

WSN에서 중복 면적 최소화를 이용한 격자 맵 기반의 빅홀 자가복구 기법

김도윤*, 이민우°, 임재성*

Grid-Map-Based Self-Recovery (GSR) Method with Minimized Redundant Area in WSN

Doyoon Kim*, Minwoo Lee°, Jaesung Lim*

요약

사물인터넷 기술의 발전에 따라 WSN의 활용도가 다양해지고 재난 환경, 실종자 탐색 등 긴급 상황에서 WSN의 역할이 점점 커지고 있다. 하지만 환경변화와 외부요인에 의해 노드의 손실은 언제든지 일어날 수 있으며, 이로 인해 WSN의 구성에 홀(hole)이 만들어지게 된다. 특히 WSN의 규모에 비해 상대적으로 홀의 규모가 큰 빅홀(big hole)은 WSN을 운용함에 있어 여러 가지 문제를 야기한다. 본 논문에서는 빅홀을 복구하는데 있어서 중복 면적을 최소화할 수 있는 격자 맵 기반의 자가 복구기법을 제안한다. 이 기법은 격자 맵으로 홀을 탐지하고 전체 노드들을 재배치한다. MATLAB을 활용하여 제안하는 기법이 빅홀을 효율적으로 복구할 수 있음을 실험적으로 검증하였다.

키워드 : 무선센서네트워크, 빅홀, 자가복구, 그리드 맵, 노드 배치

Key Words : Wireless Sensor Network, Big Hole, Self-Recovery, Grid-Map, Node Deployment

ABSTRACT

With the recent development of IoT technology, the utilization of WSN has been diversified. The use of WSN is increasing in emergent situations such as disaster environments and the search for missing persons. So WSN's research is also actively underway. Among them, many studies have been conducted on the economical node deployment of WSNs. However, the loss of a node can occur at any time, resulting in a hole. This hole causes a number of problems in operating WSN. In this paper, we propose an algorithm to recover big holes and have minimal overlap area. This technique has the effect of leveraging a grid-based hole detection method to relocate the entire node and minimizes the overlapping area. When applied to big holes in simulations using MATLAB simulators, that shows great effectiveness in terms of overlapping area and overall coverage ratio. The proposed technique is a big hole recovery technique that can economically recover the big hole.

1. 서론

사물인터넷(IoT: Internet of Thing)과 무선통신 기

술의 발달에 따라 무선센서를 활용하는 무선센서네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)의 활용이 증가하고 있다. 특히 드론 기술과 무선센서 기술이 접목

* First Author : Ajou University Department of Military Digital Convergence, ksain1@naver.com, 정회원

° Corresponding Author : Ajou University Department of Military Digital Convergence, iminu@ajou.ac.kr, 정회원

* Ajou University Department of Military Digital Convergence, jaslim@ajou.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 202105-097-C-RN, Received April 30, 2021; Revised July 29, 2021; Accepted August 2, 2021

되어 재난이나 군사작전 지역에서 군집형 무인체계가 인간을 대신하는 서비스가 등장하고 있다.

기본적으로 WSN에서는 무선센서 노드들이 장시간 안정적으로 운영되는 것이 중요하다. 이 때문에 무선센서 노드들을 경제적으로 운영하기 위한 WSN 노드의 배치와 정보전달 라우팅에 대한 연구가 많이 이뤄졌다. WSN의 노드 배치에서 가장 중요한 것은 한정된 노드를 이용하여 최대한 많은 지역을 탐지하는 것이다. 이를 위해 노드의 중첩은 최소화하고 최대 커버리지를 얻도록 노드를 배치해야 한다.^[1-5]

하지만 WSN의 노드의 배치가 효율적으로 이뤄졌더라도 환경변화와 외적요인에 의해 노드의 손실이 발생되면 WSN 노드의 효율성은 감소 될 수밖에 없다. 이때 WSN에서 노드의 손실에 의해 나타난 공백을 홀(hole)이라고 한다. 홀이 발생하면 WSN에서는 노드간 라우팅 경로 설정이 변경되어야 하고, 우회 경로로 정보전송이 이뤄지게 되면 기존보다 더 많은 노드들을 거치면서 전송 에너지 소모가 증가하게 된다. WSN에서 노드는 제한된 자원을 갖고 운영되기 때문에 이러한 에너지 소모 증가는 WSN의 전체 운영 시간을 단축시키는 요인이 된다. 홀의 규모가 큰 경우에는 노드간 정보전달이 불가능할 수도 있다.^[6]

따라서 WSN에서 노드의 손실에 의해 홀이 발생하면 WSN은 성능유지를 위해 자가복구를 수행한다. 이에 대한 대표적인 연구로 진화 알고리즘(Generic Algorithm)을 사용하여 노드들을 임의로 배치하고 여러 연산을 반복적으로 시행하여 최적의 노드 배치를 찾는 방법이 있다.^[2] 그리고 WSN의 노드 배치를 기하적인 방법으로 접근하여 노드 간의 중복영역을 최소화하기 위해 보로노이 다이어그램(Voronoi Diagram)을 사용하는 방법이 있다.^[7] 이 연구들은 WSN에서 일부 노드의 손실에 의한 소규모 홀이 발생한 경우를 대상으로 한다.^[4] 즉 WSN의 네트워크 규모에 비해 상대적으로 많은 노드가 손실되면 빅홀(big hole)이 발생한 경우에는 자가복구가 매우 어렵다.¹⁾

그림 1은 WSN에서 빅홀이 발생하여 시작점(Starting Point)에서 도착점(Destination Point)으로 정보전달이 우회경로로 이뤄지고 있는 모습을 보여준다. 이러한 빅홀은 WSN이 가혹한 환경에서 운영되는 경우에 빈번하게 발생할 가능성이 높다. 예를 들면 소형 군집 드론을 이용하는 WSN의 경우, 군집을 이루는 일부 무선센서 노드가 손실되면 전체 네트워크 상

