DBpia

무선센서네트워크에서 메모리 속성을 이용한 클러스터링 기법

정회원 최 해 원*, 유 기 영**°

Clustering Scheme using Memory Restriction for Wireless Sensor Network

Hae-Won Choi*, Kee-Young Yoo**° *Regular Members*

요 약

최근 센서 네트워크에 대한 중요성이 강조 되면서 응용분야도 점차 증가하고 있는 추세이다. 센서 네트워크를 위한 다수의 프로토콜들이 개발되었고 계층구조망을 위한 연구들이 에너지 효율적인 면에서 좋은 평가를 받고 있다. 계층구조망을 위한 라우팅 프로토콜 중 가장 대표적인 프로토콜이 LEACH이다. 하지만 LEACH관련 프로토콜은 메시지 전송 시 네트워크 전체 단위로 통신을 함으로서 발생하는 다양한 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 LEACH관련 기법들의 문제점을 해결할 수 있는 새로운 클러스터링 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 센서노드의 메모리 제약성을 역으로 이용하여 클러스터링을 구성한다. 성능평가 결과 본 논문에서 제안한 클러스터링 기법은 LEACH에 비해 네트워크의 균형 있는 클러스터 분산을 제시할 수 있었고, LEACH보다 약 1.8배 오랜 네트워크 생존기간을 보였다.

Key Words : Wireless sensor network, Clustering Scheme, Memory restriction, Load Balancing, LEACH

ABSTRACT

Recently, there are tendency that wireless sensor network is one of the important techniques for the future IT industry and thereby application areas in it are getting growing. Researches based on the hierarchical network topology are evaluated in good at energy efficiency in related protocols for wireless sensor network. LEACH is the best well known routing protocol for the hierarchical topology. However, there are problems in the range of message broadcasting, which should be expand into the overall network coverage, in LEACH related protocols. Thereby, this paper proposes a new clustering scheme to solve the co-shared problems in them. The basic idea of our scheme is using the inherent memory restrictions in sensor nodes. The results show that the proposed scheme could support the load balancing by distributing the clusters with a reasonable number of member nodes and thereby the network life time would be extended in about 1.8 times longer than LEACH.

Ⅰ. 서 론

무선 센서 네트워크(WSN)는 센싱 능력과 처리능력을 갖춘 센서 노드로 구성된 네트워크로서 재난탐지, 군사, 홈 네트워크, 헬스 케어 등의 다양한 응용에 사용되어 우리 생활과 밀접한 관계를 가지며 유비쿼터스 인프라 구축에 있어서 빠질 수 없는 중요한 부분으로 인식되고 있다[1]. WSN 망의 형태(Topology)는

* 경운대학교 컴퓨터공학과, ** 경북대학교 컴퓨터공학과(happychw@knu.ac.kr)(° : 교신저자)
논문번호 : KICS2008-08-369, 접수일자 : 2008년 8월 26일, 최종논문접수일자 : 2008년 10월 27일

www.dbpia.co.kr

크게 평면구조망(Flat Topology)과 계층구조망(Hierarchical Topology)으로 나누어진다. 그 중 계층구조망의 대표적인 연구로는 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[2] 그리고 TEEN(Threshold Sensitive Energy Efficient Sensor Network)[3]와 LEACH-C[4] 등이 제안되었으며, 센서노드의 위치정보를 기반으로 계층적 라우팅을 수행하는 Geographic Grid Routing[5]등이 있다. 본 논문에서는 센서노드의 메모리 저장 임계치를 이용하는 클러스터링을 제시한다. 제시하는 기법은 노드단위의 1홉 메시지 전송을 제시할 수 있어서 전체 네트워크 단위의 메시지 전송을 수행하는 기존의 LEACH관련 프로토콜들이 갖는 공통적인 문제점을 효율적으로 해결할 수 있을 것이다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 Ⅱ장에서 LEACH의 클러스터링 기법에 대한 간략화 된 설명을 제시하고, 이 기법의 문제점을 분석한다. Ⅲ장에서는 본 논문에서 제안하는 메모리 제약을 이용한 클러스터링 기법에 대해 상세히 살펴보고, Ⅳ장에서는 제안된 기법과 LEACH간 비교 분석을 제시한다. 마지막으로 Ⅴ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구

