 커버리지 홀 문제를 해결할 수 있다. 이동 기능을 가지는 센서 노드는 고정 센서에 비해 더 큰 비용이 요구되므로 센서 네트워크의 모든 센서 노드가 이동 기능을 가지는 것은 비용 면에서 비효율적이다. 이동 노드를 추가하여 커버리지 홀을 복구할 때, 비용 효율적인 커버리지 복구를 위해서는 최소의 이동 노드로 최대의 커버리지 효과를 달성하는 방법이 요구된다. 즉, 새로 추가할 이동 노드의 위치를 결정할 때, 커버리지 홀을 최대화하기 위한 최적의 위치를 결정하고, 센싱 영역 중복성을 최소화할 수 있는 것이 중요한 요소로 고려된다. 특정 어플리케이션이 요구하는 커버리지 수준은 그 특징에 따라 다르다. 예를 들면, 높은 수준의 보안을 요구하는 군사 감시 어플리케이션의 경우는 높은 수준의 커버리지 홀을 요구되는 반면, 다른 종류의 어플리케이션은 높은 수준의 커버리지 홀을 요구하지 않을 수 있다. 커버리지 수준의 요구에 따라 고정 노드 수에 대한 이동 노드의 수에 대한 비율이 결정된다.

커버리지 홀에 대한 많은 연구가 있다. 센서 네트워크를 들로네 삼각형 또는 보르노이 다각형으로 구성하거나 이웃 간의 기하학적 특징을 적용하여 해당 센서 노드가 경계 노드인지를 판별하고, 경계 노드로 판별된 경우, 이웃 경계 노드와의 다각형의 기하학적 특징을 검증하여 하나의 커버리지 홀을 발견한다[7-10]. 이 방법들은 센서 노드들이 다각형을 구성하

기 위해서 이웃간의 위치정보를 기반으로 복잡한 계산을 수행하고, 결정된 커버리지 홀 경계 노드가 같은 커버리지 홀임을 판단하기 위한 복잡한 계산과 절차를 요구한다. 또한 이 방법들은 이러한 과정을 거친 후, 커버리지 복구를 위한 절차를 수행할 필요가 있다.

본 연구의 이전 연구에서 각 센서 노드가 가지는 이웃 노드 간 원홉 이웃관계에 대한 인접행렬을 기반으로 커버리지 홀 경계 노드인지 판단하는 알고리즘을 제안되었다[17,18]. 센서 노드가 홀 경계 노드로 판단되면, 커버리지 홀 경계 노드가 커버리지 홀을 발견하는 과정에서 추가할 이동 노드의 위치가 결정된다. 이 방법은 이웃간의 인접행렬을 구성하고, 경계 노드인지 판별하는 과정에서 복잡한 알고리즘을 수행한다. 본 연구는 센서 네트워크에서 커버리지 홀을 발견하고 복구하는 과정을 분리하지 않고, 센서 노드 스스로 경계 노드임을 발견하고, 추가할 이동 노드의 위치를 결정하는 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 이전 기법들에 비해서, 매우 심플하고 직관적인 방법으로 커버리지 홀을 복구한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 커버리지 홀 관련 기존 연구를 소개하고, 3장에서는 센싱 반경 교차점 기반 커버리지 홀 복구 기법을 기술한다. 4장에서는 제안한 기법의 성능평가 실험 및 분석을 수행하고, 마지막으로 5장에서는 결론 및 향후 연구를 기술한다.

## 2. 관련연구

Li는 센서 네트워크에서 센서 노드들을 들로네 삼각형으로 구성하여 커버리지 홀 경계 노드를 발견하는 방법을 제안하였다[7]. 센서 노드는 자신의 위치와 원홉 이웃 노드의 위치를 인식하고, 이웃간의 거리와 각도를 기반으로 이웃 노드들과 들로네 삼각형을 구성한다. 이 과정은 전체 센서 네트워크의 모든 센서 노드가 수행한다. 들로네 삼각형을 구성하기 위해서 센서 노드는 원홉으로 연결되는 이웃 노드들 중에서 가장 큰 내각이 최소가 되는 삼각형을 구성한다. 센서 노드가 원홉 이웃 노드와 구성된 들로네 삼각형 외접원의 반경이 센싱 반경보다 클 때, 들로네 삼각형의 꼭지점을 이루는 센서 노드는 홀 경계 노드라써 간주된다. Fig. 1에서  $s_1, s_2, s_3$ 는 원홉 이웃 센서