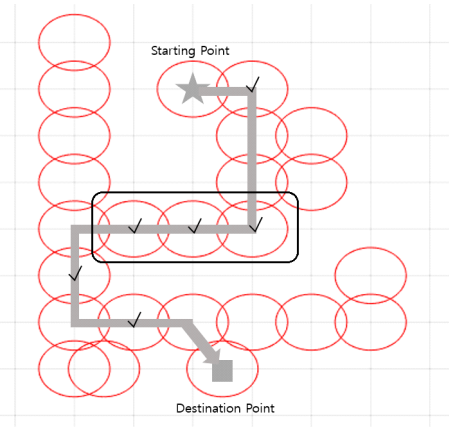


그림 1. 빅홀에 따른 우회경로 (적색 원은 WSN에서 임의의 노드 영역을 의미한다.)
Fig. 1. Big Hole Roundabout(A red circle shows a WSN node range.)

에서는 드론의 비행 속도 만큼의 이격이 발생하게 되어 빅홀이 만들어지게 된다. 또는 재난지역이나 군의 전장 환경과 같이 노드 손실이 광범위하게 발생하는 경우에도 WSN에서 빅홀이 발생할 가능성이 높다.

기존의 WSN 홀 해소를 위한 자가복구 방법으로는 빅홀 문제를 해소하는데 어려움이 있다. 이 때문에 본 연구에서는 WSN의 노드 간 중복 면적을 최소화하면서 홀 문제를 해소할 수 있는 격자 맵(Grid-map) 기반의 자가복구 알고리즘인 GSR(Grid-map-based Self Recovery)을 제안한다. GSR은 특히 빅홀이 발생한 경우에 WSN을 이루는 노드 간의 중복 면적을 최소화하면서 효율으로 노드 배치를 복원할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 WSN의 홀과 빅홀의 개념, 홀을 복구하는 방법에 대해서 살펴본다. 3장에서는 제안한 GSR 알고리즘을 살펴보고, 4장에서는 GSR의 성능을 MATLAB을 이용한 검증 결과를 분석한다. 5장에서는 본 연구의 결과에 대한 논의로 마무리한다.

II. 무선센서네트워크(WSN)의 홀(hole) 문제

2.1 무선센서네트워크의 홀

WSN을 효율적으로 운영하기 위해서는 WSN을 구성하는 노드들의 센서 범위가 중복되지 않으면서 오랫동안 노드들을 운영할 수 있도록 배치하는 것이 중요하다. 앞서 언급하였듯이, 노드의 손실에 의해 WSN에 발생한 공백을 홀이라고 한다.

홀은 그 특성에 따라 크게 3가지 종류로 나뉜다. 첫째 배리어 홀(barrier hole)은, 경계 목적의 WSN에서

1) 홀의 절대적인 크기보다는 WSN의 성능에 큰 영향을 주는 경우에 빅홀이라고 볼 수 있다. 본 논문의 4장 모의실험에서는 다양한 크기의 빅홀을 만들어 성능 효율을 측정하였다.

노드의 손실로 공백이 생겨 경계 임무를 수행할 수 없는 영역이다. 둘째, 커버리지 홀(coverage hole)은 탐색 목적의 WSN에서 노드의 손실로 공백이 생겨 탐색이 이뤄지지 않는 영역이다. 마지막으로 에너지 홀(energy hole)은 WSN에서 라우팅 경로 상에 있는 노드가 손실되어 말단 노드(edge node)에서 헤더 노드(header node)로 정보전송이 이뤄지지 않고 에너지가 낭비되는 영역이다.^[6]

앞의 그림 1은 에너지 홀의 문제점을 보여준다. 그림 1에서 회색 경로는 정보전송을 위한 최단 경로라고 가정한다. 이 중에서 V로 표시된 노드 중에 하나라도 손실이 발생하면 정보가 전달되지 않는 에너지 홀 영역이 발생하게 된다. 또한 시작점에서부터 손실이 일어난 노드 사이에 배치되어 있는 모든 노드들을 사용하지 못하게 한다.

빅홀은 단순히 보면 WSN에서 노드가 손실되어 탐색영역의 일부가 공백이 되어버린 커버리지 홀의 한 종류이지만, 방치하면 홀의 크기가 점점 커져 위와 같이 큰 문제를 야기하는 에너지 홀로 발전할 수 있다. 따라서 빅홀의 영향성 및 피해는 소형 홀 보다 더 크다고 할 수 있으며 빅홀은 만들어지는 즉시 피해를 최소화하도록 빠른 복구가 필요하다.

2.2 무선 센서네트워크의 홀 자가복구

일반적으로 WSN에서 홀을 탐지하기 위해서는, 우선 각각의 노드가 담당하는 커버리지 영역들이 서로 교차하는 교차점을 찾는다.^[5,8-9] 그림 2에서는 적색 원들이 서로 겹치는 부분이 교차점이 된다.

WSN의 홀 복구에 사용되는 HACH(Healing Algorithm of Coverage Hole)라는 알고리즘은 홀을 다각형으로 만들고 그 다각형이 완벽히 메워지는 기하학적 배치를 찾아 노드를 투입하여 홀을 복구한다.

