

논문 2009-6-8

무선 센서 네트워크에서 잔여 에너지 레벨을 이용한 클러스터 형성 기법

A Cluster Formation Scheme with Remaining Energy Level of Sensor Nodes in Wireless Sensor Networks

장경수*, 강정진**, 고훈준*

Kyung-Soo Jang, Jeong-Jin Kangm, Hoon-Joon Kouh

요 약 무선 센서 네트워크에서 센서 노드는 제한된 자원과 센싱 능력을 가지고 있으며 분산된 환경에서 동작한다. 특히 적은 에너지 자원을 가지고 있으며, 한 번 살포된 후에는 사용자의 접근이 제한되며 배터리를 교체할 수 없다. 에너지 소비를 최소화하여 전체 센서 네트워크의 수명을 최대화하는 것은 중요한 이슈 중 하나이다. LEACH에서는 현재 에너지 량을 고려하지 않고 확률적으로 클러스터 헤드를 선택한다. 본 논문에서는 평균 에너지 레벨보다 센서 노드의 에너지 레벨이 높을 경우, 클러스터 헤드로 선출될 자격을 부여하는 클러스터 형성 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 클러스터 형성 기법의 우수성을 검증한다.

Abstract Sensor nodes in wireless sensor networks operate in distributed environments with limited resources and sensing capabilities. Especially, a sensor node has a small energy. After the sensor nodes are distributed in some area, it is not accessible to the area. Also, a battery of sensor node cannot change. One of the hot issues in wireless sensor networks maximizes the network lifetime through minimizing the energy dissipation of sensor nodes. In LEACH, the cluster head is elected based on a kind of probability method without considering remaining energy of sensor node. In this paper, we propose a cluster formation scheme that the network elect the node, which has higher energy level than average energy level of overall sensor network, as cluster head node. We show the superiority of our scheme through computer simulation.

Key Words : 클러스터 형성, 클러스터링, 무선 센서 네트워크

I. 서 론

최근 무선통신 기술, 센서 및 MEMS(Micro Elector Mechanical Systems) 기술, 저 전력 RF 설계 기술의 발달로 무선 센서 네트워크가 등장하고 있다[1]. 무선 센서 네트워크는 ad hoc 네트워크와 달리 제한된 자원을 가지고 있으며, 한 번 배치된 후에는 접근이 불가능한 특성을

가지고 있다. 재난 지역의 모니터링, 군사적 목적으로 이용될 수 있지만, 메모리, 프로세서, 배터리 등 자원이 한정되어 있다. 특히 무선 센서 네트워크에서의 중요한 이슈 중의 하나는 센서 노드의 에너지 소비 최소화를 통해 전체 네트워크의 수명을 최대화하여 보다 오랜 시간 동안 데이터를 수집하게 하는 것이다.

효율적으로 에너지를 소비하여 전체 네트워크의 수명을 연장하고자 하는 연구가 꾸준히 진행되어 왔으며, 그 중 LEACH^[2]는 클러스터 기반 라우팅 프로토콜의 시초라고 할 수 있다. [2]에서는 정보를 수집한 모든 센서 노

*정회원, 경인여자대학 정보미디어학부

**중신회원, 동서울대학 정보통신과

접수일자 2009.10.10, 수정일자 2009.11.9

드가 베이스 스테이션(Base station; BS)으로 데이터를 전송하는 대신에 클러스터 헤드(Cluster Head; CH) 노드만 BS로의 데이터 전송을 담당하게 함으로써 에너지 소비를 줄이고자 하였다. 클러스터 헤드는 클러스터 내의 멤버 노드인 일정한 수의 센서 노드로부터 데이터를 수집하는 역할도 담당한다. 그림 1은 클러스터를 형성한 후 CH가 BS에 데이터를 전송하는 것을 보여주고 있다. [2]를 비롯한 다른 클러스터 기반 라우팅 알고리즘에서는 확률적으로 클러스터 헤드를 선출하여 클러스터를 형성한다. 센서 노드의 남아있는 에너지량을 고려하지 않고 있어 전체 무선 센서 네트워크 중 적은 양의 에너지를 가지고 있는 센서 노드가 클러스터 헤드로 선출될 수도 있다. 일반적으로 클러스터 헤드로 선출된 센서 노드는 멤버 노드로부터 데이터 수신과 데이터 처리 그리고 BS로의 데이터 전송을 담당하기 때문에 많은 에너지를 소비한다. 확률에만 의존해 클러스터를 형성하기 때문에 일정한 라운드가 지난 후 에너지 레벨이 낮은 센서 노드가 클러스터 내에서 멤버 노드로부터 데이터를 수집하여 BS로 전송하는 역할을 담당하는 형태의 클러스터가 형성될 수 있다. 센서 노드의 현재 에너지 잔여량을 고려하지 않고 확률에만 의존해 클러스터 헤드를 선출할 경우, 센서 노드들이 균일하게 에너지를 소비할 수 없어 무선 센서 네트워크의 수명이 짧아질 수 있다.

