

# 모바일 센서 네트워크에서 모바일 싱크 기반 에너지 효율적인 클러스터링 기법

김진수  
동명대학교 항만물류시스템학과

## A Mobile-Sink based Energy-efficient Clustering Scheme in Mobile Wireless Sensor Networks

Jin-Su Kim

Department of Port & Logistics System, Tongmyong University

**요약** 최근 무선 센서 네트워크의 활발한 연구와 함께 센서 노드는 이동성과 위치 인식 기능을 가지는 등 성능이 점점 향상되고 있다. 이러한 센서 네트워크의 가장 중요한 목표 중의 하나는 이동성이 있는 다수의 센서 노드들에서 발생한 데이터를 에너지 효율을 고려하여 싱크 노드로 전송하는 것이다. 모바일 무선 센서 네트워크는 센서 노드들이 이동하기 때문에, 센싱된 데이터를 고정된 싱크로 전송하기 위해서는 에너지 소모량이 많아진다. 이에 대한 문제를 해결하고자 싱크가 네트워크 내부를 이동하면서 데이터를 수집하는 모바일 싱크에 대한 활용이 연구되고 있다. 모바일 무선 센서 네트워크에서 중요한 고려 사항은 이동성과 에너지 소모량이다. 각 센서 노드는 제한된 에너지를 보유하기 때문에 데이터 송신에 소모되는 에너지가 클 경우, 전체 네트워크 수명에 많은 영향을 준다. 본 논문에서는 모바일 센서 네트워크에서 모바일 싱크 기반 에너지 효율적인 클러스터링 기법을 제안한다. 제안된 내용은 모바일 센서 노드들의 이동성에 따라 새로운 클러스터 헤드를 선택할 때의 에너지 효율을 높인다. 또한 전체 네트워크를 모바일 싱크 기반으로 여러 개의 클러스터 그룹으로 나누어, 이동성 문제를 고려하고 전체 에너지 소모량을 줄인다. 분석과 실험을 통해 제안된 기법이 이전의 모바일 센서 네트워크 클러스터링 기법보다 네트워크 에너지 효율성이 향상됨을 입증한다.

**Abstract** Recently, the active research into wireless sensor networks has led to the development of sensor nodes with improved performance, including their mobility and location awareness. One of the most important goals of such sensor networks is to transmit the data generated by mobile sensors nodes. Since these sensor nodes move in the mobile wireless sensor networks (MWSNs), the energy consumption required for them to transmit the sensed data to the fixed sink is increased. In order to solve this problem, the use of mobile sinks to collect the data while moving inside the network is studied herein. The important issues are the mobility and energy consumption in MWSNs. Because of the sensor nodes' limited energy, their energy consumption for data transmission affects the lifetime of the network. In this paper, a mobile-sink based energy-efficient clustering scheme is proposed for use in mobile wireless sensor networks (MECMs). The proposed scheme improves the energy efficiency when selecting a new cluster head according to the mobility of the mobile sensor nodes. In order to take into consideration the mobility problem, this method divides the entire network into several cluster groups based on mobile sinks, thereby decreasing the overall energy consumption. Through both analysis and simulation, it was shown that the proposed MECM is better than previous clustering methods in mobile sensor networks from the viewpoint of the network energy efficiency

**Keywords :** mobility, mobile sink, mobile wireless sensor networks, energy consumption, lifetime of network, cluster head, cluster group, network energy efficiency

---

\*Corresponding Author : Jin-Su Kim(Tongmyong University)

Tel: +82-10-4553-8543 email: kjs8543@tu.ac.kr

Received February 1, 2017

Revised (1st March 6, 2017, 2nd March 16, 2017)

Accepted May 12, 2017

Published May 31, 2017

## 1. 서론

최근 무선 센서 네트워크의 활발한 연구와 함께 센서 노드는 이동성과 위치 인식 기능을 가지는 등 성능이 점점 향상되고 있다. 이러한 센서 네트워크의 가장 중요한 목표 중의 하나는 이동성이 있는 다수의 센서 노드들에서 발생한 데이터를 에너지 효율을 고려하여 싱크 노드(Sink Node)로 전송하는 것이다. MWSNs (Mobile Wireless Sensor Networks)는 센서 노드들이 이동하기 때문에, 센싱된 데이터를 고정된 싱크로 전송하기 위해서는 에너지 소모량이 많아진다. 이에 대한 문제를 해결하고자 싱크가 네트워크 내부를 이동하면서 데이터를 수집하는 모바일 싱크(Mobile Sink)에 대한 활용이 연구되고 있다.

