

센서의 성능에 영향을 미치는 환경 요소들에 기반한 센서 노드 배치 방법

정회원 김 대 영*, 준회원 최 혁 재*, 정회원 이 종 언**, 차 시 호****, 강 석 중*,
종신회원 조 국 현*, 정회원 조 민 호****

A Sensor Node Deployment Method Based on Environmental Factors Influencing Sensor Capabilities

Dae-Young Kim* *Regular Member*, Hyuck-Jae Choi* *Associate Member*,
Jong-Eon Lee**, Si-Ho Cha****, Seok-Joong Kang* *Regular Members*,
Kuk-Hyun Cho* *Lifelong Member*, Minh Jo**** *Regular Member*

요 약

일반적으로 센서들의 위치는 감시 경찰 센서 네트워크의 적용 범위, 데이터 전송 비용, 그리고 자원 관리에 영향을 미치기 때문에, 최적의 위치에 센서를 배치해야 한다. 그러나 산악 지대나 도심 지역과 같은 실 환경에 센서 노드를 배치할 경우, 센서에 영향을 미치는 다양한 지형 및 기후 요소들을 고려하기 어렵다. 따라서 이러한 다양한 환경에 센서를 배치할 경우 감시 영역 측면에서 목표 대상을 효율적으로 탐지할 수 있는 센서 배치 방법이 필요하다. 이를 위해 본 논문에서는 센서 배치와 관련된 다양한 기후와 지형 등의 환경 요소들을 분석하고, 이들 영향 요소들이 센서 노드 배치 시 활용될 수 있도록 정량화한다. 이를 바탕으로 센서 탐지 영역 측면에서 정량화된 영향 요소들을 고려함으로써 보다 실효적인 센서 배치 방법론을 제안한다. 또한 본 논문에서 제안한 센서 배치 방법론을 따르는 센서 배치 관리 시스템을 구현함으로써 제안된 방법론의 타당성을 입증한다.

Key Words : Wireless Sensor Networks, Sensor Deployment, Surveillance, Terrain Factors, Climate Factors

ABSTRACT

The position of sensors generally affects coverage, communication costs, and resource management of surveillance sensor networks. Thus we are required to place a sensor in the best location. However, it is difficult to consider that terrain and climate factors influencing sensors when sensor nodes are deployed in the real world, such as a mountain area or a downtown area. We therefore require a sensor deployment method for detecting effectively targets of interest in terms of surveillance area coverage in such environment. Thus in this paper, we analyze various environmental factors related to sensor deployment, and quantify these factors to use when we deploy sensors. By considering these quantified factors, we propose a practical and effective method for deploying sensors in terms of sensing coverage. We also demonstrate the propriety of the proposed method through implementing a sensor deployment management system according to the method.

* 이 논문은 2007년도 광운대학교 교내 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

* 광운대학교 컴퓨터학과({com, opinion7, sjkang, chokh}@kw.ac.kr), ** 삼성탈레스 기술연구소(jong-eon.lee@samsung.com)

*** 세종대학교 정보통신공학과(sihoc@sejong.ac.kr)(° : 교신저자), **** 고려대학교 정보보호전문대학원(minhojo@korea.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-07-324, 접수일자 : 2008년 7월 21일, 최종논문접수일자 : 2008년 9월 10일

I. 서론

유비쿼터스 환경의 핵심 기술인 무선 센서 네트워크는 저가의 초소형, 저전력 장치들의 개발 기술과 더불어 무선 통신 기술의 발달에 의해서 실현 가능하게 되었다. 무선 센서 네트워크는 센서를 이용하여 주변 정보를 획득하고, 이 정보를 처리하여, 무선 인터페이스를 통해 다른 센서나 싱크 노드에 정보를 전달한다. 이러한 무선 센서 네트워크를 활용하여 다양한 서비스들을 개발하고 제공하기 위해서는 응용에 적합한 다양한 센서 노드들을 응용 환경에 적절히 배치하여야 한다. 무선 센서 네트워크는 재난 중재, 비상 구조, 생태 감시, 기후 연구, 감시 정찰 및 의료 등과 같은 많은 분야에서 활용되고 있다^[1].

현재 무선 센서 네트워크와 관련된 연구는 국내외적으로 끊임없이 이루어지고 있으며, 센서 노드를 효율적으로 배치하기 위한 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 센서 노드의 배치는 적용 범위, 데이터 전송 비용, 그리고 자원 관리에 영향을 미치기 때문에, 최적의 위치에 센서를 배치해야 한다. 그러나 대부분의 기존 관련 연구들은 단순한 평지나 실내 등에 배치하는 것으로 제한을 두거나, 이미지 센서에 대해서만 장애물에 대한 센서의 적용 범위를 고려하는 정도만 다루고 있다. 그 이유는 산악 지대나 도심 지역과 같은 실 환경에 센서 노드를 배치할 경우, 센서에 영향을 미치는 다양한 지형 및 기후 요소들을 고려하기 어렵기 때문이다. 그러나 이러한 영향 요소들은 센서 네트워크 자체를 마비시키거나, 심각한 성능 저하를 초래할 수 있다. 또한 센서 노드 배치를 위한 랜덤 배치 방법을 사용하게 되면 특정 지역에 센서들이 집중적으로 배치되거나, 지형 및 기후 요소의 영향을 많이 받는 위치에 배치됨으로써 감시 지역 내에 미탐지 영역이 존재할 수 있게 된다. 이러한 경우, 센서 네트워크의 탐지율 및 식별율이 심각하게 감소된다. 따라서 감시 지역 범위 측면에서 목표 대상을 효율적으로 탐지할 수 있는 최적의 센서 배치 방법이 필요하다. 최적의 센서 배치 방법은 최소 개수의 센서들로 탐지 대상 영역을 얼마나 완벽하게 탐지할 수 있는가에 관한 문제이다. 이 문제는 최소 개수의 원들로 전체 영역을 포함하는 MSC(Minimum Set Cover) 문제의 일종으로 NP-hard 문제^{[2][3][4]}이다.