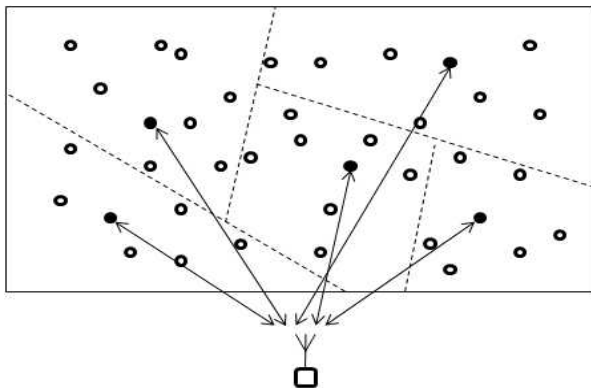


그림 1. 클러스터 기반 데이터 전송
Fig. 1. Data forwarding with clustering

본 논문에서는 센서 노드의 에너지 레벨을 이용하여 평균 에너지 레벨보다 더 많이 에너지를 보유한 센서 노드 중에서 클러스터 헤드를 선택하여 클러스터를 형성하고자 한다. 그렇게 함으로써 적은 에너지를 보유한 센서 노드들이 연속해서 클러스터 헤드로 선택되고 클러스터

가 형성되는 것을 방지하여 무선 센서 네트워크의 수명을 연장하고자 한다. 기존의 [2]의 LEACH-C에서는 GPS 수신기가 각 센서 노드에 장착되어 있는 것을 가정하였으나 본 논문에서는 그런 가정이 필요 없다. 또한 LEACH-C에서는 각각의 센서 노드의 현재 위치값과 에너지 레벨, 노드 ID 쌍(pair)을 노드가 베이스 스테이션에 직접 전송하도록 하여 에너지를 효율적으로 소비하지 못하였다. 본 논문의 클러스터 형성 기법에서는 클러스터 헤드가 멤버 노드로부터 받은 현재 에너지 레벨의 합과 수신한 데이터 신호 수를 바탕으로 멤버 노드의 수만을 베이스 스테이션에 보내어 오버헤드를 줄였다. 모든 노드는 베이스 스테이션으로부터 받은 평균 에너지 레벨을 이용하여 클러스터 헤드를 선택하여, 확률적으로 클러스터 헤드를 선택하여 클러스터링하는 것보다 무선 센서 네트워크의 동작 시간을 향상시킨다.

본 논문의 II장에서는 기존 연구에 대하여 살펴본다. III장에서는 제안하는 클러스터 형성 기법을 소개하고 IV장에서는 제안한 기법을 시뮬레이션하여 결과를 보여준다. 마지막 V장은 결론이다.

II. 기존 연구

1. 클러스터 형성 알고리즘

무선 센서 네트워크에서 데이터 수집을 위해서는 효율적인 네트워크 구성이 필요하며, 노드들은 클러스터로 불리는 작은 그룹으로 나뉜다. 각 클러스터는 클러스터 헤드와 멤버 노드들로 구성된다[2]. 멤버 노드는 데이터를 수집하여 클러스터 헤드 노드에게 전송하며, 이것을 수신한 클러스터 헤드는 베이스 스테이션에 전송한다. 일반적으로 클러스터 헤드는 먼 거리에 위치하는 베이스 스테이션까지 데이터를 전송하기 때문에 멤버 노드들보다 더 많은 에너지를 소비한다. 많은 논문에서 모든 노드에게 균등하게 에너지를 소비할 수 있도록 하기 위한 클러스터 헤드 선출과 클러스터 형성 기법이 제안되었다. 그 중 [3]에서 제안한 LEACH, LEACH-C는 대표적인 클러스터 형성 기법이다.