모바일 싱크 관련 연구에서 S. Mottaghi 외[1]에서는 모바일 싱크와 접속 지점(RP; Rendezvous Point)을 사용하는 LEACH[2]를 개선한 새로운 방식이 소개되었다. 그리고 여러 센서 노드들의 데이터를 일시 저장한 뒤 RP로 전달하는 방식이 연구되었는데, 대표적으로 WRP(Weight Rendezvous Planning) 방법[3]에서는 센서 노드에 가중치를 계산하여 에너지 소비가 유리한 센서를 RP 노드로 선택하였다. Mohammed A. Z 외[4]에서는 이동성 노드와 면역 알고리즘을 이용한 에너지 효율적인 클러스터 방식이 소개되었다. Jin Wang 외[5]에서는 고정 싱크를 가진 WSNs(Wireless Sensor Networks)는 종종 에너지 홀(Energy Hole) 문제 즉, 싱크 근처 또는 특정 경로에 있는 센서들의 에너지 소모가 다른 노드들보다 매우 빨라서 결과적으로 네트워크가 분단되고 고립된 노드가 생기므로 이를 해결하기 위해 MECA(Mobile-sink based Energy-efficient Clustering Algorithm)를 제안하였다. 싱크 이동성은 임의적 이동성, 예측가능 이동성, 조절가능 이동성 등의 3가지 부류로 구분된다[5]. 임의적 이동성은 실시간 정보를 가지고 있지 않아 상대적으로 운용이 쉬우나, 싱크가 적은 에너지를 가진 지역으로 되돌아 움직이는 경우가 있다. 예측가능 이동성은 싱크의 추적 정보를 잘 알고 있어서 싱크가 올 때까지 기다리므로, 데이터 전송 지연이 발생할 수 있다. 조절 가능 이동성은 센서들의 상황에 따라 싱크의 이동을 조절하는 기능이 있으나, 구조가 너무 복잡하여 과부하가 발생한다. 본 논문에서는 예측가능 이동성 싱크를 이용하지만, 전송 지연을 되도록 줄이는 구조를 제

안한다.

MWSNs 관련 연구에서 LEACH-Mobile[6], LEACH-C(LEACH-Centralized)[2]를 개선한 M-LEACH[7], M-LEACH를 개선한 MBC (Mobility-based Clustering Protocol)[8] 프로토콜 등과 같은 센서 노드들의 이동성을 고려한 클러스터링 기법들이 제안되었다. LEACH-Mobile은 노드의 움직임에 따라 토폴로지가 변화할 때, 이동하는 노드가 TDMA(Time Division Multiple Access) 스케줄에 따른 시간 슬롯에서 특정 클러스터 헤드(CH; Cluster Head)와 통신이 가능한지의 여부로서 클러스터 멤버(CM; Cluster Member)가 될 노드를 결정하고 클러스터를 재구성한다. M-LEACH는 센서 노드의 이동성을 고려하여 라운드 중간에 초대 단계(Invitation Phase)를 두어 CH가 각 노드에게 보낸 정보를 이용하여 새로운 CH를 선택하는 방법이다. M-LEACH는 CH에서 BS까지의 데이터 전송을 단일 홉(Single Hop) 통신을 채택하므로 네트워크 규모가 커질수록 에너지 소모가 심하고, 모바일 센서 노드의 이동성이 심한 경우 추가된 초대 단계 하나만으로 모든 이동성에 대비하는 것이 무리가 있다. MBC는 M-LEACH의 문제점을 개선하여 CH에서 BS까지의 데이터 전송을 다중 홉(Multi Hop) 통신을 채택하여 에너지 소모를 줄였고, 모바일 센서 노드의 이동성이 심한 경우를 대비하여 매 프레임마다 CH의 각종 정보를 이용하여 비용이 적게 드는 CH를 다시 선정하는 방법을 제안하였다. 그러나 CH를 선정하는데 너무 많은 에너지를 소모하는 단점이 있다.

