브리지 클러스터를 이용한 에너지 효율적 센서 네트워크 클러스터링

An Energy-Efficient Sensor Network Clustering Using the Bridge Cluster

남도현*, 민홍기*
Do-Hyun Nam*, Hong-Ki Min*

요 약

공급 전원의 교체가 어려운 무선 센서 네트워크에서 전력 소모량을 줄이기 위하여 효율적 라우팅에 관한 연구가 다양하게 진행되고 있다. 그 중 라우팅 분야는 현재 동적 클러스터링 방식이 가장 효율적인 방식으로 연구되고 있다. 동적 클러스터링 방식은 클러스터를 구성하는 부분과 데이터를 전송하는 부분으로 구성된다. 데이터를 전송하는 부분의 전력 소모는 크로스오버 영역을 중심으로 전송거리가 가까운 센서 노드는 전력 소모량이 d^2에 비례하고, 전송거리가 먼 센서노드는 d^4에 비례된다. 그러므로 크로스오버 영역 밖의 먼 거리 전송을 줄이는 것은 중요하다. 본 논문은 동적 클러스터 방식의 데이터 전송 부분에서 전송거리가 크로스오버 영역 밖의 먼 거리 전송을 최소화함으로 전력 소모량을 줄이는 방법을 제안하였다. 이 방식은 데이터 전송에 있어서는 크로스오버 영역 내에 브리지 클러스터를 구축하여 경유하는 방식으로 전송거리와 관계없이 각 노드의 소비전력이 균등하고, 모든 노드의 전체 전력 소모량을 줄이는 방식이다. 이 제안의 타당성을 모의 실험을 통해 확인하였다.

Abstract

There are various studies being conducted regarding efficient routing schemes to reduce energy consumption in the wireless sensor network, for which energy transformation is difficult. In terms of routing, many believe that the dynamic clustering technique is most efficient. The dynamic clustering technique consists of cluster construction and data transmission. Energy consumption for data transmission is proportional to d^2 and d^4 around the crossover area. This paper proposed algorithms for reducing energy consumption by improving efficiency of the cluster construction process that in the dynamic cluster mechanism and minimizing long-distance data transmission outside the crossover area. The proposed algorithms reduced energy consumption by implementing bridge clusters in the crossover area and decreasing the data transmission distance. The benefits of the proposed algorithms were confirmed through simulation experiments.

keywords: cluster, sensor network, routing, data transmit

Ⅰ. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)에서 전력 소모량을 줄이는 문제는 매우 중요한 부분이다. 왜냐하면 무선 센서 네트워크는 전력의 교체가 어렵기 때문이다. 전력 소모를 줄이기 위해 센서 네트워크에서 연구되는 다양한 분야 중에 라우팅분야는 평면적 방식과 계층적 방식으로 구분된다[1,2,3]. 평면적 방식은 모든 센서노드들이 데이타를 BS(Base Station)에 전달하는 방법이고, 계층적 방식은 센서 노드들을 여러 개의 클러스터로 형성하여 클러스터 내의 센서 노드가 데이타를 클러스터 헤드노드에게 보내고 클러스터 헤드노드는 이를 취합하여 BS(Base Station)로 전달하는 방식이다. 클러스터 방식은 평면적 방식보다 센서노드들 간의 전력 소모가 균등하여 전력 소모가 적고 네트워크 수명이 길다[4].

하지만 클러스터 방식은 클러스터 헤드노드가 BS와 먼 곳에 위치하는 경우가 가까운 곳에 위치하는 경우보다 전력 소모가 더 크다[5]. 센서 네트워크에서 전력 소모는 데

*인천대학교 정보통신공학부
논문 번호 : 2007-4-9 접수 일자 : 2007. 9. 10
심사 완료 : 2007. 10. 8

이터의 송신과 수신에서 거리에 비례하기 때문이다. 이는 BS와의 거리에 따른 노드별 전력 소모의 불균형을 발생시킨다. 또한 클러스터 방식에서 센서노드의 전력 소모는 송신과정에서 가장 크고 먼 거리 송신은 d^4에 비례하며 가까운 거리의 송신은 d^2에 비례한다[6]. 그러므로 먼 거리 송신의 전력 소모가 가까운 거리 송신의 전력 소모보다 더 크다. 이때 먼 거리와 가까운 거리의 기준이 되는 부분을 크로스오버 영역이라고 한다[9]. 그러므로 크로스오버 영역 밖으로의 송신을 최소로 하는 것이 전력 소모를 줄이는 가장 큰 요소 중 하나가 된다.