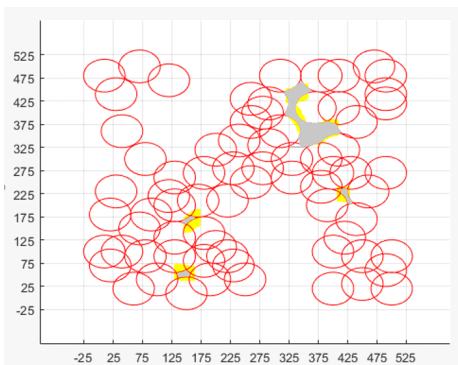


그림 2. 교차점만을 이용함으로 생기는 문제점
Fig. 2. Problems arising from using only intersections

다.^[8] 하지만 HACH는 새로운 노드를 계속해 투입할 수 있는 것을 전제로 하여 홀을 메우는 방식을 이용한다. 이 때문에 센서의 투입이 제한되는 환경에서는 HACH를 사용하기 어렵다.

이미 배치되어있는 노드만으로 홀을 자가복구하는 NIFP(Neighbor Invention by Farthest Point) 알고리즘은 홀을 탐지하는 과정이 HACH와 동일한 방식으로 이루어진다. 그리고 탐지된 홀 주변에 있는 노드들의 홀까지의 거리, 잔여 전력, 중복 면적을 계산하여 거리가 가깝고, 전력이 많이 남아있으며, 중복되는 면적이 많은 노드를 선택한다. 그리고 그 노드를 홀로 이동을 시켜 홀을 메우는 방식을 채택한다. 이 방법은 기존의 센서만을 이용하여 자가복구를 진행하기 때문에 새로운 노드의 투입이 불가능한 상황에서도 사용할 수 있고, 중복되는 면적이 작고 전체 이동 거리도 크지 않다는 장점이 있다.^[9]

하지만 NIFP는 빅홀에 대한 자가복구에서는 문제점이 발생한다. 첫째, 커버리지 홀로 인식되어야 하는 영역이지만 교차점으로 단힌 영역이 아닐 때 홀로 인식되지 않는다. 그림 2를 보면 노드로 단힌 회색 구역은 홀로 인식이 되지만 가운데 큰 홀은 홀로 인식되지 못한다. 이는 교차점으로 홀을 인식하여 복구를 진행할 땐 홀이 아무리 크더라도 주변에 노드들로 단힌 형태가 되지 않는다면 복구가 진행되지 않는다는 것을 의미한다.

둘째, 노드가 복구지점으로 이동할 때 이동한 노드가 있던 원래 위치에는 또 다른 홀이 만들어진다. 그러면 또 그 홀을 복구하기 위하여 알고리즘이 실행이 진행되고 계속 반복되어 결국은 복구되는 시간이 길어진다.

셋째, NIFP에서는 계산량 부하의 문제로 노드가 4개 이상 중첩되는 상황에서의 중복되는 면적을 계산하지 않았다. 이는 노드가 많이 운용되는 환경에서는 복구의 효과가 부족하다는 것을 의미한다.

이처럼 기존의 WSN에서 홀 자가복구를 위한 방법으로는 빅홀에 적용하기 어려운 점이 있다. 본 논문은 WSN의 빅홀에 초점을 맞추면서 홀의 자가복구시 노드간의 중첩면적을 최소화할 수 있는 방안을 제시한다. 다음 장에서는 격자 맵 기반의 GSR 알고리즘을 살펴본다.

III. 격자 맵 기반 빅홀 자가복구 기법

본 기법은 WSN에서 노드 배치를 나타내는 격자 맵을 활용한다. 격자 맵은 앞서 HACH와 NIFP에서

사용하는 교차점 방식과 달리, WSN의 노드 맵을 기준으로 노드의 배치를 고려한다. 이를 통해 노드의 교차점이 존재하지 않는 영역(커버리지 홀)도 탐지할 수 있다. 또한 격자 단위로 노드 배치를 고려하기 때문에 중복 면적을 최소화할 수 있다.²⁾

3.1 격자 맵을 활용한 홀 탐지

본 기법은 WSN에서 노드들이 격자 맵 상에 배치된 것으로 가정하고 홀의 발생 영역을 탐지한다. 격자 안에서 동작하는 노드가 있다면 그 격자는 홀이 아니라고 판단한다. 그리고 동작하는 노드가 전혀 존재하지 않을 때 그 격자를 홀이라고 인지하며 이것을 홀 격자이라고 명명한다.

격자의 한 변의 길이를 L 이라고 설정하고, 모든 격자의 중심으로부터 $\frac{L}{\sqrt{2}} + R$ 만큼의 영역을 탐색한다. 탐색된 영역에 노드의 중심이 존재하는지에 대한 여부로 홀인지 아닌지를 판단한다. 만약 존재한다면 홀이 아니고 존재하지 않는다면 홀이라고 판단한다. $\frac{L}{\sqrt{2}} + R$ 를 도입한 이유는 다음과 같다. $\frac{L}{\sqrt{2}}$ 는 격자의 가장 먼 부분까지의 길이를 의미한다. 그리고 R 은 센싱 커버리지의 반지름이다. 따라서 격자의 중심으로 부터 $\frac{L}{\sqrt{2}} + R$ 만큼 떨어져 있다는 것은 그 격자에는 센싱되는 영역이 없다는 것을 의미한다.

이 기법을 통하여 기존에 교차점만으로 홀을 탐지하여 닫히지 않은 구역이 홀(hole)로 인식되지 않았던 문제를 해결할 수 있다. 또한 탐색이 이루어져야 하는 모든 영역을 대상으로 홀 탐지를 진행함으로써 기존에 홀로 인식되지 못했던 영역도 홀로 인식할 수 있다.