2. 클러스터 기반 라우팅 프로토콜

본 논문에서 사용하는 프로토콜은 [2]의 프로토콜과 유사하게 적용한다. 다른 점은 클러스터 헤드가 수집하

여 BS에 전송하는 데이터에 현재 생존하는 멤버 노드의 합과 각 노드의 잔여 에너지 양을 합한 값을 BS에 전송한다.

프로토콜은 모두 3단계로 나누어져 있다. 셋업단계(set-up phase)와 스케줄 생성 단계 그리고, 데이터 전송 단계로 나누어져 있다.

클러스터 헤드로 선출된 센서 노드는 CSMA(Carrier Sense Multiple Access) MAC 프로토콜을 이용해 다른 노드들에게 광고(advertisement) 메시지를 브로드캐스트한다. 클러스터 헤드가 아닌 노드는 모든 클러스터 헤드 노드의 광고 메시지를 들은 후 광고의 가장 강한 RSS(Received Signal Strength)를 기반으로 클러스터 헤드 노드를 결정하여 해당 클러스터의 멤버 노드가 된다. 멤버 노드는 CSMA MAC 프로토콜을 이용해 클러스터 헤드 노드에게 통보함으로써 클러스터 형성이 완료된다.

클러스터 헤드 노드는 멤버 노드의 참여 메시지를 듣고 멤버 노드가 언제 데이터를 전송해야 하는지 TDMA(Time Division Multiple Access) 스케줄을 결정한 후 멤버 노드에게 브로드캐스트 한다.

TDMA 스케줄이 만들어진 후 모든 센서 노드는 자신에게 할당된 시간에 수집된 데이터를 클러스터 헤드 노드에게 전송한다. 클러스터 헤드는 수신한 데이터를 압축하는 등의 과정을 거친 후 BS에 전송한다. 본 논문에서는 프로토콜은 이 부분이 기존의 프로토콜과 다른 점이다. 본 논문에서는 CH는 멤버노드 수와 멤버 노드의 에너지 레벨의 합을 수집한 데이터와 함께 BS에 전송한다. 이 메시지를 각 CH로부터 수신한 BS는 에너지 레벨과 멤버 노드들의 수를 이용하여 평균 에너지 레벨을 계산한다. 계산된 평균 에너지 레벨은 센서 노드들에게 브로드캐스트 한다.

다음 라운드에서도 이와 같은 단계를 반복한다.

III. 제안하는 클러스터 형성 기법

1. 기존 알고리즘의 문제점

이전 장(chapter)에서 설명한 기존의 알고리즘은 모든 노드는 같은 양의 에너지를 가지고 있다고 가정하고 있다. 클러스터 헤드는 수집·가공된 데이터를 BS까지 직접 전송하도록 되어 있다. 클러스터 헤드 노드가 BS로 데이터를 전송한 후, 다음 라운드에서 모든 노드를 대상

으로 클러스터 헤드를 다시 선출한다. 각 클러스터 헤드 노드에서 BS까지의 거리가 서로 다르기 때문에 전송할 때 소비하는 에너지는 서로 다르다. 전송할 때 소비되는 에너지는 거리의 2 제곱이나 4 제곱에 비례한다. 전체 센서 노드 수를 N 목표하는 클러스터 수를 k 라고 할 때, N/k 라운드 후에는 모든 센서 노드가 클러스터 헤드가 될 수 있고, 노드들의 남아 있는 에너지 양은 서로 다를 것이다. 기존 알고리즘을 사용할 경우, 남아 있는 에너지 양이 적은 센서 노드가 클러스터 헤드로 선출될 수 있으며, 그 센서 노드는 에너지 고갈로 더 이상 동작하지 않을 수 있다.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k(r \bmod \frac{N}{k})}, & C_i(t) = 1 \\ 0, & C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

수식(1)은 랜덤 수와 비교하기 위한 threshold 값을 나타낸 것이다. $C_i(t)$ 는 이전 N/k 라운드 동안 CH의 경험이 있을 경우 '0', 그렇지 않을 경우 1이 된다. $C_i(t)$ 의 값이 '1'일 경우만 $P_i(t)$ 값을 계산한다. $C_i(t)$ 의 값이 '0'인 센서 노드는 클러스터 헤드 노드가 될 자격이 없다. 본 논문에서는 에너지 레벨을 이용하여 클러스터를 형성하기 때문에 수식(1)에서 $C_i(t)$ 는 이용하지 않고, $P_i(t) = k / \{ N - k(r \bmod N/k) \}$ 만을 III-2절의 제안하는 기법에서 이용한다.