이를 위해 본 논문에서는 센서 배치와 관련된 다양한 기후와 지형 등의 환경 요소들을 분류하고, 이

들 영향 요소들이 센서 노드 배치 시 활용될 수 있도록 정량화한다. 이러한 정량화를 통하여 센서의 탐지 영역 측면에서 정량화된 영향 요소들을 고려하는 센서 배치 방법론을 제안한다. 또한 본 논문에서 제안한 센서 배치 방법론을 따르는 센서 배치 관리 시스템을 구현함으로써 제안된 방법론의 타당성을 입증한다.

본 논문의 II장에서는 센서 노드 배치와 관련된 관련 연구들을 살펴보고, III장에서는 센서 노드 배치 시 고려해야 하는 영향 요소들을 분류하고, 이러한 영향 요소를 고려한 센서 노드 배치 방법론을 제안한다. IV장에서는 III장에서 제안된 방법론에 기반한 센서 배치 관리 시스템을 설계 및 구현하고, V장에서는 구현된 배치 관리 시스템을 통한 실험의 수행과 분석을 기술한다. VI장에서는 본 논문의 결론을 기술한다.

II. 관련 연구

최적의 센서 배치 전략은 사용자가 요구하는 성능 달성을 위해서 어떤 위치에 어떤 센서 노드가 배치되어야 하는지 결정하는 것이다.

Howard 등^[5]은 탐지 영역을 최대화하기 위해서 이전에 배치된 센서 노드의 정보를 기반으로 센서를 하나씩 배치시키면서 탐지 영역을 확장하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 센서의 적용 범위를 최대화하고 정교하게 탐지할 수 있는 장점이 있는 반면, 사람이 직접 정확한 위치에 센서들을 설치해야 하는 문제점이 있다. 특히, 지형 환경을 고려하여 설치해야 하는 군사 환경에서는 효율성이 매우 떨어진다.

Zou와 Chakrabarty의 VFA(Virtual Force Algorithm)^[6]는 정해진 센서 개수에 따라 탐지 영역을 최대화하기 위해서 인력과 척력의 개념을 사용하였다. VFA에서는 주위의 센서들과 통신하는 클러스터 헤드 각각 센서에 대한 센서 위치 정보를 수집하여 가상의 힘을 계산하고 각 센서에 대한 최적의 위치를 찾는다. 즉, 장애물 주위에 더 많은 센서를 배치하고 탐지가 잘 되는 선호 영역에는 센서를 적게 배치하여 전체 영역에 대한 탐지가 최대화 되도록 하였다. 이 연구에서는 전체 영역의 크기가 커짐에 따라 필요한 센서의 개수가 기하급수적으로 증가하기 때문에 비용이 많이 든다는 단점이 있다.

Butler와 Rus^[7]는 탐지 영역에 대한 적용 범위를 유지하기 위해서 센서들이 이벤트가 발생한 지역으

로 이동하도록 하는 연구를 하였다. 이 방법은 탐지 대상의 이동 경로 부근에 센서를 재배치함으로써 탐지율을 최대화할 수 있는 장점이 있다. 그러나 이벤트가 발생할 때마다 센서를 이동시킴으로써 에너지 소비가 커지는 단점이 있다.

Wang 등^[8]은 탐지 영역에 대한 그리드를 만들어 고밀도 그리드에서 저밀도 그리드로 이어 센서들을 이동시켜 더 나은 형평성을 추구하도록 하는 센서 재배치에 대한 연구를 하였다. 이 방법은 전체 센서 네트워크의 잔여 에너지 량을 최소화하도록 에너지 소비량을 조절하여 이동 센서를 재배치시키는 최적의 스케줄을 제공할 수 있음을 보였다.

Sharp 등^[9]은 추적자가 고정 센서 네트워크의 정보를 이용하여 침입자를 탐지하는 pursuer-evader 문제에 관한 연구 및 실험을 하였다. 이 연구는 실제로 센서 배치에 대한 기초 실험 시스템을 구축했다는 데 의의가 있다.

이와 같은 기존의 센서 배치 기법에 관한 연구들은 이론적으로 많은 기여를 하였지만, 실제 환경에 적용하기에는 현실성이 매우 부족하다. 또한 지형 및 기후와 같은 환경 요소를 고려한 영역 커버리지 문제는 다루고 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 산악 지형이나 날씨 등의 환경적인 요인들을 고려한 센서 배치 방법을 제안함으로써 감시 지역 내에 미탐지 영역을 최소화 할 수 있다.

III. 환경요소를 고려한 센서 배치 방법론

그림 1은 본 논문에서 제시하고 있는 센서 배치 방법론을 보인 것이다. 센서 배치를 위해서는 먼저 센서 네트워크의 활용 목적과 고려 요소에 대한 식별이 선행되어야 한다. 특히 고려 요소의 경우에는 센서의 다양한 성질로 인하여 정량화된 지수화 정보를 구하기 어렵다. 본 논문에서는 이러한 고려 요소들을 몇 단계로 구분하여 지수화하였으며, 이렇게 지수화된 정보는 환경 저장소에 저장하여 센서 배치 시 활용할 수 있도록 하였다.