3.2 노드 선택인자 개선

기존의 NIFP에서는 홀로 이동시키는 노드를 선택하는 과정에서 중복 면적(ReA), 잔여 에너지(E), 이동 거리(d)를 계산하여 제일 적절한 노드를 선택하고 홀 영역으로 노드를 이동시킨다. NIFP는 중복 면적을 계산하는 과정에서 노드들이 4개 이상 중첩되는 경우를 계산량 과다의 이유로 계산하지 않았다. 하지만 많은 노드가 동시에 운용된다면, 4개 이상 중첩되는 상황은 빈번하게 발생한다.

본 GSR 알고리즘에서는 이러한 부분을 개선하여

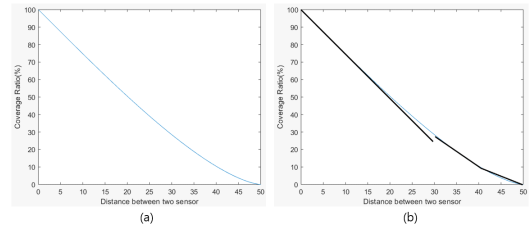


그림 3. 중복 면적과 센서간 거리를 나타낸 그래프
Fig. 3. Graph of the redundant area and distance between sensors

중복 면적을 계산하도록 센서 간의 거리(d_{each}) 개념을 다음과 같이 도입하였다.

센서 하나가 갖는 센싱 커버리지의 길이를 R 이라고 할 때 센서 간 거리가 0부터 $2R$ 사이일 때 중복되는 면적이 존재한다. 그림 3의 (a)는 R 을 25로 설정하고 중복되는 면적의 비율(Re)과 센서 간의 거리의 상관관계를 그래프로 나타낸 그래프이다. 이 비선형적인 그래프를 선형으로 회귀시키면 그림 3의 (b)과 같이 3개 정도의 선형적인 구간으로 나타낼 수 있다. 이렇게 나온 선형적인 구간을 각각 수식으로 표현하면 아래와 같은 수식으로 나타낼 수 있다.^[9]

$$Re = -0.02384 \times \frac{d_{each}}{R} + 1, (0 \leq \frac{d_{each}}{R} \leq 0.6) \quad (1)$$

$$Re = -0.01807 \times \frac{d_{each}}{R} + 0.8269, (0.6 \leq \frac{d_{each}}{R} \leq 0.8) \quad (2)$$

$$Re = -0.01041 \times \frac{d_{each}}{R} + 0.5205, (0.8 \leq \frac{d_{each}}{R} \leq 1) \quad (3)$$

$$S = \sum_{i=1}^{sn-1} Re_i \quad (4)$$

센서 간 거리를 계산하여 나오는 값의 범위에 따라 위의 수식에 적용하여 Re 를 구해 각 노드의 모든 Re 를 더해 S 를 구한다. sn 을 노드의 개수라고 할 때 S 는 노드가 중복되는 면적의 합을 의미하며 이는 수식 (4)로 나타낼 수 있다. 이 값을 이용하여 복구 위치로 이동시키는 노드를 선택하는 노드 선택 인자(σ)를 구한다. σ 는 수식 (5)를 통해 구할 수 있고, 이 값이 가장 큰 노드가 복구 위치로 이동하게 된다.

$$\sigma = \frac{SE}{d} \quad (5)$$

2) 본 기법은 2차원 환경에서 모든 노드들이 이동성을 가지고 있다고 가정한다.

3.3 GSR 알고리즘 4단계 순서

제안하는 GSR 알고리즘은 그림 4와 같은 순서로 총 4단계로 나누어 진행된다. 정상 작동하고 있는 WSN의 센서 노드가 환경변화나 여러 가지 요인에 의해 손실되면, 이때부터 중앙제어를 담당하고 있는 헤드 노드에서 이를 인지하고 다음과 같은 순서로 GSR 알고리즘이 수행된다.

첫 번째 단계에서 헤드 노드는 발생한 홀의 위치와 홀의 크기를 계산한다. 그리고 홀 안에 몇 개의 격자가 있는지 개수를 구하고 이를 홀 격자로 명명한다.

두 번째 단계에서 이전 단계에서 구한 홀의 정보를 바탕으로 홀 격자와 모든 노드와의 거리(d), 총 중복된 면적(S), 잔여전력량(E)을 계산한다. 모든 홀 격자에 대하여 위의 계산을 진행한다.

다음 세 번째 단계에서는 위에서 구한 값들을 바탕으로 홀 격자로부터 거리가 가깝고, 중복된 면적이 크며, 잔여전력량이 많은 노드를 선택하는데 수식 (5)가 사용된다. 각 노드에 대한 노드 선택 인자 σ 를 구하고 그중에 제일 큰 값을 가지는 노드가 복구에 사용할 노드가 되고, 홀 격자의 중앙 위치로 이동하게 된다. 이 과정을 모든 홀 격자에 대해 진행하여 모든 홀 격자에 노드가 올 수 있도록 한다.

끝으로 모든 홀 격자에 대하여 이동이 이루어지면 마지막 4단계를 진행한다. 노드들의 이동으로 인해 새로운 홀이 발생했을 수 있다. 또한 에너지의 소비로

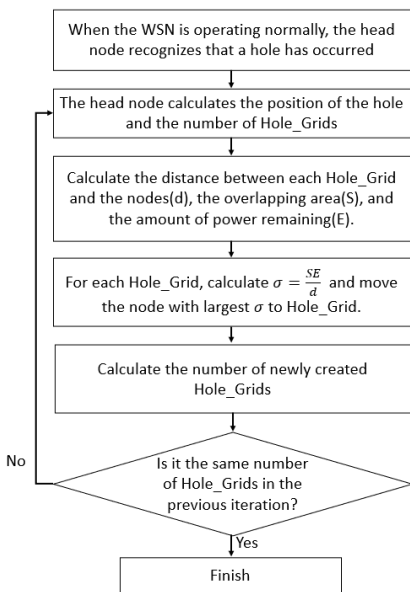


그림 4. GSR 알고리즘 순서도
Fig. 4. The flowchart of GSR Algorithm

인해 방전된 노드가 존재할 수 있기에 헤드 노드에서 홀을 인식하고 새롭게 생성된 홀의 위치와 홀 격자의 개수를 계산한다. 그리고 GSR 알고리즘 적용 전에 계산했던 홀 격자의 수와 GSR 알고리즘 적용 후에 계산한 홀 격자의 수가 비교하여 그 수가 동일하다면 복구가 모두 이루어졌다고 판단하고, 그렇지 않다면 추가 복구 작업이 필요하다고 판단한다. 후자의 경우에는 첫 번째 단계로 돌아가 앞의 과정을 반복한다.