본 장에서는 계층구조망의 대표적인 프로토콜인 LEACH에 대해서 살펴보고 이에 대한 문제점을 분석한다. LEACH는 하나의 시간단위인 라운드를 기반으로 동작한다. LEACH의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해, 클러스터 헤더를 주기적으로 확률에 의해 선택한다. LEACH의 클러스터 구성 과정을 단계별로 보면 아래와 같다.

단계 1: 각 노드는 라운드 시작 시점마다 아래 식에 따라 스스로 클러스터 헤더로 선정 될 확률을 구한다.

$$P_i(t)=\begin{cases}\dfrac{k}{n-k(r \bmod \frac{n}{k})} & : c_i(t)=1 \\ 0 & : c_i(t)=0\end{cases}$$

i :노드 식별자 , t :시각, n :전체 노드 수,
k :클러스터 수, r :라운드

여기서 $Ci(t)$는 지시함수로서 $r \bmod(n/k)$ 라운드 동안 해당 노드가 클러스터 헤더였다면 0으로 아니면 1로 설정된다. 이는 한번이라도 헤더 역할을 했던 노드를 배제함으로서 모든 노드가 동일한 확률로 클러스터 헤더가 되는 것을 보장하기 위함이다.

단계 2: 클러스터 헤더로 결정된 노드들은 일반노드들에게 헤더임을 알리는 메시지를 브로드캐스트한다. 이때 네트워크의 모든 노드들이 수신할 수 있는 전송강도로 발신한다.

단계 3: 모든 헤더로부터 메시지를 수신한 각 노드들은 메시지의 신호강도를 계산하여 자신에게 가장 가까운 헤더를 자신의 클러스터 헤더로 결정한다.

단계 4: 각 노드는 자신의 헤더에게 클러스터에 참여하겠다는 연결허락(Join-Request) 메시지를 발신한다. 마찬가지로 각 노드는 헤더의 네트워크상의 위치를 모르므로 네트워크의 모든 노드들이 수신할 수 있는 전송강도로 발신한다.

단계 5: 각 헤더들은 일반노드들이 보낸 연결허락 메시지를 수신하여 클러스터를 완성한다.

단계 6 : 각 라운드마다 단계1에서 5를 반복한다.

LEACH는 각 노드의 균등한 에너지 소비를 위해 매 라운드에 클러스터 헤더를 새로 선출하여 클러스터링을 수행한다. 즉, 매 라운드마다 네트워크 토플로지가 변경되므로 매번 클러스터 헤더를 선출하기 위해 메시지 송수신 시 발생되는 에너지 소모가 심하다는 문제가 있다. 두 번째 문제점은 LEACH는 확률계산에 의해 헤더가 선출되고 헤더를 중심으로 가까운 거리에 있는 노드들이 클러스터를 구성하는 토폴로지를 이용한다. 이러한 기법은 네트워크의 한부분에 클러스터 헤더가 집중될 수 있는 가능성이 있어 네트워크 전체적으로 클러스터의 구성이 불균등하게 분포될 수 있다. 또한 각 클러스터 내의 멤버노드의 수도 일정하지 않다.

Ⅲ. 메모리 속성을 이용한 클러스터링 기법

본 장에서는 LEACH의 문제점을 해결하기 위한 새로운 클러스터링 기법을 제안한다. 제안한 기법의 기본적인 아이디어는 클러스터 구성 시 센서 노드의 메모리 제약성을 역으로 이용하고자 하는 것이다. 즉, 본 논문에서 제안한 클러스터링 기법은 싱크로부터 각 노드 간 한 홉 단위로 메시지를 전송하며 노드의 연결정보와 에너지 정보를 구축하고 그 정보의 크기가 메모리의 임계치에 이르는 노드는 구축된 연결정

www.dbpia.co.kr

보 중 에너지 보유량이 가장 높은 노드를 클러스터 헤더로 선정하는 과정을 거친다.

