

# 무선센서네트워크에서의 위치기반 클러스터 구성을 통한 효율적인 라우팅 방안 연구

## A Study on Efficient Routing Method with Location-based Clustering in Wireless Sensor Networks

임나은\*, 정진우\*\*

Naeun Lim\*, Jinoo Jung\*\*

**요약** 무선 센서 네트워크에서는 효율적으로 에너지를 사용해서 전체 네트워크의 수명을 연장하는 것이 중요한 이슈이다. 기존의 라우팅 프로토콜에서는 클러스터 헤드를 단순히 센서노드들과 가까운 노드로 선택했기 때문에, 경우에 따라서는 클러스터 헤드와 Base Station(BS) 위치가 센서노드와 BS사이의 위치보다 멀어서 거리에 따른 불필요한 에너지 소모가 생긴다. 따라서 본 논문에서는 클러스터의 구성과 클러스터 헤드를 노드들의 위치 정보에 따라서 선정하는 위치기반 클러스터링 알고리즘을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 기존의 알고리즘보다 네트워크 시간이 연장되어 에너지 효율적으로 사용함을 알 수 있다.

**Abstract** Maintaining efficient energy consumption and elongating network lifetime are the key issues in wireless sensor networks. Existing routing protocols usually select the cluster heads based on the proximity to the sensor nodes. In this case the cluster heads can be placed farther to the base station, than the distance between the sensor nodes and the base station, which yields inefficient energy consumption. In this work we propose a novel algorithm that select the nodes in a cluster and the cluster heads based on the locations of related nodes. We verify that the proposed algorithm gives better performance in terms of network life time than existing solutions.

**Key Words** : Wireless Sensor Network, Cluster-based routing, location-based clustering, Energy efficiency

### 1. 서 론

무선센서네트워크는 다양한 방면에서 활용이 되는데, 산물 및 화산주변의 온도측정이나 산업에서 기계의 노후 정도, 생태계 환경 등을 비롯하여 최근에 대두되는 스마트 홈 환경 등에서 사용될 수 있다<sup>[1][2][3]</sup>. 하지만 센서네트워크는 배터리 기반으로 하여, 에너지를 모두 소비하면 이를 새로운 노드로 대체할 수가 없기 때문에 효율적인 에너지 사용이 중요한 요소 중 하나이다<sup>[4]</sup>.

LEACH<sup>[5]</sup>는 센서노드들의 정보를 클러스터 헤드로

보낸 후 여기서 데이터를 집약하여 Base Station(BS)로 보낸다. 이 알고리즘에서는 센서노드의 위치 및 에너지에 상관없이 무작위로 노드들을 선택한다. 이 후에 LEACH를 바탕으로 위치 및 남은 에너지, 재클러스터링 등의 정보를 추가하여 보다 효율적인 알고리즘에 대한 연구들이 제시되었다<sup>[6][7][8][9]</sup>. 하지만 이들은 위치정보를 끊임없이 전송해야 하기 때문에 네트워크가 형성된 이후에도 위치정보 전송에 대한 부담이 있거나 기존 LEACH에서 센서노드와 클러스터 헤드의 위치관계에 따른 불필요한 전송에 대한 문제를 해결하지 못하고 있다.

\*준회원, 상명대학교 컴퓨터학과

\*\*정회원, 상명대학교 컴퓨터학과(교신저자)

접수일자: 2015년 10월 6일, 수정완료: 2015년 11월 6일

게재확정일자: 2015년 12월 11일

Received: 6 October, 2015 / Revised: 6 November, 2015 /

Accepted: 11 December, 2015

\*\*Corresponding Author: jjoung@smu.ac.kr

Dept. of Computer Science, Sangmyung University, Korea

본 연구에서는 클러스터 헤드인 중간노드가 BS와 가까운 위치의 그룹 밖에 있다. 따라서 기존보다 데이터 전송거리를 짧게 만들 수 있다.

다음 2장에서는 클러스터링 알고리즘 및 위치기반 알고리즘을 소개하고 3장에서는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 4장에서는 제안한 알고리즘에 대한 성능평가와 5장에서는 결론이 나타나있다.