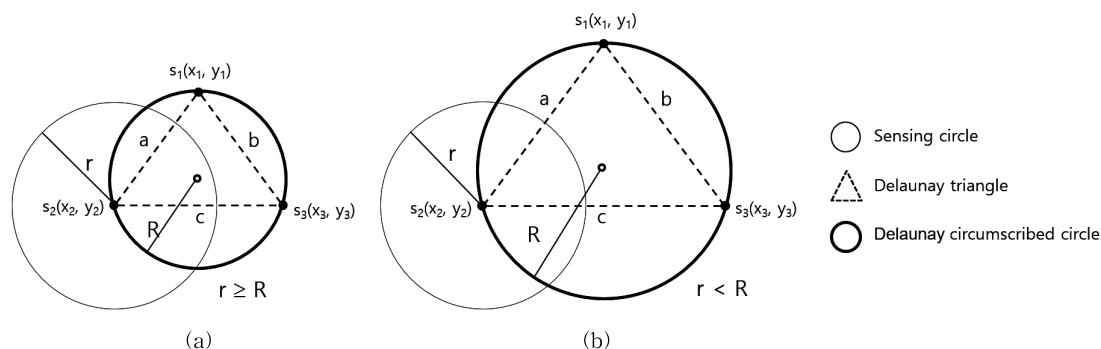


Fig. 1. Relation between radius  $R$  of circumscribed circle of Delaunay triangle and sensing radius  $r$ . (a)  $r \geq R$  and (b)  $r < R$ .

노드이고,  $a, b, c$ 는 센서 노드간 거리이다. 들로네 삼각형 외접원의 반경은  $R$ , 센서 노드의 센싱 반경은  $r$ 로 표기된다. 들로네 삼각형의 외접원의 넓이는  $abc/4R$ ,  $\sqrt{k(k-a)(k-b)(k-c)}$ ,  $k = (a+b+c)/2$ 로 나타나므로 센서 노드는  $R$ 의 값을 이용하여 자신이 내부 노드인지, 커버리지 홀을 구성하는 경계 노드인지 판단할 수 있다.

커버리지 홀을 구성하는 경계노드는 하나의 커버리지 홀을 발견하기위해서, 홀 경계 노드로 결정된 이웃 들로네 삼각형과 특별한 기하학적 특징을 가지는지에 대한 내용을 판별하여, 같은 홀인지를 식별하는 과정을 진행한다.

Ma는 센서 노드들이 자신의 투홉 이웃 노드들에 대한 정보를 기반으로 커버리지 홀을 발견하는 방법을 제안하였다[8]. 센서 네트워크의 노드들은 자신의 투홉 이웃 노드들을  $y$ 축 상위노드 그룹과 하위노드 그룹으로 나누고, 각 그룹에서 노드를  $x$ 축 값으로 정렬한 후, 자신과 다른 두 이웃 노드에 대해서 삼각형을 구성한다. 삼각형의 외접원의 반경이 센싱 반경보다 크고, 외접원의 중심이 이웃 노드의 센싱 영역에 포함되지 않는 경우가 존재할 때, 해당 노드는 커버리지 홀을 구성하는 경계 노드로 판단된다. Fig. 2에서 센서 노드  $s_1$ 의 상단노드 그룹은 센서 노드  $s_2, s_3, s_4$ 를 포함하고, 하단노드 그룹은 센서 노드  $s_5, s_6, s_7, s_8$ 를 포함한다.  $\Delta s_1s_2s_3$ 의 외접원의 반경  $R$ 은 센싱 반경  $r$ 보다 크고, 외접원의 중심이 센서 노드  $s_1$ 의 어떤 이웃의 센싱 반경에 포함되지 않으므로, 해당 센서 노드  $s_1$ 은 커버리지 홀을 이루는 경계 노드로 판단된다.