본 논문에서는 모바일 센서 네트워크에서 모바일 싱크 기반 에너지 효율적인 클러스터링 기법(MECM: Mobile-sink based Energy-efficient Clustering scheme in Mobile wireless sensor networks)을 제안한다. MECM은 M-LEACH와 MBC 프로토콜을 기반으로 하여 모바일 센서 노드들의 이동성에 따라 새로운 CH를 선택할 때의 에너지 효율을 높인다. 또한 네트워크 구조를 이동성과 에너지 소비를 고려하여 모바일 싱크 기반으로 구성하고, 그에 따라 CH에서 싱크로 데이터를 송신할 때의 에너지 소모량을 줄인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안한 MECM 기법을 설명하고, 3장에서는 제안된 기법과 기존 기법에 대해서 분석 및 실험하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

## 2. 제안 기법

### 2.1 네트워크 모델(Network Model)

제안된 모델의 네트워크 구조는 그림 1과 같고 다음과 같은 가정을 갖는다.

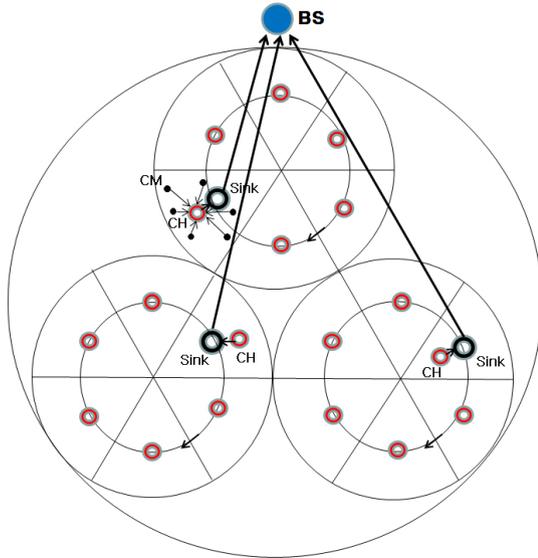


Fig. 1. Network Model

- 네트워크는 그림 1과 같이 여러 개의 클러스터 그룹으로 나누어지고, 각 그룹 당 여러 개의 클러스터로 나누어진다. 그룹 하나의 반지름은  $R$ 이다.
- 클러스터 그룹 당 하나씩의 싱크를 운영할 수 있고, 전체 네트워크의 규모가 커진다면 클러스터 그룹수를 늘릴 수 있다.
- 모든 센서 노드는 동일한 초기 에너지 값을 가진다. 또한 싱크는 충분한 배터리 자원이 있고, 계산 능력이 뛰어나다.
- 모든 노드들은 GPS(Global Position System)와 같은 기술로 자신의 위치를 알 수 있다. 또한 기지국 (BS; Base Station)은 각 센서 노드와 싱크의 위치를 알 수 있고, 각 라운드마다 결정 가능하다.

### 2.2 MECM 순서도

MECM 기법은 M-LEACH 프로토콜과 유사하게 하나의 라운드는 초기 셋업 단계(Set-up Phase), 정상 상태 단계(Steady-state Phase) 및 초대 단계로 나누어진다. 셋업 단계는 다시 세부적인 단계로 나누어지는데, 1 단계

에서 BS는 각 센서 노드들로부터 받은 정보를 이용하여 가상의 클러스터 그룹 및 클러스터를 지정하고, 각 클러스터의 CH 및 RP를 지정한다. 2 단계에서는 CH들이 보낸 메시지를 이용하여, 각 센서 노드들은 자기가 원하는 CH 및 CH 후보를 선택한다. 3 단계에서 CH들은 노드 송신 시간을 구성하기 위해 각 CM에게 TDMA 스케줄을 브로드캐스팅 한다. 이렇게 하여 실제적인 클러스터가 형성된다. 정상 상태 단계에서 센서 노드들은 센싱된 데이터를 CH를 통해 싱크로 전송한다. 또한 CH 교체 주기가 되는 프레임에서 각 센서 노드는 자기가 보관하고 있는 CH 및 CH 후보 중에서 위치가 제일 가까운 것을 새로운 CH로 선택한다. 또한 라운드 중간에 초대 단계를 두어 전체적인 CH를 재조정한다.

제안된 MECM 기법의 순서도는 그림 2와 같고, 그 세부 내역은 다음과 같다.

