

논문 2011-1-6

# 무선 센서 네트워크에서 이벤트 기반의 에너지 효율적 데이터 취합 및 전송

## Energy-Efficient Data Aggregation and Dissemination based on Events in Wireless Sensor Networks

남춘성\*, 장경수\*\*, 신동렬\*

Choon-Sung Nam, Kyung-Soo Jang, Dong-Ryeol Shin

**요약** 본 논문은 센서 네트워크의 각 이벤트 영역에서의 데이터 취합 및 전달을 위한 방법들을 비교 평가한다. 이를 위해 이벤트 영역내의 두 가지 전송 방법인 직접적인 전송 방식과 취합 노드를 통한 전송 방식을 비교한다. 직접적인 전송 방식은 모든 노드가 자신이 측정한 데이터를 전송하기 때문에 데이터의 중복성과 네트워크의 트래픽을 증가시키는 단점을 가진다. 반면에 취합 노드를 통한 전송 방식은 이벤트 영역 내에서 노드들의 데이터를 취합함으로써 데이터의 중복을 방지하고 데이터를 간소화 할 수 있다. 취합 노드의 선정 방식은 노드의 위치에 기반 한다. 즉, 취합 노드가 이벤트 영역의 중앙에 위치한 노드 혹은 싱크 노드와 가장 가까운 노드를 선정하는 것이다. 위 두 가지 방법을 바탕으로 취합 노드 선정 방식들을 모델링 하여 이벤트 영역의 증가에 따른 각 방법의 에너지 소비를 측정한다. 이를 위해, 이벤트 노드와 취합 노드의 거리와 취합 노드와 싱크 노드의 거리를 구하고, 이를 수식으로 간략히 정리한다. 또한, 기존의 에너지 수식을 적용하여 거리 수식과 같이 적용하여 에너지 소비 모델을 만든다. 이를 통해 취합 노드 방식들의 에너지 소비를 비교 평가하여 센서 네트워크에 에너지 효율적인 방식을 찾아낸다.

**Abstract** In this paper, we compare and analyze data aggregation methods based on event area in wireless sensor networks. Data aggregation methods consist of two methods: the direct transmission method and the aggregation node method. The direct aggregation method has some problems that are data redundancy and increasing network traffic as all nodes transmit own data to neighbor nodes regardless of same data. On the other hand the aggregation node method which aggregate neighbor's data can prevent the data redundancy and reduce the data. This method is based on location of nodes. This means that the aggregation node can be selected the nearest node from a sink or the centered node of event area. So, we describe the benefits of data aggregation methods that make up for the weak points of direct data dissemination of sensor nodes. We measure energy consumption of the existing ways on data aggregation selection by increasing event area. To achieve this, we calculated the distance between an event node and the aggregation node and the distance between the aggregation node and a sink node. And we defined the equations for distance. Using these equations with energy model for sensor networks, we could find the energy consumption of each method

**Key Words :** Sensor networks, Data aggregation node, Data forwarding, Redundant prevention.

## 1. 서론

\*정희원, 성균관대학교 전자전기컴퓨터학과

\*\*정희원, 경인여자대학 정보미디어학부(교신저자)

접수일자: 2011.1.15 수정일자: 2011.2.5

게재확정일자: 2011.2.11

무선 센서 네트워크는 특정한 목적을 위해 관심지역에 뿌려진 수많은 센서 노드들로 이루어진다. 센서 노드

들은 보통 접근이 용이하지 않은 지역에 뿌러지기 때문에 자가 구성적 네트워크를 형성할 필요가 있다<sup>[1]</sup>. 또한 센서 노드들은 제한된 에너지를 갖는 배터리에 의해서 파워를 공급받기 때문에 이러한 에너지 제한적인 센서 네트워크를 위한 주된 이슈는 노드의 에너지 소비를 줄이기 위한 효율적인 방법을 고안하는 것이다<sup>[2]</sup>.

