

논문 2009-6-16

무선 센서 네트워크에서 에너지 임계값을 활용한 헤드 선정

A Head Selection Algorithm with Energy Threshold in Wireless Sensor Networks

권순일*, 노일순*

Soon-Il Kwon, Il-Soon Roh

요 약 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 한정된 에너지를 가지는 무선 센서 네트워크에서 에너지 소비를 최소화하기 위한 대표적인 계층적 프로토콜이다. LEACH 에서는 노드들의 균형적인 에너지 소비를 위해 확률적으로 랜덤(Random)하게 클러스터 헤드를 결정한다. 이를 개선한 LEACH-C에서는 평균에너지 잔량을 구해 이를 넘는 노드를 중심으로 헤드를 선정하여 네트워크의 전체 주기를 늘리고자 하였다. 그러나, 라운드가 지속될수록 에너지 평균잔량 및 네트워크 환경이 변화하기 때문에 이를 고려한 프로토콜 개선이 필요하다. 본 논문에서는 LEACH, LEACH-C에서 소모되는 에너지를 고려하지 않은 라운드타임 때문에 낭비되는 에너지를 줄이기 위한 새로운 라운드타임 설정을 제시하였다. 또한 클러스터 헤드 선정에 임계값을 선정하여 이를 기준으로 라운드 설정 및 헤드 설정을 하였다. 실험결과를 통해 기존 프로토콜에 비해 향상된 성능을 보였고, 향후 이를 더 확대하여 다양한 환경에 적용해 보고자 한다.

Abstract LEACH is a important hierarchical protocol in wireless sensor network. In LEACH, the head is randomly selected for balanced energy consume. In LEACH-C, the node that has more energy than the average value is selected for the network life cycle. However, the round continues, the improved protocol is needed because the energy and network are changed. In this paper, LEACH, LEACH-C is not considered the energy consumed in the round because of wasted energy and reduce the time for presenting a new round time was set. And proposed the new algorithm using the energy threshold for the cluster head selection and the round time. In simulation, we show the improved performance compared to existing protocols.

Key Words : Sensor Network, LEACH, LEACH-C, Cluster Head

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 유비쿼터스 컴퓨팅 연구에서 상황인지를 위한 다양한 센서 디바이스를 결합하여 인지도 데이터를 응용서비스 서버와 연동하는 기술이다.[1]

무선 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜에는 평

면적 라우팅 프로토콜, 계층적 라우팅 프로토콜, 위치 기반 라우팅 프로토콜로 분류된다. 평면적 라우팅 프로토콜은 복잡한 라우팅과 높은 지연, 노드간의 에너지 불균형 등의 문제점이 있다. 최근에는 노드간의 계층을 구별하여 데이터 병합 후 상위 계층의 노드를 통해 싱크 노드로 전송하는 계층 기반 라우팅 방안이 많이 연구되고 있으며, LEACH 프로토콜이 대표적이다.[2][3]

센서 네트워크에서 적용하고 있는 라우팅 프로토콜인 LEACH는 매 라운드마다 일정 수의 클러스터를 구성하

*준회원, 을지대학교 의료전산학전공

**중신회원, 을지대학교 의료전산학전공(교신저자)

접수일자 2009.10.2, 수정일자 2009.11.18

고, 네트워크의 클러스터가 고르게 배치된다는 장점이 있다. 데이터를 전송하는 역할을 담당하는 헤드는 랜덤하게 선택됨으로 고른 에너지 소비의 관점에서는 문제가 발생한다. 이를 보장하기 위해 BS(Base station)에서 센서 노드의 위치 정보와 에너지 보유량을 고려하여, 클러스터 헤드와 클러스터를 결정하는 LEACH-C가 제안되었다. 그러나 LEACH-C 또한 매 라운드마다 BS가 각 센서 노드의 위치와 에너지 정보를 받아 결정하기 때문에 불필요한 에너지 소모가 일어나게 된다.

본 논문에서는 한정된 에너지를 가지는 무선 센서 네트워크에서 가장 중요한 사항인 에너지 소비를 최소화하기 위한 라우팅 알고리즘인 LEACH-T를 제안한다. 대표적 계층적 프로토콜인 LEACH에서 클러스터 헤드 선정시 선정된 헤드가 불안정한 에너지 효율성을 가지지 않도록 하기 위해 상한, 하한 임계값을 두어 노드가 효율적으로 동작하면서 손실을 줄이는 방안을 제안하고자 한다.

