
i-LEACH: 랜덤배치 고정형 WSN에서 헤더수 고정 클러스터링 알고리즘

김창준* · 이두완* · 장경식**

i-LEACH : Head-node Constrained Clustering Algorithm for Randomly-Deployed WSN

Chang-Joon Kim* · Doo-Wan Lee* · Kyung-Sik Jang**

요 약

무선센서 네트워크의 계층구조형 클러스터링 알고리즘은 센서노드의 효율적인 관리를 위해서 다양한 분야에 사용하고 있다. 계층형 클러스터링 구조에 많이 사용되는 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 확률 함수식을 사용하기 때문에 클러스터 헤드노드의 선출 개수가 일정하지 않다. 본 논문에서는 LEACH 알고리즘의 단점을 보완하여 매 라운드마다 고정된 개수의 클러스터 헤드노드를 선출하는 i-LEACH 알고리즘을 제안한다. i-LEACH(improved-LEACH)는 BS이 고정된 개수의 클러스터 헤드노드를 선출하여 네트워크 전체에 통보하기 때문에 클러스터링 구성과정의 네트워크 트래픽량을 줄일 수 있고, 네트워크의 에너지를 효율적으로 관리할 수 있다. 제안한 i-LEACH와 LEACH를 시뮬레이션 한 결과 i-LEACH에서는 클러스터 헤드노드의 선출과정이 제외되었기 때문에 LEACH 보다 소비된 전력량은 25%, 네트워크 트래픽 량은 16% 향상되었다.

ABSTRACT

Generally, the clustering of sensor nodes in WSN is a useful mechanism that helps to cope with scalability problem and, if combined with network data aggregation, may increase the energy efficiency of the network. The Hierarchical clustering routing algorithm is a typical algorithm for enhancing overall energy efficiency of network, which selects cluster-head in order to send the aggregated data arriving from the node in cluster to a base station. In this paper, we propose the improved-LEACH that uses comparably simple and light-weighted policy to select cluster-head nodes, which results in reduction of the clustering overhead and overall power consumption of network. By using fine-grained power model, the simulation results show that i-LEACH can reduce clustering overhead compared with the well-known previous works such as LEACH. As result, i-LEACH algorithm and LEACH algorithm was compared, network power-consumption of i-LEACH algorithm was improved than LEACH algorithm with 25%, and network-traffic was improved 16%.

키워드

무선센서 네트워크, 클러스터링 알고리즘, 네트워크 토폴로지, 계층구조형

Key word

WSN, Clustering Algorithm, Network topology, Hierarchical

* 정회원 : 한국기술교육대학교

접수일자 : 2011. 11. 01

** 종신회원 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 교수 (교신저자, ksjang@kut.ac.kr)

심사완료일자 : 2011. 12. 19

I. 서 론

무선센서 네트워크는 주위환경을 감시하고 데이터를 수집하는 용도로 다양한 응용이 가능한 기술이다. 센서노드들은 주변 현상을 인식하고, 측정된 데이터를 BS으로 전송하며, BS에서는 수집된 데이터를 분석하여 사용자에게 전달하는 것이 목적이다[1]. 무선센서 네트워크는 많은 센서노드들이 사전에 결정된 형태 없이 센싱 영역 내에 무작위로 배치되어, 배치된 위치에 고정되거나 필요에 따라 이동할 수 있다. 또한 전송 매체로 무선 통신을 사용하기 때문에, 전송속도 및 대역폭이 유선 통신에 비교하여 제한적이고, 보안에 취약하며, 전원 공급의 수단이 제한적이다. 따라서 무선센서 네트워크의 설계 목표는 네트워크의 수명(network lifetime)을 연장하기 위한 다수의 연구가 진행되고 있다[2].