일반적으로 임의로 뿌려진 센서 노드들은 사용자의 요구 즉, 이벤트를 감지한다. 이러한 센서 네트워크에서의 이벤트 특성은 이벤트가 발생한 지역의 노드들은 같은 혹은 비슷한 내용의 이벤트를 감지한다는 것이다. 따라서 센서 노드들은 같은 혹은 비슷한 이벤트를 취합하여 전달하는 것이 에너지 효율적이다. 이러한 이벤트를 취합하는 노드를 취합노드라 불린다. 취합노드는 같은 혹은 비슷한 이벤트를 감지한 다른 노드들의 데이터를 모으고, 이러한 데이터를 싱크 노드로 전송한다. 하지만 취합노드를 선택하는 것은 어려운 문제이다. 첫 번째로, 취합노드는 다른 노드에 비해 광고, 취합 그리고 분석을 위한 상대적인 에너지 손실이 늘어날 수 있다. 두 번째로 취합노드의 위치에 따라 센서 네트워크 전체의 에너지 소모가 달라 질 수 있다. 즉, 취합노드가 싱크와 가까운 노드로 선택된다면, 싱크까지의 거리는 짧아지지만, 이벤트 노드들과의 거리가 길어질 수 있다. 반면, 취합 노드가 이벤트 지역의 중앙에 있는 노드로 선택된다면, 이벤트 노드들과의 거리는 일정하고 다소 짧아질 수 있으나, 싱크와의 거리는 멀어질 수 있다. 따라서 본 논문은 기존의 연구<sup>[3,4]</sup>를 바탕으로 비교 분석을 통해 취합노드를 선정하는 방법에 대해서 비교 및 평가할 필요가 있다.

이 논문의 구성은 2장에서는 기존에 제시된 취합노드 선정 방법들을 알아보고, 각 방법이 네트워크의 에너지 소모에 미치는 영향을 알아본다. 3장에서는 이러한 방법의 일반화된 모델을 설정하고 각 모델의 에너지 변화를 통해 취합 노드 선정 방법을 찾아낸다. 마지막으로 결론과 앞으로의 계획은 4장에서 이야기 한다.

## II. 관련연구

센서 네트워크의 노드들은 이벤트를 감지하고, 감지된 데이터를 이웃 노드를 통해 싱크 노드로 전송하는 역할을 한다. 노드의 데이터 전송은 다음과 같이 두 가지의 방법으로 나눌 수 있다.

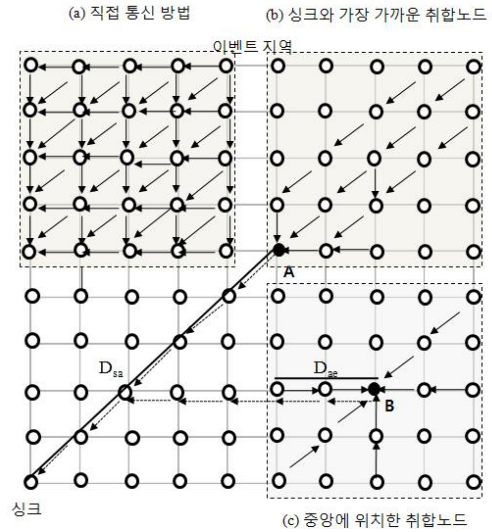


그림 1. 데이터 전송 형태 : (a) 직접 전송 형태, (b) 싱크와 가장 가까운 취합 노드로부터의 전송 형태, (c) 이벤트 지역 중앙에 위치한 취합 노드의 전송 형태

Fig. 1. Data transmission scheme from event area : (a) direct dissemination from event nodes, (b) aggregation dissemination from the nearest node from a sink node in events area, (c) aggregation dissemination from the centered node in event area

그림 1-(a) 에서와 같이 첫 번째 방법은 직접적인 데이터 전달 방법으로써 이벤트를 감지한 각각의 노드들이 이웃노드를 통해 데이터를 싱크까지 각자 전달하는 방법이다. 두 번째 방법은 이벤트 지역에서 발생한 데이터를 취합하기 위한 취합 노드를 선정하여 데이터를 전달하는 것이다. 그림 1-(b)와 (c)에서와 같이 이웃한 노드의 이벤트가 같거나 비슷한 경우에 사용되는 방법이다. 센서 네트워크는 특정 지역에 이벤트가 발생하면, 그 지역에서 이벤트를 감지한 노드들은 비슷한 데이터를 전송하는 특성 때문에 두 번째 방법, 그림 1-(a)와 (b), 이 중복된 결과를 처리하는데 보다 효율적이다. 그 중에서 그림 1-(b)는 싱크 노드와 가장 가까운 노드를 취합 노드로 선정하는 방법을 나타내고<sup>[3]</sup>, 그림 1-(c)는 이벤트 지역에 중심에 위치한 노드가 취합 노드로 선정되는 방법이다. 취합 노드를 선정하는 방식을 비교해 보면, 먼저 그림 1-(b)의 방법은 취합 노드가 가장 모서리, 싱크와 가까운 곳에 위치해 있기 때문에 싱크와의 거리는 최소가 된다. 반면에 이벤트 노드들과의 거리는 일정하지 않다. 그림 1-(c)는 이벤트 노드들과의 거리는 일정하게 유지할 수