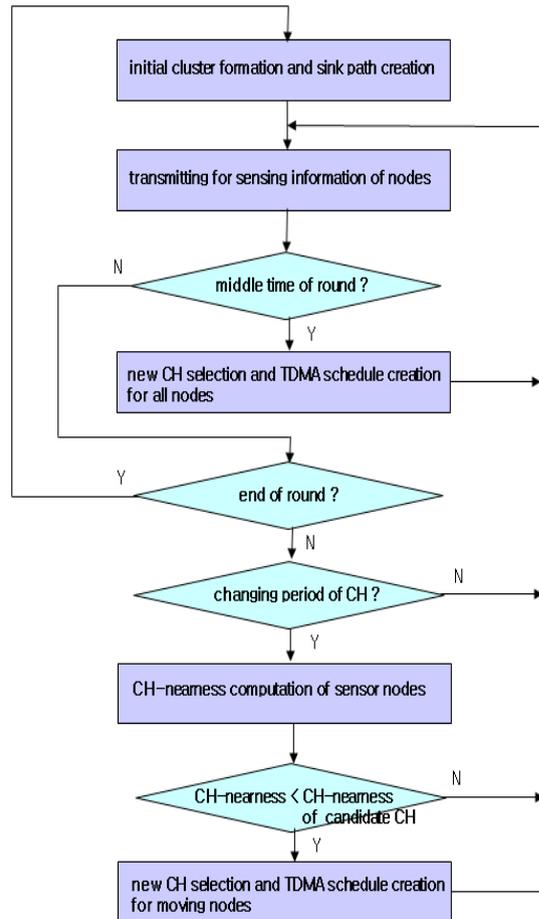


Fig. 2. Flowchart for operation of MECM

각 센서 노드는 자기의 ID, 위치, 잔여 에너지 등의 정보를 싱크를 통해 BS에 보낸다. BS는 센서 노드들이 보내온 정보를 이용하여 그림 1과 같이 전체 네트워크를 여러 개의 그룹으로 나누고, 그 그룹을 다시 여러 개의 가상 클러스터로 나누어서 그 중심을 싱크의 RP로 설정한다. 또한 클러스터 중심부의 노드들 중에서 노드의 이동성, 에너지 잔량 등을 이용하여 CH를 선택한다. 이 때 BS는 네트워크의 크기, 밀도 및 센서 노드 수를 적절하게 조합하여 클러스터 크기 및 수를 지정한다. 단, 클러스터 내의 노드 수는 비슷하게 조정한다. 실제 클러스터는 각 센서 노드들이 BS가 지정한 CH가 보낸 광고 메시지의 강도를 이용하여 형성된다. 이 때 강도가 조금 낮은 CH는 앞으로 사용하기 위해 CH 후보로 저장한다. 이에 대한 세부적인 내용인 2.3에서 다룬다.

각 CM은 CH가 보내온 TDMA 스케줄에 따라 센싱된 정보를 CH에게 전송하면, CH는 그 정보들을 병합하여 RP 지점에서 싱크에게 전송하고 싱크들은 수신된 정보들을 BS에 전송한다. 이 때 싱크는 그림 1과 같이 계속해서 시계 방향(또는 반대 방향으로)으로 돌면서 RP에서 CH로부터 데이터를 받는다.

각 라운드 중간에는 초대 단계를 두어, CH들은 자기의 정보를 주위의 센서 노드들에게 브로드캐스팅 한다. 각 노드들은 CH가 보낸 정보를 이용하여 자기에게 제일 적합한 새로운 CH를 선택하고, 해당 CH에게 조인 신호를 보낸다. CH는 그 정보를 이용하여 새로운 TDMA 스케줄을 생성하여 해당 클러스터의 노드들에게 브로드캐스팅 한다. 이에 대한 세부적인 내용은 2.4에서 다룬다.

라운드가 진행 중일 때, CH를 교체할 주기가 되면 각 센서 노드는 현재 CH와 자기가 보관하고 있는 CH 후보의 CH-nearness 즉, CH와 제일 가까운 정도를 계산하여, CH-nearness가 제일 좋은 CH를 새로운 CH로 선택한다. 센서 노드가 새로운 CH를 선택하여 해당 CH에게 조인 신호를 보내면, CH는 그 정보를 이용하여 새로운 TDMA 스케줄을 생성하여 해당 클러스터의 노드들에게 브로드캐스팅 한다. CH 교체 주기는 2.4에서 세부적으로 다룬다.