본 논문은 동적클러스터 방식에서 BS와의 거리가 크로스오버 영역 안쪽에 브리지 클러스터를 구성하여, 크로스오버 영역 밖의 먼 거리의 송신 경우 브리지 클러스터를 경유하여 데이터의 송신을 처리하는 방식을 제안한다. 브리지 클러스터를 경유하는 방식은 기존방식에 비해 BS와의 거리에 관계없이 모든 노드의 전력 소모가 균등하고, 전력 소모가 적음을 실험을 통하여 확인하였다.

Ⅱ. 클러스터 기반 라우팅과 전력 소모량

2.1 클러스터 기반 라우팅

대표적인 클러스터 기반 라우팅 프로토콜로는 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)방식이 있다[5,6,7,8]. (그림 1)에서와 같이 LEACH방식은 다수의 라운드(round) 구간으로 구성되어 있고, 라운드는 셋업과 다수의 프레임으로 구성된다.

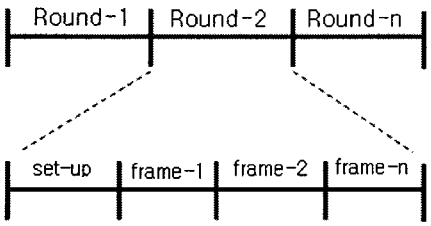

그림 1. 동적클러스터링의 생명주기
Fig. 1. Life time of dynamic clustering.

셋업 부분은 클러스터를 구성하는 부분으로 클러스터 헤드노드를 식 (1)과 같이 초기 확률 값에 의해 선정하고, 그에 최적화된 클러스터 소스노드들을 선정하는 과정이다. 클러스터 소스 노드들은 선정된 클러스터 헤드 노드들이 최초에 보낸 신호(ADV:Advertisement) 중 수신강도가 가장 강한 곳을 자신의 클러스터 헤드노드로 선정하여 Join-REQ라는 응답 메시지를 전송한다. Join-REQ를 받은 클러스터 헤드노드는 각 클러스터 소스노드의 TDMA(Time Division Multiple Access) 스케줄을 생성하여 클러스터 내의 모든 소스노드에게 전송한다.

$$T(i)=\begin{cases}\dfrac{P}{1-P(r \bmod \dfrac{1}{P})} \\ 0\end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 i번째 센서노드의 T(threshold)를 구하는 방법은 확률 값 P와 라운드 수 r을 사용하여 계산된다.

프레임 부분은 클러스터 소스노드가 센싱한 데이타를 클러스터 헤드 노드에게 보내고, 클러스터 헤드노드는 수신된 데이타를 취합하여 BS(Base Station)에 보내는 과정이다. 프레임 내에서 클러스터 노드는 스케줄링에 의해 TDMA(Time division Multiple Access)방식으로 클러스터 소스 노드로 부터 데이타를 받는다.

(그림 2)는 클러스터 헤드노드를 선정한 후 클러스터 헤드노드들과 클러스터 소스노드들의 동작과정을 표현한 것이다. 셋업 과정의 경우 클러스터 헤드 노드는 송신과정 2회와 수신과정 1회로 구성되어 있다. 송신은 ADV를 보내는 과정과 스케줄정보(schedule information)를 보내는 과정이고, 수신은 ADV의 응답메시지인 Join-REQ를 수신하는 과정이다. 클러스터 소스 노드는 송신과정 1회와 수신과정 2회로 구성되어 있다. 송신은 Join-REQ를 보내는 과정이고, 수신은 ADV를 수신하는 과정과 스케줄 정보를 수신하는 과정이다. 프레임 과정의 경우 클러스터 헤드 노드는 송신과정 1회와 수신과정 1회로 구성되어 있다. 수신은 클러스터 소스 노드들이 획득한 데이터를 보낸 것에 대한 수신이고 송신은 수신된 데이터를 취합하여 BS에게 보내는 과정이다. 클러스터 소스 노드는 오직 송신과정 하나만 존재한다. 송신은 획득한 데이터를 클러스터 헤드 노드에게 전송하는 과정이다.