이러한 수행을 위해서 본 논문에서 제안한 클러스터링 기법은 클러스터 경계(Boundary) 형성과 클러스터 영역(Range) 구축 및 헤더 선정과정의 두 단계를 거친다.

3.1 자료구조

제안하는 클러스터링 기법은 노드의 아이디 정보와 에너지 정보를 저장하기 위한 노드 테이블 구조와 노드 간 연결정보를 1비트 단위로 저장하기 위한 비트맵 테이블 구조를 기본 자료구조로 갖는다. 그림 1 (a)는 노드 테이블 자료구조를 보여준다. 노드 테이블의 0번째 인덱스는 노드 자신의 아이디인 ID_i와 에너지 잔류량 ER_i이 저장된다. 나머지 인덱스에는 자신의 이웃 노드들의 관련 정보가 저장된다. 그림 1 (b)는 비트맵 테이블 자료구조를 보여준다. 비트맵 테이블은 이웃노드와의 연결정보를 1비트로 1이나 0으로 저장한다.

$$Nodes[i]=\begin{bmatrix} 0 & 1 & \dots & i & \dots & k-1 \\ ID_0 & ID_1 & \dots & ID_i & \dots & ID_{k-1} \\ ER_0 & ER_1 & \dots & ER_i & \dots & ER_{k-1} \end{bmatrix}$$

(a) 노드 테이블

$$Bitmap[i]=\begin{bmatrix} 0 & 0\,1\,2\,3\,4\dots k-1 \\ 0 & 0\,0\,1\,0\,0\dots\ 0 \\ 1 & 0\,0\,1\,0\,0\dots\ 0 \\ 2 & 1\,1\,0\,0\,0\dots\ 0 \\ \cdot & \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\ \cdot\dots\ \cdot \\ k-1 & 0\,0\,0\,0\,0\dots\ 0 \end{bmatrix}$$

(b) 비트맵 테이블

그림 1. 기본 자료구조

예를 들어 그림 1 (b)는 노드 ID_0가 ID_2와 연결되어 있고, ID_2는 ID_1과 연결되어 있음을 확인할 수 있다. 본 논문에서 사용하는 자료구조의 크기는 WSN을 구성하는 노드의 수와 관계가 있다. WSN 전체 노드 수를 n이라하면, 노드 테이블은 $nlogn$ 비트가 필요하고 비트맵 테이블은 n^2 비트의 크기를 가진다. 주의할 것은 WSN의 크기가 커질수록 네트워크 전체 노드에 관한 모든 연결정보를 임의의 한 노드에 저장하기 불가능하다는 것이다.

본 논문에서는 이러한 점을 역으로 이용하여 네트워크에 적합한 클러스터를 구성한다. 본 논문에서는 이러한 노드의 메모리 제약성을 위한 임계치를 δ라 정의한다. δ는 센서노드의 메모리 제약성(k 노드)을 기반으로 한 자료구조의 크기를 고려하여 $2klogk+k^2<\delta$가 되도록 설정한다. 하지만 메모리 제약성 δ를 고려하여 클러스터의 크기를 제어하는 것은 융통성을 제시하지 못한다. 그래서 본 논문에서는 클러스터 융통성을 위한 메모리 제약성을 α라 정의한다. α는 클러스터의 크기에 융통성을 부여하기 위해서 $\alpha<\delta$가 되도록 설정한다.

3.2 클러스터 경계 구축

클러스터 경계 구축은 본 논문에서 제안한 클러스터링 기법의 첫 번째 단계이다. 본 논문에서 정의한 클러스터 경계란 클러스터링을 위한 메모리 제약성 α에 의해 생성된 기본적인 영역 단위를 의미한다. 즉, 클러스터 경계는 싱크를 중심으로 메모리 임계치 α를 반지름으로 하는 하나의 원과 같은 일정한 노드의 경계를 구성한다. 이렇게 설정된 클러스터 경계는 본 논문의 클러스터링 기법의 두 번째 단계에서 여러 개의 클러스터로 분할된다.