본 논문에서는 센서 노드에 남은 에너지 레벨을 고려한 클러스터 형성 기법을 제안한다. 모든 센서 노드에게 균등하게 에너지를 소비하게 하여 죽는 노드 수를 줄임으로써 무선 센서 네트워크의 수명을 연장하고자 한다.

2. 제안하는 기법

아래의 그림은 제안하는 클러스터 형성 기법을 의사코드(pseudo-code)로 표현한 것이다.

initialize:

$E_a \leftarrow 0;$

Repeat:

receive a *info_msg*(E_a) from BS;

decide_CH();

if($n_i = CH$) {

n_i announces CH status;

wait for *join_Req.* messages; }

else {

wait for CH announcements;

send *join_Req.* message to chosen CH; }

;; # TDMA scheduling, broadcast it to MNs

Stead-state_operation();

Function:

decide_CH()

{ if ($E_r > E_a$) {

if($RND(0, 1) < P_i(t)$)

elect the node i to CH; }

}

Function:

Stead-state_operation()

{ if($n_i \neq CH$)

send to_CH_msg(data, E_r);

else {

get to_CH_msg(data, E_r);

compress_compute(data, E_r);

send to_BS_msg(compressed_data,

total_ E_r ,

of nodes alive); }

}

* E_a : Average Energy Level

* E_r : Remaining Energy Level

* MNs : Member Nodes

그림 2. 제안하는 클러스터 형성 기법

Fig. 2. Proposed scheme for cluster formation

무선 센서 네트워크의 초기 클러스터 형성 기법은 기존의 [2]와 같은 방법을 사용한다. 그림에서 보듯이 초기의 E_a 가 '0'이기 때문이다. 기존의 기법대로 클러스터가 형성된 후, 클러스터 헤드 노드는 자신이 클러스터 헤드라는 것을 CSMA 채널을 통해 모든 센서 노드에게 브로

드캐스트한다. 이 신호를 들은 센서 노드는 자신과 가까운 노드를 RSS신호를 이용하여 클러스터 헤드로 선택한다. join-Req. 메시지를 클러스터 헤드에게 전송함으로써 클러스터 헤드에게 자신이 멤버 노드임을 알린다. 클러스터가 형성된 후 TDMA 스케줄 단계를 거치는데 이것은 [2]와 동일하다. TDMA 스케줄을 브로드캐스트한 후 정상 상태 단계(steady-state phase)로 넘어간다.

다음 라운드부터는 제안하는 클러스터 형성 기법이 적용된다. 멤버 노드는 센싱 데이터와 함께 자신의 현재 에너지 레벨을 클러스터 헤드에게 전송한다. 클러스터 헤드는 수신한 데이터와 에너지 레벨을 취합한 후, 멤버 노드의 합과 함께 BS로 전송한다.

BS에서는 네트워크 상의 k 개의 CH로부터 수신한 메시지 중 에너지 레벨과 멤버 노드들의 합을 이용하여 평균 에너지 레벨을 계산한다. 계산된 평균 에너지 레벨은 다시 모든 센서 노드에게 전송한다.

센서 노드는 이 값과 자신의 현재 에너지 레벨을 비교하여 자신의 레벨이 클 경우 랜덤 수를 발생시키고 $P_i(t)^{[수식(1)]}$ 와 비교하여 $P_i(t)$ 가 클 경우 그 노드를 클러스터 헤드로 선출한다.

클러스터 헤드는 자신이 CH라는 것을 방송하고 이 신호를 들은 멤버 노드는 참여 요청(join-Req.) 메시지를 CH에게 전송함으로써 클러스터가 형성된다.