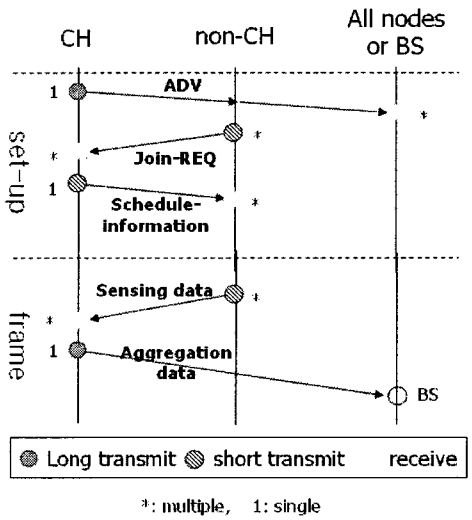

그림 2. 셋업과 프레임 시나리오
Fig. 2. Setup and frame scenario.

2.2 전력 소모량 계산 및 크로스오버 영역 계산

클러스터 방식에서의 전력 소모량은 클러스터 소스노드가 클러스터 헤드노드에게 송신하는 짧은 거리 송신(tx_{short})과, 클러스터 헤드노드가 BS에 송신하는 먼 거리 송신(tx_{long})은 식 (2)로 표현되고, 클러스터 헤드노드가 클러스터 소스노드의 획득 데이터를 수신(rx)하는 것은 식 (3)으로 표현된다[9].

$$E_{tx}(l,d)=\begin{cases} lE_{elec}+lE_{mp}d^4 : tx_{long} \\ lE_{elec}+lE_{fs}d^2 : tx_{short} \end{cases} \quad (2)$$

$$E_{rx}(l)=lE_{elec} \quad (3)$$

여기서 l은 데이타 크기, E_{elec}은 전자에너지 (electronics energy), E_{mp}는 먼 거리 송신을 위한 증폭에너지(amplifier energy - multipath model), d는 BS까지의 거리, E_{fs}는 짧은 거리 송신을 위한 증폭에너지(amplifier energy - free space model) 이다.

먼 거리 짧은 거리를 구분하는 영역을 크로스오버 영역이라고 하고, 크로스오버 영역은 식 (4)로 구할 수 있다[9].

$$d_{crossover}=\frac{4\pi\sqrt{L}h_rh_t}{\lambda} \quad (4)$$

$L \geq 1$인 전파와 관련 없는 시스템 손실률

h_r : 수신 안테나의 지상으로부터 높이

h_t : 송신 안테나의 지상으로부터 높이

λ : 반송 신호의 파장

여기서 $h_r = h_t = 1.5m$, L=1, 무선 주파수가 914MHz, $\lambda=\frac{3\times10^8}{914\times10^6}$=0.328m일 때, $d_{crossover} = 86.2m$ 이다.

Ⅲ. 제안방식 알고리즘

센서 네트워크에서 전력 소모는 식 (2)에서 보듯이 가까운 거리의 송신경우는 d^2에 비례하고, 먼 거리 송신경우는 d^4에 비례한다. 브리지 클러스터를 이용하여 전력 소모를 줄이는 방식은 먼 거리 송신을 브리지 클러스터를 경유하여 가까운 거리의 송신으로 처리하는 개념으로 그림 3으로 표현된다.

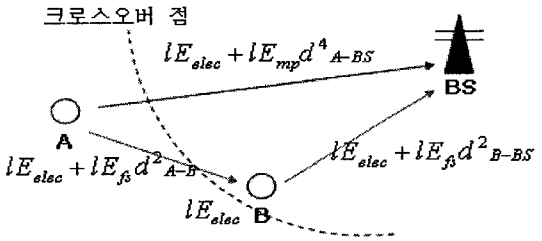

그림 3. 크로스오버 영역과 전력 소모량.

Fig. 3. Crossover domain and energy consume of sensor networks.

그림 3에서 보듯이 노드A는 크로스오버 영역 밖의 BS에 데이터를 전송하면 d^4전송에 대한 전력 소모가 있지만 노드B를 경유하여 데이터를 전송하면 d^2전송 두 번과 한 번의 수신으로 전력 소모가 일어난다. 이 경우 노드B는 브리지 노드의 역할을 하게 되고, 식 (5)가 성립될 경우 브리지 노드를 경유하는 것이 전력 소모가 적음을 알 수 있다.

$$E_{mp}d^4{}_{A-BS} > 2E_{elec}+E_{fs}d^2_{A-B}+E_{fs}d^2_{B-BS} \quad (5)$$

식 (4)에서 보듯이 일반적으로 크로스오버 점이 85m 수준임을 볼 때 식 (5)는 성립함을 알 수 있다.

