

감시정찰 센서네트워크에서 환경요소와 노드수량을 고려한 노드 배치 전략

정회원 김 용 현*, 종신회원 정 광 수**°

A Node Deployment Strategy Considering Environmental Factors and the Number of Nodes in Surveillance and Reconnaissance Sensor Network

Yong-Hyun Kim* *Regular Member*, Kwangsue Chung**° *Lifelong Member*

요 약

무선 센서네트워크에서 센서 커버리지와 네트워크 연결성 문제는 노드의 제한된 탐지거리와 통신거리로 인해 발생한다. 커버리지와 연결성 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되었지만 대부분의 연구가 무선 센서네트워크 배치에 영향을 주는 다양한 환경요소를 고려하고 있지 않기 때문에 실환경에 적용되는데 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 감시정찰 센서네트워크에서 지형, 식생, 기상 등 환경요소와 제한된 노드 수량을 고려하여 노드를 배치하는 방법을 제안한다. 제안방법은 감시정찰 센서네트워크 시스템의 설치 절차를 IPB분석을 통한 배치영향요소파악, 센서 탐지범위 기반 센서노드 배치, 모니터링 장소 선정, RF 통신범위 기반 중계노드 배치와 같이 4단계로 구분하고, 감시정찰 센서네트워크 시스템 특징과 환경 영향요소를 고려하여 센서노드와 중계노드를 배치하는 것이다. 시뮬레이션을 통해 제안방법을 검증하였으며, 커버리지와 네트워크 연결성에서 성능이 향상됨을 확인하였다.

Key Words : sensor network, coverage, connectivity, deployment

ABSTRACT

In the area of wireless sensor networks, sensor coverage and network connectivity problems are caused by a limited detection range and the communication distance of the nodes. To solve the coverage and connectivity problems, many studies are suggested, but most research is restricted to apply into the real environment because they didn't consider various environmental factors on wireless sensor network deployment. So in this paper, we propose a node deployment strategy considering environmental factors and the number of nodes in surveillance and reconnaissance sensor networks(SRSN). The proposed node deployment method divides the installation of the surveillance and reconnaissance sensor networks system into four steps such as identification of influences factors for node placement through IPB process, sensor node deployment based on sensing range, selection of monitoring site, and relay node deployment based on RF communication range. And it deploys the sensor nodes and relay nodes considered the features of the surveillance and reconnaissance sensor network system and environmental factors. The result of simulation indicates that the proposed node deployment method improves sensor coverage and network connectivity.

※ 본 연구는 민군겸용기술사업(Dual Use Technology Program) 지원을 받아 수행되었음.

* 국방과학연구소(yonghyun@add.re.kr), ** 광운대학교 전자통신공학과(kchung@kw.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2011-10-457, 접수일자 : 2011년 10월 12일, 최종논문접수일자 : 2011년 11월 30일

I. 서 론

무선 센서네트워크(Wireless Sensor Network)는 사물이나 환경을 감지하고 제어할 수 있는 센서들 간 자율적 네트워크 구성을 통해 자동으로 원격 환경정보의 수집이 가능하고 위치기반으로 적이나 차량의 침입을 탐지하며 추적할 수 있는 시스템이다^[1]. 무선 센서네트워크를 구성하는 센서노드와 중계노드는 제한된 탐지거리와 통신거리 뿐만 아니라 제한된 배터리 용량을 가지고 있다. 이러한 제한조건으로 인해 커버리지, 네트워크 연결성, 네트워크 지속시간, 스케줄링, 데이터 수집 등과 관련된 기술적 이슈가 발생한다. 커버리지와 연결성 문제는 노드의 제한된 탐지거리와 통신거리로 인해 발생한다. 두 가지 문제를 해결하기 위한 해법은 센서를 어떻게 위치시키느냐에 있다. 커버리지 문제는 감시되어야 하는 지점을 센서로 커버하는 것을 보장하는 것과 관련된다. 커버리지를 최대화하는 것은 센서를 서로 너무 가깝게 배치하지 않게 하여 네트워크의 탐지능력을 충분히 이용하는 동시에 센서를 서로 너무 멀리 배치하지 않게 하여 커버리지 공백(coverage hole)이 발생하는 것을 피하는 것이 유일한 해결책이다^[2]. 한편 연결성 관점에서 보면 센서 노드가 탐지한 정보를 C2(Command & Control)단말기로 안전하게 전송하기 위해 센서노드와 중계노드를 통신범위 내에 배치해서 연결성이 보장되게 해야 한다.

최적 노드 배치 문제는 매우 어려운 문제이며 대부분 NP-Hard인 것으로 알려져 있다. 따라서 여러 연구들이 최적에 가까운 결과를 얻기 위해 발견적 접근(heuristic approach)을 사용하였다^[2]. 노드 배치 전략은 최적화가 노드를 설치한 시점에 수행되느냐, 네트워크가 동작하는 동안에 수행되느냐에 따라 정적배치(static positioning)와 동적배치(dynamic positioning)로 분류한다. 더 나아가 공개된 기술을 배치 방법, 배치 최적화 목표, 노드 역할에 따라 세부 분류할 수 있으며 각 분야에서 많은 연구가 진행되어 왔다^[3]. 하지만 대부분의 연구가 센서네트워크 배치에 영향을 주는 다양한 환경요소를 고려하고 있지 않기 때문에 실 환경에 적용되는데 한계가 있다. 따라서 본 논문에서는 지형, 식생, 기상 등의 외부 환경적인 요인과 제한된 노드수량을 고려한 노드 배치 방법을 제안함으로써 실제로 무선 센서네트워크의 무기체계화에 기여하고자 한다.

본 논문의 구성은 II장에서 노드 배치와 관련된 연구를 살펴보고, III장에서 감시정찰 센서네트워크 시스템에서 환경요소와 노드수량을 고려한 노드 배치 전략을 기술한다. IV장에서는 제시한 노드 배치 전략을 시뮬레이션 결과를 통해 성능을 평가하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 노드 배치 전략

최적의 노드 배치 전략은 사용자가 요구하는 성능 달성을 위해서 어떤 위치에 어떤 노드가 배치되어야 하는지 결정하는 것이다. 노드 배치는 노드 역할에 따라 목적과 배치방법에 차이가 있다. 센서노드 배치는 센싱 커버리지를 최대화하는데 목적이 있다. 커버리지는 영역 커버리지(area coverage), 포인트 커버리지(point coverage), 경계 커버리지(barrier coverage)로 분류할 수 있으며^[2], 대부분의 소개된 논문은 영역 커버리지에 대해 다루고 있다^[3].