센서노드들은 에너지가 제한적이고, 초기 배치되면 에너지를 재충전하기 어렵기 때문에 에너지 효율성이 매우 중요하다. 센서 노드와 베이스 스테이션(BS : Base Station)간의 직접적인 통신으로 인한 트래픽 감소를 위해 계층 구조형 클러스터링 알고리즘을 사용한다. 계층 구조형 클러스터링 알고리즘은 클러스터 헤드노드(CH : Cluster Head-node)와 클러스터 멤버노드(CM : Cluster Member-node)로 구성되어 있으며, 센서노드들이 수집한 센서데이터를 CH에게 전달하고, CH는 수집된 데이터를 처리하여 BS로 송신한다[3]. 계층형 클러스터 구조에 많이 적용된 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)는 CH의 선출횟수를 보장하는 확률함수식을 사용하기 때문에 전체 네트워크의 수명 주기에서 동일한 횟수의 CH를 보장하지만, 적은 수의 CH가 선출되거나 하나도 선출되지 않아 과도한 네트워크 트래픽이 발생할 확률이 있다.

본 논문에서는 BS가 매 라운드의 시작마다 고정된 개수의 CH를 선출하여 전체 네트워크에 통보함으로써 네트워크 내의 클러스터 개수를 항상 일정하게 보장하는 i-LEACH(improved-Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)을 제안한다. 제안한 i-LEACH는 네트워크의 구성과정이 간략하여 CH를 선출하는 과정이 없기 때문에 에너지 측면에서 효율적이며, CH가 선출되지 않아 클러스터 구성이 이루어지지 않거나, 적은 개수의 CH 선출에 의한 네트워크 트래픽이 증가하는 LEACH의 단점을 보완하였다.

동일한 제약 조건 환경에서 i-LEACH와 LEACH를 분석한 뒤, i-LEACH의 효율성을 확인해 본다.

II. i-LEACH

i-LEACH(improved-LEACH)의 네트워크 토폴로지 구조는 계층형 클러스터링 구조를 이룬다. i-LEACH는 클러스터 구성단계와 센싱 데이터 전송단계를 하나의 라운드로 정의하고, 클러스터링 구성단계에서는 BS이 CH 선출과정과 CM의 조인과정을 수행하여 클러스터링을 구성한다. 센싱 데이터 전송 단계에서는 CH가 CM이 센싱한 데이터를 수집하고, 압축하여 BS로 송신한다. BS는 전체 네트워크 내에 있는 모든 CH로부터 처리된 센싱 데이터를 수신했을 경우 한 라운드가 종료되었음을 판단하여, 다음 라운드의 CH를 선출하고 클러스터링 구성 명령어를 전체 네트워크에 브로드캐스팅 한다.

i-LEACH는 매 라운드마다 BS에 의해 고정된 개수의 CH를 랜덤하게 선출하여 네트워크에 통보한다. 매 라운드마다 고정된 개수의 CH가 선출되기 때문에 LEACH처럼 CH가 선출되지 않아 클러스터링이 이루어지지 않는 상황은 발생하지 않는다.

2.1. i-LEACH 클러스터링 구성단계

i-LEACH의 클러스터링 구성단계는 BS이 센싱 영역에 배치된 모든 센서노드 중에서 임의로 고정된 개수의 CH를 선출하고, 선출된 CH에게 네트워크 구성 명령을 송신한다. 클러스터 구성 명령을 수신한 CH는 자신이 CH임을 전체 네트워크에 브로드 캐스팅 한다. 한 라운드에서 CH의 개수는 네트워크 전체 노드 개수의 5%로 정의한다.

센서노드는 전체 네트워크내의 모든 CH의 메시지를 수신하기 때문에 수신된 CH의 통신 전력의 세기가 가장 큰 노드가 자신과 가까운 거리에 있는 것으로 판단하고, 멤버구성요청(join) 메시지를 보낸다. 클러스터 멤버 구성이 완료된 CH는 BS에게 클러스터링 완료 메시지를 송신하고, BS의 다음 명령을 대기한다.

2.2. i-LEACH 센싱 데이터 전송단계

전체 네트워크의 클러스터링 구성이 완료되면, BS은 각 CH에게 센싱 명령을 지시한다. CH는 각 CM에게 센

싱 명령을 전달하고, CM는 정의되어진 TDMA 스케줄에 따라 센싱 데이터를 CH에게 전달한다. TDMA 스케줄을 사용하기 때문에 CM간의 데이터 중복 전송이 없고, 통신문제가 해결 될 수 있다. CM는 자신의 지정된 시간이 아니면 통신기능을 사용하지 않기 때문에 에너지 사용을 줄일 수 있다[4][5].