이와 같이 일반적으로 클러스터 기반의 라우팅은 클러스터 헤드노드와 BS와의 거리가 멀기 때문에 전력 소모가 크다. 또한 BS와의 거리가 먼 위치에 있는 노드들은 BS와의 거리가 가까운 위치에 있는 노드에 비해 전력 소모가 더 크고, 이로 인한 위치적 편차가 발생한다. 그러므로 본 연구는 데이터 전송에 있어서는 크로스오버영역 내에 브리지 클러스터를 구축하여 경유하는 방식으로 전송거리를 짧게 하여 전력 소모를 줄이고, BS와의 거리에 관계없이 모든 노드의 전력 소모가 균등하게 하는 방식이다.

3.1 브리지 클러스터 알고리즘

제안 방식의 클러스터 구성과정은 그림 4와 같다. 먼저 모든 노드는 자신의 좌표를 알고 있으며, 이를 BS에게 알려준다. 이후 BS는 적절한 브리지 클러스터와 일반적인 클러스터를 구성하여 모든 노드에게 통보하여 준다.

step-1: 모든 노드는 자신의 좌표를 BS에게 전송
step-2: BS는 크로스오버 점을 구함 (d_{cross})
step-3: BS는 d_{cross} 밖의 노드로 클러스터를 구성
step-4: BS는 브리지 클러스터 노드를 선택
step-5: BS는 d_{cross} 안의 노드로 클러스터를 구성
step-6: BS는 모든 노드에게 정보를 전달

그림 4. 제안방식의 클러스터 구성 과정.

Fig. 4. Clustering process of proposed method.

각 과정을 상세히 살펴보면 단계-1은 모든 센서노드들이 자신의 좌표를 BS에게 알려주는 과정이다. 단계-2는 BS가 수신한 센서노드들의 좌표를 기반으로 크로스오버 점(d_{cross})을 구하는 과정이다. 단계-3는 d_{cross}밖에 속하는 노드들을 가지고 클러스터를 구성하는 과정이다. 이때 클러스터 헤드노드의 선정은 식 (1)처럼 확률적인 방법을 사용한다. 단계-4는 브리지 클러스터를 구성할 노드를 선정하는 과정으로 BS에서 볼 때 d_{cross}에 가장 근접한 노드로 단계-3에서 선정된 클러스터 헤드노드의 수만큼 선정한다. 단계-5는 d_{cross}영역 안에 속하는 노드들을 가지고 클러스터를 구성하는 과정이다. 클러스터 헤드의 선정은 식 (1)을 사용하고 단계-4에서 선정된 노드는 제외하고 계산한다. 마지막으로 단계-6은 지금까지 계산된 모든 정보를 각 센서노드에게 통보하는 과정이다.

클러스터 구성이 끝나면 d_{cross}영역 밖의 클러스터 헤드노드는 수신된 데이터를 BS에게 전송하는 것이 아니라, 브리지 클러스터 내의 노드에게 전달하게 된다. 브리지 클러스터의 노드 수는 d_{cross}영역 밖의 클러스터 수와 동일하므로 하나의 브리지 노드는 하나의 클러스터 헤드노드와 통신을 하게 된다. 데이터를 수신한 브리지 클러스터 노드는 다시 BS에게 데이터를 전송하게 된다.

그림 5는 브리지 클러스터를 이용한 방식의 예를 보여주고 있다.

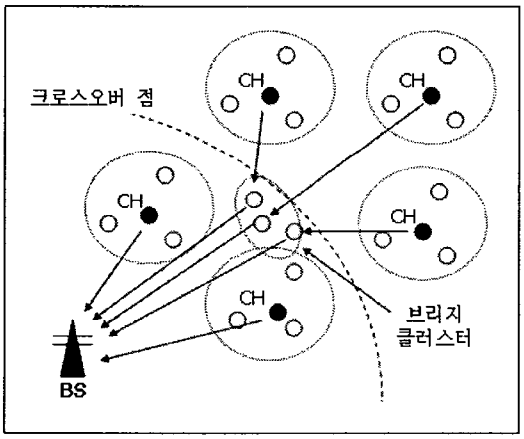

그림 5. 제안방식의 클러스터링 구조
Fig. 5. Clustering scheme of proposed method.

