2014년 6월 전자공학회 논문지 제 51권 제 6 호
Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers Vol. 51, NO. 6, June 2014 http://dx.doi.org/10.5573/ieie.2014.51.6.169

논문 2014-51-6-20

센서네트워크 연결성 강화를 위한 거점 노드 혼합 배치 기법 연구

(Mixed Deployment Methods for Reinforcing Connectivity of Sensor Networks)

허 노 정*

(Nojeong Heo©)

요 약

센서노드를 활용한 응용이 증가함에 따라 센서네트워크의 장기적 운용과 성능을 보장할 수 있는 현실적 배치 문제 해결 기법이 요구되고 있다. 특히 네트워크 연결성은 네트워크 전체 수명에도 영향을 줄 뿐만 아니라 근거리 센싱 정보의 취합 능력에도 직접적인 연관성을 갖는다. 센서네트워크의 구축 시 요구되는 경제적인 이유와 함께 센서 노드가 배치될 필드의 접근성 문제로 임의 배치 기법이 주로 사용되고 있으나 센서노드의 불균일로 인한 연결성 문제, 비효율적 네트워크 구성 등이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 초기 배치 노드의 성능을 최대한 활용할 수 있도록 거점 노드의 혼합 배치 기법을 제안한다. 혼합 배치를 통해 기존 센서 노드의 불균형을 완화시키면서 추가되는 혼합 노드의 수를 효과적으로 줄일 수 있는 밀도 분석을 시행하였다. 실험 결과를 통하여 제안하는 기법이 단일 센서노드로 구성된 기존의 배치 방식 보다 좋은 결과를 얻을 수 있음을 보였다.

Abstract

Practical deployment methods for sensor nodes are demanding as applications using sensor nodes increase. In particular, node connectivity is crucial not only for the network longevity but also for direct impacts on sensing and data collection capability. Economic requirement at building sensor networks and often limited access for sensor fields due to hostile environment force to remain at random deployment from air. However, random deployment often result in lost connection problem and inefficient network topology issue due to node irregularity. In this paper, mixed deployment of key nodes that have better communication capability is proposed to support the original deployment into working in an efficient way. Node irregularity is improved by introducing mixed nodes and an efficient mixed node density is also analyzed. Simulation results show that the mixed deployment method has better performance than the existing deployment methods.

Keywords : Sensor Networks Deployment, Node Connectivity, Sensing Coverage, Mixed Deployment

Ⅰ. 서 론

센서네트워크는 주변의 정보를 센싱해서 사용자와 다른 기기들이 그 정보를 이용할 수 있도록 임의로 형성되는 네트워크이다. 하지만 네트워크를 형성할 때 넓은 지역에 주로 공중에서 임의적인 방식으로 배치하게 되어 개별 노드들이 적절하게 연결되어 네트워크를 형성할 확률이 낮아질 가능성이 크다[1]. 또한 네트워크가

* 정회원, 동양대학교 정보통신공학과
(Dept. of Info. and Comm. Eng., Dong Yang Univ.)
© Corresponding Author(E-mail: nheo@dyu.ac.kr)
※ 이 논문은 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 일반연구자 지원사업(2011-0014019)과 동양대학교 교내 학술연구비 지원을 받아 수행된 것임.
접수일자: 2014년05월11일, 수정일자: 2014년05월16일
수정완료: 2014년05월24일

형성되어 사용된다 하여도 불균일한 네트워크의 경로 형성으로 인해 일부 노드나 경로가 정보를 취득할 수 있는 시간이나 기회가 적어질 수 있어 이에 대한 대비책이 요구되고 있다.

본 논문에서는 센서 네트워크 연결성을 강화할 수 있도록 거점 노드를 일반 노드와 혼합 배치하는 기법을 연구하였다. 이 기법이 얻고자 하는 특성은 각 센서들이 정보를 취합할 수 있는 영역들의 합이 최대가 되고 또한 이 영역들이 장기간 운용될 수 있도록 하는 적정한 거점 노드와 일반 노드의 비율을 구하는 것이다.

일반적으로 센서 네트워크 배치 시 고려되어야 할 요소들은 다음과 같다.