CH는 CM으로부터 수신된 원본 데이터를 지정된 압축률로 압축하여 BS으로 전송하게 된다[6].

CH의 센싱 데이터 전송이 완료되면 전체 네트워크의 데이터 전송이 완료되어 다음 라운드를 시작하는 BS의 클러스터 구성단계 명령어가 수신되기 전까지 대기 상태로 전환된다. 네트워크 내의 모든 클러스터의 센싱 데이터가 BS로 전송되면 BS는 라운드 종료 메시지를 보내고, 모든 노드는 네트워크 연결을 끊고 대기한다. BS는 CH를 선정하고 클러스터 구성 명령어를 송신하면서 다음 라운드를 시작하게 된다.

III. 시뮬레이션 모델링

3.1. 소비전력 모델링

CM와 CH에 대한 통신 소비전력을 계산하기 위해 식 (1)을 적용하여 소비전력을 모델링 하였다.

$$P_{Tx}(d) = \begin{cases} E_{elec} + \epsilon_{friss}d^2, & d < d_c \\ E_{elec} + \epsilon_{two-ray}d^4, & d > d_c \end{cases} \quad (1)$$

- $P_{Tx}(d)$: 거리에 따른 송신 전력
- d : 송신 거리
- E_{elec} : $50nJ/bit$
- ϵ_{friss} : friss 모델 적용 상수($10pJ/bit/m^2$)
- $\epsilon_{two-ray}$: two-ray 모델 상수. $0.0013pJ/bit/m^4$
- d_c : $87m$

통신소비 전력 모델은 통신 가능한 노드와 노드사이의 거리를 계산하여 $87m$ 보다 작으면 friss 모델을 적용하여 계산하였고, $87m$ 보다 크면 two-ray 모델을 적용하였다[4].

LEACH의 CH 선출 알고리즘은 라운드마다 set-up phase에서 적용한 확률함수식을 사용하여 선출하고,

i-LEACH는 매 라운드마다 BS가 무작위로 선출(전체노드 수의 5%)한 CH를 지정하고 클러스터를 구성하도록 설계하였다. 소모 전력량을 분석하기 위해 모델링에 사용된 통신 데이터의 길이를 표시하기 위한 변수는 표 1과 같다.

표 1. 모델링에 사용된 데이터 설명
Table. 1 Modeling-Data Description

| 변수 | 설명 |
|------------|--|
| T_{cn} | - 네트워크 관리에 필요한 명령어 - $T_{cn} = 1 * nbit$ - n : 명령어 길이. $8bit$. |
| T_{ct} | - 센싱작업 지시 명령어 - $T_{ct} = 1 * nbit$ - n : 명령어 길이. $8bit$. |
| T_{data} | - 센싱 원본 데이터, 압축데이터 - $\alpha = \begin{cases} raw & : 1 \\ compressed & : \text{가변} \end{cases}$: 압축률 - 데이터 압축률 : 0.8 - $T_{data} = 800bit$ |
| $T_{n,k}$ | - 네트워크 관리 데이터 - $T_{n,k} = m * i_k bit$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ m : CM 수 ▪ i_k : 관리용 작업 정의, k-type $i_k = \begin{cases} 4, & k = 1 \\ 4, & k = 2 \end{cases}$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ k : 네트워크 관리 작업 종류, 1~n. ▪ $k = 1$: CH 선출 방송 ▪ $k = 2$: 네트워크 관련 방송 |
| T_{ack} | - Ack of $T_{overhead}$ - $T_{ack} = 4bit$ |

LEACH와 i-LEACH 모두 동일하게 적용한다. T_{cn} 은 네트워크 관리명령어를 나타내며, T_{ct} 는 센서 노드에게 센싱 명령을 전달하기 위한 명령어의 길이를 모델링하였다. T_{data} 는 센서 노드에서 수집한 데이터를 RAW 데이터로 정의한다. 모든 센서 노드는 수집한 데이터를 CH에게 송신하고, CH는 RAW 데이터를 지정된 압축률로 처리하여 BS로 결과 보고한다. 센싱 데이터의 크기는 $800bit$ 로 정의하였다. $T_{n,k}$ 는 네트워크 관리 명령어 종류를 나타내기 위한 변수로 k 값에 따라 네트워크 명령어 종류를 변경할 수 있다. T_{ack} 는 네트워크 명령어 수신

응답을 나타낸다.