일반적으로 센서 네트워크는 대부분 침입 탐지나 감시를 위해 많이 활용되고 있다. 이러한 경우 가장 중요한 고려사항은 탐지 영역을 커버하기 위한 센서의 개수, 위치, 그리고 탐지율이라고 할 수 있다. 이를 위하여 본 논문의 배치 방법론은 센서 배치를 1차 분석과 2차 분석을 통하여 배치하도록 하였으며, 센서의 개수, 위치, 탐지율을 함께 구할 수 있도록 하였다. 여기서 1차 분석이란 실제 지형 환경과

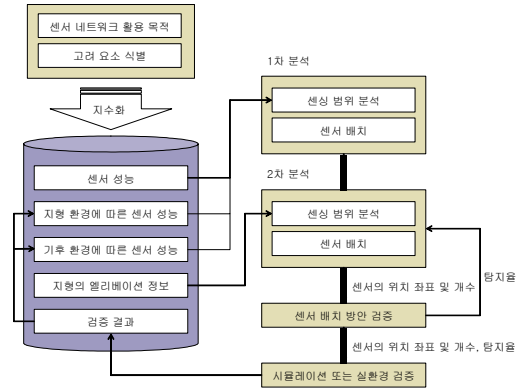


그림 1. 제안된 센서 배치 방법론

기후 환경에 따른 센싱 범위를 계산하여 센서를 배치하는 과정이며, 2차 분석은 센서가 배치된 지형의 고도 정보를 토대로 센서가 커버할 수 있는 탐지율을 계산하는 절차이다. 본 논문에서 제안한 배치 방법론은 다양한 고려 요소 중 핵심이라 할 수 있는 지형 환경, 기후 환경, 그리고 고도 정보를 고려하고 있지만, 또 다른 고려 요소가 도출될 경우 3차 분석, 4차 분석도 가능하도록 확장 가능한 구조를 가지고 있다.

3.1 고려 요소 분류 및 지수화

탐지 영역이란 어떤 한 지역을 정하여 센서를 배치할 경우, 해당 지역을 모두 탐지할 수 있는가에 대한 것을 의미한다. 효율적인 센서 배치를 위해서는 센서에 영향을 미치는 다양한 환경 요소들을 정량화 혹은 지수화하여 이들을 실제 센서 배치 시 고려 요소로 사용할 수 있어야 한다.

그림 2는 센서 배치 시 고려해야 할 고려 요소들을 정적인 요소(static factor)와 동적인 요소(dynamic factor)로 분류한 것이다. 정적인 요소는 실제 센서 배치 시 각각의 요소들에 대한 값들의 변화가 없는 항목이며, 동적인 요소는 가변적으로 값들이 변할 수 있는 항목이다. 정적인 요소에서 핵심이 될 수 있는 센서의 성능은 표 1에서와 같이 적외선 센서, 자기 센서, 음향 센서, 진동 센서 각각에 따른 센싱 범위, 탐지 각도, 탐지율, 오경보율, 탐지 대상 정확도 등으로 나타내었다. 표 1의 데이터는 ^[10]에서 기술된 센서의 성능 정보를 참조한 것으로 이러한 값들이 지수화된 경우에만 센서 배치 시 정확한 탐지율을 계산할 수 있다.

지리적 환경 또한 센서 배치에 있어서 중요한 영향 요소 중 하나이다. 강을 제외한 대부분의 지형은

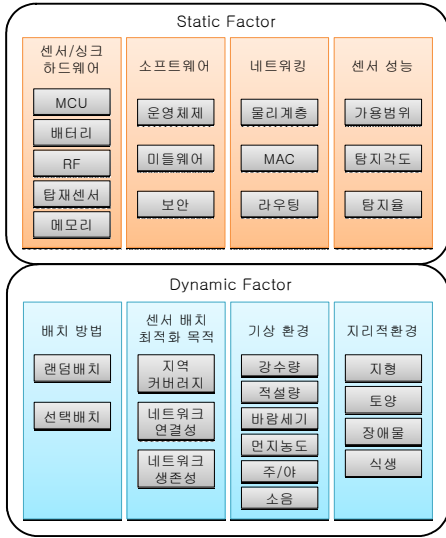


그림 2. 정적인 고려 요소와 동적인 고려 요소

표 1. 영향 요소에 대한 센서별 성능 값

센서 종류 관련 요소	적외선 (IR)	자기 (Magnetic)	음향 (Acoustic)	진동 (Seismic)	
센싱 범위	사람	5m	3m	50m	30m
	차량	50m	15m	250m	250m
탐지각도	15	360	360	360	
탐지율	95%이상	95%이상	95%이상	95%이상	
오경보율	1%미만	1%미만	1%미만	1%미만	
탐지대상 정확도	5m	3m	25m	15m	

표 2와 같이 구분할 수 있다. 도로나 개활지는 센서의 성능에 큰 영향을 미치지 않지만, 하천/강가나 산악/수목림 등은 지형에 따라 큰 영향을 미칠 수 있다. 또한 산악/수목림 지형은 센서를 배치하는데 문제가 있을 수 있으므로 항공기 등의 수단을 이용하여 센서를 배치할 수 있으며, 가시선이 확보되지 않아 통신 및 탐지에 방해가 될 수 있는 요인이 존재할 수 있다. 하천/강가의 경우는 지반이 약하고 물이 많은 지형으로 진동 센서나 음향 센서의 성능에 큰 영향을 미칠 수 있다.

표 3은 [11]을 참조하여 지형 환경에 따른 센서별 성능을 지수화한 것으로서 실제 센서 성능에 대한 지수 값들은 고정적이지 않기 때문에 센서의 성능이 가장 좋은 경우를 100%로 하여 지형 환경에 따른 센서별 성능 저하에 관한 비율로 나타내었다. 지형 환경이 센서의 성능에 미치는 영향에 대한 보다

표 2. 지형 환경이 센서에 미치는 영향

지형	특징	센서 영향 요소
산악/수목림	지형의 기복이 심하여 평지와 동일한 밀도로 센서필드를 구성할 경우 통신 및 탐지 장애가 있을 수 있음	가시선 방해, 센서 배치 방해, 통신 및 탐지 방해
도로	일반적으로 평평한 지형으로, 센서 배치에 큰 영향을 미치지 않음	도시 지역일 경우, 소음 등이 방해가 될 수 있음.
개활지	개활지 전역에 균등한 밀도로 센서를 배치	큰 야생동물들의 움직임 등은 음향센서에 영향을 미칠 수 있음
하천/강가	지반이 약하고 물이 많은 지형으로 통신 및 탐지 장애가 있을 수 있음	탐지율 감소(진동/음향센서) 가시선 방해