Ghosh, Wand의 연구에서는 전체 센서 네트워크

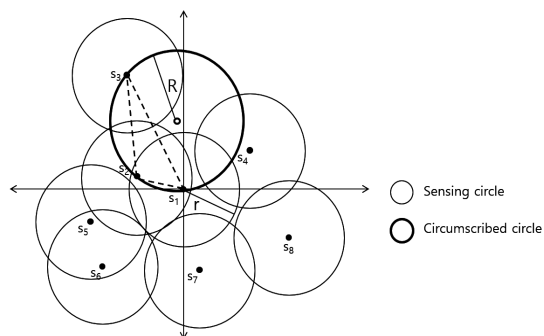
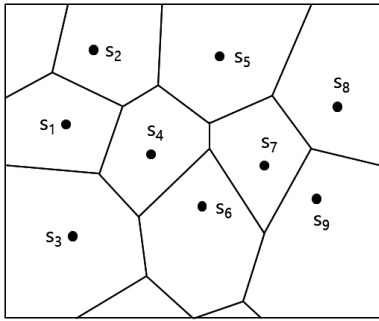


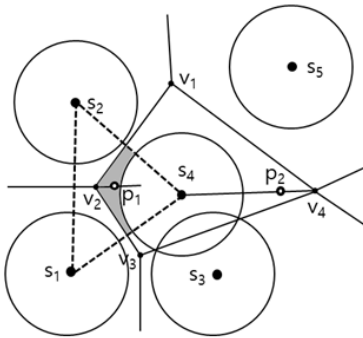
Fig. 2. Center of two-hop neighbor node triangle circumscribed circle.

에서 센서 노드들을 보르노이 다각형 구조로 구성하였다[9,10]. 보르노이 다각형의 중심점과 이웃 보르노이 다각형의 중심점을 이을 때, 들로네 삼각형으로 나타난다. Ghosh의 연구에서는 센서 노드는 이웃 보르노이 삼각형과 들로네 삼각형을 구성하는 영역과 자신의 보르노이 영역의 교집합의 영역에서 센싱 영역에 포함되지 않는 영역의 크기가 어떤 임계치( $\rho\pi r^2$ ,  $r$ 은 센싱반경)보다 클 때, 커버리지 홀이 발생했다고 판단한다. Fig. 3(b)에서 회색 영역은 센서 노드  $s_4$ 가 이웃 노드  $s_1, s_2$ 와 이루는 들로네 삼각형 영역에 대한 커버리지 홀 발생 영역을 보여준다. 센서 노드  $s_4$ 가  $\Delta s_1s_2s_4$ 의 영역과 보르노이 다각형의 교집합의 영역에서 커버리지 홀이 발생했음을 판단하면,  $\angle v_1v_2v_3$ 의 이등분각의 선상에서  $\min(2r, d(v_2, s_4))$ 의 지점을 추가할 이동 노드의 위치로 결정한다[9].

Wand의 연구에서는 센서 노드와 가장 먼 보르노이 꼭지점과의 거리가 센싱반경보다 크면, 커버리지 홀이 발생한다고, 센서 노드와 가장 먼 보르노이 꼭



(a)



(b)

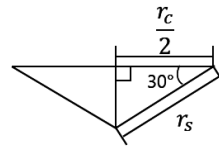
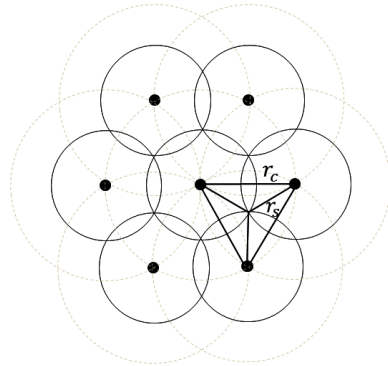
Fig. 3. Bornei polygon structure of sensor network. (a) Bornei polygon and (b) Mobile node location to add.

지점을 잇는 직선상에서  $\max(\sqrt{3}r, d(s_4, v_4))$ 의 지점을 추가할 이동 노드의 위치로 결정한다[10].

Wu의 연구에서는 커버리지 홀을 발견하기 위해서, 센서 노드의 원홉 이웃 노드 인접행렬을 기반으로 자신이 커버리지 홀 경계 노드인지, 내부 노드인지를 판단하는 방법을 제안하였다[17]. 커버리지 홀의 복구는 커버리지 홀 경계 노드들이 자신의 이웃 경계 노드와의 거리를 밑변으로 하고, 두 배의 센싱 반경을 빗변으로 하는 이등변 삼각형을 구성하고, 이등변 삼각형의 꼭지점의 좌표를 추가할 이동 노드의 위치로 결정한다[18]. 이 방법은 커버리지 홀을 발견하는 과정과 홀을 복구하는 과정의 두 단계의 과정을 통해서 커버리지 홀을 복구한다.