3.2. 에너지 사용량 모델링

에너지 사용량 모델링에 사용된 단위는 표 2와 같다. P_m 은 네트워크 관리 데이터를 송수신하기 위한 소비 전력을 나타내는 변수이며, 단위는 μJ 을 사용한다. $P_{Tx}(d)$ 와 P_{Rx} 는 1 bit를 송수신 하기위한 소비전력으로 단위는 $\mu\text{J/bit}$ 를 사용하고 거리에 따른 에너지를 나타내기 때문에 friss모델과 two-ray 모델을 적용하여 나타낼 수 있다. 수신에너지인 P_{Rx} 의 경우 조건에 의해 모든 노드는 1 hop의 통신거리에 있기 때문에 거리를 참조하지 않는다.

표 2. 단위 모델링
Table. 2 Modeling of unit

| 변수 | 설명 |
|-------------|--|
| P_m | - 네트워크 관리 데이터 통신 소비전력, (단위: μJ) |
| P_s | - 센싱 데이터 통신 소비전력, (단위: μJ) |
| $P_{Tx}(d)$ | - 1 bit 당 거리에 따른 송신 소비전력, (단위: $\mu\text{J/bit}$) |
| P_{Rx} | - 1 bit 당 수신 전력, (단위: $\mu\text{J/bit}$) |
| N_{sn} | - 헤더당 센서 노드 수, (단위: EA) |
| N_{ch} | - 클러스터 헤더 수, (단위: EA) |
| d | - 노드 간 거리, (단위: m) |
| D_{max} | - 통신 가능 최대 거리, (단위: m) |
| F_{Tx} | - 송신 데이터 량, (단위: bit) |
| F_{Rx} | - 수신 데이터 량, (단위: bit) |

- 네트워크 구성 과정 에너지 사용량 모델링

CH가 선출되면 자신이 CH임을 알리는 네트워크 관리데이터($T_{n,k}$)를 전체 네트워크 내에 송신한다. 네트워크 관리 데이터를 수신한 센서노드는 자신과 가장 가까이 있는 CH에게 CM로 참여하겠다는 응답메시지(T_{ack})를 보낸다. 센서노드 측면에서 네트워크 구성과정 시 사용한 에너지 값을 계산하는 모델링은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 P_m &= P_{Rx} * F_{Rx} + P_{Tx}(d) * F_{Tx} \\
 F_{Rx} &= \sum_{i=0}^{N_{ch}} T_{n,k} \\
 F_{Tx} &= T_{ack}
 \end{aligned} \tag{2}$$

CH 선출 후 전체 네트워크로 브로드 캐스팅한 네트워크 관리데이터($T_{n,k}$)의 전력과 CM로부터 수신한 응답메시지(T_{ack})의 전력의 합을 계산하는 모델링은 식 (3)과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned}
 P_m &= P_{Tx}(D_{max}) * F_{Tx} + P_{Rx} * F_{Rx} \\
 F_{Tx} &= T_{n,k} \\
 F_{Rx} &= \sum_{i=0}^{N_{sn}} T_{ack}
 \end{aligned} \tag{3}$$

네트워크 관리데이터를 전체 네트워크에 브로드 캐스팅할 경우에 사용되는 에너지 모델링은 명령어의 데이터 양(bit)을 거리에 따라 통신 에너지 소비전력으로 나타낼 수 있고, 수신되는 명령어의 종류와 크기에 따라서 에너지 소비 전력을 계산할 수 있다.