있지만, 싱크와의 거리가 그림 1-(b) 방법에 비해 멀어진 다. 따라서 두 방법을 사용했을 때 어느 방법이 더 에너지 효율적인 방법인가는 이벤트 노드들과 취합 노드와의 거리(Distance from the aggregation node to member nodes :  $D_{an}$ )에 따른 에너지 소모와 취합 노드와 싱크와의 거리(Distance from a sink node to the aggregation node :  $D_{sa}$ )에 따른 에너지 소모의 합으로 알아낼 수 있다.

### III. 데이터 취합 방식을 위한 모델링

이 장에서는 기존의 데이터 취합 방법들을 모델링하기 위해서 데이터 거리를 측정하기 위한 데이터 취합 모델, 센서 네트워크에서의 에너지 소모를 위한 에너지 모델 그리고 네트워크를 설정하기위한 네트워크 모델로 나누어 데이터 취합 형태를 각각 모델링한다.

#### 1. 데이터 취합 모델링

데이터 전송에 필요한 거리를 측정하기 위해서는 우선 노드와 이웃노드와의 거리 그리고 전송거리를 정의하여야 한다. 그림 2와 같이, 노드 A의 전송 범위는 'r'이고, 이웃 노드 B와 거리는 'h' 즉 hop으로 정의한다. 직접 전송 방법에서는 단지 각 이벤트 노드와 싱크와의 거리만을 측정으로 네트워크에서 소모되는 에너지를 계산할 수 있다. 하지만, 취합 노드를 설정하는 방법에서는 이벤트 노드와 취합노드의 거리와 취합노드와 싱크 노드와의 거리를 각각 구해야만 소모 에너지를 계산 할 수 있다.

그림 3은 이벤트 노드들과 취합 노드들의 거리를 구하기 위한 방법을 보여준다. 먼저, 그림 3-(a)는 이벤트 영역에서 싱크와 가장 가까운 노드(The nearest node selection from a sink : NNS)를 취합노드로 하여 이벤트 영역이 증가 된다 하더라도 취합 노드의 위치는 그대로인 것을 볼 수 있다. 반면에 이벤트 영역이 증가될수록 이벤트 데이터를 전송할 노드가 증가되기 때문에, 취합노드와 이벤트 노드의 거리는 증가한다. 이는 그림 2를 바탕으로, 거리 'h'가 'i'랑 같다. 따라서 취합 노드와 이벤트 노드의 거리의 합은 다음 수식 (1)과 같다.

$$\sum_{i=1} i \times (2i + 1) \quad (1)$$

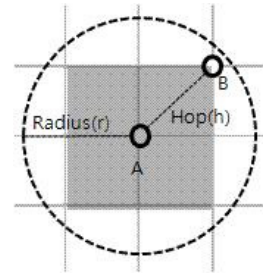


그림 2. 노드의 통신 반지름(r)과 이웃 노드와의 거리(h)  
Fig. 2. The communication radius(r) of a node and distance(h) from a neighbor node

그림 3-(b)에서 이벤트 영역에서 중앙에 있는 노드(The centered node selection in event area : CNS)를 취합노드로 선택하는 것 역시 이벤트 영역이 증가되는 것에 비례하여 취합노드와 멤버노드의 거리가 증가 한다. CNS방법에서 취합노드는 중앙에 위치하기 때문에 취합노드가 중앙에 있을 경우의 이벤트 영역은 가로로 길이가 2만큼 증가한 경우이다. 이때, 이벤트 노드와 취합 노드와의 거리는 다음 수식 (2)와 같다.

$$\sum_{i=1} 8 \times (i/2)^2, \text{ if } i = 2i \quad (2)$$

하지만, 똑같은 이벤트 영역을 비교하기 위해서는 이벤트 영역의 가로는 'i'만큼 증가했을 경우도 구해야만 한다. 즉 2i-1인 경우, i는 0이고, 예는 2i보다 수식 (1)만큼 거리가 증가되기 때문에 다음과 같은 수식 (3) 으로 나타낼 수 있다.