## II. 관련연구

LEACH<sup>[5]</sup>(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 계층적 클러스터링 방법으로 센서노드들을 클러스터 단위로 구성하며 한 클러스터 내부의 센서노드들은 해당 클러스터 헤드로 데이터를 전송하고 클러스터 헤드는 이를 집약해서 BS로 보내준다. 클러스터 헤드는 각 라운드(round)마다 무작위로 뽑아 에너지를 효율적으로 소모하며 클러스터 헤드의 선출과정은 다음과 같다. 식 (1)에서 구한 임계값과 각 노드들이 생성한 0~1사이의 무작위 값을 비교하여 무작위 값이 임계값보다 작으면 클러스터 헤드로 선정된다. P는 클러스터 헤드가 뽑힐 확률이고, r은 현재의 라운드 번호, G는 최근 라운드 동안 클러스터 헤드로 선정되지 않았던 노드들의 집합이다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \times (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

PEGASIS<sup>[6]</sup>(Power-Efficient GAttering in Sensor Information System)는 Greedy 알고리즘을 이용한 체인기반 프로토콜로 헤드 역할을 하는 leader node가 토큰(token)을 이용하여 각 체인을 형성하고 있는 노드들로부터 데이터를 전송받는다. 각 헤드노드는 라운드별로 선출되고 각 노드들로부터 전송받은 데이터를 압축하여 BS로 전달한다. 그림1에서 c2는 헤드 노드이며 토큰을 먼저 c0에게 전달한다. c0는 c1에게 데이터를 전달하고 c2가 c1으로부터 데이터를 전달 받으면 다시 c4에게 토큰을 전달해서 같은 방법으로 c2는 c3로부터 데이터를 전달받는다. 이와 같은 체인방식의 알고리즘은 노드들의 기본적인 위치를 알아야하고 체인이 길어질 경우 전송연이 발생할 수 있으며, 헤드노드가 BS와 거리가 멀 경우 전송에너지가 많이 소모된다. 또 중간에 체인이 끊어

지는 경우도 고려해야한다.

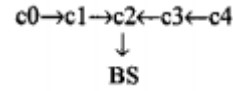


그림 1. 토큰 전달 방식  
Fig. 1. Token passing approach

GPSR<sup>[7]</sup>(Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks)는 위치기반 라우팅 방법으로 데이터를 전송하기 위해서는 이웃노드들의 위치정보와 목적지의 위치정보를 알아야 한다. 그림2를 보면 x가 D에게 데이터를 전송하기 위해서는 x를 기점으로 1 hop거리에 있는 노드들 중에서 목적지 D와 가까운 노드인 y를 선택한다. 이러한 방법을 반복해서 데이터를 전송하는 방법이다.

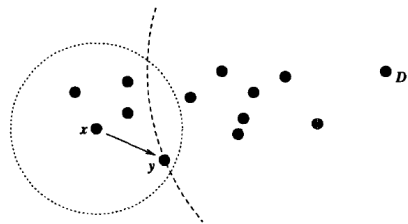


그림 2. 그리디 포워딩의 예  
Fig. 2. Greedy forwarding example

pLEACH<sup>[8]</sup>(A Partition-Based LEACH)는 LEACH에서 발전한 알고리즘으로, BS가 내부에 있으며 BS를 중심으로 센서노드들이 원형으로 구성된 무선 센서 네트워크이다. 그림3과 같이 네트워크를 적절한 sector로 나누고 센서 노드들은 남아있는 에너지를 바탕으로 클러스터 헤드노드를 선정한다. 에너지를 고려한다는 점에서 장점이 있지만 LEACH와 같이 BS가 멀리 떨어져 있을 경우를 고려하지 않았다.

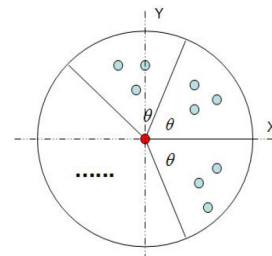


그림 3. 네트워크 분할  
Fig. 3. network partition

### III. 제안 방안

기존의 LEACH에서는 센서노드가 클러스터 헤드로 데이터를 전송하고 클러스터 헤드가 데이터를 종합해서 BS로 보낸다. 하지만 그림4의 (a)와 같이 클러스터 헤드가 센서노드와 BS의 사이에 있지 않은 경우에는 약간의 불필요한 전송 에너지가 소모된다.