- 센서 네트워크 배치 규모 및 위치
- 센서 네트워크 배치 방식
- 센서 네트워크의 정보 취합 노드의 수
- 센서 네트워크의 기대 수명

센서 배치의 성능에 따라 센서네트워크의 운용 효율과 수명 등이 직접적인 영향을 받게 된다. 기존 연구에서는 센서 배치 과정 자체보다는 이미 배치된 상황 이후의 네트워크 개선을 위해 플랫 구조로부터 잔여 에너지 상황 및 현재의 네트워크 토폴로지 상 중심에 있을 수 있는 노드를 선출하여 계층적 센서네트워크를 형성하거나 중복된 경로를 발굴하는 라우팅 프로토콜의 제안에 초점이 맞추어져 있었다[2~3]. 하지만 이러한 완화 기법들은 센서네트워크 구조 자체에 제한적인 변화만을 고려하고 있어서 커버리지 및 연결성[4] 등 배치 성능 자체의 개선 효과는 그리 크지 않았다.

센서 배치 과정 이후 형성된 센서네트워크는 다양한 응용들에서 활용되고 있다[5~7]. 센서네트워크의 응용 사례는 광범위한 지역의 환경, 기상, 군사적 정보를 취합하는 경우에서부터, 건축물 및 교량 등의 구조적 안전성과 진동에 대한 반응 등을 취합하는 응용, 다양한 스마트 디바이스 및 이동기기와 정보를 주고받아 원격지의 상황을 파악하고 제어할 수 있는 응용 형태로까지 발전하고 있어 다양한 형태의 배치 요구사항이 새롭게 생성되고 있어 센서노드 배치 분야에 활발한 연구가 지속될 것으로 예측된다. 또한 새로운 형태의 네트워크 구조와 확장성이 커서 보안 위협 또한 증가할 것에 대비하여 다양한 구조와 배치 밀도에 따라 보안 취약점을 확인하는 연구도 진행되고 있다[8].

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 기존의 노드 밀도 분포에 관한 연구를 살펴보고, 제안한 노드 밀도 형성 기법에 대해 서술한다. Ⅲ장에서는 제안한 방법의 실험 및 결과에 대해 분석하고, Ⅳ장에서는 결론을 맺는다.

Ⅱ. 센서노드 배치 문제 상황 / 거점노드 혼합 배치 기법

1. 센서노드 배치 문제

센서네트워크는 산불 예방, 환경 감시 및 군사적 경계의 목적으로 사용되며 넓은 규모의 지역에 신속하게 배치되어야 하므로 주로 공중 투하의 방법으로 수행된다. 특히 센서노드가 배치되어야 할 곳의 접근성이 낮은 경우, 위험 지역인 경우, 센서노드의 배치 상태가 노출되지 않도록 하는 것이 유리한 때가 많다. 이런 특성상 센서네트워크가 최적으로 동작할 수 있도록 센서 노드를 적정한 위치에 배치시키는 것은 많은 어려움을 갖는다. 특히 센서노드가 과밀하게 집중되거나 센서노드의 밀도가 너무 낮을 경우에는 센서네트워크의 성능과 수명에 심각한 지장을 초래할 수 있다.

그림 1에서 센서노드가 과밀하게 집중된 부분은 센서네트워크의 연결도가 너무 높아 이웃노드(1-hop 거리)의 수효가 많아 네트워크 구성 및 데이터 전달 시 소모 전력이 기타 지역에 비해 과다할 수 있다. 반대로 센서노드의 밀도가 너무 낮을 경우에는 개별 센서들이 담당한 센싱 영역이 겹쳐지지 않고 누락되는 곳이 발생

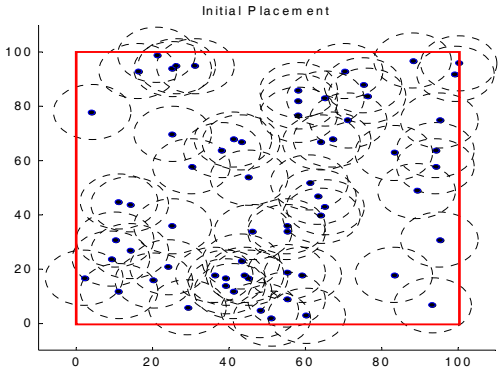

그림 1. 부적절한 센서노드 배치
Fig. 1. Improper Sensor Node Deployment.

할 수 있고 심할 경우에는 네트워크로부터 분리되어 전체 커버리지에 손실을 가져올 수 있다. 개별 센서가 자신이 맡은 부분의 정보를 취합한다 하더라도 네트워크의 연결성을 통해 타 노드나 사용자에 의해 활용되지 못한다면 그 유용성은 급격히 떨어지게 된다.

