

논문 2010-471E-3-7

클러스터 기반 WSN에서 에너지 효율적인 라우팅 기법

(An Energy Efficient Routing Scheme for Cluster-based WSNs)

송 창 영*, 김 성 일*, 원 영 진**, 정 용 진***

(ChangYoung Song, SeongIhl Kim, YoungJin Won, and YongJin Chung)

요 약

무선 센서 네트워크는 다수의 센서들로 구성되며 일단 배치되면 전원의 교환 충전이 어렵기에 한정된 센서의 배터리를 효율적으로 이용하여 전체 네트워크의 수명을 최대한 길게 하는 것이 중요한 문제이다. 네트워크를 계층적으로 분할하여 관리하는 클러스터링 기법으로 대표적인 LEACH 프로토콜은 전체 네트워크의 수명을 연장시키기 위한 좋은 방법 중 하나이며 셋업과 안정 상태로 분할되는 라운드 단위로 구성된다. 본 논문에서는 셋업 단계 자체를 최소화하여 셋업 단계 시 소비하는 에너지를 절약하며 데이터의 특성을 고려할 수 있는 비교 기법을 적용하여 에너지 효율성을 높이는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 방식을 적용하여 시뮬레이션 수행한 결과 기존 LEACH에 비해 시간 흐름에 따른 생존 노드 수가 증가하였으며 노드의 평균 에너지 소비량도 감소함을 확인하였다.

Abstract

WSN, or Wireless Sensor Network, consists of a multitude of inexpensive micro-sensors. Because the batteries in sensor nodes can not be replaced once they are deployed, the life of a WSN is absolutely determined by the batteries. So, energy efficiency of a network is a critical factor for long-life operation. LEACH protocol which divides WSN into two groups is a typical routing protocol based on the clustering scheme for the efficient use of limited energy. It is composed of round units which are separated into set-up and steady state. In this paper we propose a power saving scheme to minimize set-up phase itself and to involve a data comparison algorithm. We evaluate the performance of the proposed scheme in comparison with original LEACH protocol. Simulation results validate our scheme has better performance in terms of the number of alive nodes as time evolves and average energy dissipated.

Keywords : LEACH, WSN, Routing, Clustering, Sensor

I. 서 론

유비쿼터스 시대의 중요 기술로 떠오르는 WSN (Wireless Sensor Network)은 컴퓨팅 능력을 가진 소형의 독립된 무선 센서 노드들이 건물, 도로, 인체 등 센서 필드에 임의로 배치되어 RF 방식으로 이루어지는 독립된 네트워크를 구성하고 주위의 온도, 빛, 진동 등

의 다양한 정보 수집을 목적으로 하는 네트워크이다^[1].

특정지역에서 발생하는 정보를 모니터링하기 위한 WSN은 소수의 고성능 센서가 제공하는 정보를 이용하는 대신 저렴한 다수의 센서들이 제공하는 정보들을 통합하여 결과적으로 정확한 정보를 얻고자 하며 네트워크 운용 특성상 센서 노드의 전원을 보충하지 못 하기 때문에 처음 배치될 때 부착된 배터리의 수명이 다하면 해당 노드는 사망하게 되는 특성을 갖고 있다. 결국 제한적인 에너지를 가능한 효율적으로 사용하여 네트워크 수명을 연장하는 것이 중요한 문제이기에 많은 연구들도 효율적인 에너지 사용에 주목하고 있다^[2].

에너지 효율을 높이기 위한 방법 중 하나가 바로 클

* 정회원, 광운대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics, Kwangwoon University)

** 평생회원, 부천대학 전자과
(Dept. of Electronics, Bucheon University)

*** 정회원, 서울대학 정보전자과
(Dept. of Information Electronics, Seoul University)

접수일자: 2010년7월30일, 수정완료일: 2010년8월31일

러스터 기반 라우팅이다. 전체 네트워크를 여러 개의 클러스터로 나누어 관리하는 클러스터링 기법은 모든 노드를 역할에 따라 계층적으로 분류한 뒤 하위 노드가 수집한 데이터를 상위 노드에게 전송하고 상위 노드는 이를 병합하여 최종적으로 기지국을 통해 사용자에게 전송하는 방식이다. 에너지 소모가 많은 기지국으로의 전송을 소수의 노드만이 담당하고 이러한 노드는 확률 을 기반으로 공평하게 선출하는 방식이다.