표 3. 지형 환경에 따른 센서별 성능

지형 환경 \ 센서 종류	적외선 센서	자기 센서	음향 센서	진동 센서
도로	100%	90%	100%	100%
하천	100%	100%	75%	50%
산악	75%	100%	60%	90%
수목림	25%	100%	25%	65%
시가지	25%	20%	10%	10%

표 4. 기상 환경이 센서에 미치는 영향

기상 환경	영향 요소
강수량	감시시스템에서는 하루 100mm 정도의 강수량에도 견딜 수 있어야 함
적설량	눈이 많이 내리는 지역에서는 센서의 통신 및 성능에 미치는 영향을 최소화할 수 있도록 인공적인 수단을 통해 제공되어야 함.
먼지농도	보통 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 에서도 센서의 성능에 영향을 미치지 않도록 해야 함.
동작온도	센서에 큰 영향을 미치지 않음.
동작습도	큰 영향을 미치지 않으나, 습도가 높은 지역의 경우 문제가 될 수 있음.
소음	큰 영향을 미치지 않으나, 기상 환경 등의 소음은 문제될 수 있음
주간야간	밤에는 소리가 더 멀리 퍼짐으로 진동/음향 센서의 탐지율이 증가함
날씨	날씨가 맑은 날 센서의 성능을 최대한 발휘할 수 있음
안개	우리나라의 시정 거리별 안개의 강도 구분에서 중에 해당하는 0.5-0.2km에서도 센서의 성능에 지장이 있어서는 안됨.

정확한 데이터를 위해서 실제 지형에 대한 센서의 성능 평가를 통해 보다 정확한 지형 환경에 따른 센서별 성능을 지수화할 필요가 있다.

표 4는 센서의 성능에 영향을 미치는 기상 환경 요소를 기술한 것이다. 표 4에서 보인 것과 같이 기

표 5. 기후 환경 구분

기후 환경	강수	적설	먼지농도	안개 (시정거리)
대	90mm이상	20cm 이상	강도 2	0.2km 미만
중	90~30mm	20cm~5cm	강도 1	0.5~0.2km
소	30mm미만	5cm 이하	강도 0	1~0.5km
약	거의 없음	거의 없음	거의 없음	거의 없음

상 환경이 센서에 미치는 영향 인자로는 강수량, 적설량, 먼지 농도, 동작 온도, 동작 습도, 소음, 주간야간, 날씨 등이 될 수 있다. 이러한 기상 환경은 센서 자체에 영향을 미칠 수도 있고, 센서 네트워크의 통신에 방해가 될 수도 있다.

표 5는 표 4의 기상 영향 요소들을 강수, 적설, 먼지 농도, 시정 거리 측면에서 네 단계로 분류한 것이다. 기상 영향 요소들을 네 단계로 분류한 이유는 정량화되어 있지 않은 데이터 및 정보들이 그 값의 폭이 너무 넓거나 깊을 경우 지수화 및 정량화를 어렵게 하기 때문이다. 따라서 본 논문에서는 우리나라의 현실에 맞추어 각각 일정 기준에 의거하여 네 단계로 분류하여 지수화하였다.

본 방법론에서 제시한 고려 요소들의 정량화된 값들은 다양한 관련 자료 등을 통해 분석하여 임의적으로 설정하였지만, 이러한 값들이 센서 제조사나 관련 업체에 의해 정량화 및 지수화되어 제공된다면 보다 효율적으로 센서 노드들을 배치할 수 있게 된다.

3.2 센싱 범위 분석 및 센서 배치

센서의 센싱 범위는 기본적으로 배치될 센서의 성능뿐만 아니라 환경적인 요인에 따라 감소될 수 있다. 센서의 센싱 범위는 1차적으로 센서의 센싱 거리 값을 통해 지형을 고려한 감쇄율에 따른 센싱 거리가 산출되고, 산출된 값을 사용하여 기후에 따른 센서의 센싱 거리를 계산하게 된다. 이러한 과정을 통해 산출된 센싱 거리를 바탕으로 실제 영역에 센서가 배치된다.

본 논문에서의 센서 노드 배치는 그림 3과 같이 지역을 최대한 커버할 수 있는 격자 형태를 기본 배치 형태로 설정하고, 배치 순서는 커버할 영역의 좌측 상단을 (0, 0) 좌표로 설정하여 배치될 센서 노드의 센싱 범위에 따라 중심점을 잡게 된다. 또한 가장 처음 배치된 센서 노드를 기준 센서 노드로 설정하여 이에 따라 상대적으로 감시 지역의 면적을 모두 센싱할 수 있는 간격을 수식으로 계산해서 센서 필드에 배치하게 된다. 본 방법론에서는 센싱

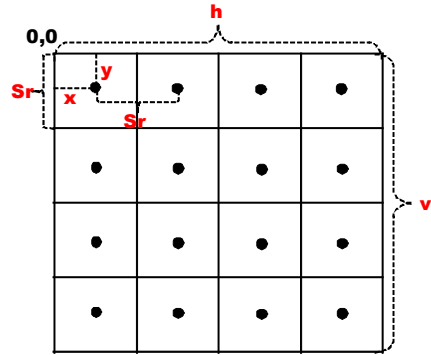


그림 3. 격자형 센서 배치

표 6. 초기 센서 배치 알고리즘

<p>Input : r, h, v, w, g Output : TD : Detection rate of entire area</p> <pre> int MaxX, MaxY; Struct Sensor { int x, y, Te, d=100; } calculate of Sr Initial deployment : x = y = Sr/2 </pre>	<p>Deployment of Sxy for(i=x;i<=h;i+=Sr) { for(j=y;j<=v;j+=Sr) { Deployment of Sij;</p> <pre> Sensor[count_x][count_y].x =i; Sensor[count_x][count_y].y =j; count_y++; } count_x++; } MaxX=count_x; MaxY=count_y; </pre>
--	---

범위를 원형이 아닌 박스 형태로 표현하였다 그 이유는 실제 배치되는 센서의 센싱 범위는 다양한 외부적 요인에 의한 감쇄율이 적용되기 때문에 항상 원형 모양이 나올 수 없으며, 다각형 모양의 센싱 범위 모양이 나올 수도 있다. 또한 센싱 범위를 원형으로 할 경우 실제 배치 시 전 지역을 커버하기 위한 배치 간격을 분석하기에 어려움이 있다. 이를 정사각형으로 할 경우 2차원 지도를 모두 커버할 수 있는 배치 간격을 구하기 용이하며, 실제 개수의 차이는 거의 없다. 또한 센서 네트워크가 사용될 때 가장 중요한 결과가 탐지율이기 때문에 각 센서의 탐지 영역이 보다 중복되더라도 좀 더 쉽고, 좀 더 정확하게 탐지할 수 있기 때문이다.