이런 문제점을 보완하기 위해 다양한 기법들이 제안되어 왔다. 우선 관심 영역 (ROI, Region of Interest) 내에서 필요한 센서 노드의 밀도보다 높도록 1차적으로 배치한 다음 네트워크 라우팅에 유리한 노드를 선정하여 운용하는 기법들이 제안되었다. 또 다른 방식은 적은 수효의 센서노드들을 배치한 후 그 배치 결과를 보완하는 방식으로 추가 배치를 진행하여 원하는 배치 상황을 이끌어 내는 접근법이다.

2. 거점노드 혼합 배치 기법

임의 배치 방식의 특성으로 인해 발생할 수 있는 불균일 배치에 의한 센싱 영역 미확보, 연결성 미보장 문제 등을 해결할 수 있는 거점노드 혼합 배치 기법을 제안한다. 제안에 앞서 일반적인 센서 배치 과정을 먼저 살펴보고 거점노드 혼합 배치 시에 달라지는 부분을 강조하려한다.

가. 일반적 센서 배치 과정

일반적으로 센서노드가 배치되는 과정을 표 1에 간략히 설명하였다. 센서노드의 센싱거리 및 통신거리는 센서네트워크가 형성될 지역에 센서노드가 얼마나 효과적으로 배치될 수 있는지를 미리 계획할 때 중요한 확인사항이며 이 값이 달라질 경우 배치되는 센서노드의 밀도도 상당히 달라지게 됨에 유의하여야 한다.

표 1. 센서노드 배치 과정
Table 1. Sensor Node Deployment Process.

1. 센서노드가 배치될 영역을 확인한다.
2. 센서노드의 센싱거리, 통신거리를 확인한다.
3. 센서노드의 적정 밀도를 계획한다.
4. 적합한 배치 방식을 선정한다.
5. 센서노드 배치를 실행한다.
6. 센서네트워크 형성 후 배치 성능을 확인한다.
7. 센서네트워크를 운용한다.

나. 거점 센서 혼합 배치 과정

그러면 거점 센서노드를 혼합 배치하는 과정은 어떻게 차이가 있는지를 살펴보자. 거점 센서 혼합 배치과정을 표 2에 간략히 설명하였다. 과정 1~ 과정 6 사이는 유사한 작업 흐름을 갖지만 거점 노드 혼합 배치를 염두에 둘 경우 1차적으로 배치될 센서 노드의 밀도를 단일 센서노드의 경우보다는 낮게 계획할 수 있다. 일반 센서노드와 거점 센서노드의 비율을 다양하게 가져갈 수 있지만 모의실험을 통해 1차 배치에 적합한 노드 밀도를 예측하고 실제 배치 후 상황에 따라 적응적으로 추가 배치가 가능하다는 이점이 있을 수 있다. 이 때 임의 배치 이외의 정밀한 배치 기법이 가능할 경우 그 효과는 훨씬 더 크게 된다.

그림 1에서 살펴본 문제 상황에 대해 거점 노드 추가

표 2. 거점 센서 혼합 배치 과정
Table 2. Mixed Sensor Node Deployment Process.

1. 센서노드가 배치될 영역을 확인한다.
2. 센서노드의 센싱거리, 통신거리를 확인한다.
3. 일반 센서노드의 적정 밀도를 계획한다.
4. 적합한 배치 방식을 선정한다.
5. 일반 센서노드 배치를 실행한다.
6. 센서네트워크 형성 후 배치 성능을 확인한다.
7. 거점 센서노드의 적정 밀도를 계획한다.
8. 거점 센서노드 배치에 적합한 방식을 선정한다.
8. 거점 센서노드 배치를 실행한다.
9. 일반/거점 센서노드 토폴로지 재형성 후 배치 성능을 확인한다.
10. 혼합 배치된 센서네트워크를 운용한다.

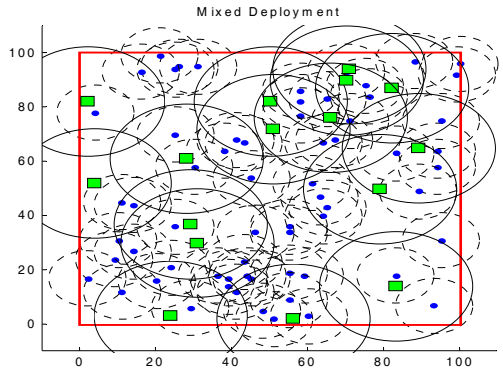

그림 2. 거점 센서 혼합 배치
Fig. 2. Mixed Sensor Node Deployment.