### 3. 커버리지 홀 발견 및 복구

본 연구에서 이웃 노드와 센싱 교차점을 기반으로 커버리지 홀을 판단하고, 복구하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 센서 노드들은 임의의 위치에 배치되어 있고, 각 센서 노드는 자신의 위치와 전송 반경



$$\left(\frac{r_c}{2}\right)^2 + (r_s \sin 30)^2 = r_s^2$$

Fig. 4. Sensing radius and transmission radius.

내에 존재는 원홉 이웃 노드의 위치정보를 인식한다. 센싱 반경  $r_s$ 와 전송 반경  $r_c$ 이 다르다고 가정한다. 센싱 반경  $r_s$ 가  $\frac{r_c}{\sqrt{3}}$  이상일 경우, 원홉 이웃 노드 간에 센싱 틈이 발생하지 않는다는 특징을 이용하여,  $r_s \geq \frac{r_c}{\sqrt{3}}$  을 가정한다.

#### 3.1 커버리지 홀 경계 노드의 판별과 이동 노드 위치 지정

센서 노드는 자신이 커버리지 경계 노드인지를 판별하기 위해서, 자신의 센싱반경을 원으로 하는 센싱 원과 원홉 이웃 노드의 센싱 원의 교차점을 구하고, 두개의 교차점이 다른 원홉 이웃 노드의 센싱 원에 포함되는지를 검사한다. 다른 원홉 노드의 센싱 영역에 포함되지 않는 교차점이 있는지 검사하고, 그러한 교차점이 존재하면 자신을 커버리지 홀의 경계노드로 인식한다. Fig. 5(a)에서 센서 노드  $s_1$ 은 노드  $s_2, s_3, s_4, s_5$ 과 원홉 이웃 관계를 가진다. 센서 노드  $s_1$ 은 원홉 이웃노드의 위치 정보를 기반으로 센싱 원의 교차점을 구하고, 교차점이 원홉 이웃 노드의 센싱 영역에 속하는지를 검사하고, 그 결과 센서 노드  $s_2$ 의 교차점  $cp_{2-1}$ 과 노드  $s_5$ 의 교차점  $cp_{5-2}$ 가 다른 이웃 노드의 센싱 영역에 속하지 않음을 인식하고, 자신을

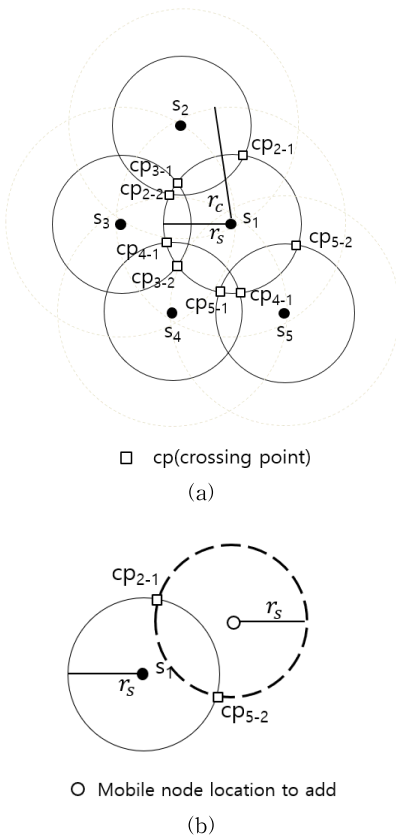


Fig. 5. Sensing intersection and mobile node to add. (a) Sensing intersection and (b) Mobile node location.

커버리지 홀 경계 노드로 지정한다. 커버리지 홀 경계 노드는 추가할 이동 노드의 위치를 결정하기 위해서, 다른 원호 이웃 노드의 센싱 영역에 포함되지 않는 두개의 교차점을 지나고, 센싱 반경을 반경으로 하는 원의 중심을 추가할 이동 노드의 후보 위치로 결정한다. Fig. 5(b)는 커버리지 홀 경계 노드가 추가할 이동 노드의 후보 위치를 지정하는 결과를 보인다.