클러스터 경계 구축을 위한 구체적인 단계는 다음과 같다. 먼저 싱크노드가 클러스터 공고 메시지 M={cluster_rg_msg, node[i], bitmap[i]}을 노드 1홉 세기로 브로드캐스트 한다. 메시지를 수신한 노드는 다음과 같은 일을 수행한다.

단계 1: 메시지에 포함된 정보를 이용하여 다음을 수행한다.
if((노드의 메모리 사용량)<α)
if(노드의 식별자가 비트맵에 존재?)
{수신된 테이블과 자신의 테이블을 식별자가 동일한 열끼리 OR 연산을 수행한다;}
else
{노드 테이블에 식별자와 에너지 잔류 정보를 테이블의 마지막 위치 m에 삽입한다;
자신의 식별자 행과 m번째 열, 자신의 식별자 열과 m번째 행을 1로 변경한다;}
end if
else
{ 노드는 현재까지의 정보를 저장하고 경계노드가 되고, 경계노드는 자신이 마치 제 2의 싱크 노드와 같이 클러스터 공고 메시지(M)를 브로드캐스트한다;
}
end if

www.dbpia.co.kr

단계 2: 정보 갱신이 완료 된 후, 노드는 메시지 {cluster_rg_msg, node[i], bitmap[i]}를 단 한 번만 브로드캐스트한다.

단계 3: 이미 처리한 메시지를 받은 노드는 단계 1에서와 같이 단지 노드 테이블과 비트맵 테이블의 정보만 갱신한다.

메모리 제약성(현재 메모리 사용량이 a 보다 큰 상황)을 만족하지 않는 노드는 클러스터 경계를 형성하기 위한 경계노드가 된다. 이러한 경계노드는 클러스터 영역구축 및 헤더 선정과 다른 클러스터 경계 구축을 위한 일(제 2의 싱크 노드로서의 역할)들을 수행하기 위한 주체가 된다. 여기서 중요한 점은 경계노드가 클러스터 경계에 포함된 모든 노드의 연결정보를 갖지 못한다는 점이다. 만약 경계노드가 클러스터 경계에 포함된 모든 노드의 연결정보를 알 수 있다면 하나의 클러스터 경계노드가 잔존 에너지 량이 가장 큰 하나의 노드를 클러스터 헤더로 선택할 수 있어 하나의 클러스터 경계가 하나의 클러스터 영역으로 쉽게 매핑 될 수 있을 것이다. 이러한 이유 때문에 본 논문에서는 하나의 클러스터 경계를 여러 개의 클러스터 영역으로 분할하여 클러스터링을 구축한다.

3.3 클러스터 영역 구축 및 헤더 선정

클러스터 경계노드로 선정된 노드들은 전체노드의 5%가 클러스터 헤더가 될 수 있도록 동전던지기를 수행한다. 동전던지기에서 성공한 경계노드들은 클러스터 경계 이외의 지역에 다른 클러스터 경계 설정을 위한 역할(제 2싱크 노드로서의 역할)과 클러스터 경계 내에 클러스터 헤더 선정 역할을 동시에 수행한다.

클러스터 영역 구축 및 헤더 선정을 위한 동전던지기에서 성공한 경계노드 i는 노드 테이블에서 ER_i가 가장 큰 노드를 헤더로 선정한다. 헤더선정메시지 M = {*head_rg_msg*, *node[i]*, *bitmap[i]*}을 클러스터 경계노드 영역에 한번만 브로드캐스트한다. 메시지를 수신한 각 노드는 다음의 세부 단계를 수행한다.