본 논문은 2장에서 무선 센서 네트워크의 주요 알고리즘에 대해 기술하며 3장에서는 제안하는 알고리즘에 대해 상세히 논한다. 4장에서는 실험을 통해 본 알고리즘의 실험결과를 분석하며 5장에서 결론 및 향후 과제를 제안하였다.

II. 관련연구

1. 클러스터 헤드 선정 알고리즘

LEACH는 네트워크상에 있는 노드간의 에너지 소모를 균등하게 하기 위해 클러스터 헤드를 확률 기반으로 랜덤하게 교체한다. 각 노드는 각 라운드 시작 시점에 $P_i(t)$ 라는 확률 값으로 자신이 헤드 노드로 동작할 것인지를 결정하게 되는데, $P_i(t)$ 값은 각 라운드의 클러스터 헤드 수 k , 즉 클러스터 수에 근거하여 전체 네트워크 노드수가 N 이라 했을 경우, 아래 와 같은 식(1)이 주어진다.

$$E[\text{헤더노드수}] = \sum_{i=1}^N P_i(t) * 1 = k \quad (1)$$

모든 노드가 같은 횟수만큼 클러스터 헤드가 되는 것을 보장하기 위해서는 각 노드가 평균적으로 N/k 마다 한 번씩 클러스터 헤드로 선정이 되어야 한다.

LEACH의 클러스터 선출과정에서, 각 노드는 식 (2)에 따라 스스로 클러스터 헤드로 선정될 확률을 구한다.

여기서 $C_i(t)$ 는 지시함수로서 최근 계산된 라운드 동안 해당 노드가 클러스터 헤드였다면 0이고, 아니면 1이다. 즉, 최근 라운드 동안 헤드를 한 번이라도 했다면 다시 뽑힐 확률은 없게 된다.

$$P_i(t) = \begin{cases} \frac{k}{N - k(r \bmod \frac{N}{k})} & : C_i(t) = 1 \\ 0 & : C_i(t) = 0 \end{cases} \quad (2)$$

위 식(2)에서 i 는 노드의 식별자, t 는 시각, N 은 전체 노드의 수, k 는 클러스터의 수 (k 는 시스템 파라미터), r 은 라운드를 나타낸다. 한 라운드 중에 헤드 노드의 선정은 이전 라운드에서 헤드 노드로 동작했던 노드를 제외한 노드들 중에서 균등하게 이루어지기 때문에 라운드 증가에 따라 $P_i(t)$ 값은 단순 증가하게 되며, 이러한 패턴은 N/k 주기 로 반복되기 때문에 모든 노드가 헤드 노드로 선정되는 확률은 균등하게 된다.

$$P = e^{-\frac{\Delta E}{k_{Boltz} T}} \quad (3)$$

LEACH-C에서는 최적의 클러스터 헤드 선출을 위해 Simulated annealing 알고리즘을 사용한다. Simulated annealing은 Greedy Method과 Hill Climbing Method이 접목된 비정형화된 탐색의 일종으로서 식(3)을 통해 선출한다. 위 식은 평균 에너지 이상의 노드를 헤드로 선정하여 LEACH보다 안정된 헤드를 선출한다.^[4]

2. LEACH의 프로토콜 구조

LEACH는 클러스터링 기반 라우팅 기법으로, 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 “데이터 퓨전”을 통해 데이터를 모아서 직접 싱크로 전달한다.

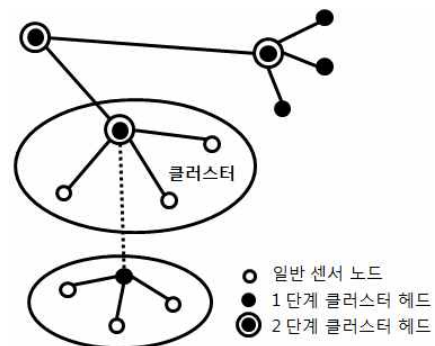


그림 1. 계층적 클러스터링 구성
Fig. 1. Hierarchical clustering configuration

이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해, 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 전체적인 통신비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터내의 데이터를 모아 지역적으로 퓨전 하는 것이다.