확률값에만 의존하여 클러스터를 형성하는 기법에 비해 좀더 균등하게 센서 노드의 에너지를 소비한다. 하지만, 멤버 노드의 현재 에너지 레벨을 센싱 데이터와 함께 CH에 전송해야 하는 것과 CH도 멤버 노드의 전체 에너지 레벨의 합과 멤버 노드 수를 BS에 전송해야 하는 오버헤드는 존재한다. 하지만, 본 논문의 기법은 현재의 에너지 레벨을 고려하여 CH를 선출하기 때문에 특정 센서 노드가 연속해서 CH로 선출되지 않을 뿐 아니라 에너지 레벨이 낮은 센서 노드를 CH로 선출하여 불공평하게 에너지를 소비하지 않도록 하였다.

IV. 시뮬레이션 결과

이번 장에서는 본 논문에서 제안하는 기법과 LEACH에서의 기법을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 그 성능을 평가하고자 한다. [2]에서 사용한 라디오 모델을 그대로 사용한다.

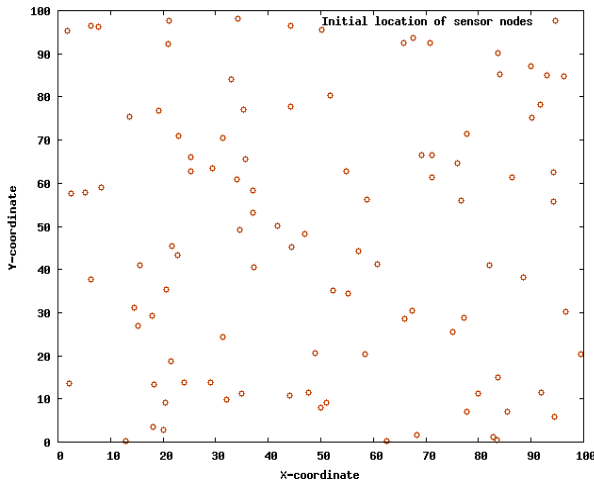


그림 3. 초기 센서 노드의 분포
Fig. 3. Initial distribution of sensor nodes

($x=0, y=0$) \times ($x=100, y=100$) 크기의 네트워크에 총 100개의 센서 노드를 분산 배치하였다. 그림 3은 시뮬레이션을 위해 랜덤하게 배치한 센서 노드의 위치를 표시한 것이다. 베이스 스테이션은 ($x=50, y=175$)에 위치시켰다. NS-2^[4] 버전 2.27에서 모의 실험을 진행하였다. 목표하는 클러스터의 개수 k 는 5, 무선 센서 노드의 초기 에너지량은 $2J/node$ 로 설정하였다.

$$E_{Tx} = E_{elec} + \epsilon_{mp}d^{\alpha} \quad (2)$$

$$E_{Rx} = E_{elec} \quad (3)$$

수식(2)와 (3)은 한 비트를 송신(E_{Tx}), 수신(E_{Rx}) 시 소비되는 에너지량을 계산하기 위한 것으로 [2]와 동일하다. 여기서 E_{elec} 은 회로에서 데이터 처리시 소비 에너지로 $50nJ/bit$, ϵ_{mp} 무선 증폭시 필요한 에너지로 $0.0013pJ/bit/m^4$, 데이터의 크기는 500 바이트로 [2]에서와 같이 동일하게 설정하였다.

노드는 이동하지 않고 고정되어 있다고 가정하였으며, 20 초마다 한 번씩 클러스터를 재구성하도록 하였다.