본 논문에서는 가상의 그리드 공간을 만들고 클러스터 헤드를 그림4의 (b)와 같게 위치하게 하여 효율적인 에너지를 소모하는 알고리즘을 제안했다. 본 장에서는 제안하는 알고리즘과 전송방안을 소개하겠다.

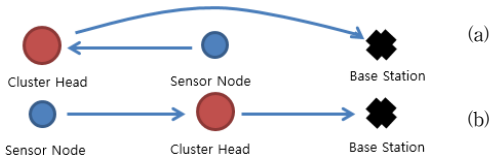


그림 4. 노드와 BS의 위치관계  
 Fig. 4. positional relationship of node and BS

#### 1. 네트워크 형성

GPS 또는 위치정보시스템을 이용해서 가상의 그리드를 만들고 이 공간을 센서노드들의 네트워크 공간이라고 정의했다. 가로  $x[m]$  세로  $x[m]$ 에서 센서 노드들이 있으며 가로는 2등분, 세로는 5등분을 하여 총 10개의 구역으로 나누었고 각 그룹에 번호를 붙여주었다. BS의 위치는 가로의 1/2지점 세로의 3/2지점, 즉  $(1/2x, 3/2x)$ 지점에 위치해 있다.

#### 2. 새로운 알고리즘에서의 가정

본 논문에서 제안한 알고리즘은 아래와 같은 가정을 따른다.

- 1) 네트워크의 모든 센서 노드들은 같은 종류이며, 초기에 같은 에너지를 갖는다.
- 2) 센서노드들은 가로  $s[m]$ , 세로  $s[m]$ 에 분포되어 있으며 BS는  $(1/2s, 3/2s)$  위치에 있다.
- 3) 센서노드는 클러스터 헤드와 싱글홉 방식 또는 BS와 직접 통신을 한다.
- 4) 클러스터 헤드에서의 데이터 압축률은 60%로 한다.
- 5) 데이터 전송에러는 없다고 가정한다.

### 3. 클러스터 헤드 선택

LEACH와 같이 각 그룹의 센서노드들은 클러스터 헤드에게 데이터를 전송하고 클러스터 헤드는 이 데이터들을 모아 BS로 보낸다. 하지만 클러스터 헤드는 그리드 공간에서 BS와 가까운 위치의 그룹에서의 노드들 중에 하나가 선택된다.  $i$ 번째 센서노드들의 클러스터 헤드는  $i+2$ 번째 그룹 안에 있는 한 노드이다. 그림5에서 보면 그룹 2 센서노드들의 클러스터 헤드는 그룹 4에 위치하고 있다. 그룹 9와 그룹10의 경우에는 BS와 이보다 더 가까운 그룹이 없으므로 직접 데이터를 BS에게 보내준다. 또한 약  $i$ 그룹의 클러스터 헤드를 찾으려하는데  $i+2$  그룹 안에 노드가 한개도 없으면, 센서노드와 BS와 일직선상으로 놓였을 때 그 다음으로 센서노드와 가까운 그룹 안에서 선택한다. 즉, 그룹 6의 클러스터 헤드는 그룹 10에 있다. 클러스터 헤드는 모든 센서노드가 데이터를 BS로 전송하면 다시 선출하며, 클러스터 헤드를 선택할 때는 클러스터 헤드가 될 수 있는 그룹 안에서 고르게 뽑는다. 본 연구에서 제안하는 클러스터 헤드 노드 선출 알고리즘을 정리하면 다음과 같다.

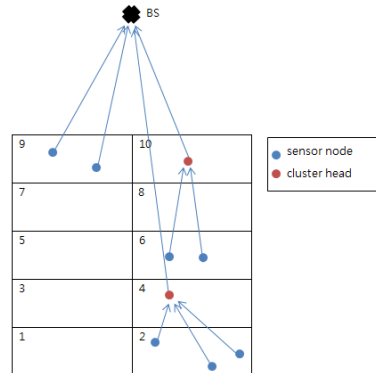


그림 5. 클러스터 헤드 선택  
 Fig. 5. select of cluster head

```

Group(i).mem : i그룹에 속해있는 멤버의 수
Group(i).memList : i그룹에 속해있는 멤버들을 배열로 나타냄

New Algorithm 클러스터 헤드(CH) 선출
1. for i=1 to 8
2.   Gm = Group(i).mem
3.   index_CH = i+2
4.   Gm_CH = Group(index_CH).mem
5.   while Group(index_CH).type == 'Dead'
    
```

```

6.   index_CH = index_CH +2
7.   if index_CH > 10
8.       index_CH = i
9.       Gm_CH = Group(index_CH).mem
10.  end
11.  Gm_CH = Group(index_CH).mem
12.  end
13.  ran_num = rand * Gm_CH
14.  CH_ID = Group(index_CH).memList(ran_num)
15.  return CH_ID
16. end
    
```