Biagioni와 Sasaki^[4]는 hexagonal, ring, star 등 규칙적인 노드 배치 토폴로지를 검토하였고, 정상적인 때와 부분적인 실패가 있을 때 커버리지와 연결 특성을 연구하였다. 그들은 규칙적인 노드 배치가 최적의 구성이 아님에도 불구하고 대칭성 때문에 분석이 간단하다고 주장하였다. Howard 등^[5]은 탐지 영역을 최대화하기 위해서 이전에 배치된 센서 노드의 정보를 기반으로 센서를 하나씩 배치시키면서 탐지 영역을 확장하는 방법을 제안하였다. Zou와 Chakrabarty의 VFA(Virtual Force Algorithm)^[6]는 정해진 센서 개수에 따라 탐지 영역을 최대화하기 위해서 인력과 척력의 개념을 사용하였다. Butler와 Rus^[7]는 탐지 영역에 대한 적용 범위를 유지하기 위해서 센서들이 이벤트가 발생한 지역으로 이동하도록 하는 연구를 하였다. 이 방법은 탐지 대상의 이동 경로 부근에 센서를 재배치함으로써 탐지율을 최대화할 수 있는 장점이 있지만 이벤트가 발생할 때마다 센서를 이동시키므로써 에너지 소비가 커지는 단점이 있다. Wang 등^[8]은 탐지 영역에 대한 그리드를 만들어 고밀도 그리드에서 저밀도 그리드로 잉여 센서들을 이동시켜 더 나은 형평성을 추구하도록 하는 센서 재배치에 대한 연구를 하였다. 이 방법은 전체 센서네트워크의 잔여 에너지량을 최소화하도록 에너지 소비량을 조절하여 이동 센서를 재배치시키는 최적의 스케줄을 제공할 수 있음을 보였다.

센서노드를 배치하는데 있어서 센서의 밀도 및 분포의 균일성 외에도 다양한 기후와 지형 등의 환경요소를 고려하려는 시도가 있다^[9]. 하지만 환경요소의 영향을 지수화하는 연구내용의 근거가 미약하고, 배치

시 고려요소가 제한되어 있다.

중계노드의 배치는 네트워크 연결성과 시스템 운용 시간을 최대화하는데 목적이 있다. Hou 등^[10]은 센서 노드와 AFN(agggregation-and-forwarding)노드로 구성된 2계층 센서네트워크를 제안하였다. 센서노드는 AFN으로 데이터를 전송하고 AFN은 이를 중계한다. Tang 등^[11]은 모든 노드가 중계노드에 연결될 수 있는 중계노드 배치 문제를 연구하였고, Lloyd와 Xue^[12]는 중계노드가 센서노드 보다 긴 전송거리를 갖는 모델 일반화에 대하여 다루었다.

기존의 노드배치에 관한 연구들은 이론적으로 많은 기여를 하였지만 대부분 센서네트워크 배치에 영향을 주는 요소를 다루고 있지 않아 실제 환경에 적용하기 곤란하다.

2.2 감시정찰 센서네트워크 시스템

감시정찰 센서네트워크 시스템은 무선 센서네트워크를 이용한 것으로 복합 센싱 능력을 갖는 소형 센서 노드간의 자율적 무선 네트워크 구축을 통해 근접 감시정찰 정보를 실시간으로 획득, 처리하는 시스템이다. 감시자산 측면에서 감시정찰 센서네트워크 시스템은 주요작전 임무 수행시 전술제대급(사단급 이하)에서 운용하는 MASINT(Measure and Signature Intelligence) 자산으로 분류될 수 있다^[13].

감시정찰 센서네트워크 시스템의 구성은 표 1과 같이 센서노드, 중계노드, C2단말기로 구성된다^[1]. 센서노드는 자기, 진동, 소리, 빛, 열을 감지할 수 있는 센서를 가지고 있으며 적 지역을 포함한 비우호 지역에서 네트워크를 구성할 수 있는 자기구성(self-configuration) 능력을 가지고 있다. 또한 센서 파괴 및 고장에 대비한 자기복구(self-healing) 능력이 있다. 중계노드는 센서노드로부터 탐지된 데이터를 수신하여 모니터링 장소로 원거리 전송하는 역할을 담당한다.

표 1. 감시정찰 센서네트워크 시스템 구성

 (감시정찰용)  (정찰용) 센서노드	 중계노드	 (지휘사용)  (휴대용) C2단말기
--	---	--

다. 이것은 센서노드보다 많은 에너지 자원을 바탕으로 확장된 전송능력을 가지고 있으며 센서들이 전송한 정보들을 수집, 처리하여 전술C4I(Command, Control, Communications, Computers and Intelligence) 체계에 전송하여 침입여부와 위치, 이동경로를 보고한다. C2단말기는 모니터링 장소에 설치하는 장비로 센서네트워크를 총괄하는 역할을 하며 실제 운용자가 운용하기 용이한 인터페이스를 갖는다. C2단말기는 일반적으로 PC의 형태를 갖거나 휴대할 수 있는 소형 단말기 형태를 가지며 탐지 데이터를 종합하고 분석하여 그 결과를 전시한다.

감시정찰 센서네트워크 시스템의 가장 큰 특징은 사람에 의해 설치가 되며, 한번 설치가 되면 노드는 이동 기능이 없기 때문에 스스로 움직일 수 없다. 또한 임무에 사용되는 감시정찰 센서네트워크 시스템의 설치수량은 제한되어 있으며, 외부 환경조건(지형, 기상, 위협)에 영향을 많이 받는다^[13].