클러스터링 기반 라우팅 프로토콜로 대표적인 LEACH (Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy) 와 이를 기본 모델로 하는 변종 프로토콜들은 모든 동작이 셋업(set-up)과 안정 상태(steady-state)로 구성되는 라운드(Round) 단위로 이루어진다. 이러한 프로토콜 들은 에너지 효율성을 높이기 위한 방법으로 대부분 셋 업 단계에 소비되는 에너지 자체를 감소시켜 전체 네트 워크의 에너지 효율성을 높이고자 하였다^[2-3].

본 논문에서는 LEACH 및 LEACH를 기본 모델로 하는 프로토콜들에서 공통적으로 사용하는 각 라운드의 셋업 단계에서 소비하는 에너지는 차이가 별로 없는 일 정한 값이며 한 라운드의 프레임 수는 가변적이라는 사 실을 기반으로 셋업 단계에서 소비되는 에너지의 양 그 자체의 감소에 관심을 둔 것이 아니라 셋업 단계 발생 횟수를 줄여 에너지를 절약하는 기법을 제안한다. 즉 라운드 교체 횟수를 줄여 셋업 단계에 소비되는 에너지를 절약하는 방법을 제시한다. 이렇게 절약된 에너지는 이후 안정 상태 단계에서 사용되도록 설계하여 기존 프 로토콜에 비해 더 높은 에너지 효율을 기대할 수 있다. 더불어 비교기법을 적용하여 감지하는 데이터의 특성까 지 고려하도록 하였다.

본 논문은 II장에서 클러스터 기반 라우팅 프로토콜 에 관련된 기존 연구에 대해 논하고 III장에서는 제안하 는 라우팅 기법을 소개한다. IV장에서는 제안한 기법의 성능을 분석하고 V장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. WSN 라우팅 프로토콜

WSN에 사용되는 라우팅 프로토콜은 구조에 따라 평 면 프로토콜, 위치 기반 프로토콜 그리고 계층적 프 로토콜 등으로 분류된다. 평면 라우팅은 전체 네트워크를 하나의 단일 영역으로 간주하며 모든 노드가 동일하게 주변을 감지하여 정보를 수집하고 원거리에 위치하는

기지국으로 데이터를 전송하는 방식이다. 위치 기반 라 우팅은 자신의 위치 정보를 기지국이나 타 노드에 전송 하는 방식으로 대부분 GPS 수신기를 이용한다. 계층적 라우팅은 다양한 클러스터링 과정을 통해 네트워크를 클러스터 단위의 다수 영역으로 분할하고 노드들은 역 할에 따라 계층적으로 구분한다. 즉 각 클러스터는 하 나의 클러스터 헤드 노드와 다수의 멤버 노드들로 구성 된다. 멤버 노드들은 수집한 데이터를 클러스터 헤드에 게 전송하고 클러스터 헤드가 최종적으로 기지국을 통 해 사용자에게 전송하는 방식으로 LEACH, LEACH-C (Centralized), Energy-aware routing 등이 대표적인 프 로토콜이다^[1, 4].

2. LEACH 프로토콜

LEACH 프로토콜을 사용하는 WSN은 그림 1과 같 이 여러 개의 클러스터로 구성되며 각각의 클러스터는 상위 노드인 CH(cluster head)와 멤버 노드인 다수의 Non-CH로 구성되는 계층적 구조를 갖는다.