표 6은 그림 3과 같이 배치하기 위한 초기 센서 배치 알고리즘으로서, r은 센서의 센싱 범위이고, h는 전체 영역의 가로 거리, v는 전체 영역의 세로 거리이며, w는 날씨, g는 지형, d는 하나의 센서가 커버할 수 있는 탐지율이며, Sr은 환경 요소가 적용된 센서의 센싱 범위를 의미한다. 따라서 Sr은 식 (1)을 사용하여 구할 수 있다.

$$S_r = \sqrt{2r} \cdot w \cdot g \quad (1)$$

또한 초기 센서 배치 후에 각 센서의 위치에 대한 고도 정보를 통해서 주변 센서 노드들의 고도 정보와 비교하여 센서의 센싱 범위를 감소시킨다. 적외선이나 카메라 센서와 같은 이미지 센서가 배치되었을 경우에 발생할 수 있는 고도를 고려하여 센서와 센서간의 고도 각도가 커지면 커질수록 감쇄하도록 주변 센서 노드들과 현 센서 노드와 고도 차를 각각 비교하여 감소되도록 하였다(표 7 참조). 따라서 현재 센서의 탐지율을 계산하기 위해서 식 (2)를 사용한다(그림 4 참조).

$$S_r : k = d : 100$$

$$S_r : \sqrt{(S_r)^2 + (Te2 - Te1)^2} = d : 100 \quad (2)$$

$$d = \frac{100 \cdot S_r}{\sqrt{(S_r)^2 + (Te2 - Te1)^2}}$$

표 7. 고도차에 따른 감쇄율 계산

```

for (i=0; i <= MaxX; i++) {
  for (j=0; j <= MaxY; j++) {
    if Sensor[i-1][j] exists
      Sensor[i][j].d = compare(Sensor[i][j].Te,
                               Sensor[i-1][j].Te, Sensor[i][j].d );
    if Sensor[i][j-1] exists
      Sensor[i][j].d = compare(Sensor[i][j] .Te,
                               Sensor[i][j-1] .Te, Sensor[i][j].d );
    if Sensor [i+1][j] exists
      Sensor[i][j].d = compare(Sensor[i][j] .Te,
                               Sensor[i+1][j].Te, Sensor[i][j].d );
    if Sensor [i][j+1] exists
      Sensor[i][j].d = compare(Sensor[i][j] .Te,
                               Sensor[i][j+1] .Te, Sensor[i][j].d );
  }
}

function int compare(Te1, Te2, d) {
  if (Te1 < Te2) Then detect rate decrease
  return d (detect rate)
}
    
```

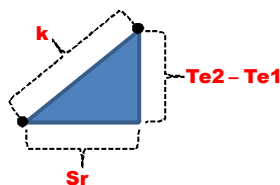


그림 4. 고도차에 따른 감쇄율 계산

따라서, 전체 지역에 대한 평균 탐지율(\bar{S})과 전체 탐지율(S)은 다음의 식 (3)을 통해 구할 수 있다.

$$\bar{S} = \frac{\sum_{i=0}^{MaxX-1} \sum_{j=0}^{MaxY-1} Sensor[i][j].d}{MaxX \cdot MaxY} \quad (3)$$

$$S = \frac{\sum_{i=0}^{MaxX-1} \sum_{j=0}^{MaxY-1} Sensor[i][j].d}{100}$$

IV. 센서 배치 관리 시스템의 설계 및 구현

본 논문에서 제안한 센서 노드 배치 방법론을 지원하는 센서 배치 관리 시스템의 전체 구성도는 그림 5와 같다.

센서 배치 방법론에서 나오는 입/출력 값이나 분석 도구 어플리케이션에서 나오는 입/출력 값들은 중앙의 저장소(repository)에 저장된다. 즉, 제안된 센서 배치 방법론을 토대로 관련 정보들이 저장소에 저장되고, 이 정보들이 구현된 분석 도구 어플리케이션의 입력으로 사용되며, 분석 도구 어플리케이션의 출력 역시 저장소에 저장된다. 구현 도구의 최종 결과로는 감시 지역에 센서를 배치할 경우 센서의 위치, 센서의 개수, 그리고 탐지율이 산출되도록 하는 것이며, 구현 결과는 시뮬레이션을 활용하여 검증을 수행한다. 현재의 구현에서는 J-Sim 시뮬레이터^[12]를 사용하였다. 또한 시뮬레이션 검증을 거친 이후에는 실 환경 배치를 통한 검증을 수행하며, 이 검증들의 결과는 다시 저장소에 저장됨으로써 분석