2.3 노드 배치시 영향 요소

노드 배치계획은 단순하게는 임무지역에서 최적의 센서 수량을 설치할 최상의 위치를 선택하는 문제이다. 하지만 배치계획을 작성하는 사용자에게 유용한 배치 자동 시스템이 되기 위해서는 위치 결정에 영향을 주는 요소를 고려해야 한다. 노드 위치 결정에 영향을 주는 요소는 임무종류, 임무지역, 표적종류, 임무작업, 센서종류, 지형 및 식생, 기상, 가용한 노드 수량, 통신, 침입확률 등이 있다^[14]. 또한 노드의 설치 위치를 산출하기 위해서는 시스템 상에서 센서 탐지거리, RF 통신거리, 노드 배치 형태와 같은 중간 도출 항목도 고려해야 한다^[13]. 그림 1에 고려요소와 중간 도출 항목간의 관계를 나타냈다. 센서는 임무지역, 표적종류, 임무작업을 고려하여 선택한다. 센서의 탐지거리는 센서종류, 지형 및 식생, 기상의 영향을 받는다. RF 통신거리는 지형 및 식생, 기상에 영향을 받는다.

중간 도출 항목인 노드 배치 형태는 센서 운용방식, 표적 종류, 노드 수량 등을 고려해야 하는데 그림 1에서 확인할 수 있듯이 임무종류, 표적종류, 임무작업, 센서종류, 지형 및 식생, 가용자산, 통신, 침입확률 등 대부분의 요소가 영향을 준다. 또한 중간 도출 항목인 센서의 탐지거리, RF 통신거리, 노드 배치 형태도 서로 영향을 준다.

고려요소별 관계에서 가장 중요한 요소는 센서의 탐지거리이다. 대부분의 고려요소는 직접적이든 간접적이든 센서의 탐지거리에 영향을 주는데 그림 1에서 파악한 내용을 기반으로 고려요소에 대한 센서별 성

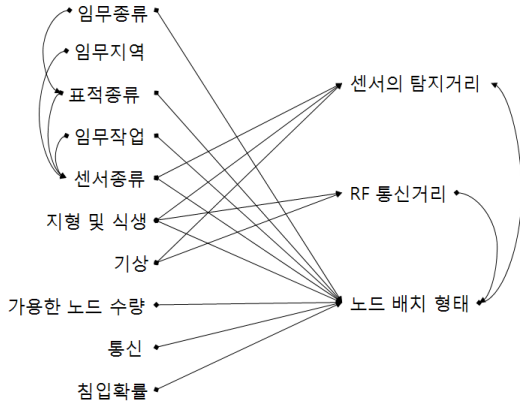


그림 1. 고려요소별 관계도

능 영향정도를 표 2에 정리하였다. 표 2에서 알 수 있듯이 센서 종류에 따라 고려요소에 영향을 받는 정도는 차이가 있다. 따라서 정확한 배치를 위해서는 이러한 관계까지도 시스템에 반영이 되어야 한다.

표 2. 고려요소별 센서 영향정도

구분	임무 지역	표적 종류	임무 작업	지형	식생	기상
진동	△	×	○	×	△	○
자기	×	○	×	×	×	×
음향	○	△	×	△	△	○
PIR	△	×	○	○	○	○
이미지	△	×	×	○	○	○
UWB	△	×	×	○	○	×
RF	△	×	×	△	△	△

영향정도: ○(높음), △(중간), ×(없음)

III. 감시정찰 센서네트워크 시스템 배치방법

본 논문은 지형, 식생, 기상 등 외부 환경요소와 제한된 노드 수량을 고려하여 노드를 배치하는 방법을 제안한다. 제안방법은 감시정찰 센서네트워크 시스템의 특징과 영향요소를 고려하고 시스템 설치 절차를 4단계로 구분하여 단계별로 센서노드, 중계노드를 배치하는 것이다. 감시정찰 센서네트워크 시스템의 설치 절차는 그림 2와 같이 IPB(Intelligence Preparation of the Battlefield) 분석을 통해 노드배치 영향요소 파악, 센서 탐지범위 기반 센서노드 배치, 모니터링 장소 선정, RF 통신범위 기반 중계노드 배치 순서로 진행된다. 본 장에서는 감시정찰 센서네트워크 시스템의 설

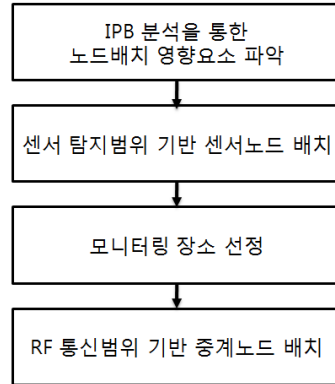


그림 2. SRSN 설치 절차

치절차에 따라 센서노드와 중계노드를 중심으로 배치 방법을 기술한다.

3.1 IPB 분석을 통한 노드배치 영향요소 파악

감시정찰 센서네트워크 시스템 배치의 첫 단계는 작전지역의 IPB 분석을 통해 노드배치에 영향을 주는 환경요소와 위협요소를 결정하는 것이다. 분석에 활용하는 IPB는 지원부대의 군사정보 담당부서에서 수행한 결과를 이용한다. 이 분석에서 사용되는 핵심 IPB 산출물은 토양분석 연구, 통신신, 복합된 장애물, 적상황, 가시선 등이다. 이 과정이 완성되면 센서 운영반은 노드가 설치되는 곳의 지형, 기상, 적의 영향에 대해 상세하게 이해하게 되고 센서노드, 중계노드, 모니터링 장소에 대한 잠정적인 위치를 파악한다.

IPB 분석에 사용하는 지형자료는 위성영상, 군사지도, 고도자료, 지형분석도 등이 있다. 감시정찰 센서네트워크 시스템의 센서노드 탐지범위가 수십m 이므로 지형자료의 축척은 적어도 1:1000정도가 되어야 한다.

3.2 센서 탐지범위 기반 센서노드 배치

센서노드 배치 전략은 센서노드의 성능에 영향을 주는 지형, 식생, 기상 조건을 고려하여 주어진 비용 제약 하에서 경계 성능을 극대화하는 최적 배치 방법을 찾는 것이다. 최적 배치를 찾는 문제의 접근방법은 유전자 알고리즘이나 모의 담금질(simulated annealing)과 같이 광역 탐지 방법, 무한의 노드를 배치한 후 지역적인 최적화 지점에 도착할 때까지 노드를 제거하는 방법, 개별 센서노드를 추가하면서 비용함수가 최소값에 도달하는 지점을 찾는 방법 등이 있다^[14].