- 네트워크 구성 완료 후 모델링

CH는 CM에게 명령어 종류를 결정하여 브로드 캐스팅한다. 센싱 명령을 수신한 CM는 명령어 실행한 후 수집된 센싱 데이터를 CH에게 송신하게 된다. 센싱 명령어를 CH를 통해 CM가 수신한 전력은 식 (4)에 의해 계산되어진다.

$$\begin{aligned}
 P_m &= P_{Rx} * F_{Rx} \\
 F_{Rx} &= T_{ct} + T_{n,k}
 \end{aligned} \tag{4}$$

센서노드가 센싱한 데이터를 CH로 송신 시 사용되는 전력은 식 (5)에 의해 계산되어진다.

$$\begin{aligned}
 P_s &= P_{Tx}(d) * F_{Tx} \\
 F_{Tx} &= T_{data} + T_{ack}
 \end{aligned} \tag{5}$$

CH는 BS으로부터 명령어를 수신하여 CM에게 명령어를 전달하는 역할을 수행한다. 이러한 네트워크 관리 및 명령어 통신에 사용되는 에너지를 계산하기 위해 식 (6)과 같은 방법을 적용하였다.

$$\begin{aligned}
 P_m &= P_{Tx}(d) * F_{Tx} + P_{Rx} * F_{Rx} \\
 F_{Tx} &= T_{ct} + T_{n,k} \\
 F_{Rx} &= T_{ct}
 \end{aligned} \tag{6}$$

CH는 CM로부터 센싱 데이터를 수신한 전력과 그것을 압축하여 BS으로 송신한다.

$$\begin{aligned}
 P_s &= P_{Tx}(d) * F_{Tx} + P_{Rx} * F_{Rx} \\
 F_{Tx} &= \alpha \sum_{i=0}^{N_{sn}} T_{data} + T_{ack} \\
 F_{Rx} &= \sum_{i=0}^{N_{sn}} (T_{data} + T_{ack})
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

센서노드가 센싱 명령어를 BS에서 전달되는 과정은 그림 1과 같다.

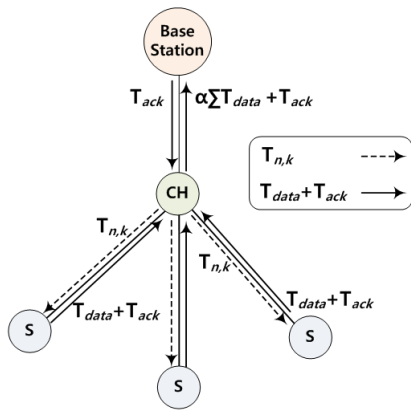


그림 1. 센싱 명령어 수행시 데이터 흐름도
Fig. 1 Flow Chart of Execution Sensing Command

BS은 모든 CH로부터 데이터 수집을 완료하게 되면, T_{ack} 를 전체 네트워크에 송출하여 라운드 종료를 알리게 되고 모든 노드는 통신연결을 끊고 다음 라운드 시작을 기다리게 된다.

IV. 실험 및 분석

LEACH에서는 에너지 소모가 많은 CH의 효율성을 높이기 위해서 라운드라는 동작단위를 수행하여 전체 네트워크 수명에서 동일한 CH의 선출횟수를 보장하는 확률함수식을 사용하였고, 본 논문에서 제안한 i-LEACH는 매 라운드마다 BS가 고정된 CH를 선출하여 네트워크 내에 통보하기 때문에 라운드마다 CH의 개수

를 보장하는 것이 두 알고리즘의 차이점이다.

4.1. 실험 조건

i-LEACH와 LEACH의 소비전력을 확인하기 위해 동일한 시뮬레이션 조건을 표 3과 같이 설계하였다.

표 3. 실험 조건
Table. 3 Simulation conditions

| 항목 | 설명 |
|---------|---|
| 센싱영역 | 20m × 20m 그리드 1 그리드는 1m의 정사각형 센서노드 무작위 배치 |
| 네트워크 구조 | 계층형 클러스터링 구조 배치후 이동하지 않고 고정 |
| 통신영역 | 모든 노드는 BS까지 2 hop 이내에 통신가능 |
| BS | 센싱영역 외부위치(x=10, y=35) - 이동성 없음 라운드의 시작과 종료의 시점을 관리 모든 CH로부터 데이터를 수신하면 라운드 종료메시지 통보 |

4.2. 결과분석

실험 조건을 만족하는 알고리즘을 적용하여 LEACH와 i-LEACH를 동일한 환경에서 시뮬레이션하여 사용된 에너지량을 분석하였다. 각 라운드에서 CH가 선출되고, CM가 결정되어 클러스터링이 구성된다. CM는 수집한 센싱 데이터를 CH에게 송신하고, CH는 지정된 압축률로 데이터를 처리한 후 BS으로 송신하는 과정이 순차적으로 진행된다. 네트워크에 소속된 모든 CH가 BS으로 데이터를 보내고 BS의 라운드 종료 메시지를 받게 되면 하나의 라운드가 종료된다.