배치를 시행한 결과를 그림 2에 제시하였다. 좌측 상단의 분리된 센서노드 들이 연결되고 센싱 커버리지도 크게 개선된 것을 볼 수 있다.

다. 거점 노드 밀도 계산

일반 센서노드를 먼저 배치한 후 거점 노드를 얼마나 추가 투입해야 전체 네트워크의 성능이 만족할 만한 수준이 될지를 미리 추정해 보는 것이 중요하다. 적정한 노드의 밀도 즉, 센서 배치에 사용될 노드의 총 수효를 결정하는 것은 배치에 소요되게 될 비용과 최종 구축된 센서네트워크의 성능에 큰 영향을 주는 요소이므로 신중하게 분석되어야 한다.

관심영역의 면적을 A, 센서노드의 개수를 n, 센싱거리를 sR로 두면 센싱 특성이 방향에 관계없이 일정하다고 가정할 경우 sR을 반지름으로 하는 원의 면적을 센싱 커버리지로 생각할 수 있다. 따라서 센서노드가 관심영역 전체를 커버하기 위해선

$$n \cdot \pi \cdot (sR)^2 \geq A \tag{1}$$

를 만족하여야 하므로

$$n \geq \frac{A}{\pi \cdot (sR)^2} \tag{2}$$

이 된다. 하지만 센싱 영역이 원 모양이고 겹쳐지는 부분에서의 손실과 임의 배치에 의해 중복되거나 커버하지 못하는 부분이 발생할 수 있으므로 일정비율(α) 이상의 노드가 더 필요하다. 따라서 배치에 필요한 센서노드의 수는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$n \geq \frac{\alpha \cdot A}{\pi \cdot (sR)^2} \tag{3}$$

하지만 이런 배치 밀도 계획 하에 배치가 진행된다 하여도 임의 배치의 특성상 배치된 센서노드가 전체 관심영역을 모두 커버하지 못할 가능성이 존재한다.

$$A_{uncovered} = A - A_{covered}$$

이고 $A_{covered}$는 배치 상황에 따른 확률 분포에 따라 변동성이 있게 된다. 거점 노드의 추가 배치가 의미를 가질 수 있는 이유는 1차적으로 배치 성능에 대한 점검 후 주어진 상황에 유동적으로 대처할 수 있는 점이다. 즉 $A_{uncovered}$의 크기와 분포에 따라서 효율적인 추가 배치의 계획이 가능해진다. 추가 배치 노드의 밀도를 계산하기 위해 고려해야할 것은 $A_{uncovered}$, 추가 거점 센서 노드의 수 m, 거점 센서 노드의 센싱거리 sR_m이다. 1차 배치와 유사하게

$$m \geq \frac{\beta \cdot A_{uncovered}}{\pi \cdot (sR_m)^2} \tag{4}$$

으로 나타낼 수 있다. 여기서 β는 임의 배치에 따른 유동성을 극복할 수 있도록 여유 노드 비율 인자이다. 식(3)의 α와 식(4)의 β는 경험적으로 얻어질 수 있으며 배치 설계 시에 선택될 수 있는 계수이다. α와 β의 선택에 따라 배치될 센서 노드의 수 n과 m이 결정되고 전체 배치에 소요될 총 비용 또한 계산될 수 있다. 즉, 전체 배치 비용은

$$C_{deploy} = n(\alpha) \cdot C_n + m(\beta) \cdot C_m \tag{5}$$

이고 여기서 C_n, C_m은 각각 일반 센서노드 비용과 거점 센서노드의 비용이다. 이 비용은 개별 센서 노드의 비용, 노드 당 배치 비용, 센서 노드 운용을 위해 필요한 에너지 비용을 포괄한다.

Ⅲ. 실 험

제안된 거점노드 혼합 배치 기법의 성능을 평가하기 위한 실험을 수행하였다. 실험은 Matlab을 사용하여 임의 배치될 때의 각 센서노드의 위치와 연결성 등을 확인하는 방식으로 모의 실험하는 방식을 택하였다. 각 센서들은 임의 배치되는 것을 센서노드가 배치될 관심영역(ROI)을 100m × 100m로 설정하고 일반 센서노드와 거점 센서노드가 배치되는 경우를 가정하였다. 일반 센서노드의 센싱 성능은 10m, 통신 성능은 20m로 가정하였다. 거점 센서노드의 센싱 성능은 20m, 통신 성능은 40m로 일반 센서노드 보다 2배가 좋은 경우로 가정하였다. 그림 1에 나타낸 초기 배치에 사용된 센서노드의 수는 64개이며, 그림 2에 추가된 거점 센서노드의 수는 16개이다. 센싱영역의 커버리지는 88.6%에서 99.6%로 드라마틱하게 개선되었다.