### 3.2 커버리지 중복영역 제거

이동 기능을 탑재한 이동 센서 노드는 고정 센서 노드보다 높은 비용을 요구한다. 최소의 이동 노드를 추가하여 최대의 커버리지 영역 효과를 내기 위해서, 커버리지 영역의 중복성을 최소화 할 필요가 있다. 이웃 노드의 센싱 영역에 포함되지 않는 교차점을 지나고, 센싱 반경을 반경으로 하는 원의 중심을 계산한 지점이 센서 노드 자신의 위치와  $r_s/2$ 보다 가까

운 위치에 있을 때, 이동 노드 후보지점을 포기한다. Fig. 6(a)에서 16개의 커버리지 홀 경계 노드는 자신의 위치를 기준으로 추가할 이동 노드의 후보 지점을 계산하면, 총 15개의 이동 노드 후보 지점이 발생한다. 이 중에서 센서 노드  $s_2$ 는 자신이 계산한 이동 노드의 위치와 자신과의 거리가  $r_s/2$ 보다 가까우므로 이동 노드 후보지점을 포기한다.

그 외의 노드들이 계산한 이동 노드들 중에 커버리지 중복성을 최소화하기 위해서, 이동 노드 후보 지점들 중에서 실제로 이동 노드가 이동할 목표 지점을 결정하는 과정이 요구된다. 중복성을 최소화하는 이동 노드 위치를 결정하기 위해서, 커버리지 홀 경계 노드는 ‘이동 노드 후보 위치’ 메시지에 이동 노드 후보 지점의 위치 및 홀 경계 노드와 이동 노드 후보 위치간의 거리를 포함하여 투홉 이웃 노드에게까지 전송한다. 이웃 커버리지 경계 노드로부터 ‘이동 노드 후보 위치’ 메시지를 받은 커버리지 경계 노드는 메시지에 포함된 이동 노드 위치와 자신이 계산한 이동 노드 위치의 거리가  $r_s/2$ 보다 작을 때, 자신이 계산한 이동 노드 후보 위치를 포기할 것인지, 채택할 것인지를 검사한다. 이동 노드들 간의 위치가  $r_s/2$  이내일 경우, 센서 노드와 이동 노드간의 거리가 가장 먼 이동 노드 한 개가 선택된다. 즉, 커버리지 홀 경계 노드가 이웃으로부터 받은 메시지에서 이동 노드 간의 거리가  $r_s/2$  보다 작은 경우, 자신과 자신의 이동 노드 후보 위치보다 더 큰 거리를 가지는 이동 노드 후보지점이 존재할 때, 자신의 이동 노드 후보 지점을 포기한다. Fig. 6(b)는 중복성을 제거한 최종 이동 노드의 목표지점으로, 추가할 이동 노드가 8개 인 것을 보여준다.

### 3.3 이동 노드의 커버리지 홀 복구

이동 노드의 위치가 최종 목표지점으로 결정이 되면, 해당 커버리지 홀 경계 노드는 이동 노드의 위치를 포함하여, ‘커버리지 홀 복구’ 메시지를 전송한다. 메시지 전송의 부하를 줄이기 위해서, 메시지 전송은 n-홉 까지 제한한다. ‘커버리지 홀 복구’ 메시지를 수신한 이동 노드는 자신의 위치와 가까운 메시지를 선택해서 이동한다. 최종 목표지점으로 이동한 이동 노드는 자신의 위치를 포함하여 ‘커버리지 홀 복구 응답’ 메시지를 전송한다. 이 메시지를 수신한 다른 이동 노드는 해당 위치로의 이동을 포기하고, 다음