다수의 Non-CH는 주변 데이터를 주기적으로 감지하 여 자신이 속한 클러스터 헤드에게 수집한 데이터를 전 송한다. 소수의 클러스터 헤드는 자신의 클러스터에 속 한 멤버 노드들이 전송한 데이터를 병합하여 데이터양 을 줄인 뒤 멀리 떨어진 BS(base station)으로 데이터 를 전송하는 방식이다^[5].

WSN을 구성하는 센서 노드의 전체 에너지 소비량은 크게 송신, 수신, 데이터 병합, 슬립 모드, 휴지 모드 등 으로 분류된다. 이 중 데이터 전송 시 발생하는 전송 에 너지 소비량이 상대적으로 가장 크다^[3]. 클러스터 기반

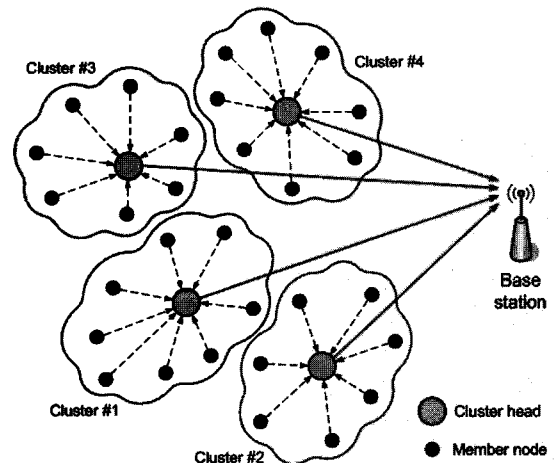


그림 1. LEACH 네트워크 구조

Fig. 1. Structure of a LEACH Network.

프로토콜인 LEACH는 이러한 사실에 근거하여 원거리에 위치하는 BS로 데이터를 전송해야 하기에 에너지 소비가 많은 CH 역할을 모든 노드가 하지 않고 정해진 확률에 의해 선출된 몇 개의 노드만이 담당하여 다른 노드의 에너지 소비를 경감시키는 방식이다.

가. LEACH의 동작 및 구조

LEACH는 그림 2와 같이 라운드로 구성되며 각 라운드는 클러스터 헤드가 선출되어 클러스터를 이루는 셋업 단계로 시작하여 멤버 노드에서 클러스터 헤드로 그리고 헤드에서 기지국으로 통신이 이루어지는 안정 상태 단계로 구성된다^[6].

구체적인 셋업 과정 구성은 헤드가 자신이 선출되었음을 알리기 위해 ADV(advertisement) 메시지를 방송하는 구간과 수신한 ADV 메시지들의 신호 세기를 기반으로 멤버 노드가 클러스터를 선택하여 자신이 포함되려 하는 클러스터 헤드에게 자신이 편입됨을 알리는 join-REQ(request) 메시지 전송 구간 그리고 마지막으로 클러스터 헤드가 수신한 join-REQ 메시지를 기반으로 TDMA 방식의 스케줄, SCH를 작성하여 자신의 클러스터에 포함된 멤버 노드들에게 전송하는 구간으로 나뉜다. 안정 상태 구간은 프레임으로 분할되며 각 프레임은 SCH 순서에 따라 각 노드가 데이터를 전송하는 시간 슬롯들로 할당된다^[3].

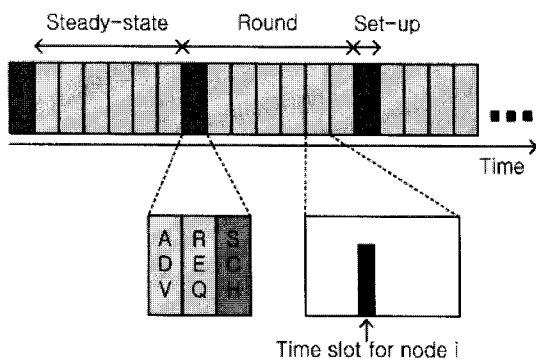


그림 2. LEACH 프로토콜의 동작
Fig. 2. Time line showing operation of LEACH.