우선 일반 센서노드의 배치 밀도에 따라 전체 센싱 영역과 연결성에 관한 성능을 확인할 필요가 있었다. 개별 센싱 노드의 커버리지 합이 관심영역의 넓이와 같

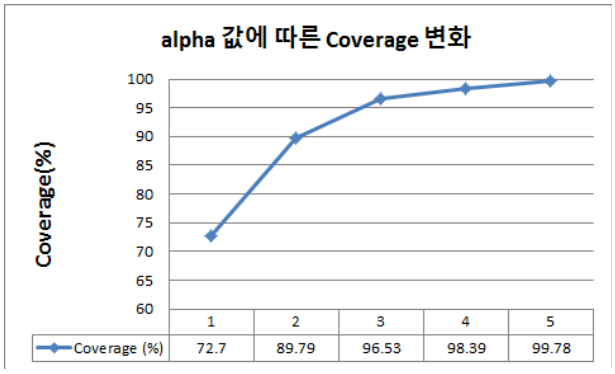

그림 3. α값에 따른 센서 커버리지 변화
Fig. 3. Sensor Coverage at different α values.

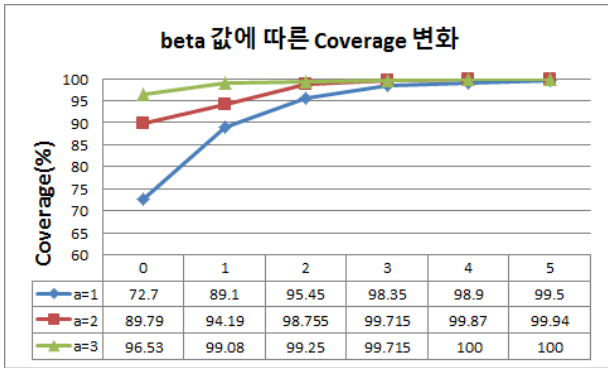

그림 4. β값에 따른 센서 커버리지 변화
Fig. 4. Sensor Coverage at different β values.

아지는 수효를 N으로 하게하는 계수 값을 $\alpha=1$로 두고 α값이 증가할 때의 커버리지 변화의 추이를 그림 3에 나타내었다. α값은 1차 배치에 사용될 일반 센서노드의 밀도를 나타내는 지표도 될 수 있다. 예상한대로 α값이 증가할수록, 즉 1차 배치에 사용된 센서노드의 수가 많아질수록 관심영역을 커버할 확률이 높아지므로 커버리지는 점점 증가하게 된다.

1차 배치 후 거점 노드 혼합배치를 통해 커버리지가 개선되는 상황은 그림 4에서 볼 수 있다. 그림의 좌측 첫 번째 값인 $\beta=0$인 경우는 일반 센서 노드만 배치된 경우를 나타낸다. β값이 1에서 5로 증가할수록 그리고 α값이 증가할수록 배치된 센서노드의 커버리지는 커지게 된다.

일반 센서노드의 1차 배치가 완료된 후 다시 거점 센서노드를 배치하는 경우의 노드 밀도는 β값에 의존하게 되고, α와 유사하게 β값이 증가할수록 커버리지 또한 증가하는 추이를 보였다. 1차 배치와 2차 배치의 밀도를 대변할 수 있는 α값과 β값 각 경우에 대한 배치 성능을 표 3에 나타내었다. 표 3의 데이터를 읽는 방법

표 3. α, β값에 따른 센서노드 수(일반, 거점, 전체)와 센싱 커버리지(%)
Table 3. Sensor Node Number(normal, mixed, total) and sensing coverage(%).