#### 4. 에너지 모델

에너지 모델은 1차 무선 전차 모델을 사용하였다<sup>[10]</sup>. 데이터를 송수신 할 때 필요한 에너지 소모는  $E_{elec} = 50\text{nJ/bit}$ 이고 증폭을 위해서는  $E_{amp} = 100\text{pJ/bit/m}^2$  이 필요하다. 따라서 거리가 d만큼 떨어져있고 k bits 의 메시지를 송수신할 때 소비되는 에너지는 아래식과 같다.

$$E_{trans} = E_{elec} \times k + E_{amp} \times k \times d^2 \quad (2)$$

$$E_{rec} = E_{elec} \times k \quad (3)$$

### IV. 성능평가

#### 1. 평가 환경

성능평가를 위해 MATLAB을 이용하였다. 네트워크 크기는 50 m X 50 m에서 가로 세로 각각 5 m씩 증가시켜 300 m X 300 m까지 네트워크 크기를 다양하게 변화시켜가면서 실험했다. 각 네트워크 크기에서 센서노드는

표 1. 실험 파라미터  
Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Value
전체 노드의 수	100
비트당 송수신 에너지	50nJ/bit
비트당 증폭 에너지	100pJ/bit/m <sup>2</sup>
패킷 길이	2000bits
초기 에너지	0.5J
데이터 압축률	60%
클러스터 헤드가 뽑힐 확률(LEACH)	0.1

무작위로 100개 배치했으며 이 과정을 20번 반복수행해서 그 결과의 평균값을 결과 값으로 사용하였다. 실험을 위한 가정과 에너지 모델은 3-3과 3-4를 바탕으로 하였고 파라미터는 아래의 표1과 같다. 파라미터 중 클러스터 헤드가 뽑힐 확률은 LEACH에서만 적용을 하였다.

#### 2. 네트워크 수명

네트워크 수명은 해당 노드들의 에너지를 얼마나 효율적으로 소비했는가를 알려주는 지표가 된다. 본 논문에서는 네트워크의 수명을 일정한 조건을 만족시켰을 때의 라운드의 총 수로 정의했다. 살아있는 센서 노드들이 데이터를 모두 BS에게 전송하였을 때를 한 라운드라고 했으며 일정한 조건이란 에너지를 모두 소비하여 죽은 노드들의 수를 나타냈다.

그림6은 LEACH와 제안한 알고리즘을 비교한 그래프로 네트워크 시간은 모든 노드가 살아있을 때로 정의하였다. 가로축은 네트워크 크기로 전체 네트워크의 크기는 [네트워크 크기]×[네트워크 크기]이다. 그림6을 보면 100 m×100 m에 센서 노드가 100개가 무작위로 있을 때 LEACH의 네트워크 시간은 150 round이지만 제안한 알고리즘은 160 round이다. 네트워크 크기가 115 m이상인 경우에는 항상 제안한 알고리즘이 더 효율적인 것을 볼 수가 있다.

그림7은 10 % 노드가 죽었을 때까지의 총 라운드의 수를 나타낸 그래프이고 그림8은 30 % 노드가 죽었을 때까지의 총 라운드의 수를 나타낸 그래프이다. 모든 네트워크 크기에서 항상 제안한 알고리즘이 더 나은 것을 볼 수가 있다.