이를 위해, LEACH의 동작은 아래 그림과 같이 “라운드”라는 시간 단위로 이루어진다. 한 라운드는 본 연구에서는 기본적으로 20sec 로 정의한다.^[5]

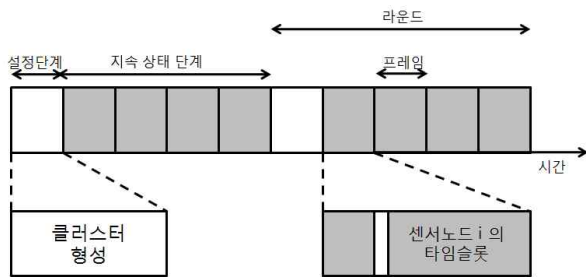


그림 2. LEACH의 타임라인
Fig. 2. Timeline of LEACH

III. 제안하는 알고리즘

1. 라운드 타임의 문제점

LEACH, LEACH-C에서는 고정된 라운드 타임을 사용하고 있다. 그러나 매 라운드마다 소모되는 에너지 때문에 매 라운드 같은 라운드 타임을 사용한다면, 데이터 전송이 끝났음에도 불구하고 유지되는 라운드의 빈 프레임 때문에 낭비되는 에너지가 발생한다. 매 라운드마다 클러스터의 에너지 평균이 줄기 때문에 라운드 타임 또한 줄여야 한다.

2. 헤드 선정의 문제점

LEACH에서의 동등한 에너지 소비를 위한 클러스터 헤드 선출 기법은 우수하다고 할 수 있다. 그러나 실제 네트워크상에서 노드들은 데이터 전송을 위해 필요한 전송거리, 전송 에너지가 서로 다르기 때문에 기존 알고리즘으로는 선정이 어렵거나 목표와 다른 결과를 얻을 수 있다. 따라서 확률적 클러스터 헤드 선출 요소를 고려한 알고리즘으로는 클러스터 헤드를 공정하게 선정 할 수 없다. 또한 데이터 전송 시 고려되는 에너지를 고려하지

않기 때문에 클러스터 헤드로 선택된 노드가 에너지를 모두 소비하여 전송될 데이터의 손실을 유발할 수 있다. 에너지 소모량을 고려하여 싱크에서 에너지 효율을 계산하여 클러스터 헤드와 클러스터를 구성하는 알고리즘이 제안되었으나, 전송 시마다 에너지 잔량을 고려하여 추가적인 에너지 오버헤드가 필요하게 된다.^{[6][7]}

3. LEACH-T (제안하는 알고리즘)

본 논문에서는 LEACH-C의 성능을 개선하여 에너지 효율을 높인 LEACH-T를 제안하고자 한다.

LEACH-C에서 매 라운드 타임은 동일한 것으로 가정한다. 그러나 매 라운드마다 소모되는 에너지를 고려하지 않아 라운드의 빈 프레임을 유지하기 위한 에너지가 낭비된다.

아래 의사코드는 라운드 타임을 줄이는 과정을 표현하였다.

Pseudo-Code
$Round\ Time\ R_{(t)}$ $R_{(t)} = 20$ if $R_{(T)} \geq E_{avr}$ then $(E_{avr} * R_{(T)}) / N_{(E)}$ end if

그림 4. 의사 코드
Fig. 4. Pseudo Code

초기 라운드 시 소모되는 라운드 타임을 20Sec로 설정한다. 만약 에너지 평균값이 초기 라운드보다 작아지는 경우 간단한 비교식을 이용하여 필요한 라운드 타임을 구할 수 있다. 현재 에너지 평균값 E_{avr} 에서 초기 라운드 타임 곱한다. 그런 후 다음 라운드의 에너지 평균값으로 나누게 된다.