		β					
		0	1	2	3	4	5
α	1	(32,0,32)	(32,8,40)	(32,16,48)	(32,24,56)	(32,32,64)	(32,40,72)
		72.70%	89.10%	95.45%	98.35%	98.90%	99.50%
	2	(64,0,64)	(64,8,72)	(64,16,80)	(64,24,88)	(64,32,96)	(64,40,104)
		89.79%	94.19%	98.76%	99.72%	99.87%	99.94%
	3	(96,0,96)	(96,8,104)	(96,16,112)	(96,24,120)	(96,32,128)	(96,40,136)
		96.53%	99.08%	99.25%	99.72%	100%	100%

은, 예를 들면, 굵은 선으로 표시한 $\alpha=2$, $\beta=1$인 경우 (64, 8, 72)과 94.19%의 값을 확인할 수 있는데 1차 배치에 사용된 일반 센서노드의 수가 64개, 2차 배치에 사용된 거점 센서노드의 수가 8개, 사용된 총 센서노드의 수는 72개임을 나타내고 혼합 배치를 통해 얻은 센싱 커버리지는 94.19%임을 나타낸다.

1차 배치 밀도를 낮추고, 즉 작은 α값을 택한 후 거점 센서노드를 추가한 경우($\alpha=1$, $\beta=2\sim5$)에 전체 배치되는 센서노드의 수가 작거나 같지만 센싱 커버리지는 95.45%에서 99.5%까지 크게 증가함을 볼 수 있다.

Ⅳ. 결 론

사물인터넷(IoT, Internet of things)이 큰 주목을 끌고 있는 가운데 다양한 노드에서 생성된 데이터의 안정적 전송 방안 또한 센서네트워크 연구의 주요한 주제로 인식되고 있다. 본 논문에서는 초기 배치 노드의 성능을 최대한 활용할 수 있도록 센서네트워크의 연결성을 강화하는 거점 노드의 혼합 배치 기법을 제안한다. 혼합 배치를 통해 기존 센서 노드의 불균형을 완화시키면서 추가되는 혼합 노드의 수를 효과적으로 줄일 수 있는 밀도 분석을 시행하였다. 단순 노드 배치의 성능을 평가한 후 적정 밀도의 거점 노드를 추가적으로 배치하는 것이 효율적임을 실험 결과를 통하여 보였다. 추가 배치 시에 고려해야 할 경제성 분석과 함께 배치할 수 있는 수단이 다양할 때 선택할 수 있는 기준으로도 활용하여 다양한 배치 전략을 응용 상황이 요구하는 바에 따라 적응적으로 대응할 수 있는 기반을 마련한 것이 본 연구의 성과라 할 수 있다.

REFERENCES

[1] Corke, Peter, et al. “Autonomous deployment and repair of a sensor network using an unmanned aerial vehicle.” Robotics and Automation, 2004. Proceedings. ICRA'04. 2004 IEEE International Conference on. Vol. 4. IEEE, 2004.
[2] Kim Chang-Joon, Doo-Wan Lee, Kyung-Sik Jang, “ Fault Tolerant Routing Algorithm Using the Backup-node in WSN.” proc. of IEEK, pp. 916-919. 2011.
[3] Choon-Sung Nam, Hee-Yeon Cho, Dong-Ryul Shin. “Algorithm for Selecting Cluster Head in Wireless Sensor Networks.” proc. of IEEK, pp. 1449-1450. 2010.
[4] Joonmo Kim. “Interconnection Problem among the Dense Areas of Nodes in Sensor Networks.” Journal of IEEK-TC, 48(2): 6-13. 2011.
[5] Akyildiz, Ian F., et al. “Wireless sensor networks: a survey.” Computer networks 38.4 (2002): 393-422.
[6] Lloret, Jaime, et al. “A wireless sensor network deployment for rural and forest fire detection and verification.” sensors 9.11 pp. 8722-8747. 2009.
[7] Werner-Allen, Geoffrey, et al. “Deploying a wireless sensor network on an active volcano.” Internet Computing, IEEE 10(2), pp.18-25, 2006.
[8] Md. Abdul Hamid, Choong Seon Hong, “On the Security of Hierarchical Wireless Sensor Networks.”, Journal of IEEK-TC, 44(8): 23-32. 2007.

저 자 소 개

허 노 정(정회원)
1996년 서울대학교 전기공학부 학사 졸업.
1999년 Syracuse Univ. 전기컴퓨터공학 석사졸업.
2004년 Syracuse Univ. 전기컴퓨터공학 박사졸업.
2004년~2007년 삼성전자 무선사업부 책임연구원
2007년~현재 동양대학교 정보통신공학과 조교수
<주관심분야 : 사물인터넷, 이동통신, 지능형 네트워크 배치 및 개인화, 정보보호>