$$\sum_{i=1} i \times (2i + 1), \text{ if } i = 2i - 1 \quad (3)$$

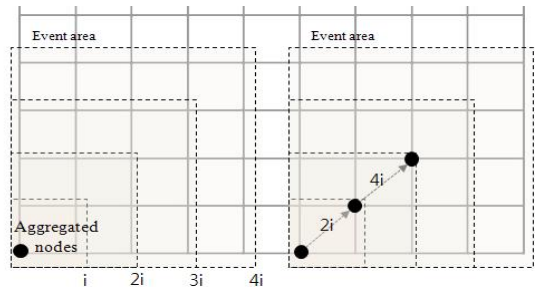


그림 3. 노드의 통신 반지름(r)과 이웃 노드와의 거리(h)  
Fig. 3. Location of data aggregation node by increasing event area : (a) nearest node selection(NNS), (b) centered node selection(CNS)

그림 3에서 보듯이, NNS와 CNS에서의 취합노드와 싱크노드와의 거리는 CNS가  $2i$ 인 경우,  $i/2$  만큼만 증가한다는 것을 알 수 있다.

## 2. 에너지 소비 모델링

센서 노드의 라디오 사용에 의한 에너지 모델은 노드가 성공적인 전송을 위해서 요구되는 최소한의 에너지 레벨을 유지 할 수 있다고 가정한다. 센서 노드의 전송과 수신에 소모되는 에너지는 각각 다르다. 송신기 혹은 수신기 에서 소모되는 에너지는  $E_{elec} J/bit$ 이고, 신호 대 잡음비에 도달하는 송신기 증폭기(transmitter amplifier)의 에너지는  $E_{amp} J/bit$ 이다.. 이러한 라디오 모델은 거리  $d(meter)$ 에  $k(bit)$ 의 메시지를 보내기 위해서는 다음과 같은 수식이 사용된다<sup>[7]</sup>.

$$\begin{cases} E_{Tx}(k, d) = kE_{elec} + kE_{amp}d^2 \\ E_{Rx}(k, d) = kE_{elec} \end{cases} \quad (4)$$

## 3. 네트워크 구성 모델링

실험을 위한 네트워크 모델은 다음과 같이 정의 한다. 이벤트 영역이 ' $i$ '만큼 가로 세로가 증가될 때 이벤트 영역 안에서의 멤버노드와 취합노드 간의 거리를 구한다. 이벤트 영역은 ' $i \times i$ ' 사이즈의 그리드 모양의 구조이다. 이벤트 노드들은 ' $i$ '만큼 균등한 거리에 위치해 있다고 가정한다. 또한 ' $i$ '는 홉수( $h$ )를 의미한다. 따라서 이벤트 영역내의 노드의 개수는  $(N/hop * N/hop)$  으로 나타낼 수 있다.

## IV. 실험 및 분석

위에서 언급했듯이, 실험은 데이터 취합 모델의 수식 과 이를 적용한 센서 네트워크 에너지 모델 그리고 네트워크 설정 모델을 기반으로 측정하였다.

그림 4는 이벤트 영역이 증가 될수록 취합 하는 노드들 간의 거리를 나타낸다. 즉, x축은 이벤트 영역의 길이 ( $R$ )를 나타내고, y축은 취합 노드와 멤버 노드와의 거리 ( $h$ )의 합을 나타낸다. CNS와 NNS는 이벤트 영역이 커질수록 취합 노드들의 거리 또한 제곱에 비례하여 증가한다. 이벤트의 영역이 작을 때에는 CNS와 NNS의 차이는 거의 발생하지 않지만 이벤트의 영역이 증가 할수록

CNS의 멤버 노드와의 거리가 NNS의 멤버 노드거리보다 3% 정도 짧음을 알 수 있다. 이는 NNS의 내부 클러스터(Intra-cluster)내에서의 멤버 노드와의 거리의 증가가 외부 클러스터(Inter-cluster)에서의 싱크와의 거리 증가보다 큼을 알 수 있다.