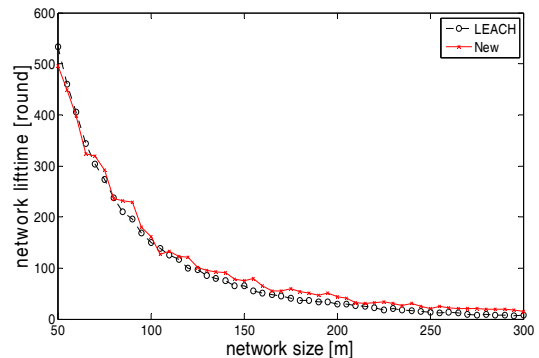


그림 6. 네트워크 수명 (처음 노드)  
Fig. 6. network life time (first node)

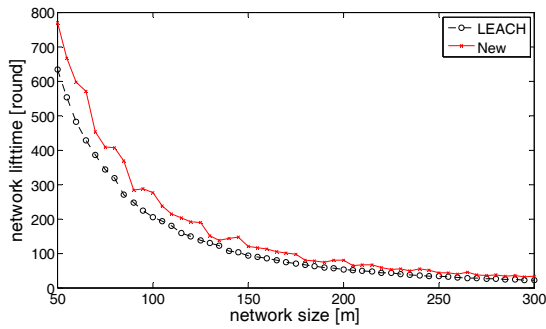


그림 7. 네트워크 수명 (10% 노드)  
 Fig. 7. network life time (10% node)

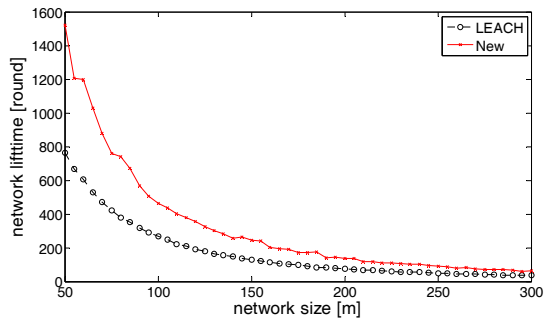


그림 8. 네트워크 수명 (30% 노드)  
 Fig. 8. network life time (30% node)

## V. 결론

본 논문에서는 기존 LEACH에서 보이는 거리에 따른 비효율적인 데이터 전송 문제점을 다루었다. 이를 해결하기 위해서 중간노드인 클러스터 헤드를 BS와 가까운 곳에서 선택하는 새로운 알고리즘을 제안했다.

다양한 네트워크 크기에서 제안한 알고리즘과 LEACH의 성능비교를 하였다. 성능 증가율은 아래 식과 같으며,  $m_1$ 은 제안한 알고리즘의 네트워크 수명이고  $m$ 은 LEACH 네트워크 수명을 나타낸다.

$$\text{증가율} = \frac{m_1 - m}{m} \times 100 \quad (4)$$

그림 9, 10, 11은 제안한 알고리즘의 성능 향상도이다. 그림에서 value값은 성능 향상도를 나타낸 것이며 실선은 회귀직선 및 회귀곡선을 나타낸 것이다. 그림9는 2차 회귀곡선이며, 그림10, 11는 1차 회귀곡선이다. 이 그림

들을 보면 LEACH보다 더 효율적인 것을 알 수 있다.

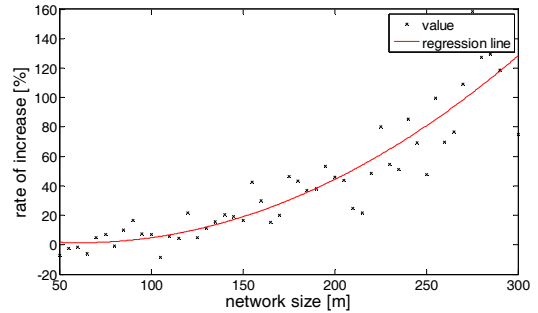


그림 9. 성능 향상도 (처음노드)  
 Fig. 9. rate of increase (first node)

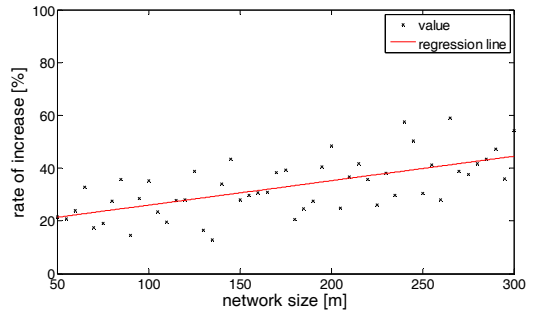


그림 10. 성능 향상도 (10% 노드)  
 Fig. 10. rate of increase (10% node)