나. LEACH의 헤드 선택 알고리즘

LEACH 프로토콜에서 CH는 Non-CH에 비해 멀리 떨어져 있는 BS로 데이터를 전송해야 하기 때문에 상대적으로 에너지 소모가 상당히 많다. 결국 모든 노드가 균등하게 에너지를 소모하기 위해 식 (1)과 같은 확

률을 기반으로 헤드를 선출하게 된다^[3]. 모든 노드가 동일한 회수로 CH가 되는 것을 보장하기 위해 각 노드가

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

평균적으로 N/k 라운드에 한 번씩 CH가 되어야 한다.

위 식에서 i는 노드 식별자, t는 시간, N은 전체 노드 수, k는 클러스터 수, r은 라운드를 의미한다. 여기서 $C_i(t)$ 는 가장 최근 라운드($r \bmod N/k$)에서 노드 i가 클러스터 헤드였는지를 결정하는 함수인데, 예를 들어 노드 i가 헤드였다면 $C_i(t)=0$ 이고 그렇지 않다면 $C_i(t)=1$ 이다. 결과적으로 N/k 주기로 반복되기 때문에 모든 노드가 클러스터 헤드로 선출되는 확률은 공평하다고 할 수 있다.

다. LEACH 프로토콜의 문제점

LEACH는 항상 Non-CH가 CH로 전송할 데이터를 갖고 있다는 점과 인접한 노드들이 갖는 데이터는 유사하다 가정한다. 비록 CH가 수행하는 데이터 병합 과정을 통해 유사한 데이터의 중복 문제가 어느 정도 보완되지만 제한적인 에너지를 최대한 길게 사용해야 하는 무선 센서 네트워크에서는 더욱 향상된 성능이 요구된다. 실제로 무선 센서 네트워크가 현장에 적용되면 Non-CH가 보낼 데이터를 아예 갖지 않는 경우도 발생할 것이고 이런 부분에 대한 대응도 필요하다. 또한 LEACH는 수집하는 데이터의 특성까지 고려하여 현재 수집하는 데이터가 필요한 것인지 아닌지를 판단하지 못 한다. 결국 무의미한 정보도 상위 노드로 전송하게 되어 불필요하게 에너지를 소비하게 되는 것이다.

III. 에너지 효율적인 클러스터 기반 라우팅 기법

LEACH와 이를 기본 모델로 하는 많은 수의 변종 LEACH 프로토콜들은 구체적인 기법은 달라도 대부분 셋업 단계에서 소비되는 에너지양을 감소시켜 전체 네트워크의 에너지 효율성을 향상시키는데 중점을 두었으며 의미 있는 성과를 제시하였다. 하지만 본 논문에서는 그림 3과 같이 셋업 단계에서 소비하는 에너지양 그 자체에 관심을 둔 것이 아니라 셋업 단계의 발생을 최소화하여 에너지를 절약하고자 하였다. 즉 라운드

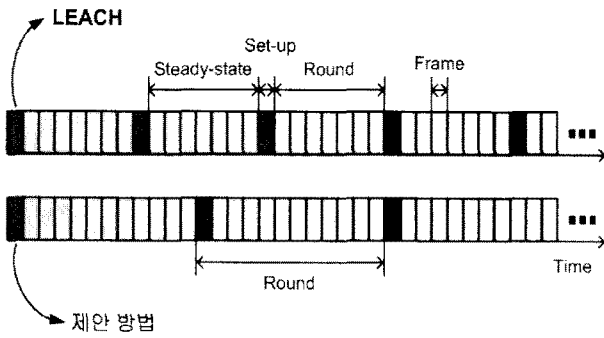


그림 3. 시간에 따른 제안 기법의 동작
Fig. 3. Time line showing operation of the proposed.

교체 횟수를 줄여 셋업 단계에서 소비하는 에너지를 감소시키는 방법을 제시한다.