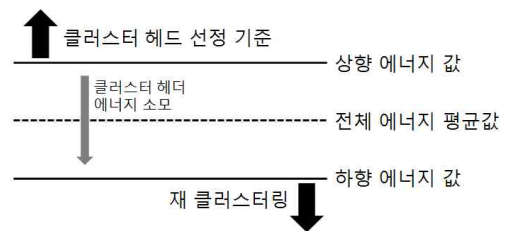


그림 5. 클러스터 헤드 선정, 재구성 기준
Fig. 5. Cluster Head Selection, Re-Clustering Standard

기존의 LEACH-C는 클러스터 헤드 선정시 평균값 이상의 에너지를 가지는 노드를 BS가 직접 선택하여 에너지 효율성이 높은 클러스터를 구성한다. 본 알고리즘은 헤드 선정시 임계값 이상의 노드를 대상으로 하여 네트워크의 생명주기를 늘렸다. 또한 클러스터 헤드로 선택된 노드의 에너지가 평균값 이하로 소모되어 클러스터가 종료됨에 따라 생기는 데이터 손실을 줄이고자 한다. 클러스터 헤드가 라운드 시간 도중 에너지를 모두 소모하여 노드가 죽을 경우 에너지 효율이 떨어진다. 따라서 최소의 하향 에너지 값을 선정하여 하향 에너지 값 이하로 헤드의 에너지가 내려갈 경우, 재 클러스터링을 통하여 클러스터 헤드를 재선정한다. 이러한 알고리즘을 통해 노드의 생존성을 높여서 에너지 효율을 증대시킬 수 있다.

$$EC = E_i(t) \leq \min E_j(t) \quad (4)$$

클러스터 헤드로 선택된 노드의 에너지가 클러스터를 유지하기 위한 최소화 에너지 보다 작게 되는 경우는 식 (4)와 같이 표현할 수 있다. E_i 는 헤드로 선택된 노드를 의미하고, $\min E_j$ 는 클러스터 헤드를 유지하기 위한 최소화 에너지를 의미한다.^[8]

Pseudo-Code
$C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$
if $E_{avr}(C) \leq E(C_i) + T_H$ then Group S(Head-Selection)
else if $E(C_i) \geq E(C_i) - T_L$ then Re_Clustering(C)
end if

그림 6. 의사 코드
Fig. 6. Pseudo Code

위 그림4는 수식(4)를 의사 결정 코드로 표현한 것이다. 집합 C는 네트워크 범위의 센서 노드들의 집합이라 가정한다. C_i 는 식(2)의 이전 라운드에 사용된 노드의 사용여부로서 '0' 또는 '1' 가지는 이진 값이다. 0이면 노드로 선택 가능한 노드를 의미하며, 1은 이전 라운드에 사용된 노드로서 선택 불가능한 노드를 의미한다. 헤드로 선택 가능한 노드 중 에너지 평균값에 일정 Threshold 값, 즉 T_H 을 더한 값 이상의 에너지를 가지는 노드들을 S라는 그룹으로 그룹화 한다. 그 노드들 중 클러스터 헤드를 선택한다. 그리고 사용 중인 노드 $E(C_i)$ 의 값이 기 능 수행 중 하향 에너지 T_L 보다 적은 에너지를 가지게

될 경우 재 클러스터링을 수행하게 되는 과정을 표현한다.

Pseudo-Code
Init Ttransfertime T
$R_{(t)} = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$
if $D_T = 0$ then $R_T = F_{(n)}$
end if

그림 7. 의사 코드
Fig. 7. Pseudo Code

전송 시간 T와 한 라운드의 프레임 $R_{(t)}$ 들의 집합에서 데이터 전송 시간인 D_T 가 전송이 끝나 0이 되면 전체 라운드 시간 R_T 에서 사용하지 않은 프레임 $F_{(n)}$ 만큼을 빼어 에너지 사용량을 줄이는 과정을 표현한다.^[9]

IV. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능분석을 위해 다음과 같은 실험을 진행하였다. 아래의 실험은 모두 동일한 에너지를 가진 노드로 시작하고, 모든 노드가 데이터를 전송한다고 가정한다. LEACH-C와 LEACH-T 각 모두 8라운드를 수행하며, 각 라운드마다 소모되는 에너지량은 동일하다. 그리고 매 라운드마다 클러스터링 되는 것으로 가정한다.