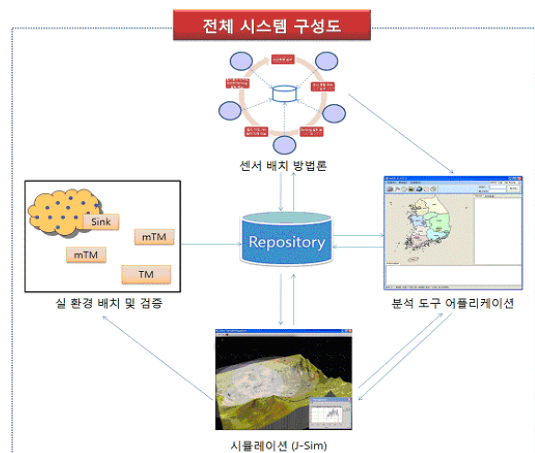


그림 5. 센서 배치 관리 시스템 구성도

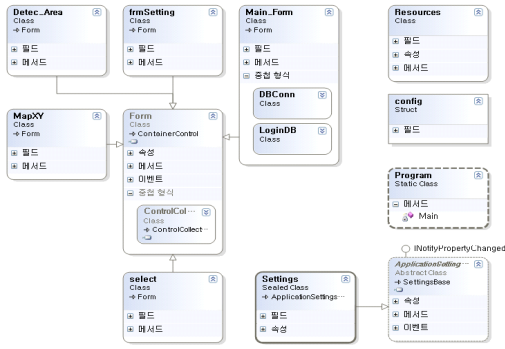


그림 6. 분석 도구 어플리케이션 클래스 다이어그램

도구 어플리케이션의 입력으로 다시 사용되도록 한다. 이로써 보다 정확한 결과를 얻을 수 있다.

그림 6은 센서 노드 배치 관리 시스템의 분석 도구 어플리케이션에 대한 클래스 다이어그램을 보인 것이다.

기본 클래스인 Form 클래스에 Main_Form, FrmSetting, Detec_Area, MapXY, select, Settings의 총 6개의 클래스가 분석도구의 전체 클래스 다이어그램을 형성한다. 이들 클래스들의 역할은 다음과 같다.

- Main_Form 클래스: 사용자 로그인/아웃을 담당하는 클래스를 포함하며, 분석도구의 메인 클래스이다.
- Form 클래스: 각종 버튼 이벤트와 관련된 클래스들의 부모격인 추상클래스이다.
- FrmSetting 클래스: Form의 부분(partial) 클래스로 사용자가 분석도구 실행 시 가장 처음 만나는 설정에 관한 클래스이다.
- Detec_Area 클래스: 센서의 종류에 따라 탐지 영역을 계산하는 클래스이다.
- MapXY 클래스: 센서 노드를 배치할 지역을 선택할 때 입력 받는 위도, 경도에 따른 지도 데이터를 출력하는 클래스이다.
- select 클래스: 센서 노드 배치 시 영향을 미치는 지형과 기후요소 설정에 관한 클래스이다.

본 논문에서 구현된 배치 관리 시스템의 데이터베이스는 Microsoft SQL Server 2005 Developer Edition^[13]을 사용하였다. 사용자 개인 파일 데이터베이스는 개별 사용자에 따른 운용 데이터베이스, 지형 정보 데이터베이스, 기후 정보 데이터베이스와 관계형 데이터베이스를 형성한다. 또한 실제 분석도구에 사용되는 다양한 종류의 영향 요소들(기후 변화에 따른 센서 노드가 받는 감쇄율 등)은 빈번한

갱신이 일어날 수 있기 때문에 데이터베이스에 변수로 할당하여 저장함으로써 변화할 수 있는 요소들을 쉽게 변경 및 저장하여 활용할 수 있도록 하였다.

V. 실험 및 분석

해당 감시 지역에 센서 노드를 배치할 때 탐지 범위는 지형과 기후 등에 따라 달라지기 때문에 센서 노드의 정확한 탐지 범위를 구하기 위해서는 그림 7과 같이 감시해야 할 지역의 지형 정보와 기후 정보가 필요하다. 감시 지역에 따른 지형 정보를 데이터베이스에서 추출하는 과정을 통해 자동 선택되며, 이 값들은 사용자의 선택에 따라 변경될 수도 있다. 기후 정보는 사용자가 직접 입력함으로써 보다 정확한 탐지 범위를 구할 수 있도록 하였다. 지형 정보는 중복 선택이 허용되지 않으며, 기후 정보는 표 5에서 보인 것과 같이 대, 중, 소, 약의 네 단계로 입력된다. 지형 요소와 기후 요소가 결합된 최종 탐지 범위는 사용자의 선택에 따라 실시간으로 세로 막대 그래프 형태로 확인이 가능하며, 이를 통해 지역에서의 센서 배치 간격을 계산할 수 있다.

이렇게 설정된 기후 정보와 지형 정보에 따라 배치되는 센서 노드들에 대한 배치 화면은 그림 8과 같다. 그림 8의 Map_info 정보 창에는 지역에 이상적으로 설치 가능한 좌표의 개수(전체 지역의 그리

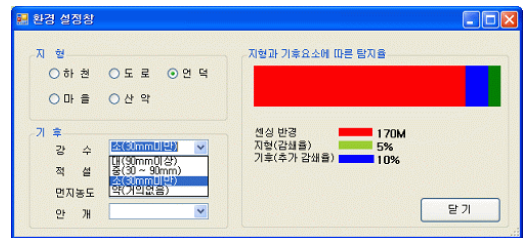


그림 7. 환경 영향 요소 설정 창

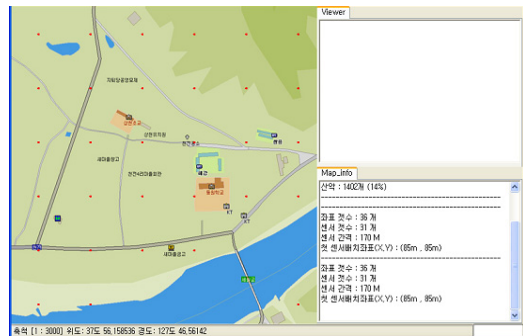
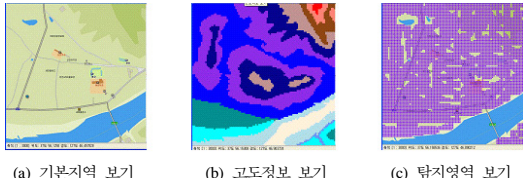


그림 8. 센서 배치 실행



(a) 기본지역 보기 (b) 고도정보 보기 (c) 탐지영역 보기
그림 9. 감시 지역 지도 보기

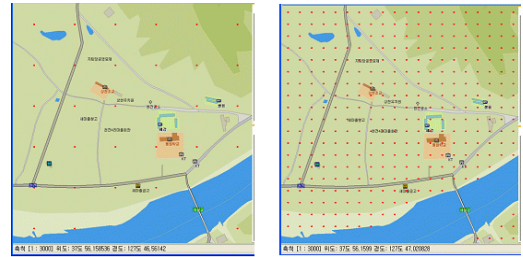
드 개수: 34개)와 하천이나 그밖에 설치가 될 수 없는 지형요소를 고려한 실제 센서 노드 개수(31개)가 출력되며, 센서 노드 간 간격(170m), 첫 센서 노드 배치 시 좌표(85, 85)가 출력된다.