각 라운드의 셋업 단계에서 소비되는 에너지량은 차이가 거의 없는 고정적인 값이라는 점과 안정 상태 단계를 구성하는 프레임 수는 구체적으로 정해지지 않아 가변적이라는 점을 기반으로 라운드 교체 횟수는 줄이고 각 라운드에 포함되는 프레임 수는 늘려 네트워크의 수명을 연장하는 방법이다.

실제로 네트워크 내 모든 노드들은 오직 한 번 만 CH로 역할을 하며 동시에 전체 네트워크 수명이 최대화되는 적절한 시간 동안 CH 역할 수행하게 된다. 이때 CH 역할 수행 시간은 시간이 아닌 노드의 남은 에너지를 기준 값과 비교하는 방식으로 결정된다. 여러 번의 시뮬레이션을 통해 얻은 적합한 기준 에너지는 IV장에서 제시한다.

WSN이 실제 현장에 적용될 경우 Non-CH는 보낼 데이터를 갖지 않을 수도 있으며 혹은 LEACH에서 인

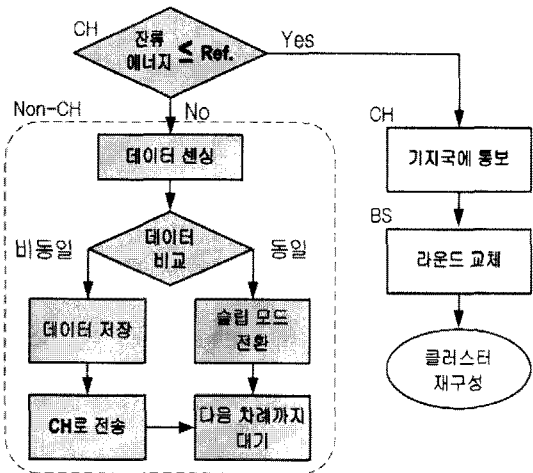


그림 4. 제안 기법의 동작
Fig. 4. Operation of the proposed.

접한 노드들이 갖는 데이터가 유사하다고 가정하였기 때문에 주변 노드가 감지한 데이터와 동일한 경우 상위 노드로 데이터를 전송할 필요 자체가 없을 수도 있다. 이러한 이유로 본 논문에서는 Non-CH들이 확률에 따라 CH로 보낼 데이터를 갖고 있다 가정한다. 확률이 1인 경우는 LEACH와 동일한 네트워크가 될 것이다.

가장 긴 라운드 지속시간을 위해 제안 기법에서는 CH의 잔류 에너지 값과 미리 설정된 기준 값(Ref.)을 그림 4와 같이 비교하게 된다. 이때 기준 값보다 크거나 같으면 해당 CH는 BS에게 이 사실을 전송하여 클러스터가 재구성된다. 반면에 기준 값보다 작으면 비교 기법이 적용된 LEACH와 동일한 셋업 과정이 이루어지게 된다. 마지막으로 수집하는 데이터 자체의 특성을 고려할 수 있도록 비교 과정을 통해 관심 있는 정보만을 수집하게 되며 이러한 과정을 네트워크 종료 시까지 반복하게 된다.

IV. 성능분석

이번 장에서는 대표적 클러스터 기반 라우팅 프로토콜인 LEACH와 본 논문에서 제안하는 방법에 대해 시뮬레이션을 수행하였다. 시간에 따른 노드의 에너지 소비 형태를 제시하는 지표로 노드의 평균 에너지 소비량과 시간에 따른 생존 노드 수를 성능 평가 지표로 선택하여 전체 네트워크의 성능을 판단하고자 하였다.

1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션은 넓이 10,000m²의 정사각형 영역에 무작위로 배치된 100개의 네트워크 그리고 위치가 고정된 BS를 기반으로 진행하였다. 클러스터 형성 과정 및 기

표 1. 시뮬레이션 환경 변수
Table 1. Simulation parameters.