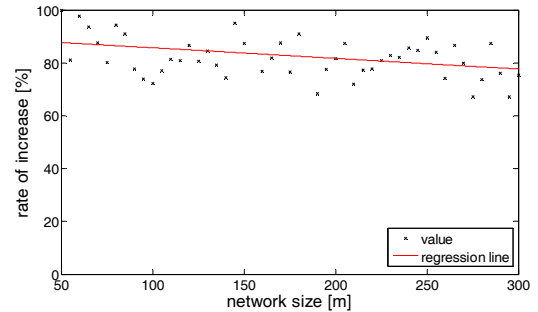


그림 11. 성능 향상도 (30% 노드)  
 Fig. 11. rate of increase (30% node)

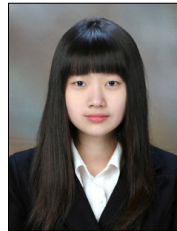
제안한 알고리즘은 무작위로 센서노드들을 설치하지만 초기에 위치정보를 필요로 하기 때문에 LEACH보다 사전 작업이 더 필요하다는 단점을 갖고 있다. 또 센서 노드들이 이동하는 경우에는 고려하지 않았다. 추후에 이러한 점을 보완하는 연구를 진행할 것이다.

## References

- [1] Yu, Liyang, Neng Wang, and Xiaoqiao Meng. "Real-time forest fire detection with wireless sensor networks." *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, 2005. Proceedings. 2005 International Conference on. Vol. 2. IEEE, 2005.
- [2] Werner-Allen, Geoffrey, et al. "Deploying a wireless sensor network on an active volcano." *Internet Computing*, IEEE 10.2 (2006): 18-25.
- [3] Surie, Dipak, Olivier Laguionie, and Thomas Pederson. "Wireless sensor networking of everyday objects in a smart home environment." *Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing*, 2008. ISSNIP 2008. International Conference on. IEEE, 2008.
- [4] Akyildiz, Ian F., et al. "Wireless sensor networks: a survey." *Computer networks* 38.4 (2002): 393-422.
- [5] Heinzelman, Wendi Rabiner, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan. "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks." *System sciences*, 2000. Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on. IEEE, 2000.
- [6] Lindsey, Stephanie, and Cauligi S. Raghavendra. "PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems." *Aerospace conference proceedings*, 2002. IEEE. Vol. 3. IEEE, 2002.
- [7] Karp, Brad, and Hsiang-Tsung Kung. "GPSR: Greedy perimeter stateless routing for wireless networks." *Proceedings of the 6th annual international conference on Mobile computing and networking*. ACM, 2000.
- [8] Gou, Haosong, Younghwan Yoo, and Hongqing Zeng. "A partition-based LEACH algorithm for wireless sensor networks." *Computer and Information Technology*, 2009. CIT'09. Ninth IEEE International Conference on. Vol. 2. IEEE, 2009.
- [9] Hye-bin Park and Jinoo Joung "An Energy Efficient Re-clustering Algorithm in Wireless Sensor Networks." *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC)*, Vol. 15, No. 3, pp. 155-161, 2015.
- [10] Heinzelman, Wendi Rabiner, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan. "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks." *System sciences*, 2000. Proceedings of the 33rd annual Hawaii international conference on. IEEE, 2000.

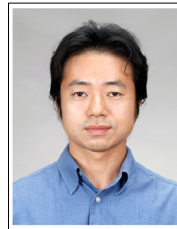
### 저자 소개

#### 임 나 은(준회원)



- 2012년 ~ 2015년 : 상명대학교 컴퓨터과학과 졸업
  - 2015년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 컴퓨터과학과 석사과정
- <관심분야 : 유무선 네트워크>

#### 정 진 우(정회원)



- 1997 : NYU Polytechnic Institute 졸업(Ph.D in EE)
  - 1997 ~ 2005 : 삼성종합기술원 재직
  - 2005 ~ 현재 : 상명대학교 컴퓨터과학과 부교수
- <관심분야 : 유무선 네트워크, SoC design>

※ 본 연구는 상명대학교 교내연구비를 지원받아 수행하였음.

This research was supported by a Research Grant from Sangmyung University.