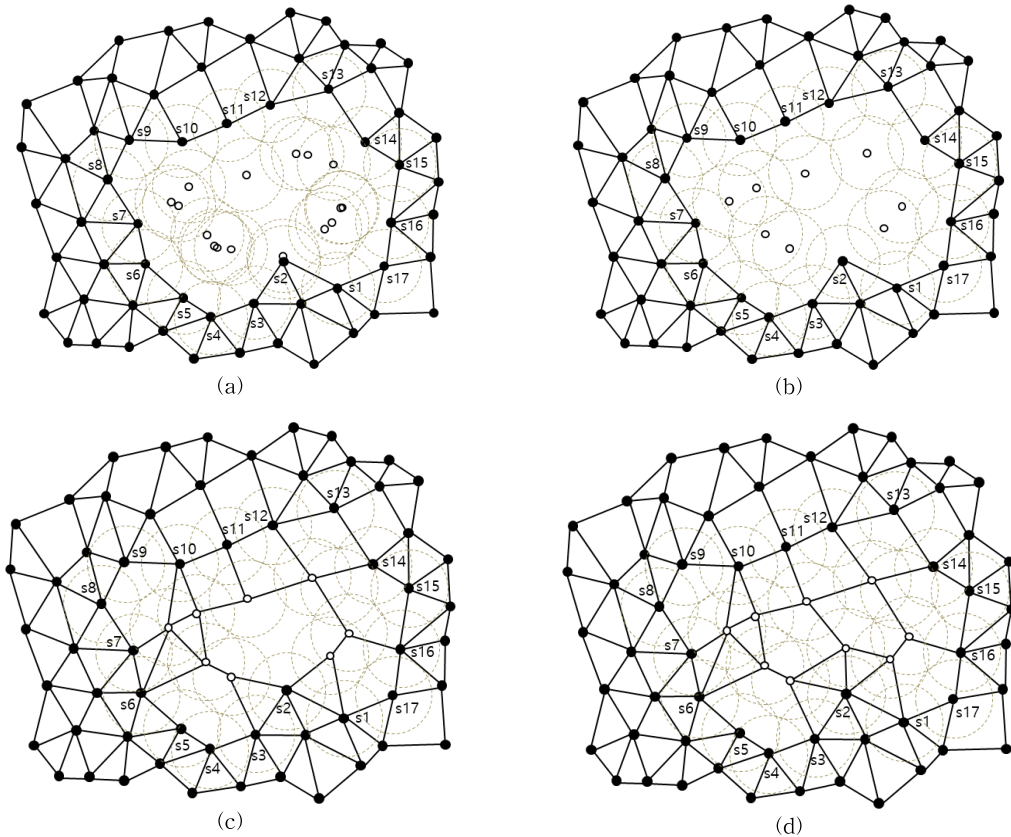


Fig. 6. Mobile node candidate location and redundant node removal. (a) Mobile node candidate location, (b) Mobile node location with redundancy removed, (c) Round 1 coverage hole recovery, and (d) Round 2 coverage hole recovery.

라운드를 위해서 대기한다. 기존 센서 노드와 이동 노드와의 중복문제를 해결하기 위해서, ‘커버리지 홀 복구 응답’ 메시지를 받은 원홉 위치의 기존 노드는 이동 노드와 자신과의 거리가  $r_s/2$ 보다 적을 때, 해당 이동 노드에게 ‘중복 영역 경고’ 메시지를 전송하고, 이 메시지를 받은 이동 노드는 커버리지 홀 복구를 포기하고, 다음 라운드를 위해서 대기한다. 1라운드 커버리지 복구가 완료되면, 2라운드 커버리지 복구를 수행한다. 새로운 라운드의 커버리지 홀 복구는 센서 노드가 원홉 이웃 노드와 센싱 교차점이 다른 원홉 이웃 노드의 센싱 영역에 포함되는지를 검사하는데서부터 다시 시작한다. n-라운드 커버리지 복구의 종료는 센싱 교차점이 다른 원홉 이웃 노드의 센싱 영역에 모두 포함될 때, 종료된다. Fig. 6(c)는 1라운드 커버리지 복구 결과를 보여주었고, Fig. 6(d)는 1라운드 복구 결과를 기반으로 2라운드 커버리지 홀

복구 결과를 보여준다. 2라운드 커버리지 홀 복구 과정에서 추가할 이동 노드가 1개 추가되면, 더 이상의 경계노드가 발견되지 않으므로, 커버리지 홀 복구 과정이 종료된다. Fig. 6의 센서 네트워크의 커버리지 홀은 2라운드 과정을 통해서 9개의 이동 노드의 위치가 결정되고, 추가된다.

#### 4. 실험

제안한 센싱반경 교차점기반 홀 복구기법의 성능 평가를 위해서 C언어를 사용하였다. 200 m<sup>2</sup>의 센서 네트워크 영역에서 200개 센서노드를 배치하고, 전송 범위는 30 m, 센싱 범위는  $30/\sqrt{3}$  m를 사용하고, 이동 노드 수는 센서 노드 수의 5%를 사용하였다. Fig. 7은 실험에서 사용된 센서 네트워크 토폴로지의 예이다. 실험 비교대상으로 CHBND(Coverage Hole