그림 5에서 보는 것처럼 BS입장에서 크로스오버 영역에 가장 근접한 곳에 브리지 클러스터를 구성한 것을 볼 수 있다. 브리지 클러스터의 수는 클로스오버 영역 밖의 클러스터의 수가 3개 이므로 3개가 선정되었다. 크로스오버 영역안의 클러스터 헤드노드는 직접 BS에게 데이터를 전송하지만 크로스오버 영역 밖의 영역에 있는 클러스터 헤드노드는 브리지 클러스터를 거쳐 BS에 데이터를 전송하여 전력 소모를 줄일 수 있다.

3.2 LEACH와 제안방식의 전력 소모량 비교

LEACH방식과 제안방식의 전력 소모량을 계산하여 보면 그림 5에서 볼 수 있듯이 크로스오버 영역 밖의 클러스터 헤드노드의 송신 전력 소모만이 차이를 가지게 된다.

크로스오버 영역 밖의 클러스터 헤드노드의 수를 N_{OUT}이라고 하고, 크로스오버 영역 안의 클러스터 헤드노드의 수를 N_{IN}, 브리지 클러스터 내의 노드수를 N_{BR}이라고 하면, LEACH의 클러스터 헤드노드의 전력 소모는 식 (6)으로 표현되고 제안 방식의 클러스터 헤드노드의 전력 소모는 식 (7)로 표현된다.

$$E_l = (N_{OUT} + N_{IN})(lE_{elec} + lE_{mp}d_{bs}^4) \tag{6}$$

$$\begin{aligned} E_p = {} & N_{OUT}(lE_{elec} + E_{fs}d_{bridge-bs}^2) \\ & + N_{BR}(2lE_{elec} + lE_{fs}d_{bs}^2) \\ & + N_{IN}(lE_{elec} + lE_{fs}d_{bs}^2) \end{aligned} \tag{7}$$

d_{bs}는 BS까지의 거리이고, d_{bridge}는 브리지 클러스터 노드까지의 거리이며, $d_{bridge-bs}$는 브리지 클러스터 노드로부터 BS까지의 거리를 말한다.

Ⅳ. 실험 및 고찰

제안된 방식의 타당성을 확인하기 위해 C프로그램을 사용해 시뮬레이터를 개발하고, 기존 전통적인 방식과 비교하여 모의실험을 하였다. 이 때 실험환경은 *Eelec*는 50 nJ/bit, *Efs*는 10 $pJ/bit/m^2$, *Emp*는 0.0015 $pJ/bit/m^4$, l은 2000 bit, k는 10퍼센트, N은 100개 전체노드의 가로 및 세로의 길이는 100 m 이다. 그림 6은 100개의 노드를 랜덤하게 분포시킨 후 크로스오버 영역을 붉은색 실선으로 표현한 모의실험 화면이다.

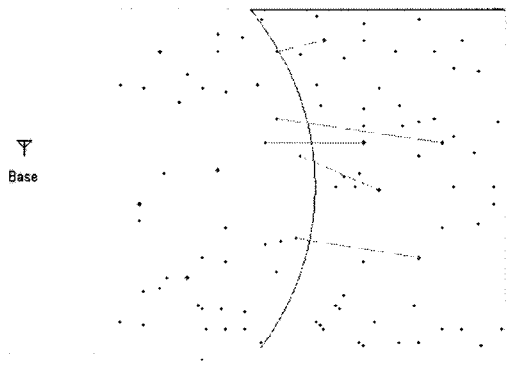

그림 6. 100개의 노드를 분산한 모의실험 화면.
Fig. 6. 100-node random network of simulator.

먼저 LEACH방식과 제안방식의 라운드별 전체 전력 소모량을 측정하기 위하여 식 (6)과 식 (7)을 이용하였다. 결과는 표 1 및 그림 7과 같다.