본 논문에서 풀어야 할 문제는 주어진 제약조건을 만족하면서 탐지 성능을 최대화하는 센서노드의 위치를 결정하는 것으로 정의하고, 문제의 해법으로 정수

계획법(integer programming)^[15]을 이용하여 최적화 모델을 수립하였다. 여기서 주어진 제약조건이란 센서 노드의 수량이 제한되어 있음을 의미한다. 제한된 센서노드 수량에 맞춰 각 센서노드가 커버할 셀(cell)을 할당하고, 각 셀의 커버리지를 최대화 시키는 것이다. 이때 사용한 가정 조건은 하나의 셀은 하나의 센서노드가 담당하고, 센서노드가 담당할 수 있는 셀 수는 센서노드의 RF 통신거리 내로 제한된다. 또한 센서노드의 성능은 모두 동일하며 커버리지는 지형, 식생, 기상에 따라 차이가 있다.

그림 3에 센서 탐지거리를 기반으로 한 센서노드 배치 흐름도를 나타냈다. 먼저 임무지역에 설치할 센서노드 수량, 임무지역의 지형, 식생, 기상, 임무종류 등을 입력받아 센서노드 배치에 영향을 주는 각 요소별 가중치를 산출한다. 지형, 기상, 식생차폐율, 노드 배치 형태의 가중치를 반영한 탐지거리 r_s 는 식(1)과 같다.

$$r_s = w_{sg}w_{st}w_{sw}w_{sd}R_S \tag{1}$$

여기서 w_{sg} , w_{st} , w_{sw} , w_{sd} 는 각각 지형, 식생, 기

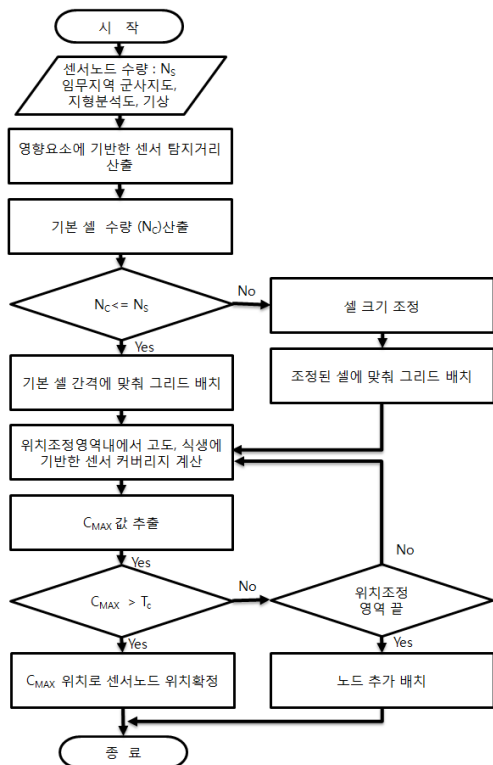


그림 3. 센서노드 배치 흐름도

상, 노드 배치형태가 탐지거리에 미치는 가중치를 나타내며, R_S 은 센서의 최대 유효탐지거리를 나타낸다. 탐지거리 r_s 의 최대값은 R_S 이며, 각각의 가중치의 범위는 0.0~1.0이다. 노드 배치형태는 다양한 작전에 따라 차이가 있으며, 그에 따라 노드 간격이 결정이 된다. 노드간 간격이 짧을 경우 탐지거리 중복을 없애기 위해 탐지거리 조정이 필요하다. 여기서 조정값이 노드배치에 의한 가중치이며 범위는 0.0~1.0이다. 탐지거리 r_s 이 구해지면 이 값을 통해 센서노드를 배치할 영역에 대한 기본 셀(cell)의 개수 N_C 은 식 (2)를 이용하여 구한다.

$$N_C = A_w/r_s \times A_h/r_s \tag{2}$$

여기서 A_w 는 임무영역의 가로 길이이며, A_h 는 임무영역의 세로 길이이다.

식 (2)에 의해 구한 셀의 개수 N_C 와 센서노드 대수 N_S 를 비교하여 최초 배치방법을 결정한다. 만약 셀의 개수가 센서노드 대수 이하이면 센서노드 수량에 여유가 있으므로 기본 셀로 구성된 사각형 격자 그리드 형태로 센서노드를 배치한다. 셀 개수가 센서노드보다 많을 경우에는 셀의 크기를 고정된 상태에서 센서노드를 설치할 셀을 선택하거나 셀을 병합하여 설치한다. 제한된 노드 수량으로 넓은 감시영역을 그리드 형태로 설치하여 운용해야 할 경우에는 셀의 크기를 고정된 상태에서 노드를 지그재그 형태로 배치하는 삼각형 격자 그리드가 유용하다.

셀 병합은 일정크기를 동일하게 병합하거나 위험수준에 맞춰 셀의 크기를 조정하는 방법이 있다. 그림 4는 기본 셀의 일정영역을 병합해서 셀 크기를 조정하는 것이다. 병합된 셀 개수 N_{CM} 은 식 (3)과 같이 기본 셀 개수 N_C 를 병합하고자 하는 가로나 세로방향의 셀 수 n 을 제공한 것으로 나누어 구한다.

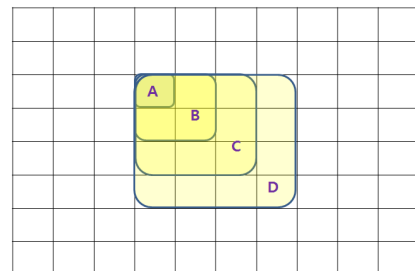


그림 4. 셀크기 조정

$$N_{CM} = N_C / n^2 \quad (3)$$

그림 4에서 A는 하나의 셀로 구성된 것이며, B는 셀 A가 4개로 구성된 것이다. 또한 C는 셀 A가 9개로 구성된 것이며, D는 셀 A가 16개로 구성된 것이다. 이렇듯 센서노드 수량에 맞춰 셀의 크기를 조정할 수 있다.