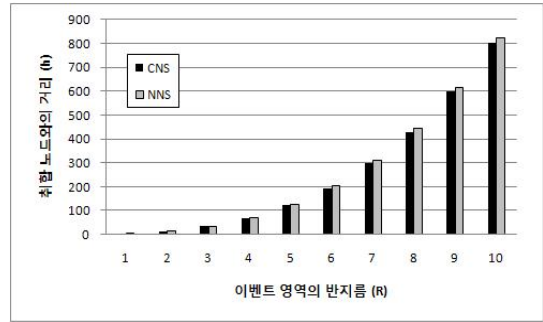


그림 4. 취합 노드와의 거리  
Fig. 4. Distance from aggregation node in event area

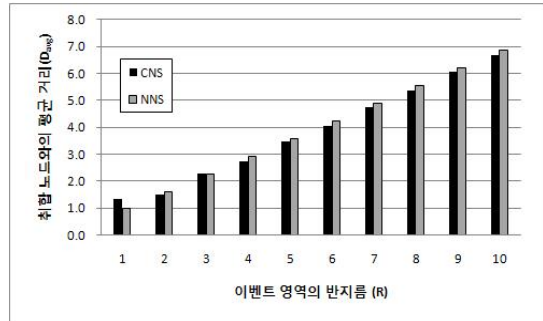


그림 5. 이벤트 영역에서의 멤버 노드와의 평균거리  
Fig. 5. The average distance from member nodes in event area

그림 5에서, 이벤트 영역이 작을 때는 NNS가 CNS보다 짧은 거리를 유지할 수 있다. 이는 이벤트 영역이 작 으면 NNS와 CNS에서 취합 노드 선정이 같은 노드를 선택하거나 혹은 이웃 노드를 선택할 수 있을 만큼 선택할 수 있는 노드가 적기 때문에 별한 차이가 일어나지 않는다. 하지만, 이벤트 영역이 증가 될수록, 중앙에서 데이터를 취합 할 수 있는 CNS 방법이 NNS 방법 보다는 멤버 노드와의 거리가 짧아짐을 그림 4와 그림 5를 통해 알 수 있다.

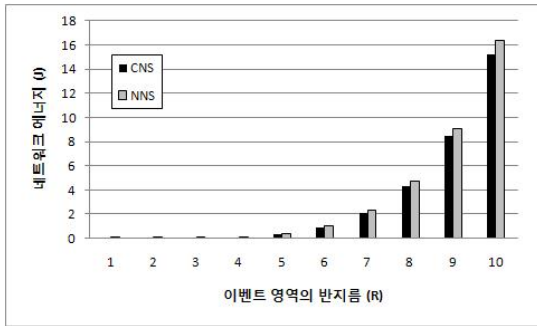


그림 6. 이벤트 영역에서의 에너지 소모  
Fig. 6. Energy consumption in event area

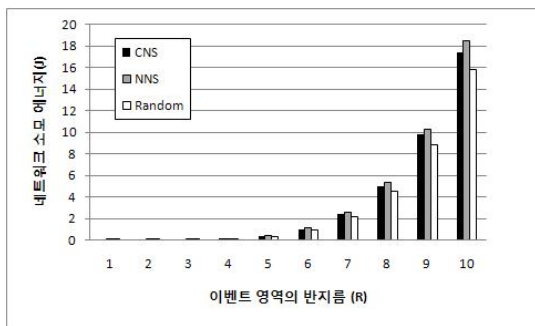


그림 7. 네트워크에서의 에너지 소모 합  
Fig. 7. Total energy consumption of sensor networks

그림 6은 거리에 따른 필요한 데이터 패킷의 전송 및 수신에너지를 적용하여 나온 이벤트 영역에서의 CNS와 NNS의 에너지 소비를 나타낸다. 이벤트 영역에서 발생하는 에너지 소모는 이벤트 영역이 증가 할수록 제곱에 비례하여 증가함을 알 수 있다. CNS와 NNS의 에너지 차는 최대 7% 정도 가량의 차이를 보임을 알 수 있다.

그림 7은 전체 네트워크에서의 소모되는 에너지를 보여준다. 그림 6에서와 같이 CNS는 NNS보다 낮은 에너지 소모를 보인다. 하지만, CNS와 NNS 둘 다 취합 노드를 선택하기 위한 부수적인 에너지 소모를 하기 때문에 형성된 이벤트 영역에서 임의의 노드가 취합 노드로 선정하는 방법이 에너지 소모가 적은 것을 알 수 있다.