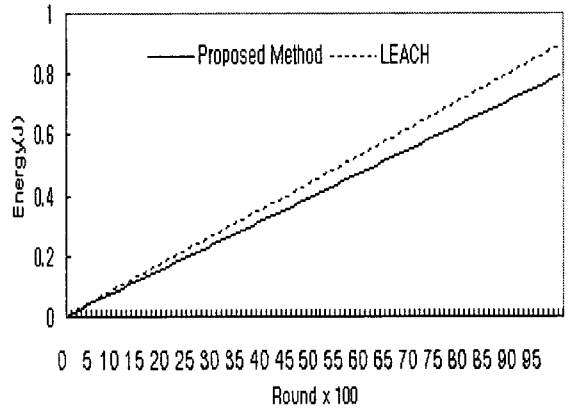

그림 7. 라운드별 전체 전력 소모량.
Fig. 7. Total amount energy consume for round.

표 1. 라운드별 전체 전력 소모량
Table 1. Total amount energy consume for round

Round	Proposed Method	LEACH
1000	0.079	0.090
2000	0.159	0.179
3000	0.238	0.268
4000	0.317	0.357
5000	0.396	0.445
6000	0.476	0.535
7000	0.555	0.625
8000	0.634	0.714
9000	0.713	0.805
10000	0.793	0.894

그림 7처럼 제안방식은 먼 거리 송신이 없고 브리지 센서노드를 경유하는 짧은 거리 송신만 존재한다. LEACH의 경우는 모든 클러스터 헤드노드가 먼 거리 전송만 존재하기 때문에 제안방식의 전체 전력의 소모량이 적음을 확인할 수 있다.

다음으로 모든 노드의 잔존 전력량을 계산하여 보았다. 잔존 전력량이 BS와의 거리에 따라 영향을 받는지를 확인하기 위해 BS와의 거리순서대로 노드id를 배치하여 확인하여 보았다. 결과는 그림 8로 나타난다.

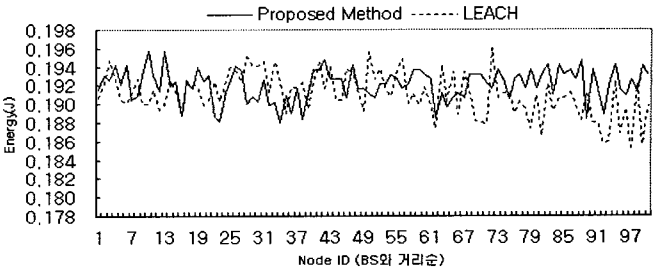

그림 8. 거리에 따른 노드별 잔존 전력량.
Fig. 8. Residual energy of the sensor node .

그림 8에서 보는 바와 같이 LEACH방식은 BS와 거리가 가까운 지역의 센서노드들의 전력 소모가 BS에서 거리가 먼 지역의 센서노드들 보다 적음을 알 수 있다. 이는 시간이 지나면 각 노드의 전력량의 불균형을 초래하게 된다. 제안방식은 BS와의 거리와 관계없이 전력 소모가 일정하게 일어남을 알 수 있다. 또한 브리지 클러스터 노드로 선정된 노드의 전력 소모가 특별히 나타나지 않는 점을 확인할 수 있다. 그러므로 제안방식은 LEACH에 비해 BS와의 거리에 관계없이 모든 노드의 전력 소모가 균등함을 확인할 수 있다.

마지막으로 BS와 센서필드와의 거리에 따른 전체 전력 소모량을 측정하여 보았다. BS는 센서노드 필드에 좌측에 위치하며 센서필드의 좌측 끝의 x좌표 값을 0으로 보았을 때 BS의 위치는 -70, -60, -50, -40순서로 적용하여 보았다. 결과는 표 2와 그림 9로 나타났다.

표 2. BS거리에 따른 라운드별 전체 전력 소모량
Table 2. Total energy consume for distance of BS.

BS의 x좌표값	LEACH	Proposed method
-70	0.9982	0.8124
-60	0.9442	0.8026
-50	0.9016	0.7930
-40	0.8674	0.7843

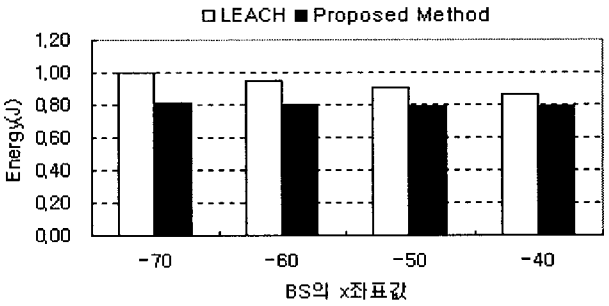

그림 9. BS거리에 따른 라운드별 전체 전력 소모량.
Fig. 9. Total energy consume for distance of BS.