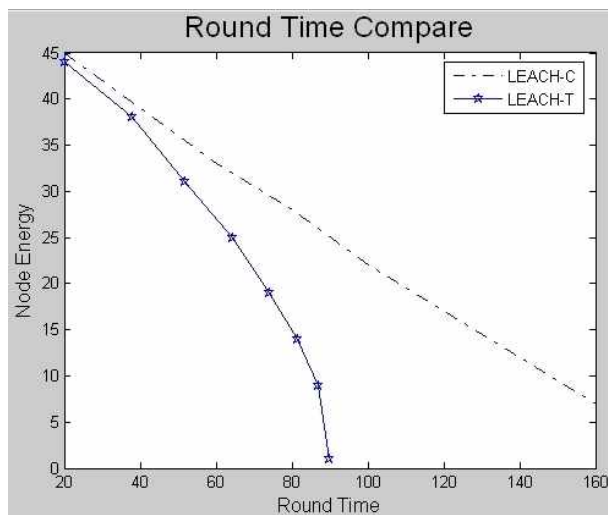


그림 8. LEACH-C, LEACH-T 라운드 타임 비교
Fig. 8. LEACH-C, LEACH-T Round Time Compare

그림 8은 LEACH-C와 LEACH-T의 8라운드를 진행하는동안 소모되는 시간을 비교하였다. LEACH-C의 경우 매 라운드 동일한 라운드 타임을 적용하기 때문에 LEACH-T에 비하여 오래 걸린다. 그렇게 때문에 소모되는 에너지의 양도 많다.

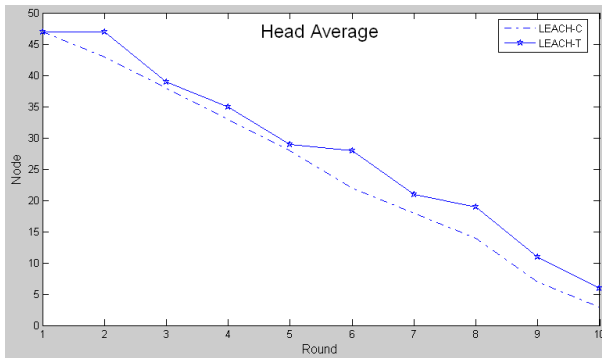


그림 9. LEACH-C, LEACH-T 헤드 평균
Fig. 9. LEACH-C, LEACH-T Head Average

그림9은 기존의 LEACH-C와 제안된 LEACH-T의 각 라운드별 클러스터 헤드의 평균을 비교한 그래프이다.

LEACH-C는 라운드마다 소모되는 노드의 에너지량은 고려하지 않는다. 그러나 LEACH-T는 클러스터 헤드를 선출할 때, 평균값 이상 뿐 아니라 상향 임계값 TH를 더한 값 이상의 노드를 클러스터 헤드로 선출하기 때문에, 무작위로 선정하는 LEACH-C보다 에너지 효율이 높고 평균 에너지량이 높은 안정적인 헤드 선출과 효율적인 클러스터 구성을 할 수 있다.

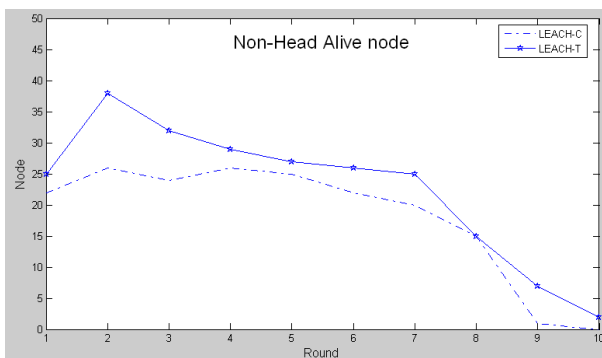


그림 10. LEACH-C, LEACH-T 비헤드 생존 노드 수
Fig. 10. LEACH-C, LEACH-T Non-Head Alive node

그림 10은 클러스터 헤드로 선정되지 않는 비 헤드 노드들의 각 라운드별 생존 노드를 의미한다.

LEACH-C는 전 라운드의 에너지 사용량을 고려하지

않고, 매 라운드의 평균값만을 이용하여 데이터 전송을 한다. LEACH-T는 클러스터 구성시 노드들의 평균값에 임계치(T_H)를 상회하는 노드를 헤드로 구성하기 때문에 헤드로 선정되어 소모되는 노드의 에너지량이 적기 때문에 LEACH-C에 보다 더욱 효율적인 에너지 관리가 가능하다.

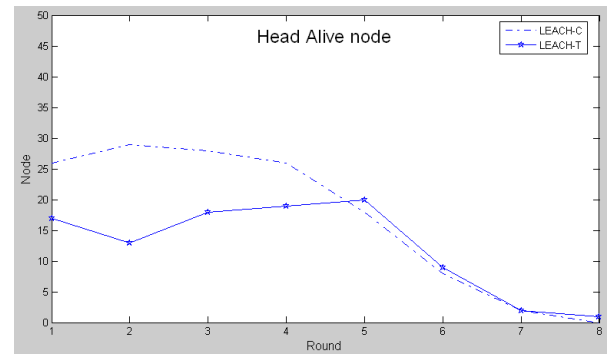


그림 11. LEACH-C, LEACH-T 헤드 생존 노드 수
Fig. 11. LEACH-C, LEACH-T Head Alive node

그림11는 클러스터 헤드로 선정되는 노드들의 생존 노드 수를 표현한다. X축은 라운드를 의미하며, Y축은 노드의 수를 의미한다.