셀의 크기를 조정할 때에는 센서노드의 RF 통신범위를 고려해야 하기 때문에 셀의 크기를 무조건 크게 할 순 없다. 병합된 셀의 가로 길이를 W_{CM} 라고 하고, 센서노드 RF 통신거리를 R_C 라고 할 때 병합된 셀의 크기는 식 (4)와 같은 조건을 만족해야 한다.

$$2 \times W_{CM} < R_C \quad (4)$$

셀의 크기를 조정하는 또 다른 방법은 침입자의 침입확률에 따라 셀의 크기를 조정하는 것이다. 즉, 침입확률이 높은 곳은 셀을 작게 해서 센서노드를 촘촘히 설치하고, 침입확률이 낮은 곳은 셀을 크게 해서 센서노드를 드문드문 설치하는 방법이다. 이를 식으로 표현하면 침입확률을 고려한 셀 면적 A_{CM} 는 식 (5)와 같다.

$$A_{CM} = \begin{cases} A_C, & p_i \geq K \\ A_C * n^2, & 0 < p_i < K \\ 0, & p_i = 0 \end{cases} \quad (5)$$

여기서 A_C 는 기본 셀 면적의 크기이며, p_i 는 i 번째 셀에서 침입자의 침입확률이다. n 은 병합할 셀의 가로나 세로방향의 셀 수이며, K 는 셀크기 조정여부를 판단하는 임계값이다. 침입확률 p_i 가 K 이상이면 기본 셀의 크기로 설정하고, p_i 가 0보다 크고 K 보다 작은 경우는 이웃한 셀과 병합을 한다. p_i 가 0이면 해당 셀에는 노드를 설치하지 않는다. 셀 크기 조정은 셀 개수(N_{CM})와 설치할 센서노드 개수(N_S)에 근접할 때까지 수행한다.

그리드 형태로 배치된 개별 센서노드는 해당 셀내에서 최초 센서노드 설치지점을 중심으로 위치조정 영역을 설정한다. 위치조정 영역은 계산의 편의를 위해 한 변의 길이가 $\sqrt{2}r_s$ 인 정사각형으로 설정한다. 위치조정 영역이 설정되면 위치조정 영역 내에서 등간격으로 이동하면서 각 지점에 대한 고도와 주변의 식생에 기반한 센서 커버리지를 계산한다. 그런 다음 위치조정 영역 내에서 최대 커버리지 값 C_{MAX} 를 구하

고, 커버리지 임계값 T_C 와 비교를 통해 임계값보다 크면 C_{MAX} 위치로 센서노드의 위치를 확정한다.

센서노드를 전체 위치조정 영역내에서 위치를 조정하였는데도 C_{MAX} 가 임계값 T_C 보다 작으면 노드를 추가 배치한다. 노드 추가 배치방법은 셀을 4개의 서브셀로 나누어 각 서브셀에 노드를 1개씩 배치하는 것이 가장 간단하고, 더 정교한 방법은 4개의 셀에 대해 커버리지 평균을 구하고, 가장 열악한 지점을 중심으로 노드를 배치하는 것이다.

최대 커버리지 지점을 찾는 알고리즘에서 한가지 주의할 사항이 있다. 센서노드 위치를 변경하면 커버리지만 중복문제가 발생하므로, 이러한 중복을 최소화할 수 있도록 알고리즘의 수정이 필요하다. 센서노드의 위치조정 영역을 세분화해서 각각의 영역에 가중치를 달리하여 위치별 커버리지를 계산할 때 이 가중치를 곱하여 계산하면 중복을 줄일 수 있다.

3.3 모니터링 장소 선정

모니터링 장소의 위치는 IPB 분석결과를 통해 다양한 요소를 기반으로 선정한다. 가장 중요한 고려사항은 통신 가치선을 확보하는 것이다. 두 번째는 센서 필드로부터 거리가 떨어진 곳으로 적의 침입으로부터 대처할 시간적 여유가 있는 곳이어야 한다. 세 번째는 지원부대에 센서데이터를 적시에 제공하는 능력이다. 모니터링 위치는 지휘소와 동일 장소일 때 최적이며, 이는 센서 보고서 전파를 단순화시키고 전파속도를 높이기 때문이다. 또한 모니터링 장소는 보안, 접근성, 지원요소 등도 고려하여 선정한다.

모니터링 장소는 작전이나 C2단말기에 따라 차이가 있다. 고정 시설 경계 목적일 경우 모니터링 장소는 사전에 지정되며, 적지역에서 수행되는 작전과 같이 감시지역이 확정되지 않을 경우에는 센서필드로부터 안전한 지점을 찾아야 한다. 또한 C2단말기가 고정형일 경우와 휴대용일 경우를 구분하여야 한다.

3.4 RF 통신범위 기반 중계노드 배치

중계노드 배치 전략은 운용의 효율성과 에너지 소모를 최소화하기 위해 세 가지 기본원칙을 정의하여 수립한다. 첫째 중계노드와 모니터링 장소를 먼저 연결한 후에 중계노드와 센서노드를 연결한다. 둘째 중계노드와 모니터링 장소의 연결은 직접 연결을 최우선시 하고 직접연결이 안될 경우 중계노드간 멀티홉으로 연결한다. 셋째 중계노드와 센서노드 연결 또한 직접연결을 최우선시 하고 직접연결이 안될 경우 주변의 센서노드간 멀티홉을 통해 연결한다.

그림 5는 세가지 기본원칙을 기반으로 작성한 중계노드 배치 흐름도이다. 중계노드는 센서노드 기본 단위당 1대씩 할당이 되며, 최초 중계노드의 위치는 센서노드 클러스터의 중심으로 한다. 그런다음 중계노드와 모니터링 장소간 직접 연결 가능성 여부를 식 (6) 과 같이 통신거리 r_c 를 이용하여 파악한다.

$$r_c = w_{rg} w_{rt} w_{rw} R_C \quad (6)$$

여기서 w_{rg} , w_{rt} , w_{rw} 는 각각 지형, 식생, 기상에 의한 통신거리 감쇄율을 나타내며, R_C 은 최대 통신거리를 나타낸다. 중계노드와 모니터링 장소간 거리를 R_{R-M} 라고 하면 r_c 가 R_{R-M} 보다 크면 연결이 가능하다.