Parameter	Value
Base station	(50, 175)
E_{elec}	50nJ/bit
Ref.	1.12J
Initial energy/node	2J
E_{DA}	5nJ/bit
ϵ_{fs}	10pJ/bit/m ²
ϵ_{mp}	0.0013pJ/bit/m ⁴

타 사항은 LEACH에서 사용된 라디오 전파 모델과 TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol)의 환경 설정을 그대로 사용하였으며 이를 표 1에 제시하였다^[5~6].

제안 기법 적용 시 비교 분석 과정에 따른 에너지 소비는 극히 미미하다 판단하여 무시하고 진행하였으며 단순히 온도 변화가 무작위로 이루어지는 환경이기에 균형 잡힌 환경 변수를 위해 여러 번의 시뮬레이션을 수행하여 종합함으로써 그에 따른 편차를 최소화하고자 하였다.

2. 시뮬레이션 결과 및 분석

LEACH와 제안 방법으로 각각 시간 흐름에 따른 생존 노드 수 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 5에서와 같이 제안한 방법을 적용한 경우 더욱 향상된 결과를 얻을 수 있었다. 또한 그림 6에 나타나는 것처럼 노드의 평균 에너지 소비량도 기존 LEACH에 비해 감소함을 확인할 수 있었다. 기지국에 수신한 데이터를 제시하는 그림 7 역시 기존 LEACH에 비해 향상된 성능이 확인되어 진다. 라운드 교체 횟수를 줄여 셋업 단계에서 소비되는 에너지를 감소시킨 점과 데이터 비교 과정을 통해 Non-CH에서 CH로 전송되는 에너지가 절약되었기 때문이다. 또한 동일한 네트워크 생존 시간이라 하여도 라운드 교체 주기를 최대한 길게 유지하는 제안 방법인 센서 노드들의 데이터를 전송이 이루어지는 프레임이 더 많이 가지고 있기 때문에 네트워크 성능 면에서 더욱 유리하다고 볼 수 있다.

온도가 랜덤하게 변화하는 상황을 가정한 네트워크

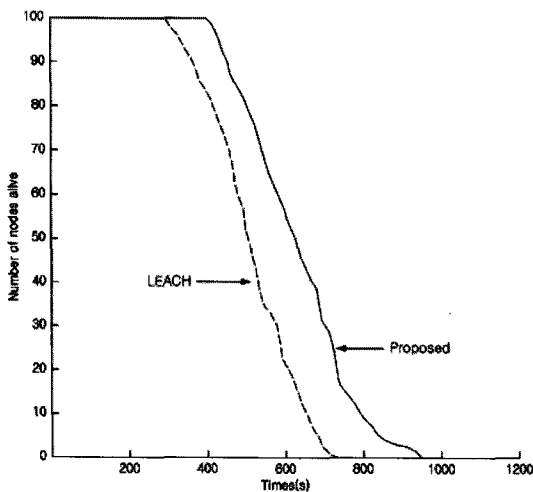


그림 5 생존 노드 수
Fig. 5. Number of nodes alive.

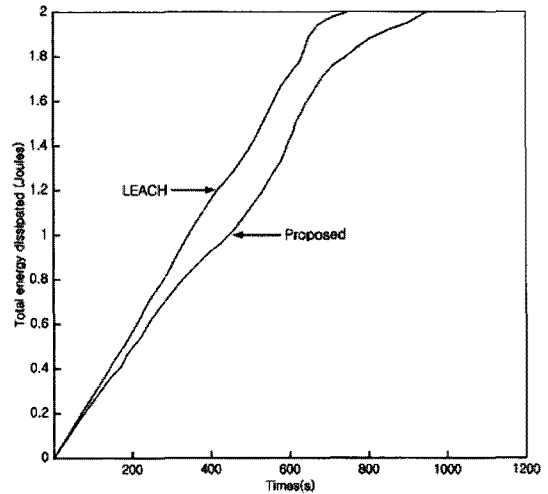


그림 6 평균 에너지 소비량
Fig. 6. Average energy dissipated.