실험 결과를 통한 그림 4-7를 살펴 본 결과 이벤트 영역의 크기가 일정한 크기(3R이하)이면 CNS와 NNS 방법의 차이점은 발생하지 않는다. 오히려 NNS 방법이 더 좋은 방법일 수 있다. 반대로 이벤트 영역이 증가 될수록 CNS 방법이 멤버 노드와의 거리가 짧아지기 때문에 에너지 소모 또한 적어짐을 알 수가 있었다. 하지만, 이벤

트 영역 증가에 따른 CNS와 NNS의 에너지 차이는 최대 7%정도의 에너지 밖에 차이를 보이지 않기 때문에 취합 노드를 선정하기 위해 사용되는 비용을 감안 한다면 에너지의 차이가 많지 않음을 알 수 있다. 따라서 취합 노드를 이벤트 영역에 선정하기 위한 비용을 줄이기 위해서 이벤트 영역에서의 임의의 노드를 선정하는 것이 그 대안이 될 수 있다.

## V. 결론

센서 네트워크에서 사용자의 요구사항에 따라 이벤트 영역이 설정된다. 이벤트 영역내의 데이터들은 같거나 혹은 비슷한 데이터를 가지기 때문에 각 이벤트 노드가 데이터를 싱크로 전달하는 것은 낭비이다. 따라서 이벤트 영역 내 취합 노드를 설정하여 데이터를 모으고 분석하여 싱크노드로 보낸다. 이러한 취합 노드 설정 방법은 대표적으로 싱크 노드와 가장 가까운 노드를 설정하는 방법과 이벤트 영역 내에서 중앙에 있는 노드를 설정하는 방법이 있다. 이 두 방법을 비교하기 위해서 이벤트 영역에 따른 전송 거리를 수식으로 나타내어, 기존의 에너지 수식과 결합하여 다음과 같은 결과를 도출하였다. 비록 CNS한 방법이 이벤트 영역 내에서 취합 노드와 이벤트 노드와의 거리가 줄어들었으나, 취합 노드와 싱크 노드와의 거리가 늘어났다. 이를 적용한 에너지 소비는 두 방법 다 비슷한 결과를 보였다. 이를 통해 이벤트 영역에서 어떠한 노드를 취합 노드로 정하더라도 비슷한 에너지 소모를 보인다는 뜻이다. 따라서 이벤트 영역의 취합 노드의 위치를 정하기 위한 통신비용을 고려할 때, 어느 위치에 있건 간에 소요되는 에너지의 양이 적기 때문에 임의의 노드를 지원하는 방안이 더 효과적임을 증명하였다.

## 참고 문헌

- [1] Ian F. Akyildiz, Weilian Su, Yogesh SanKarasubramaniam, and Erdal Cayirci, "A survey on Sensor Networks," *IEEE Communications Magazine*, vol.40, No.8, pp.102-114, August, 2002.

- [2] J.N. Al-Karaki and A.E. Kamal, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," IEEE Wireless Communications, Vol.11, No. 6, Dec. 2004, pp. 6-28.
- [3] W. Zhang and G. Cao, "DCTC : Dynamic convoy tree-based collaboration for target tracking in sensor networks," IEEE Trans. Wireless Communications, vol.3, no.5, pp.1689-1701, Sept. 2004..
- [4] D. Petrovic, R. Shah, K. Ramchandran, and J. Rabaey, "Data funneling: Routing with aggregation and compression for wireless sensor networks," Proc. IEEE International Workshop on SNPA, May 2003.
- [5] Wendy Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, January 2000.
- [6] S. Toumpis, A.J. Goldsmith, "Capacity regions for wireless ad hoc networks", Wireless Communications, IEEE Transactions on Volume 2, Issue 4, Jul 2003 Page(s): 736-748.
- [7] I. Stojmenovic, "Geocasting with guaranteed delivery in sensor networks," IEEE Wireless Communications, vol.11, no.6, pp.29-37, Dec. 2004

#### 저자 소개

##### 남 춘 성(정회원)



- 2007년 : 숭실대학교 컴퓨터학과 석사졸업
- 2007년 ~ 현재 : 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 (박사과정)

<주관심분야 : 센서 네트워크, USN 미들웨어>

##### 장 경 수(정회원)



- 1998년 : 성균관대학교 전기공학과 석사졸업
- 2005년 : 성균관대학교 전자전기 및 컴퓨터공학과 박사졸업
- 2001년 ~ 현재 : 경인여자대학 교수

<주관심분야 : 통신 네트워크, 유비쿼터스 컴퓨팅, 센서 네트워크>

##### 신 동 렬(정회원)



- 1982년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사졸업
- 1992년 2월 : Georgia Tech. 전기 및 전자공학과 박사졸업
- 1994년 3월 ~ 현재 : 성균관대학교 정보통신공학 교수

<주관심분야 : 유비쿼터스 컴퓨팅, 무선 네트워크, 센서 네트워크>