그림 2는 100라운드의 시뮬레이션 결과 각 라운드별 CH 선출 개수를 비교해 보았다. LEACH의 경우 100라운드 동안 확률함수식에 의해 선출된 CH의 개수가 일정하지 않고, i-LEACH는 일정한 개수의 CH를 유지하였다. 그림 3에서는 라운드별 CH의 소비전력과 네트워크 트래픽량에 대하여 확인하였다. 라운드 수가 증가하면 네트워크 관리 트래픽이 점점 증가하게 되는데, LEACH의 경우 CH의 선출과정에서 적은 수의 CH가 선출되게 되면 네트워크 트래픽이 계속 증가하는 현상이 나타나고, 그에 따른 에너지 소모량도 증가하게 된다. CH가 선출된 개수가 적으면 CM의 수가 많아지게 되고, CH는 네

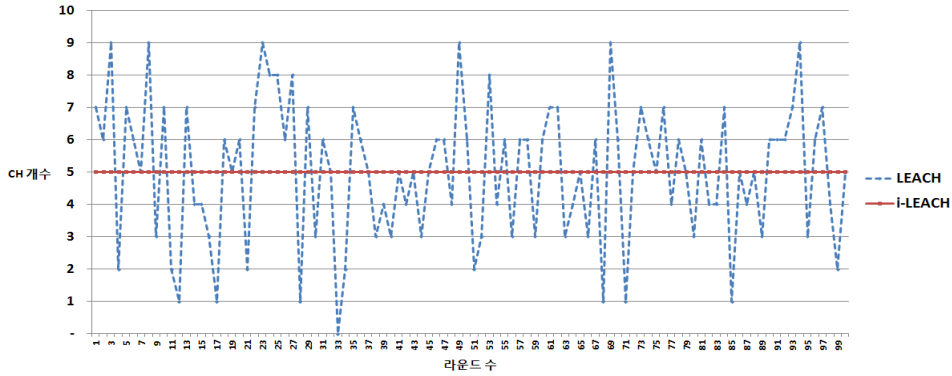


그림 2. 각 라운드 별 CH 선출 개수
Fig. 2 Number of CH in Round

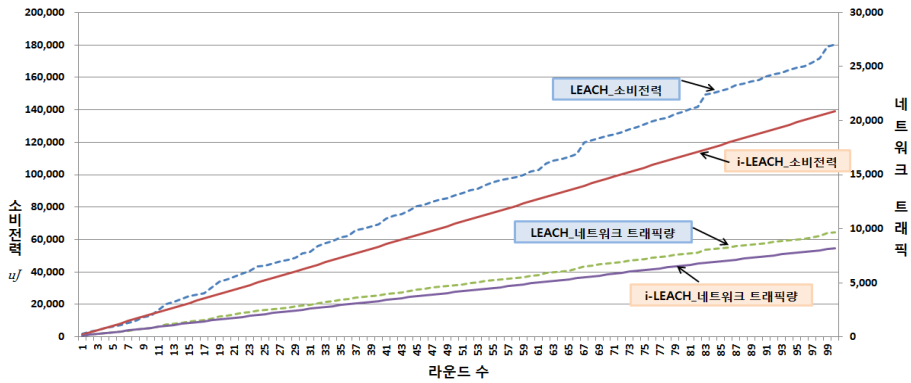


그림 3. 소비전력과 네트워크 트래픽
Fig. 3 Power consumption and Network traffic

트래픽 과부하로 에너지 소모가 매우 높아지게 된다. 반면에 i-LEACH는 CH의 개수를 보장하기 때문에 CM가 일정한 수를 유지할 수 있다. 따라서 네트워크 트래픽과 CH의 에너지 소모량은 라운드 수가 증가 할수록 단순 증가 현상이 나타난다.