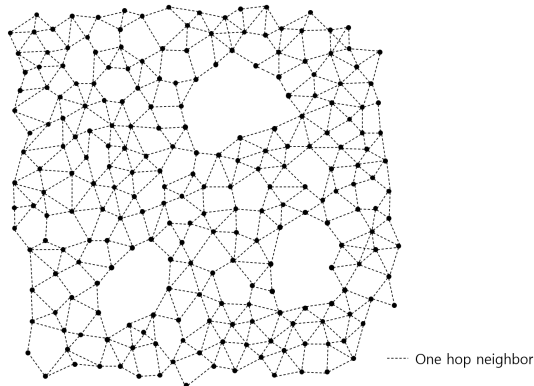


Fig. 7. Sensor network topology.

and Boundary Nodes Detection), CGCHD(Computational Geometry based Coverage Hole Detection), NLCHR(Neighbor node Location-based Coverage Hall Recovery)가 사용되었다[7,8,18].

Fig. 8은 센서 노드가 자신이 홀 경계 노드인지 판단하는데 소요되는 계산량에 대한 실험결과이다. CHBND와 CGCHD는 커버리지 홀을 발견하는 방법으로써 제안한 기법에서 홀을 발견하고 복구하는 두 단계의 계산 중에서 커버리지 홀을 발견하는 부분, 즉 홀 경계 노드를 발견하는 데 사용되는 계산량을 비교하였다. 경계 노드를 발견하기 위해서 센서 네트워크의 모든 노드가 개별적으로 경계 노드인지 판별하는 계산을 수행하였다.

CHBND에서 센서 노드는 자신의 원홉 이웃과 들로네 삼각형을 구성하고, 들로네 삼각형의 외접원의 반경이 센싱 반경보다 크지를 판별하는 것을 통해서, 자신이 커버리지 홀 경계 노드인지를 판별한다. CGCHD에서 센서 노드는 자신의 원홉 및 투홉 이웃

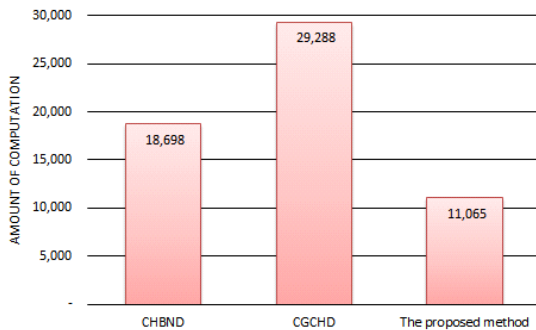


Fig. 8. Amount of calculation to detect coverage holes.

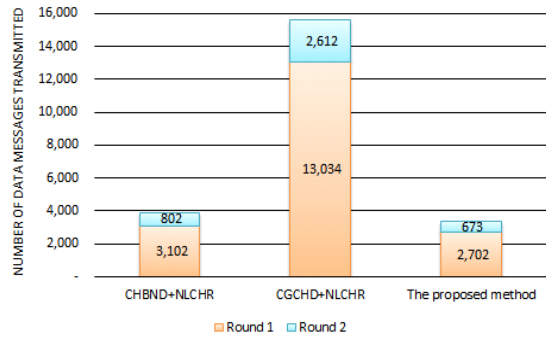


Fig. 9. Amount of coverage hole recovery message transmission.

과 삼각형을 구성하고, 모든 경우의 수에 대해서 외접원의 중심이 다른 센서 노드의 센싱 반경이 포함되는지를 계산한다. 제안하는 기법에서 센서 노드는 자신의 원홉 이웃과 센싱 교차점을 구하고, 모든 센싱 교차점이 이웃 노드의 센싱반경에 포함되는지를 검사한다. 제안한 기법은 CHBND에 비해서 약 59.6%의 결과를 보이고, CGCHD에 비해서 약 37.9%의 결과를 보인다.

Fig. 9는 전송한 데이터 메시지 수에 대한 실험 결과이다. CHBND와 CGCHD는 커버리지 홀을 발견 기법이므로 커버리지 홀 복구 기법인 NLCHR와 연계하여 커버리지 홀을 발견하고 복구하는 과정을 진행하였다. 제안한 기법은 CGCHD+NLCHR과 비교해서 약 21.2%의 메시지 전송량을 보이는데, CGCHD은 커버리지 홀을 발견하기 위해서, 투홉 이웃 정보가 요구되므로 데이터 전송량이 데이터 전송량에서 많은 차이가 나는 것으로 분석된다. CHBND+NLCHR과 비교해서는 약 84.3%의 메시지 전송량의 결과를 보이는데, 이것은 제안한 방법에서 커버리지 홀 발견과 복구가 분리되지 않고, 센서 노드가 커버리지 홀 경계 노드임이 판별되면, 해당 노드가 바로 추가할 이동 노드의 위치를 결정하는 절차와 메시지 전송과정으로 불필요한 메시지 전송을 최소화한 프로토콜 설계에 의한 결과로 분석된다.