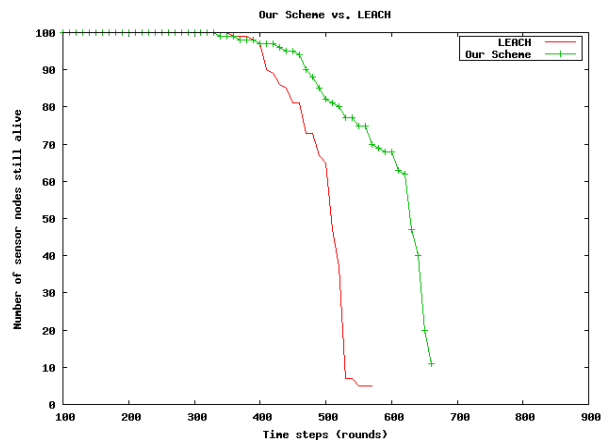


그림 4. 생존하는 센서 노드 수
Fig. 4. Number of sensor nodes still alive

그림 4는 LEACH와 제안하는 기법을 이용해 클러스터를 형성한 후 20 초마다 한 번씩 생존하는 노드 수를 카운팅하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 평균 에너지 레벨보다 더 많은 에너지 레벨을 가진 센서 노드를 CH의 후보군으로 포함시켜 그 중 CH를 선출하여 클러스터를 형성한다. 본 논문의 제안하는 기법이 더 오랫동안 노드가 생존하며, 따라서 기존 알고리즘보다 더 오랜 시간 동안 네트워크가 동작함을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 센서 노드의 에너지 소비를 균등하게 하고, 에너지가 적게 남은 센서 노드가 연속하여 클러스터 헤드로 선택되어 클러스터가 형성되는 것을 방지하기 위하여 센서 노드의 잔여 에너지 레벨을 고려한 클러스터 형성 기법을 제안하였다. BS는 클러스터 헤드로부터 받은 센싱 정보와 에너지 레벨의 합, 그리고 멤버 노드의 수를 취합한 후 평균 에너지 레벨을 모든 노드에게 브로드캐스트한다. 이를 수신한 센서 노드는 자신의 에너지 레벨이 평균 에너지량보다 높고, 랜덤 후보보다 $P_f(t)$ 가 클 경우 클러스터 헤드로 선출하여 클러스터를 형성하는 기법을 제안하였다. 확률에만 의존해 에너지 레벨이 낮은 센서 노드가 클러스터 헤드가 되지 않도록 하는 기법이다. NS-2를 이용하여 시뮬레이션한 결과, 기존 알고리즘보다 더 오랜 시간 동안 네트워크가 생존하는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] I. A. Akyildiz, W. Su, Y. S. Subramaniam, and E. Cayirci, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Commun. Mag., vol. 40, no. 8, pp. 102-114, Aug. 2002
- [2] Wendi B. Heinzelman et al, "An application-Specific Protocol Architecture for wireless MicroSensor Networks", IEEE Trans. on Wireless Communications, vol. 1, no. 4, Oct. 2002
- [3] Ossama Younis and sonia Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach", IEEE INFOCOM 2004, 2004
- [4] UCB/LBNL/VINT, "Network Simulator 2", <http://www.isi.edu/vint/nsnam/>
- [5] 장경수 외 2인, "WSN에서 네트워크 수명 연장을 위한 클러스터 헤드 선출 알고리즘", 한국인터넷방송통신TV학회 추계학술대회 논문집, 한성대학교, pp. 31-34, 2009년 12월
- [6] Hyung Su Lee, Kyung Tae Kim, and Young Youn, "A New Cluster Head Selection Scheme for Long Lifetime of Wireless Sensor Networks", LNCS 3983, pp.519-528, 2006
- [7] 이상훈, 석정봉, "무선센서 네트워크를 위한 LEACH 프로토콜의 에너지 효율 향상 방안", 한국통신학회논문지, Vol. 33, No. 2, pp. 76-81, 2008
- [8] Ossama Younis et al, "Node Clustering in Wireless Sensor Networks: Recent Developments and Deployment Challenges", IEEE Network, pp. 20-25, May/June 2006

저자 소개

장 경 수(정회원)



- 1994년 성균관대학교 (공학사)
- 1998년 성균관대학교 대학원 (공학석사)
- 2005년 성균관대학교 대학원 (공학박사)
- 1994년 1월-1995년 12월 (주)LG산전
- 2001년 9월 - 현재 경인여자대학 교수

<주관심분야 : 모바일 컴퓨팅, 센서 네트워크, 멀티미디어 트래픽 QoS>

강 정 진(중신회원)



- 2009년 현재 동서울대학 정보통신과 교수
- 2009년 현재 한국인터넷방송통신학회 장
- <주관심분야 : RFID/USN, 이동무선통신, 안테나 및 전파전파, 통방융합기술, 모바일 컴퓨팅>

고 훈 준(정회원)



- 1998년 인하대학교 (공학사)
- 2000년 인하대학교 대학원 (공학석사)
- 2004년 인하대학교 대학원 (공학박사)
- 2004년 - 현재 경인여자대학 교수
- <주관심분야 : PL, 웹프로그래밍>