그림 9에서 보는 것처럼 제안방식이 LEACH방식보다 BS의 거리와 관계없이 전력 소모가 적음을 확인할 수 있다.

V. 결론

무선 센서 네트워크에서 전력 소모를 효율화하기 위해 전력량이 적게 감소하는 라우팅 분야가 연구되고 있다. 에너지 효율적 라우팅 분야는 현재 동적클러스터 방식이 가장 전력량 적은 방식으로 연구되고 있다. 동적클러스터 방식은 클러스터 내 센서노드들의 전력 소모를 동등하게 하기 위하여 주기적으로 클러스터를 구성하는 부분과 실제 데이타를 전송하는 부분으로 구성된다. 데이터를 전송하는 부분은 임의의 크로스오버 영역을 중심으로 전력 소모량이 d^2과 d^4으로 비례된다. 그러므로 거리에 따른 노드간의 전력량의 불균형이 발생한다.

본 논문은 동적 클러스터 방식에서 BS와 크로스오버 영역 안쪽에 브리지 클러스터를 구성하여, 크로스오버 영역 밖의 먼 거리 송신 경우 브리지 클러스터를 경유하여 데이터의 송신을 처리하는 방식을 제안한다. 브리지 클러스터를 경유하는 방식은 크로스오버 영역 밖으로의 먼 거리 송신을 직접 하는 것보다 모든 노드의 전체 전력 소모가 적고, BS와의 거리에 관계없이 각 노드의 전력 소모가 균등함을 실험을 통하여 확인하였다.

참고 문헌

[1] I.Akyildiz, W.Su, Y.Sankarasubramaniam, and E.Cayirci, "A survey on sensor networks," IEEE Communications Magazine, Volume: 40 Issue: 8, pp.102-114, August 2002.

[2] W.R.Heinzelman, J.Kulik, H.Balakrishnan, "Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks", Proceedings of the ACM MobiCom'99, Seattle, Washington, 1999, pp.174-185.

[3] C.Intanagonwiwat, R.Govindan, and D.Estrin, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks" in Proceedings of the ACM/IEEE international Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM), 2000

[4] 남도현, 민홍기, "센서 네트워크에서 클러스터 헤드의 load-balancing을 통한 에너지 효율적인 클러스터링", 정보처리학회지C, 2007.6, p277 ~ p284

[5] Wendi B.Heinzelman, Anantha P.Chandrakasan, and hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks" in Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences, Jan. 2000

[6] Wendi B.Heinzelman, Anantha P.Chandrakasan, and hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks" IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 1, NO. 4, 2002

[7] A.Manjeshwar and D.P.Agrawal. "TEEN: A Routing Protocol for enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks". in 1st International Workshop on Paralled and Distributed Computing Issues in Wireless, 2001.

[8] Ossama Younis and Sonia Fahmy, "HEED: A Hybird, Energy-Efficient Distributed Clustering Approach for Ad-hoc Sensor Networks", IEEE Trans. on Mobile computing, Vol.3, No.4, 2004, pp.660-669.

[9] 이상학, 정태충, "무선 센서네트워크의 에너지 효율적 집단화에 관한 연구", 정보처리학회지C, 2004, p923

남 도 현(Do-Hyun Nam)

2000년 인천대학교 전자계산과 (공학사)
2004년 중앙대학교 정보대학원(석사)
2004년 ~ 현재 인천대학교 대학원 정보통신공학과(박사과정)
1996년 ~ 2004년 인크루트 연구소장
2004년 ~ 현재 클립소프트 연구소장
2003년 ~ 현재 인하공업전문대학 겸임교수
※주관심분야 : 센서네트워크, 보안, 디자인패턴

민 홍 기(Hong-Ki Min)

1979년 인하대학교 전자공학과(학사)
1981년 인하대학교 대학원 전자공학과(석사)
1985년 인하대학교 대학원 전자공학과(박사)
1985년 - 1991년 한국과학기술연구원 선임연구원
1993년 - 1994년 Univ. of Delaware 방문교수
1991년 - 현재 인천대학교 교수
※주관심분야 : 센서네트워크, 신호처리, 재활공학, HCI