중계노드와 모니터링 장소간 직접 연결이 가능하면 다음으로 중계노드와 센서노드의 연결을 확인한다. 먼저 센서노드의 클러스터에서 중계노드와 센서노드가

1홉(hop)으로 연결되는 노드수 N_L 을 계산한다. 이때 N_L 의 최대값 N_{Lmax} 와 그때 위치를 저장한다. 다음으로 N_L 이 사용자가 지정한 임계값 T_L 보다 크면 중계노드와 센서노드를 연결한다. 만약 N_L 이 T_L 보다 작으면 중계노드의 위치를 이동해서 이전 과정을 반복한다. 중계노드 위치조정 방법은 센서노드의 클러스터 내에서 중계노드를 이동하면서 통신가능성을 체크한다.

중계노드를 전체 위치조정 영역내에서 위치를 조정했는데도 N_L 이 임계값 T_L 보다 작을 경우, N_{Lmax} 값을 확인한다. 만약 N_{Lmax} 가 0보다 크면 해당위치로 중계노드 위치를 확정하고, 만약 N_{Lmax} 가 0이면 이웃해 있는 중계노드를 통해 모니터링 장소와 연결한다. 이 또한 불가능하면 중계노드를 추가 배치해서 모니터링 장소와 연결을 한다.

그림 6은 중계노드와 센서노드의 연결 흐름도이다. 먼저 중계노드와 센서노드가 1홉으로 연결이 가능하면 직접 연결한다. 만약 불가능하면 이웃한 센서노드

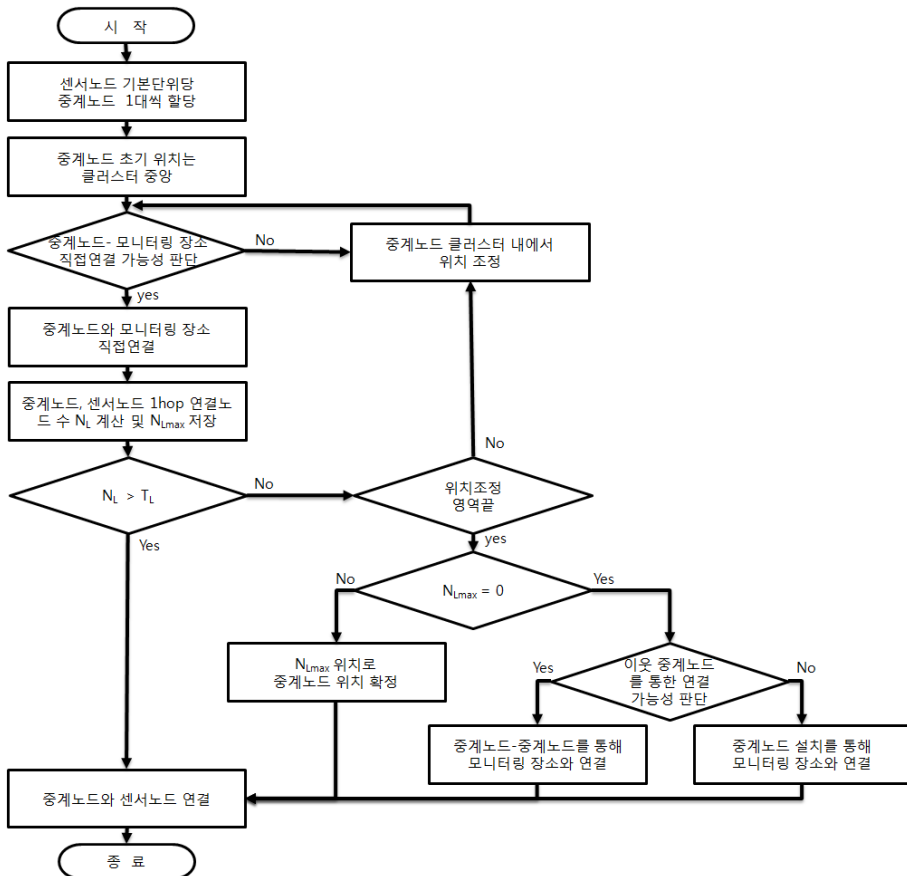


그림 5. 중계노드 배치 흐름도

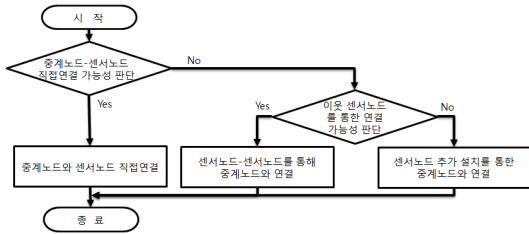


그림 6. 중계노드와 센서노드 연결 흐름도

를 통해 연결 가능성을 판단한다. 이웃한 센서노드와의 멀티홉을 통한 연결이 가능하면 주어진 홉 범위내에서 연결을 한다. 만약 이웃한 센서노드를 통해서도 중계노드와 연결이 안된다면 센서노드를 추가배치해서 연결하거나 연결이 안되는 노드는 제외시킨다.

IV. 성능평가

제안하는 기법의 성능을 평가하기 위해서 Global Mapper Version 9.03과 실제 지형자료를 이용하여 시물레이션을 수행하였다. Global Mapper를 통해 지형, 식생, 기상을 고려하여 커버리지와 통신거리를 산출하였다. 본 논문에서는 성능지표(performance metrics)로 센서노드 커버리지와 네트워크 연결성을 사용하였으며, 배치 알고리즘의 적용 전과 적용 후를 비교하였다. 배치 알고리즘 적용 전 단계는 센서노드를 기본 셀 간격에 맞춰 그리드 형태로 배치한 것으로 센서노드는 각 셀의 중심에 위치한다. 배치 알고리즘 적용 후 단계는 제안한 알고리즘을 수행하여 노드가 최적의 위치에 배치된 것이다.

커버리지는 감시정찰 센서네트워크 시스템 전체의 성능을 평가하는 가장 중요한 지표이다. 이는 전체 관심 영역의 임의의 한 지점이 적어도 한 센서에 의해 관찰되는 정도를 의미한다. 네트워크 연결성은 센서노드와 중계노드간 연결과 중계노드와 모니터링 장소간 연결의 평균 홉수를 의미한다. 홉수가 적을수록 소모되는 에너지가 적게 되어 수명을 연장할 수 있다.