VI. 결론 및 향후 연구과제

LEACH의 경우 확률함수식을 이용하기 때문에 고른 에너지 사용을 보장한다는 장점이 있지만, 매 라운드마다 모든 노드가 CH의 선출과정에 참여해야하고, 적은 수의 CH가 선출되었을 경우, 관리해야할 CM의 개수가

많아지게 되므로 네트워크 트래픽이 많이 발생하여 에너지 소모량이 증가하게 된다. 또는 CH가 하나도 선출이 되지 않을 확률이 존재하기 때문에 센서노드는 BS와 직접적으로 통신을 하여 비효율적인 에너지 소모 형태를 보일 수 있다. 하지만 i-LEACH의 경우 매 라운드마다 BS에 의해 고정된 개수의 CH가 선출되어 클러스터링이 구성되기 때문에 전체 네트워크의 클러스터의 개수를 보장할 수 있고, CM의 개수도 조절할 수 있기 때문에 네트워크 트래픽을 상황에 알맞게 제어 할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 네트워크 100 라운드를 수행했을 경우 LEACH보다 i-LEACH의 네트워크 전체 소비전력이 25% 향상됨을 확인할 수 있다. 또한 전체 네트워크 관리 트래픽의 경우에도 LEACH알고리즘보다 i-LEACH가

16% 적은 트래픽양이 소모됨을 확인할 수 있다. BS이 모든 것을 중앙에서 관리하여 CH가 선출되지 않는 것을 방지하는 LEACH-C와 LEACH-F의 알고리즘을 분석하고, 노드의 이동성을 고려하여 효율적인 클러스터링 알고리즘의 제안은 향후 연구 과제로 남아있다.

참고문헌

- [1] 김진수, 박양재, “가변적 클러스터 반경을 이용한 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 프로토콜”, 한국정보통신학회 논문집 제8권 제6호, 2010.
- [2] 이두완, 장경식, “MOSEP: A Novel Network Protocol for Simulation Platform of Mobile Sensor Network”, 한국기술교육대학교 논문집 제17권 제1호, 2010.
- [3] 최경진, “무선센서 네트워크에서 에너지 효율적인 클러스터 헤드 선출 알고리즘”, 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 2007.
- [4] Wendi Beth Heinzelman, “Application-specific protocol architectures for wireless networks”, Doctor of Philosophy at the M.S., Massachusetts Institute of Technology, 2000.
- [5] 김진수, 최성용, 한승진, 최준혁, 임기욱, 이정현, “변형된 셋업 단계를 이용한 클러스터 헤드 선출 프로토콜”, 한국콘텐츠학회논문지 ‘09 Vol. 9 No. 1, 2009.
- [6] 김대영, “계층적 센서 네트워크에서의 클러스터링 및 라우팅 알고리즘”, 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과, 2006.

저자소개

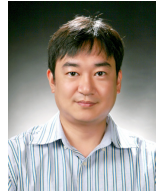


김창준 (Chang-Joon Kim)

2006. 한국사이버대학교
컴퓨터정보통신 학사
2009. 한국기술교육대학교
컴퓨터공학 석사

2009.9~현재 한국기술교육대학교 컴퓨터공학과
박사과정

※ 관심분야: 무선센서네트워크, 임베디드시스템



이두완 (Doo-Wan Lee)

2001. 대전대학교 전자물리학 학사
2003. 한국고원대학교
컴퓨터교육학 석사
2009.3~현재 한국기술교육대학교
컴퓨터공학과 박사과정

※ 관심분야: 무선센서네트워크, 임베디드시스템



장경식 (Kyung-Sik Jang)

1987. 고려대학교 전자공학과 학사
1989. KAIST전기및전자공학과
석사
1998. 동경공업대학교
전기전자공학 박사

1987.3~1998.2 KT 연구개발단

1998.3~1999.2 삼성전자 시스템 LSI 사업부

1999.3~현재 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 교수

※ 관심분야: 임베디드시스템, 센서네트워크