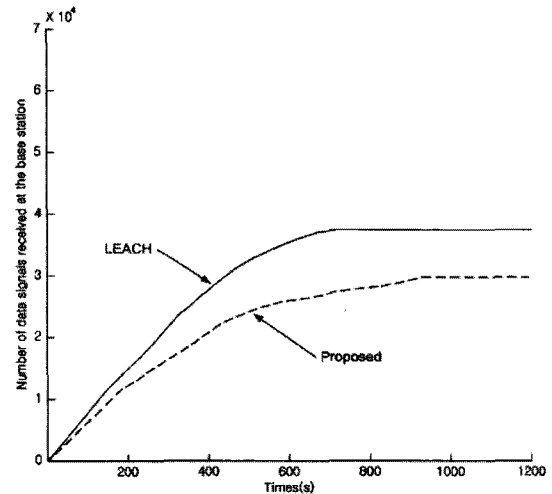


그림 7 BS에서 수신한 데이터
Fig. 7. Total amount of data received at the BS.

이므로 이전에 감지한 데이터와 동일한 경우가 몇 번 발생하는지에 따라 제안 방법을 적용한 네트워크의 성능이 다소 유동적이라 생각할 수도 있겠으나 센서 네트워크가 실제 현장에 적용되는 경우 시뮬레이션 시 적용한 100개의 센서 노드보다 훨씬 많은 수가 배치되므로 제안 방법이 더욱 의미 있는 방법이라 판단할 수 있다.

V. 결 론

전체 노드가 역할에 따라 계층적으로 분류되는 프로토콜인 LEACH와 이를 기본 모델로 하는 변종 프로토콜들은 에너지 효율성을 높이기 위해 주로 셋업과 안정 상태 단계의 처리과정 자체에 관심을 두었다. 하지만

본 논문에서는 셋업 단계의 홉수를 최소한으로 제한하여 에너지를 셋업 시 소비하는 에너지 자체를 절약하여 활용하는 방법을 제안하였다. 시뮬레이션 결과 기존에 비해 향상된 에너지 효율성을 바탕으로 더욱 증가한 네트워크 성능과 수명을 확인 할 수 있었다. 추후에는 더욱 많은 노드들에 대한 다양한 비교 분석을 통해 제안 방법을 통해 얻을 수 있는 성능 향상의 정도를 보다 구체화하는 연구를 진행하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 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.
- [2] G. Anastasi, M. Conti, M. D. Francesco, and A. Passarella, "Energy conservation in wireless sensor networks: A survey," *Elsevier Ad Hoc Networks*, vol. 7, no. 3, pp. 537-568, May 2009.
- [3] W. B. Heinzelman, "Application-specific protocol architectures for wireless networks," Ph.D. dissertation, Mass. Inst. Technol., Cambridge, 2000.
- [4] S. D. Muruganathan, D. C. F. Ma, R. I. Bhasin, and A. O. Fapojuwo, "A Centralized Energy-Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," *IEEE Communication Mag.*, Vol. 43, Issue 3, pp. S8-S13, Mar. 2005.
- [5] W. B. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 1, No. 4, pp. 660-670, Oct 2002.
- [6] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: A Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," *Proc. of 1st Intl. Workshop on Parallel and Distributed Computing Issues in Wireless Networks and Mobile Computing*. San Francisco, April 2001.

저 자 소 개

송 창 영(정회원)
대한전자공학회 논문지
제46권 IE편 제4호 참조

원 영 진(평생회원)
대한전자공학회 논문지
제44권 IE편 제3호 참조

김 성 일(정회원)
대한전자공학회 논문지
제46권 IE편 제4호 참조

정 용 진(정회원)
1976년 2월 광운대학교 전자공학과 학사 졸업
1979년 2월 경희대학교 전자공학과 석사 졸업
1979년~현재 서일대학 정보전자과 교수
<주관심분야 : 컴퓨터 구조>