초기 라운드에는 클러스터가 구성된 노드들의 거리에 비례하여 에너지를 소모하기 때문에 더 많은 에너지를 소모하는 경우가 생길 수 있다. 상향 에너지를 가지는 노드를 클러스터 헤드로 선택하기 때문에, 라운드가 증가할수록 LEACH-C보다 효율적인 노드 선정을 할 수 있다. 위와 같은 결과로 보아 제안한 LEACH-T 알고리즘은 센서네트워크의 생명주기를 늘릴 수 있고, 에너지 효율을 보다 더 고려한 알고리즘임을 증명하였다.

V. 결론

LEACH-C는 한정된 에너지를 가지는 무선 센서 네트워크에서 가장 중요한 사항인 에너지를 고려한 계층적 프로토콜이다. 하지만 각 라운드마다 소모되는 에너지의 양을 고려하지 않는 라운드 타임을 가진다. 또한 평균값 이상의 에너지를 가지는 노드들 중 랜덤하게 선정하며 노드로 선택된 에너지의 효율을 고려하지 않는다. 본 논문에서 기존의 LEACH-C에서 고려하지 않은 네트워크 생명주기를 고려하여 에너지의 효율을 높이는 알고리즘

을 제안하였다. 실험 결과 데이터 전송 속도는 낮을 수 있으나, 노드들의 생존성을 높여 데이터 전송의 안정성을 높일 수 있다는 것을 확인하였다. 제안하는 알고리즘은 적은양의 데이터 전송 시보다 안정성을 필요로 하는 고용량의 데이터 전송에 적합할 것으로 생각된다.

향후 연구과제로는 다양한 환경에 적용 가능한 센서 네트워크를 위한 라우팅 프로토콜을 연구하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] Ian F.Akyildiz et al., "A survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, Vol.40, No.8, Aug. 2002, pp.102-114.
- [2] 이상훈, 석정봉, "무선센서 네트워크를 위한 LEACH 프로토콜의 에너지 효율 향상 방안", 한국통신학회논문지 08-2 Vol.33 No.2
- [3] 김대영, 조진성, "무선 센서 네트워크를 위한 계층적 라우팅 프로토콜에서의 이동 싱크 노드 지원 방안", 한국통신학회논문지 08-01 Vol. 33 No.1
- [4] Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, 2000
- [5] 배정숙, 김성희, "무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜", 정보통신연구진흥원 - 주간기술동향 1140호
- [6] Arati Manjeshwar ,Dharma P. Agrawal, "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks" Center for Distributed and Mobile Computing, ECECS Department, OH 45221-0030, 2001
- [7] Arati Manjeshwar, Dharma P. Agrawal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrieval in Wireless Sensor Networks", Center for Distributed and Mobile Computing, ECECS Department, OH 45221-0030, 2002
- [8] Jian Ma, Min Gao, Qian Zhang, Lionel M. Ni, "Energy-Efficient Localized Topology Control Algorithms in IEEE 802.15.4-Based Sensor Networks", IEEE TRANSACTIONS ON PARALLEL AND DISTRIBUTED SYSTEMS, VOL. 18, NO. 5, MAY 2007
- [9] 박용민, 김경목, 오영환, "센서 네트워크에서 클러스터 기반 에너지 효율성을 고려한 개선된 라우팅 프로토콜", 전자공학회 논문지 제 45 권 TC 편 제 9 호, 2008년

저자 소개

권 순 일(준회원)



• 2007년~현재 을지대학교 의료전산학 전공 재학중
 <주관심분야 : 센서네트워크, 유비쿼터스 응용>

노 일 순(종신회원)



• 2004년 서강대학교 전자공학과 박사 수료
 • 2001년~현재 을지대학교 의료전산학 전공 교수
 <주관심분야 : 센서네트워크, 모바일콘텐츠 응용, 멀티미디어, u-러닝>