본 알고리즘에서는 모든 단계가 한번씩 완료된 것으로 한 라운드가 수행된 것으로 본다. NIFP는 하나의 노드가 복구에 사용되어 이동함으로써 새로운 홀이 만들어지고 또 이 홀을 복구하는데 알고리즘이 반복된다. 이처럼 NIFP에서는 한 노드가 움직일 때마다 알고리즘이 새로 반복되어 계산 시간이 길어지지만, GSR 알고리즘에서는 라운드 단위로 복구를 진행함으로써 과도한 반복 문제를 해소하도록 하였다.

또한 본 기법에서는 WSN의 노드 배치를 격자화하여 홀을 격자 단위로 탐색하고 격자 하나하나가 홀 격자를 인지하고 탐지할 수 있다. 그리고 홀 격자의 복구를 진행하는 과정에서 노드를 홀 격자의 중앙으로 배치시킨다. 이로써 중복률이 감소하고 커버리지 비율이 증가하게 된다. 이는 그림 5를 통해서 확인할 수 있다.

그림 5는 4x4 격자맵의 격자 하나에 한 개의 노드를 배치한 것을 나타낸다. 그리고 노드의 배치를 격자의 중앙에 배치하였을 때와 그렇지 않고 격자안에 임의로 배치했을 때 중복되는 면적을 회색으로 나타내었다.

그림 5의 (a)와 (b)는 격자마다 노드를 중앙에 배치

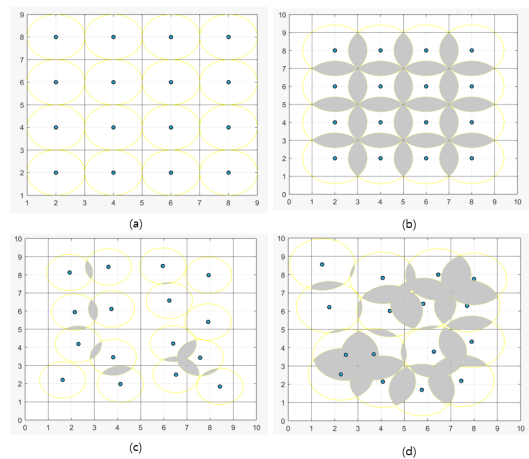


그림 5. 배치에 따른 중복 면적의 차이
Fig. 5. Differences in Redundancy Area by deployment

한 경우로, (a)는 격자에 노드를 내접했을 때 ($R=L/2$), (b)는 격자에 노드가 외접했을 때 ($R=L/\sqrt{2}$)를 나타낸다. 그림 5의 (c)와 (d)는 격자 안에 임의로 노드를 배치한 경우로, (c)는 $R=L/2$ 일 때, (d)는 $R=L/\sqrt{2}$ 일 때이다.

노드 반지름의 조건이 같은 (a)와 (c)를 비교했을 때 임의로 노드를 배치한 (c)가 더 많은 중복된 면적을 가지고 있다는 것을 볼 수 있다. 그리고 $R=L/\sqrt{2}$ 로 노드 반지름의 길이가 같은 (b)와 (d)를 비교했을 때 임의로 배치한 (d)가 더 많은 중복 면적을 가지고 있는 것을 확인할 수 있다. (c)와 (d)에서는 과도하게 중복되는 것을 막기 위해 맵 전체에 완전히 임의로 배치하는 것이 아닌 격자 하나당 한 개의 노드가 배치되었다.

그런데도 격자의 중앙에 노드를 위치시키는 것이 임의로 배치하였을 때보다 중복 면적이 작고, 또한 커버리지 비율이 크다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 GSR 알고리즘은 홀을 복구하는 과정에서 홀 격자의 중앙에 노드를 배치함으로써 중복되는 면적을 줄이면서 커버리지 비율이 향상되게 된다.

IV. 모의실험 및 성능분석

본 장에서는 NIFP와 본 논문에서 제안하는 GSR 알고리즘의 성능을 빅홀이 존재하는 다양한 환경에서 비교한다.

4.1 실험환경

모의실험은 MATLAB을 활용하여 진행되었다. $500m \times 500m$ 의 면적에서 2차원에서 움직이는 노드를 사용하는 WSN이라고 가정하였다. 격자 맵의 격자 한 변의 길이는 $50m$ 로 설정한다. 또한 초기노드의 개수는 90개로, 노드의 센싱 반지름은 $25m$ 로 설정하였다.

중복되는 면적의 크기가 과도하게 커지는 것을 방지하기 위하여, 임의적으로 만들어진 실험 환경이 전체 면적대비 중복 면적의 합이 70% 이상이면 다시 실험 환경을 만들도록 함으로써 성능 비교 실험의 신뢰성을 높였다. 빅홀의 크기는 노드의 5배의 크기로 설정하며 임의로 생성시켰다.