시물레이션에 사용한 실험지역의 고도 자료는 그림 7과 같이 27.7km×15.7km 영역으로 16.5m/pixel이다. 그림 7의 좌측 스케일은 고도를 표시한 것으로 실험지역은 최소 217m에서 최대 306m로 분포해 있다. 센서노드의 탐지거리는 30m이고, 통신거리는 200m이므로 실험에 사용한 지형자료를 이용하여 커버리지와 네트워크 연결성을 분석하는데 한계가 있다. 따라서 실험에서는 센서노드의 탐지거리와 통신거리를 각각 700m, 4.7km로 가정해서 시물레이션을 수행하였다.

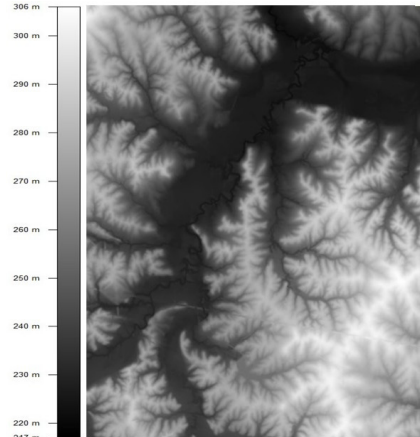


그림 7. 실험지역 고도자료

이는 지도의 해상도를 0.7m/pixel로 조정한 것과 같은 효과를 갖게 된다.

먼저 제안한 센서노드 배치 알고리즘의 성능 검증을 위해 센서노드의 최초 위치와 최종 위치에 대한 커버리지를 비교한다. 가시선(line of sight) 관점에서 커버리지를 분석하기 위해 센서는 360° 탐지가 가능한 PIR(Passive Infra-Red)을 사용하였다. 커버리지는 식 (7)을 이용하여 계산하였다^[6].

$$Coverage(\%) = \frac{\bigcup_{i=1}^N A_i}{A} \quad (7)$$

여기서 A_i 는 센서 i 에 의해 커버되는 지역이며, N 은 전체 센서의 개수, A 는 관심영역의 넓이다.

실험지역 지형자료는 IPB 분석 내용을 통해 산출한 탐지거리를 기반으로 7×8의 그리드를 형성하였다. 그림 8(a)는 센서노드 배치 최초 위치에서 커버리지를

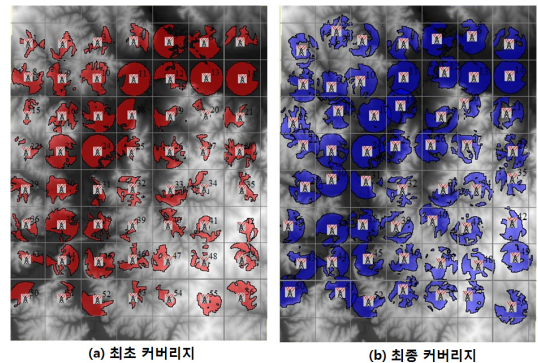


그림 8. 센서노드 위치조정 전후 커버리지

나타낸 것이고, 그림 8(b)는 센서노드 위치조정 후 최종 위치에서의 커버리지를 나타냈다. 그림 8에서 확인할 수 있듯이 고도차가 심한 곳은 평지보다 커버리지가 훨씬 낮다. 식 (7)을 이용하여 두 가지 경우에 대한 평균 커버리지를 표 3에 정리했다. 최종 위치에서의 커버리지는 평균 42.8%이며, 최종 위치에서의 커버리지는 평균 63.7%로 커버리지가 20.9% 개선되었다.

센서노드 수량이 기본 셀 전체 개수보다 적은 경우에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 기본 셀을 4개, 9개, 16개를 병합하는 경우에 대해 센서노드의 위치조정 전후를 비교하였다. 셀 병합 후 최초 배치와 최종 배치에 대한 커버리지 평균을 구하였으며 실험결과를 그림 9에 나타냈다. 실험에서 확인할 수 있듯이 셀의 크기가 커짐에 따라 커버리지는 기하급수적으로 감소하고, 센서노드 위치조정을 함으로써 커버리지가 개선된다.

센서노드 위치가 확정된 이후 센서노드와 중계노드 간 연결성을 확인하기 위한 실험을 하였다. 센서노드 9대 단위로 클러스터를 구성하고 각 클러스터에 중계노드를 1대씩 할당하였다. 실험에 사용한 노드 수량은 센서노드 36대와 중계노드 4대이다. 이때 사용한 주파수는 400MHz 대역이며, 지구곡면은 고려하지 않았다. 그림 10은 그림 8(b)에서 구한 센서노드 커버리지 위에 중계노드의 통신범위를 같이 표시한 것이다. 그림 10(a)는 클러스터 중심에 놓인 중계노드의 최초 통신범위를 나타내고, 그림 10(b)는 최적의 위치에서 중계노드의 통신범위를 나타낸다. 클러스터별로 중계노드의 통신범위를 비교해 보면 위치조정 후가 더 넓은

표 3. 센서노드 커버리지 실험결과

구분	최초 위치	최종 위치
커버리지(%)	42.8	63.7

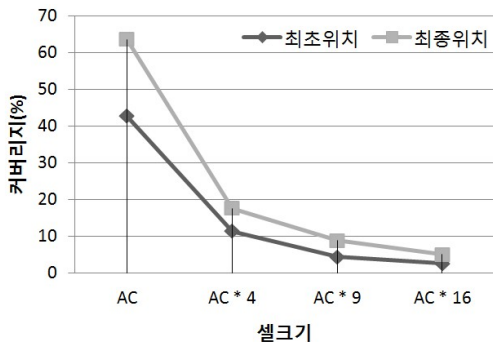


그림 9. 셀크기별 평균 커버리지

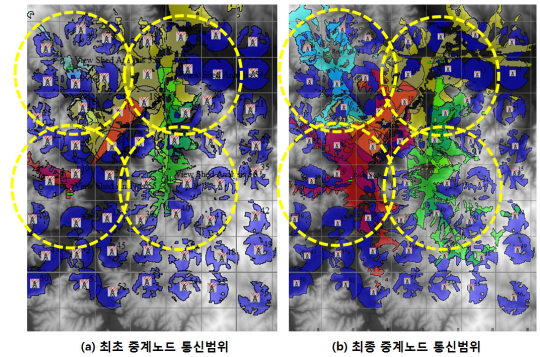


그림 10. 중계노드 위치조정 전후 통신범위

을 확인할 수 있다. 여기서 중계노드의 통신범위 내에 센서노드가 포함될 경우를 직접 연결(1홉 연결)되는 것으로 분류하였다.