단계 1: 각 노드는 가장 먼저 들어온 헤더선정메시지에 저장된 헤더ID를 클러스터의 헤더로 선택하고 저장한다.
자신의 비트맵 테이블과 노드 테이블의 정보를 갱신한다.

단계 2: 정보의 갱신이 완료된 후, 노드는 갱신된 비트맵 테이블과 노드 테이블을 포함한 헤더 선정 메시지를 이웃노드들에게 브로드캐스트한다.

헤더를 선택한 노드는 헤더를 목적지로 하는 연결 허락(Join) 메시지 M =*{Member_Join_msg, node[i], bitmap[i]}*을 테이블에 저장된 경로를 따라 브로드캐스트한다.

단계 3: 각 노드가 브로드캐스트를 수행한 후에 수신한 메시지가 자신의 클러스터 헤더ID가 아니면 무시한다.

단계 4: 클러스터 헤더는 멤버 노드들이 보낸 연결 허락 메시지를 수신한다.
자신의 비트맵 테이블과 노드 테이블의 정보를 갱신한다.

Ⅳ. 분 석

본 장에서는 새로 제안한 클러스터링 기법의 성능을 평가하기 위해서 클러스터링 프로토콜 중에서 널리 알려진 LEACH의 클러스터링 기법과의 비교를 제시한다. 먼저 제안한 기법과 LEACH의 클러스터링 구성 시 에너지 소비를 비교하기위해 기존에 검증된 에너지 소비 모델을 이용하였다[6]. 이 모델에서 한 노드가 메시지를 일정한 거리까지 송신할 때 소비하는 에너지 소비량은 식(1)과 같고, 수신할 때 노드가 소비하는 에너지 소비량은 식(2)와 같다.

$$E_{TX}(L,d)=\begin{cases} LE_{elec}+Le_{fs}d^2, d \le d_0 \\ LE_{elec}+Le_{mp}d^4, d > d_0 \end{cases} \quad (1)$$

$$E_{RX}(L)=LE_{elec} \quad (2)$$

- L : 데이터 패킷 길이
- E_{elec} : 회로 자체 에너지 소모
- e_{fs} : 자유공간 손실
- e_{mp} : 다중 경로 손실
- d : 노드 사이의 전송 거리
- d_0 : 전송거리 임계값
- d^{CH} : 노드에서 클러스터 헤더까지의 전송거리
- $d^{Neighbor}$: 노드에서 이웃노드까지의 전송거리

센서 노드의 에너지 소비는 회로 자체의 소비, 수신과 송신 에너지 소비로 나눌 수 있다. 회로자체의 에너지 소비는 데이터 처리 등을 위해 센서노드가 동작하면서 소모하는 에너지를 의미한다. 이때 소비되는 에너지 소모량은 아주 작다. 메시지를 수신 할 때 발생하는 에너지 소비량 자체도 아주 작고, 이 소비량은 메시지 길이에 영향을 받지만 무시할 정도로 메시

www.dbpia.co.kr

지 길이의 차이에 대한 에너지 소모량의 차이가 크지는 않다. 그래서 센서 노드가 소비하는 대부분의 에너지 소비는 메시지를 송신할 때 발생한다. 특히, 송신 에너지 소비량은 전송하고자 하는 메시지의 크기와 전송거리에 비례하여 증가한다. 위의 에너지 소비모델을 이용하여 제안하는 클러스터링 기법의 에너지 소비를 분석하면 다음과 같다. 첫 번째 단계인 클러스터 경계구축에서 네트워크 전체에 걸쳐 소비되는 전송 에너지량과 수신에너지량은 각각 식 (3), (4)와 같다. 이때 모든 메시지는 각 노드 간 한 홉 단위로, 즉 이웃 노드($d^{Neighbor}$)까지 도달할 있는 강도로, 브로드캐스트 된다.