성능 비교를 위해 다음 두 가지를 실험을 진행하였다. 첫째, 빅홀의 개수를 변화시켜 생성하여 상황을 만들고 복구를 진행했을 때 전체 면적대비 중복되는 면적의 합을 비율(중복률)로 환산하여 변화를 측정하

였다. 둘째, 빅홀의 개수를 변화시켜 생성하여 상황을 만들고 전체 면적대비 센싱하고 있는 면적의 비율(커버리지 비율)을 비교하여 분석하였다.

4.2 빅홀의 개수 변화에 따른 성능분석

그림 6의 (a)를 보면 빅홀이 증가함에 따라 전체적으로 중복률이 낮아지는 것을 확인할 수 있다. 빅홀이 많이 생길수록 GSR의 중복률 감소 비율이 NIFP에 비해 큰 것을 확인할 수 있다.

그림 6의 (b)에서 빅홀이 증가함에 따라 초기 상황에 커버리지 비율이 점점 떨어졌다. NIFP를 적용했을 때는 커버리지 비율의 증가가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 하지만 GSR의 경우에는 거의 80%의 커버리지 비율을 유지하는 성능을 볼 수 있었다.

따라서 빅홀이 발생한 경우에 GSR을 적용했을 때 NIFP를 적용했을 때보다 성능이 뛰어난 것을 확인할 수 있었다. NIFP는 교차점들을 이용하여 홀을 탐지하고 복구를 진행함으로써 작은 홀을 복구하는 데는 더 효과적일 수 있다. 하지만 NIFP를 적용했을 때 노드로 닫히지 않은 구역이 있을 때는 복구가 되지 않게 된다. 대부분의 빅홀은 닫히지 않은 구조를 가지고 있기 때문에 NIFP를 빅홀에 적용했을 때는 적절하지 않다고 판단된다.

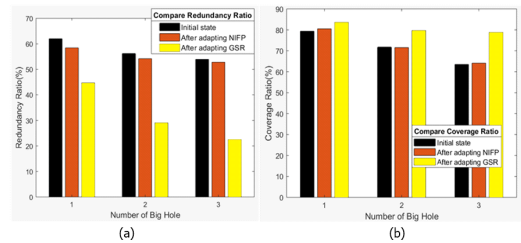


그림 6. 빅홀의 개수 변화에 따른 NIFP와 GSR의 비교
Fig. 6. Comparing NIFP and GSR with Big Hole's numbers

4.3 다양한 환경에서의 GSR 알고리즘 성능분석

GSR 알고리즘의 성능분석을 위해 다음과 같이 3가지 시나리오에서 모의실험을 진행하였다.

첫 번째 실험은 초기 노드의 개수는 90개, 홀의 크기는 센싱 커버리지의 5배로 설정한다. 반지름의 길이를 $10m$ 로 설정한다. 격자 맵을 가상으로 만들며 격자의 길이가 반지름에 내접하는 $10\sqrt{2}m$ 에서부터 외접하는 경우인 $20m$ 까지 변경시키며 중복되는 면적과 커버리지 비율의 변화를 분석하였다.

두 번째는 초기 노드의 개수를 90개로 설정하고 빅

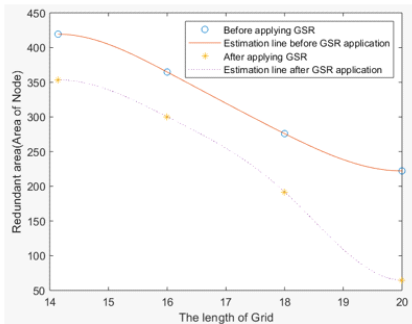
홀의 크기를 센싱 커버리지의 1배부터 7배까지 조절하며 격자가 반지름에 내접할 때, 외접할 때의 두 가지 경우로 나누어 중복되는 면적과 커버리지 비율의 변화를 분석하였다.

마지막으로 빅홀의 크기는 센싱 커버리지의 5배로 설정하고 초기 노드의 개수를 70개에서 110개까지 변화시키며 격자가 반지름에 내접할 때, 외접할 때의 두 가지 경우로 나누어 중복되는 면적과 커버리지 비율의 변화를 분석하였다.

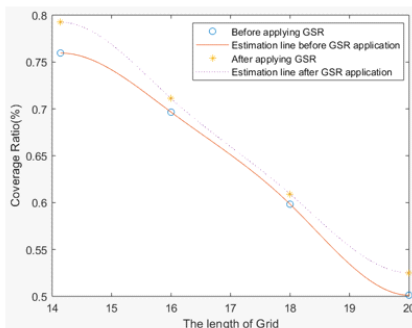
4.3.1 격자 크기의 변화에 따른 결과

그림 7의 (a)는 격자의 길이에 따른 중복되는 범위의 변화를 나타낸 것이다. Y축이 나타내는 값은 노드의 센싱 커버리지 면적을 의미한다. 중복되는 값이 너무 큰 이유는 중복되는 면적은 두 노드가 모두 가지고 있어 중복하여 더해지고 따라서 2배가 되기 때문이다.

GSR 알고리즘을 적용하였을 때 중복되는 면적이 줄어든 것을 확인할 수 있었다. 격자의 길이가 $10\sqrt{2}m$ 로 노드에 내접하는 환경에서는 약 16%가 줄어든 것을 확인할 수 있고 16m, 18m로 격자를 늘렸을 때 각각 약 31%, 33%가 줄어든 것을 확인할 수 있다. 그리고 외접하는 환경에서는 약 71%가 줄어들



(a)



(b)

그림 7. 격자 크기의 변화에 따른 결과 그래프
Fig. 7. Results graph as grid size changes

었다.