실험결과는 표 4와 같다. 최초 위치에서 중계노드와 센서노드간에 1홉으로 연결되는 노드수는 4대이며, 최종 위치 조종 후에는 5.8대로 45%가 개선되었다.

표 4. 중계노드-센서노드간 1홉 연결 평균 대수

구분	최초 위치	최종 위치
센서노드 연결 대수(1홉)	4	5.8

V. 결 론

본 논문에서는 지형, 식생, 기상 등 환경요소와 제한된 노드 수량을 고려하여 노드를 배치하는 방법을 제안하였다. 제안방법은 감시정찰 센서네트워크 시스템의 설치 절차를 IPB 분석을 통한 배치영향 요소 파악, 센서 탐지범위 기반 센서노드 배치, 모니터링 장소 선정, RF 통신범위 기반 중계노드 배치와 같이 4단계로 구분하고, 감시정찰 센서네트워크 시스템 특징과 환경영향요소를 고려하여 센서노드와 중계노드를 배치하는 것이다. 시뮬레이션을 통해 제안방법을 평가하였으며, 커버리지와 네트워크 연결성이 각각 20.9%, 21% 향상됨을 확인하였다.

향후 연구는 제안한 노드 배치방법에 대한 다양한 조건에서의 실험과 표적 탐지확률을 연계시킨 알고리즘을 개발하고자 한다. 또한 제안 방법을 C2단말기의 임무계획 기능으로 구현하여 노드배치를 자동화할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] 김용현, 이노복, “무선 센서네트워크 기술동향,” 국방과학기술동향분석, 통권 24호, pp.55-62, 2011. 4.

[2] Nor Azlina Ab. Aziz, Kamarulzaman Ab. Aziz, and Wan Zakiah Wan Ismail, “Coverage strategies for wireless sensor networks,” *World Academy of Science, Engineering and Technology* 50, 2009

[3] Mohamed Younis and Kemal Akkaya, “Strategies and techniques for node placement in wireless sensor networks: A survey,” *Ad Hoc Networks*, Vol.6, pp.621-655, 2008.

[4] E.S. Biagioni and G. Sasaki, “Wireless sensor placement for reliable and efficient data collection,” *HICSS*, 2003.

[5] A. Howard, M. J. Mataric, and G.S. Sukhatme, “An incremental self-deployment algorithm for mobile sensor networks,” *Autonomous Robots, Special Issue on Intelligent Embedded Systems*, Vol.13, No.2, pp.113-126, 2002. 9.

[6] Y. Zou and K. Chakrabarty, “Sensor deployment and target localization based on Virtual Force,” *IEEE INFOCOM*, pp.1293-1303, 2003. 3.

[7] Z. Butler and D. Rus, “Event-based motion control for mobile-sensor networks,” *IEEE Pervasive Computing*, Vol.2, No.4, pp.34-42, 2003.

[8] G. Wang, G. Cao, T.L. Porta, and W. Zhang, “Sensor relocation in mobile sensor networks,” *IEEE INFOCOM*, pp.2302-2312, 2005.

[9] 김대영, 최혁재, 이종언, 차시호, 강석중, 조국현, 조민호, “센서의 성능에 영향을 미치는 환경 요소들에 기반한 센서 노드 배치 방법,” *한국통신학회 논문지*, Vol. 33, No.10, pp.894-903, 2008. 10.

[10] Y.T. Hou, Y. Shi, and H.D. Sherali, “On energy provisioning and relay node placement for wireless sensor network,” *IEEE Trans. on Wireless Communications*, Vol.4, No.5, pp.2579-2590, 2005.

[11] J. Tang, B. Hao, and A. Sen, “Relay node placement in large scale wireless sensor networks,” *Computer Communications, special*

issue on Wireless Sensor Networks 29, pp.490-501, 2006.

[12] E.L. Lloyd and G. Xue, “Relay node placement in wireless sensor networks,” *IEEE Trans. on Computer*, Vol.56, No.1, pp.134-138, 2007.

[13] 김용현, “감시정찰 센서네트워크 시스템 운용절차 및 배치방법에 관한 연구,” 국방과학연구소, ADDR-425-111039, 2011. 8.

[14] John B. Mckitterick, “Sensor deployment planning for unattended ground sensor networks,” *Proc. of SPIE*, Vol. 5417, 2004.

[15] 이용웅, 성창섭, 양우석, 임성빈, 어양담, “지형공간 정보를 이용한 감시장비 배치 최적화 실험 연구,” *한국군사과학기술학회지*, Vol.9, No.1, pp.72-79, 2006. 3.

[16] 이현중, 김용환, 한연희, 정영식, “이동 센서 네트워크에서 개선된 포텐셜 필드를 사용한 자율 배치 방법,” *한국통신학회논문지*, Vol. 35, No. 1, pp.106-116, 2010. 1.

김 용 현 (Yong-Hyun Kim)

정회원



1993년 2월 광운대학교 전자공학과 졸업
 1995년 2월 광운대학교 전자공학과 석사
 2009년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과 박사과정
 1995년 1월~현재 국방과학연구소 선임연구원

<관심분야> 센서네트워크, 센서신호처리, UGS

정 광 수 (Kwangsue Chung)

종신회원



1981년 2월 한양대학교 전자공학과 학사
 1983년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
 1991년 2월 University of Florida 전기공학과 박사
 1983년 3월~1993년 2월 한국 전자통신연구원 선임연구원

1993년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과 교수
 <관심분야> 인터넷 QoS, 유·무선 비디오 스트리밍, 센서네트워크