$$E_{TX}(L,d) = (L \times E_{elec}) + (i \times L \times e_{fs} \times d^{2Neighbor}) \quad (3)$$

$$E_{RX}(L) = j \times (L \times E_{elec}) \quad (4)$$

- i : 메시지를 전송하는 노드 수
- j : 메시지를 수신하는 노드 수

두 번째 단계인 클러스터 영역구축 및 헤더선정 과정에서 네트워크 전체에 소비되는 에너지양은 다음과 같다.

$$2 \times \sum_{cluster=1}^{k} E_{TX}(L,d) + E_{RX}(\mathrm{L})$$

이러한 두 단계의 합이 클러스터 구성 시 소비되는 총 에너지가 된다. 이를 토대로 제안한 클러스터링 기법의 성능을 시뮬레이션을 통해 비교분석 하였다. 시뮬레이션 네트워크 환경은 한 개의 노드를 중심으로 4개의 노드가 밀집되어 있는 격자구조로 구성하였다. 표 1은 성능분석을 위한 네트워크 매개변수이다.

표 1. 네트워크 매개 변수

매개 변수	LEACH	제안한 기법
센서 네트워크 환경	자유공간	자유공간
센서네트워크 크기	100m*100m	100m*100m
센서네트워크 구조	격자 구조	격자 구조
센서 노드 수(n)	100개	100개
클러스터 헤더 수(k)	5개	5개
싱크 위치	(50, 50)	(50, 50)
초기 에너지	1 J	1 J
데이터 패킷 길이(L)	2,000 bit	2,000 bit
자유공간 손실(e_{fs})	0.1nJ/bit/m^2	0.1nJ/bit/m^2
회로 에너지 소모(E_{elec})	50nJ/bit	50nJ/bit
노드와 헤더 거리(d^{CH})	140m	-
노드사이 거리($d^{neighbor}$)	-	40m
전송 충돌 비율	20%	20%

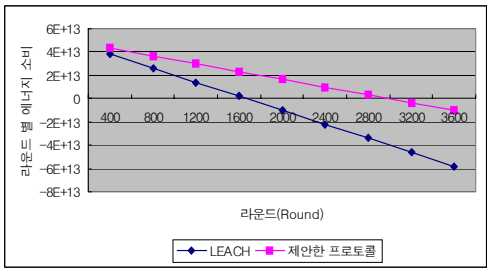

그림 1. 라운드별 네트워크 전체 에너지 사용량비교

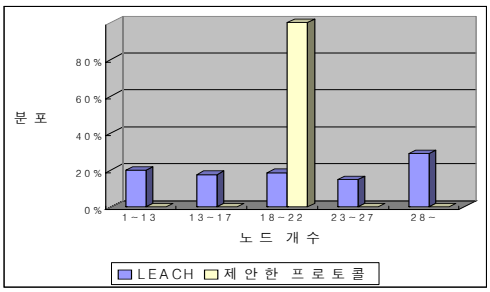

그림 2. 클러스터 당 멤버노드의 숫자분포

LEACH 프로토콜에서 노드의 메시지 전송범위는 고정된 출력 형태로 네트워크 전체 범위를 가정한다. 그러므로 네트워크 범위 100m*100m에서 약 140m 거리의 신호강도가 설정되어야 한다. 하지만 제안한 기법은 노드 간 한 홉 단위로 메시지를 전송하므로 전송범위는 20m면 충분하지만 노드 배치의 균등성이 최악인 경우를 고려해서 전송범위를 40m로 설정하였다.

그림 1은 LEACH와 제안하는 기법이 클러스터링을 위한 라운드가 계속됨에 따라 발생되는 에너지의 소모량의 변화를 보여준다. LEACH는 1,667 라운드에서 네트워크의 전체 에너지가 고갈 되었다. 반면에 제안한 기법은 2,995라운드에 네트워크의 전체 에너지가 고갈되었다. 그러므로 제안한 기법이 LEACH에 비해서 네트워크 수명이 1.8배 더 연장될 수 있음을 확인할 수 있다.