그림 9는 지역에 따른 고도 정보나 탐지 영역을 보인 것이다. 그림 9의 (a)는 기본적인 감시 지역에 대한 지도를 보인 것으로 위도와 경도 선택을 통하여 해당 지도를 볼 수 있다. 그림 9의 (b)는 감시 지역에 대한 고도 정보를 보여주는 화면이다. 이러한 고도 정보 보기 화면은 선택된 기본 지역의 고도 차이를 색상이 다른 등고선 형태로 나타낸다. 그림 9의 (c)는 감시 지역에 대한 탐지 영역을 보여주는 화면이다. 이 탐지 영역 보기는 다양한 환경적 영향 요소와 센서의 종류에 따른 감쇄율이 적용된 탐지 영역을 나타내준다. 이들은 동일 지역의 데이터베이스 값과 관련 정보를 바탕으로 해서 결과를 출력해 준다.

그림 9의 기본 지역 보기의 경우 위도와 경도 설정 창에서 새로운 위도, 경도 값을 입력할 경우 기본지역 보기를 통한 새로운 지역을 확인할 수 있다. 고도 정보 보기의 경우도 기본 지역 보기와 동일한 결과를 얻게 되며, 각 등고선 별 색상에 따른 간격 차이는 기본 5m이다. 탐지 영역 보기의 경우 센서 노드에 탑재된 네 종류의 기본 센서(음향, 진동, 자기, IR)중 사용자가 배치를 원하는 센서를 선택함으로써 센서 별 탐지율을 얻어낼 수 있다. 또한 원하는 탐지율을 입력하면, 센서 노드 간격을 10m씩 줄이는 방식으로 탐지율이 만족될 때까지 반복할 수도 있다.

그림 10은 초기 탐지율이 77.14% 경우의 센서 배치 화면(a)과 센서 노드의 간격 조정을 통한 탐지율이 91.52%로 상승한 센서 배치 화면(b)을 보인 것이다.

그림 11은 본 논문의 실험을 통해 배치 지형과 기후 환경을 고려한 센서의 범위와 지형 고도 정보에 따른 센서 개수와 탐지율 간의 관계를 보인 것이다. 지형 요소와 기후 요소가 서로 반영된 평지, 언덕, 그리고 흐린 날씨에 언덕에 배치되는 3가지 경우를 비교하였다. 기존 관련 연구들에서는 본 연



(a) 77.14% 탐지율 (b) 91.52% 탐지율
그림 10. 센서 간격 보정에 따른 변경된 센서 배치 화면

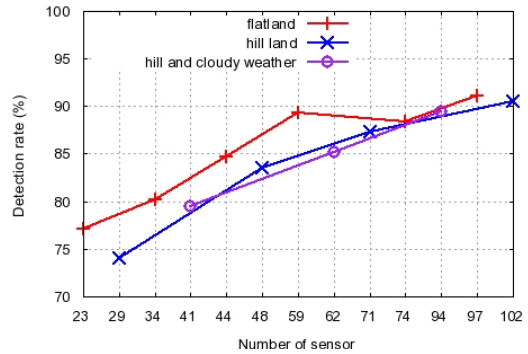


그림 11. 지형과 기후를 고려한 탐지율

구에서 입력으로 사용한 지형, 기후, 고도 등에 대한 영향 요소들을 고려하지 않았기 때문에 기존 연구와 본 연구와의 비교는 수행하지 않았다. 기후와 지형 요소가 반영됨으로써 센싱 범위가 달라지기 때문에, 각각의 경우에 따라 영역을 커버하기 위한 센서의 개수가 달라진다. 그림 11에서 보인 것과 같이 센서의 개수가 늘어남에 따라 탐지율이 올라가는 것을 확인할 수 있다. 그러나 평지의 경우 74개의 센서 배치의 경우 센서가 배치되는 감시 지역의 고도 때문에 센서를 추가 배치하였지만 탐지율은 오히려 더 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그러므로 전체 감시 지역의 원하는 탐지율을 얻는 것도 중요하지만, 센서 네트워크의 사용 목적에 따라 적절한 trade-off를 통해 응용에 적합한 센서 배치도 고려하여야 한다.

VI. 결론

본 논문에서는 센서 배치와 관련된 다양한 기후와 지형 등의 환경 요소들을 분석하고, 이들 영향 요소들이 센서 노드 배치 시 활용될 수 있도록 정량화함으로써 감시정찰 센서 네트워크의 탐지 측면에서 보다 실효적인 센서 배치 방법론을 제안

하였다. 또한 제안된 방법론을 따르는 센서 배치 관리 시스템을 설계하고 구현하였다. 구현된 센서 배치 관리 시스템은 확장성을 위하여 추가적으로 고려해야 하는 영향요소들을 수정 없이 적용할 수 있도록 구현되었다. 본 논문에서 제안된 방법론은 구현된 센서 노드 배치 분석도구와 J-Sim 시뮬레이션 및 실 환경에서의 배치를 통해 센서 배치 시 지형, 기후, 고도 등을 정량적으로 적용함으로써 보다 실 환경에 적합한 센서 배치를 이룰 수 있음을 보였다.