### 5. 결론

본 연구에서는 센서 네트워크에서 커버리지 홀을 복구하는 방법으로써 센서 노드가 자신의 이웃 센서 노드와의 센싱 교차점을 이용하여 스스로 홀 경계 노드인지를 판별하고, 그 교차점을 지나는 원의 중심

을 추가할 이동 노드를 지정하는 홀 복구 기법을 제안하였다. 임의 배치 센서 네트워크에서 커버리지 홀 발견 및 복구는 센서 어플리케이션 데이터 신뢰성과 효율적인 네트워킹을 위해서 매우 중요한 요소로써, 제안하는 기법은 이웃 노드와의 센싱 위치만으로 홀 경계 노드인지 판별하여, 기존의 연구들이 복잡한 방법 및 절차를 통해서 커버리지 홀을 발견하는 것에 대해서 우수성을 가지는 것으로 평가된다. 또한 커버리지 홀 발견 및 복구에 요구되는 메시지 전송량도 기존의 방법에 비해서 우수한 것으로 나타난다.

## REFERENCE

- [1] X. Yu, P. Wu, W. Han, and Z. Zhang, "A Survey on Wireless Sensor Network Infrastructure for Agriculture," *Computer Standards & Interfaces*, Vol. 35, Issue 1, pp. 59 - 64, Jan. 2013.
- [2] M. Wu, H. Park, and C. 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] Z. Han, J. Wu, J. Zhang, L. Liu, and K. 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] M. 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] M. 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] M. 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] 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, Feb. 2015.
- [8] H. Ma, P.K. Sahoo, and W. 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.
- [9] A. Ghosh, "Estimating Coverage Holes and Enhancing Coverage in Mixed Sensor Networks," *Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Network*, Nov. 2004.
- [10] G. Wang, G. Cao, and T. LaPorta, "A Bidding Protocol for Deploying Mobile Sensors," *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Network Protocols*, Nov. 2003.
- [11] W. Li and Y. Wu, "Tree-based Coverage Hole Detection and Healing Method in Wireless Sensor Networks," *Computer Networks*, Vol. 103, pp. 33-43, Jul. 2016.
- [12] R. Beghdad and A. Lamraoui, "Boundary and Holes Recognition in Wireless Sensor Networks," *Journal of Innovation in Digital Ecosystems*, Vol. 3, Issue 1, pp. 1-14, Jun. 2016.
- [13] A. Sangwan and R.P. 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.
- [14] S. Zhai, Z. Tang, D. Wang, Z. Li, X. Chen, D. Fang, et al., "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)*, pp. 21-24 Jul. 2017.
- [15] T. Amgoth and P.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.

[16] A.M. Khedr, W. Osamy, and A. Salim, “Distributed Coverage Hole Detection and Recovery Scheme for Heterogeneous Wireless Sensor Networks,” *Computer Communications*, Vol. 124, pp. 61-75, Jun. 2018.

[17] M. Wu, “Adjacent Matrix-based Hole Coverage Discovery Technique for Sensor Networks,” *Journal of The Korea Society of Computer and Information*, Vol. 24, No. 4, pp. 169-176, Apr. 2019.

[18] M. Wu, “An Efficient Hole Recovery Method in Wireless Sensor Networks,” *22nd International Conference on Advanced Communications Technology(ICACTION)*, pp. 530-535, 2020.



우 매 리

1996년 영남대학교 수학과 이학사  
 2001년 영남대학교 컴퓨터공학과  
 공학석사  
 2005년 영남대학교 컴퓨터공학과  
 공학박사  
 2005년 영남대학교 컴퓨터공학과  
 강의교수

2005년~현재 영남신학대학교 컴퓨터교양 조교수  
 관심분야: 소셜 네트워크, 네트워크 보안, 무선 네트워크, 센서 네트워크, 빅데이터 분석