센서네트워크에 있어서 클러스터 내 노드의 균등분포는 아주 중요한 문제이다. 그림 2는 1,000라운드를 반복 수행 했을 때, 클러스터 당 멤버노드의 숫자분포를 나타낸다. LEACH의 경우에 멤버노드의 숫자가 13개 이하 이거나 28개 이상이 되는 클러스터의 분포가 전체의 50%에 가깝다. 이는 적절한 부하의 분산(Load Balancing)을 제시하지 못하여 센서네트워크의 효율성과 서비스 품질 저하의 요인이 된다. 이에 비해서 제안한 기법은 멤버노드의 숫자가 18~22 사이에 모두 분포함으로서 안정된 균등분포를 확인할 수 있다.

www.dbpia.co.kr

V. 결 론

본 논문에서는 기존에 연구된 계층구조망 프로토콜인 LEACH 프로토콜과 LEACH 기반 프로토콜이 공통적으로 가지는 비효율성을 해결하기 위한 새로운 클러스터링 기법을 제안하였다. 본 논문에서 제안한 기법은 클러스터 구성 시 센서 노드의 메모리 속성을 이용하여 노드의 에너지 정보와 연결정보를 수집하고 경계를 구축하였다. 이러한 과정에서 노드 간 한 홉 단위로 메시지 전송이 이루어질 수 있었고, 이는 네트워크 전체 단위로 메시지 전송이 이루어지는 LEACH 관련 기법들의 근본적인 문제점들을 위한 해결책으로 제시되었다.

성능평가를 위해 기 검증된 에너지 소비 모델을 이용하였고, 평가결과 본 논문에서 제안한 클러스터링 기법이 LEACH에 비해 클러스터 헤드들의 네트워크 전체에 균형 있게 분포될 수 있음을 확인하였다. 결과적으로 부하가 분산될 수 있었고, 이는 노드들 간의 에너지가 골고루 소모될 수 있도록 하여 네트워크의 생존기간을 연장시키는 결과를 초래하였다. 그 결과 LEACH에 비해 약 1.8배 오랜 네트워크 생존기간을 보였다.

참 고 문 헌

[1] R. Min, M. Bhardwaj, S. Cho, E. Shih, A. Sinha, A. Wang, A. Chandrakasan, “Low Power Wireless Sensor Network,” *Proceeding of International Conderence on VLSI Design*, pp.205-210, 2001.

[2] Wendi Rabiner Heinzelman, Anatha Chandrak Asan, Hari Balakrishnan, “Energy Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Network,” *Proc. of Hawaii International Conference on Systems Science*, vol.2, pp.10, jan. 2000.

[3] A. Manjeshwar, D.P. Agrawal, “TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Network,” *Parallel and Distributed Processing Symposium*, pp. 2009-2015, April 2001.

[4] Wendi Rabiner Heinzelman, Anatha Chandrak Asan, Hari Balakrishnan, “An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 1(5), pp.660-670, 2002.

[5] J. Hornsberger, G.C. Shoja, “Geographic Grid Routing for Wireless Sensor Networks,” *IEEE Proceeding Networking, Sensing and Control*, pp. 484-489, March 2005.

[6] 노태호, 정광수. 무선센서 네트워크에서 에너지 효율적인 토폴로지 구성을 위한 Up-Down Tree 라우팅 알고리즘, *정보과학회 논문지*, 34(5), pp.360-369, oct. 2007.342-349, 2007.

최 해 원 (Hae-Won Choi) 정회원

1996년 2월 경일대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
2000년 2월 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
2003년 8월 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학박사 수료)
2006년 3월~현재 경운대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야> 유비쿼터스 센서네트워크, 알고리즘

유 기 영 (Kee-Young Yoo) 정회원

1976년 2월 경북대학교 수학교육과 (이학사)
1978년 KAIST컴퓨터공학과 (공학석사)
1992년 Rensselaer Polytechnic Institute, New York, USA, Computer Science(이학박사)
1993년~현재 경북대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야> 정보보호, 무선네트워크 보안, RFID, Information Hiding 기술, DRM

www.dbpia.co.kr