격자가 노드에 내접하는 경우에는 격자 외부에 센싱을 하는 영역이 존재하게 되어 노드가 겹치는 부분이 많아져서 중복 면적의 감소가 크지 않다.

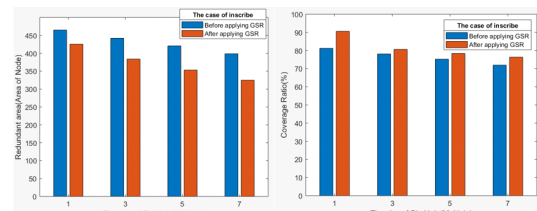
이에 반해 격자가 노드에 외접하는 경우에는 격자의 외부에 센싱되는 면적이 없기 때문에 다른 노드들과 커버리지가 겹치는 경우가 없게 된다. 따라서 중복 면적의 감소가 크게 발생했다.

그림 7의 (b)는 커버리지 비율의 변화를 나타낸다. 커버리지 비율의 측정은 각각 탐색해야 하는 영역을 격자의 크기에 맞춰 $200m \times 200m$ 와 $200\sqrt{2}m \times 200\sqrt{2}m$ 로 설정하였으며 노드가 센싱하는 모든 영역에 대한 비율을 계산했다. 내접하는 환경에서는 약 4%, 16m와 18m의 환경에선 약 1%에서 2%의 증가가 이루어졌다. 그리고 외접하는 환경에서는 약 2.5%가 증가하였다. GSR 알고리즘을 적용한 후에 커버리지 비율이 소폭 증가한 것을 확인할 수 있다.

4.3.2 빅홀 크기의 변화에 따른 결과

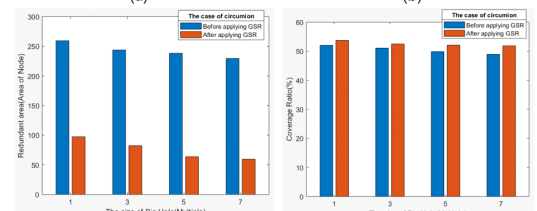
그림 8의 (a)는 격자가 내접한 환경($R = L/\sqrt{2}$)에서 GSR 알고리즘을 적용했을 때 홀의 크기에 따른 중복 면적의 변화를 나타낸 것이다. 홀의 크기는 센싱 커버리지의 1배, 3배, 5배, 7배로 설정되어 진행되었으며 홀이 커짐에 따라 중복되는 면적의 감소폭이 점점 커지는 것을 확인할 수 있다. 홀이 7배일 때는 약 17%가 감소한 것을 확인할 수 있다.

그림 8의 (b)는 격자가 내접한 환경에서 GSR 알고리즘을 적용했을 때 홀의 크기에 따른 커버리지 비율



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 8. 빅홀 크기의 변화에 따른 결과 그래프
Fig. 8. Results graph as Big Hole's size changes

의 변화를 나타낸 것이다. 1배일 때는 약 10%가 감소하였고 다른 때에는 약 3%에서 5% 정도가 감소하는 것을 확인할 수 있다.

그림 8의 (c)는 격자가 외접한 환경($R=L/2$)에서 GSR 알고리즘을 적용했을 때 홀의 크기에 따른 중복 면적의 변화를 나타낸 것이다. 외접한 환경에서는 홀의 크기에 상관없이 약 65% 정도 많이 감소한 것을 확인할 수 있다.

그림 8의 (d)는 격자가 외접한 환경에서 GSR 알고리즘을 적용했을 때 홀의 크기에 따른 커버리지 비율의 변화를 나타낸 것이다. 커버리지의 비율도 약 2%에서 5% 정도 증가한 것을 확인할 수 있다.

이로써 빅홀의 크기와 상관없이 중복 면적의 감소 측면에서 외접하도록 격자를 설정하였을 때 성능이 우수한 것을 확인하였다. 그리고 커버리지 비율의 성능은 소폭 증가한 것을 확인하였다.

4.3.3 초기 노드 개수의 변화에 따른 결과

그림 9의 (a)는 격자가 내접한 환경($R=L/\sqrt{2}$)에서 GSR 알고리즘을 적용했을 때 초기 노드 개수에 따른 중복 면적의 변화를 나타낸 것이다. GSR 알고리즘을 이용하여 복구를 진행했을 때 중복 면적의 감소가 일어난 것을 확인했다. 초기 노드의 개수가 70개일 때 약 25%의 감소가 일어났지만, 노드의 개수가 많아질수록 중복된 면적의 감소비율이 낮아지는 것을 확인했다.

그림 9의 (b)는 격자가 내접한 환경에서 GSR 알고리즘을 적용했을 때 초기 노드 개수의 변화에 따른 커버리지 변화의 비율을 나타낸 것이다. 노드의 개수가 많아짐에 따라 커버리지 비율이 점점 커지는 것을 확인할 수 있었다. 초기 노드의 개수가 110개일 때는 약 85%의 커버리지 비율을 가지는 것을 확인했지만 큰 변화의 폭은 없다는 것을 확인했다.

그림 9의 (c)는 격자가 외접한 환경($R=L/2$)에서 초기 노드 개수에 따른 중복되는 면적을 GSR 적용 전과 후를 나타낸 것이다. 노드의 개수와는 상관없이 큰 폭으로 작아지는 것을 확인했다. 초기노드의 개수가 70개일 때는 약 92%가 감소한 것을 보였고 80개, 90개, 100개, 110개일 때 각각 약 90%, 72%, 60%, 43%의 감소가 이루어진 것을 확인했다.

그림 9의 (d)는 외접한 환경에서 초기 노드 개수에 따른 커버리지 변화의 비율을 나타낸 것이다. 커버리지 비율의 증가는 소폭 증가한 것을 확인했다.