향후 개선 사항으로는 센서 노드들의 보다 신뢰성 있는 성능 규격을 확보하고, 환경 요소들에 대한 센서의 신뢰성 있는 자연 영향 지수를 획득하여 가설 방법 및 네트워크 성능 분석 등에 활용할 수 있는 모델 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Overview of sensor networks," IEEE Computer, Vol.37 (8), pp.41-49, August 2004.
- [2] T.H. Cormen, C.E. Leiserson, R.L. Rivest, and C. Stein, "Introduction to Algorithms," MIT Press, Cambridge, MA, 2001.
- [3] A. Efrat, S. Har-Peled, and J.S.B. Mitchell, "Approximation algorithms for two optimal location problems in sensor networks," 3rd International Conference on Broadband Communications, Networks and Systems, Boston, Massachusetts, October 2005.
- [4] S. Poduri, S. Pattem, B. Krishnamachari, and G.S. Sukhatme, "Sensor network configuration and the curse of dimensionality," IEEE Workshop on Embedded Networked Sensors, Cambridge, MA, May 2006.
- [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, September 2002.
- [6] Y. Zou and K. Chakrabarty, "Sensor deployment and target localization based on Virtual Forces," IEEE INFOCOM Conference, pp.1293-1303, March 2003.
- [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 Conference, pp.2302-2312, 2005.
- [9] C. Sharp, S. Schaffert, A. Woo, N. Sastry, C. Karlof, S. Sastry, and D. Culler, "Design and implementation of a sensor network system for vehicle tracking and autonomous interception," European Workshop on Sensor Networks, pp.93-107, 2005.
- [10] REMBASS-II(Remotely Monitored Battlefield Sensor System, Version II), http://www.l-3com.com/cs-east/tacsys/ie_tacsys_rembassii.shtml
- [11] Gerber, Jerry, Army Research Lab, Sensor Characteristics, Sensors and Electronic Devices Directorate, Personal Interview, August 2000.
- [12] J-Sim simulator, <http://www.j-sim.org/>
- [13] Microsoft SQL Server 2005 Developer Edition, <http://www.microsoft.com/sql/editions/developer/default.msp>

김 대 영 (Dae-Young Kim)

정회원



2002년 남서울대학교 컴퓨터학과 졸업(이학사)

2004년 광운대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(공학석사)

2004년~현재 광운대학교 대학원 컴퓨터과학과 박사과정

<관심분야> 네트워크 관리, 무선 네트워크, 홈 네트워크, 유비쿼터스 센서 네트워크, 무선 메시 네트워크

최 혁 재 (Hyuck-Jae Choi)

준회원



2007년 광운대학교 컴퓨터소프트웨어학과 졸업(이학사)

2007년~현재 광운대학교 대학원 컴퓨터과학과 석사과정

<관심분야> 체계공학, 소프트웨어 공학, 무선 센서 네트워크

이 증 언 (Jong-Eon Lee)

정회원



2001년 광운대학교 전자계산학과 졸업(이학사)
 2003년 광운대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(공학석사)
 2007년 광운대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(공학박사)
 2008년~현재 삼성탈레스 기술

연구소 책임연구원

<관심분야> 네트워크 관리, 유비쿼터스 센서 네트워크, 무선 메시 네트워크

조 국 현 (Kuk-Hyun Cho)

중신회원



1977년 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1981년 일본 동북대학교 대학원 졸업(공학석사)
 1984년 일본 동북대학교 대학원 졸업(공학박사)
 1984년~현재 광운대학교 전자

정보대학 컴퓨터공학부 교수

개방형컴퓨터통신연구회(OSIA) 회장 역임
 <관심분야> 네트워크 관리, 유비쿼터스 센서 네트워크, 분산처리, 정보통신 분야 표준화 등

차 시 호 (Si-Ho Cha)

정회원



1995년 순천대학교 전자계산학과 졸업(이학사)
 1997년 광운대학교 대학원 전자계산학과 졸업(이학석사)
 2004년 광운대학교 대학원 컴퓨터과학과 졸업(공학박사)
 1997년~2000년 대우통신 종합

연구소 선임연구원

2004년~2005년 WarePlus Inc. NI사업본부 차장
 2005년~2006년 세종대학교 컴퓨터공학과 초빙교수
 2007년~현재 세종대학교 정보통신공학과 연구교수
 <관심분야> 네트워크 관리, 무선 센서 네트워크, 무선 메시 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅

조 민 호 (Minho Jo)

정회원



1984년 조선대학교 산업공학(공학사)
 1994년 미국 Lehigh University 산업시스템공학(공학박사)
 2008년~현재 고려대학교 정보보호전문대학원 연구부교수
 1994년~1997년 삼성전자 LCD

Division 선임연구원

2007년~현재 Editor-in-Chief of KSII Transactions on Internet & Information Systems
 2007년~현재 Editor of Wireless Communications and Mobile Computing (Wiley & Sons)
 2007년~현재 Chairman of IEEE WCMC, 2008
 2007년~현재 TPC of IEEE ICC
 2007년~현재 TPC of IEEE GLOBECOM
 2008년~현재 Editor of Security and Communication Networks (Wiley & Sons)
 <관심분야> WSN, 네트워크보안, Wireless Mesh Networks, 소프트웨어시스템공학

강 석 중 (Seok-Joong Kang)

정회원



1988년 Computer Science, Indiana University, Bloomington, U.S.A (이학사)
 1991년 Computer Science, Indiana University, Bloomington, U.S.A (이학석사)
 2003년 Electrical Engineering

& Computer Science Department, University of California, Irvine, U.S.A(공학박사)

1991년~1998년 한국국방연구원 선임연구원
 2004년~2006년 삼성전자 Digital Media 연구소 수석연구원
 2006년~2007년 안보경영연구원 u-IT Center 소장
 2006년~현재 광운대학교 전자정보공과대학 컴퓨터과학과/방위사업학과 조교수
 <관심분야> 분산실시간 시스템, 소프트웨어공학, 모델링&시뮬레이션