이로써 초기 노드 개수의 변화에 따라 격자가 내접해 있을 때보다 외접했을 때 중복되는 면적의 감소에

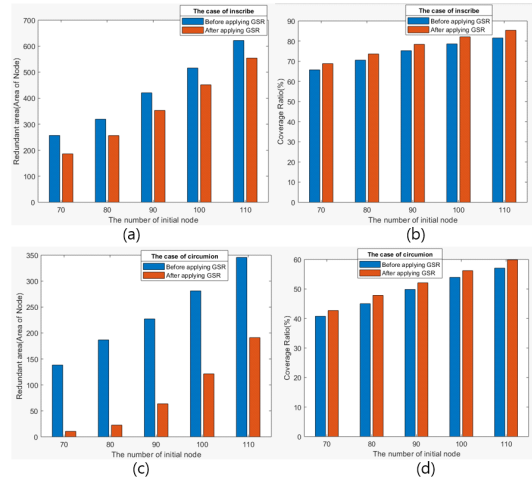


그림 9. 초기 노드 수의 변화에 따른 결과 그래프
Fig. 9. Results graph as the number of initial node changes

큰 성능을 보이는 것을 확인했다. 그 이유는 격자가 내접해 있기 때문에 한 격자에 있는 노드가 다른 격자의 영역을 센싱하지 않기 때문이다. 커버리지 비율 측면에서는 큰 차이가 없다.

V. 결론

본 연구에서는 기존의 노드 커버리지 교차점을 이용하는 NIFP 알고리즘과 다르게 WSN 노드 배치를 나타내는 격자 맵을 기반으로 홀을 탐지하고 자가복구하는 GSR 알고리즘을 제안하였다. 실험을 통해 이동성을 갖는 무선센서로 이뤄진 WSN에서 빅홀이 발생하는 경우에 GSR 알고리즘을 활용하면 노드 중복 면적을 최소화하며 커버리지 비율을 향상 시키는 자가복구가 가능함을 확인하였다.

본 연구 결과를 바탕으로, 차후 노드 격자 맵을 2차원에서 3차원으로 구성하게 되면, 드론과 같이 3차원 공간에서 임무를 수행하는 WSN에서 빅홀 문제 해소에도 기여할 수 있을 것이다.

References

[1] A. Tripathi, H. P. Gupta, T. Dutta, R. Mishra, K. K. Shukla, and S. Jit, "Coverage and connectivity in WSNs: A survey, research issues and challenges," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 26971-26992, 2018.

[2] R. Priyadarshi, B. Gupta, and A. Anurag,

- “Deployment techniques in wireless sensor networks: A survey, classification, challenges, and future research issues,” *J. Supercomputing*, vol. 76, pp. 7333-7373, 2020.
- [3] S.-H. Kim, H.-S. Park, J.-C. Lee, and S.-H. Kim, “Energy-efficient grid-based hole-detouring scheme in wireless sensor networks,” *J. KICS*, vol. 37, no. 4B, pp. 227-235, Apr. 2012.
- [4] D. S. Deif and Y. Gadallah, “Classification of wireless sensor networks deployment techniques,” *IEEE Commun. Surv. & Tuts.*, vol. 16, no. 2, pp. 834-855, Second Quarter 2014.
- [5] H. Y. Lao and F. Ding Yi, “Coverage hole detection algorithm based on HPNs in WSN,” *IEEE 18th ICCT*, pp. 896-900, 2018.
- [6] B. Wang, “Coverage problems in sensor networks: A survey,” *ACM Computing Surveys*, vol. 43, no. 4, 2011.
- [7] M. R. Senouci, A. Mellouk and K. Assnoute, “Localized movement-Assisted sensor deployment algorithm for hole detection and healing,” *IEEE Trans. Parallel and Distrib. Syst.*, vol. 25, no. 5, pp. 1267-1277, May 2014.
- [8] L. Aliouane and M. Benchaiba, “HACH: Healing algorithm of coverage hole in a wireless sensor network,” *8th Int. Conf. Next Generation Mob. Apps, Serv. and Technol.*, pp. 215-220, 2014.
- [9] B. Khalifa, Z. Al Aghbari, A. M. Khedr, and J. H. Abawajy, “Coverage hole repair in WSNs using cascaded neighbor intervention,” *IEEE Sensors J.*, vol. 17, no. 21, pp. 7209-7216, Jan. 2017.

김도윤 (Doyoon Kim)



2021년 2월 : 아주대학교 국방디지털융합학과 졸업
 2021년 6월~현재 : 대한민국 공군 장교
 <관심분야> 항공소프트웨어, 무선네트워크, 항공전술통신
 [ORCID:0000-0002-2912-4248]

이민우 (Minwoo Lee)



1998년 2월 : 한국항공대학교 항공통신정보공학과 졸업
 2013년 2월 : 아주대학교 일반대학원 NCW공학 박사 졸업
 2019년 3월 : 아주대학교 국방디지털융합학과 대우부교수

<관심분야> 위성통신, 네트워크 보안, 사이버전자전
 [ORCID:0000-0001-7109-4700]

임재성 (Jaesung Lim)



1983년 2월 : 아주대학교 전자공학 학사
 1985년 2월 : KAIST 영상통신 석사
 1994년 8월 : KAIST 디지털통신 박사
 1995년 9월~1998년 2월 SK 텔레콤 중앙연구원 책임연구원

1998년 3월~현재 : 아주대학교 국방디지털융합학과 정교수

2006년 8월~현재 : 아주대학교 국방전술네트워크 연구센터장

<관심분야> 이동 및 위성통신, 무선네트워크, 국방전술통신

[ORCID:0000-0003-0080-9398]