MECM 기법의 장점은 전체 네트워크를 여러 개의 클러스터 그룹으로 구분함으로써 큰 규모의 네트워크에도 성능을 그대로 유지할 수 있다는 점이다. 또한 싱크의 RP를 CH와 비슷한 중심부에 위치함으로써 시스템 운용은 쉽게 하면서 CH에서 싱크까지 전송하는 에너지 소모

량을 줄인다. 센서 노드의 이동성과 CH 선택 측면에서는 초대 단계를 통해 새로운 CH를 선택하여 노드의 이동성에 대처하고, 나아가 각 프레임 중간에도 노드의 이동성 정도에 따라 CH 교체 주기를 가진다. 이 때 센서 노드가 저장하고 있는 CH 후보들 중에서 새로운 CH를 선택함으로써 그에 수반되는 에너지 소비를 줄일 수 있다.

### 2.3 클러스터 형성 및 클러스터 헤드 선택

각 센서 노드는 클러스터를 형성하기 위한 정보를 싱크 노드를 통해 BS에 보낸다. BS는 센서 노드들이 보내온 정보를 이용하여 그림 1과 같이 여러 개의 가상 클러스터로 나눈다. 그리고 클러스터 중심부의 노드들 중에서 노드의 이동성, 에너지 잔량 등을 이용하여 수식 (1)과 같은 CH 적합도( $CH_{Fitness}$ )가 제일 좋은 센서 노드를 CH로 선택한다.

$$CH_{Fitness} = \alpha \left( \frac{1}{Central-step} \right) + \beta \left( \frac{1}{LCT-step} \right) + \gamma \left( \frac{E_{residual}}{E_{initial}} \right) \quad (1)$$

수식 (1)에서 Central-step은 가상 클러스터 지역의 중심부에 가까운 정도를 나타내고, 1~9 단계로 정하며 1 단계가 중심부에 제일 가까운 것이다. LCT-step은 LCT(Link Connection Time)[9-10]를 이용하여 이전 라운드의 노드 이동성 정도를 1~9 단계로 정하며, 1단계가 이동성이 제일 작고 9단계가 이동성이 제일 크다. LCT는 노드 속도 및 이동 방향과 같은 노드의 이동성을 측정하는 데 사용된다.  $E_{residual}$ 는 각 센서 노드의 에너지 잔량이고,  $E_{initial}$ 은 각 센서 노드의 초기 에너지 량이다. 또한  $\alpha$ ,  $\beta$  및  $\gamma$ 는 가중치(weight)로서 시스템 및 환경에 따라 조정된다.

BS는 클러스터 그룹을 여러 개의 가상 클러스터로 나눈다. 이 때, 한 가지 고려할 사항은 클러스터 그룹의 센서 노드 밀도이다. 밀도가 균일한 경우는 별 문제없이 동일한 크기의 클러스터로 나누면 된다. 그러나 밀도가 다른 경우, 각 클러스터에 소속될 수 있는 센서 노드수를 고려해야 한다. 밀도도 높고 해당 클러스터의 노드수도 많은 경우, CH의 과부하가 발생할 수 있고 결국 네트워크 수명에 영향을 미치게 된다. 그러므로 가상 클러스터의 구획은 클러스터의 크기와 밀도를 고려해서 해야 된다.

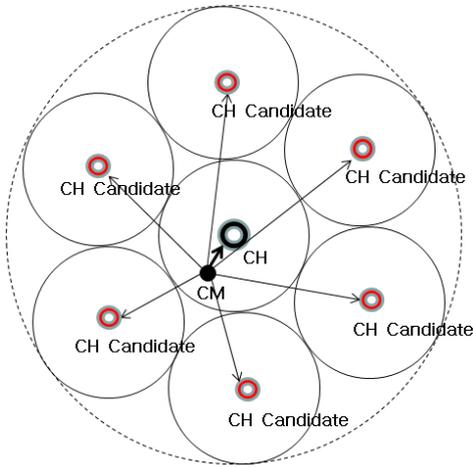


Fig. 3. Selection of CH and CH candidate

CH를 되도록 클러스터의 중심부에 지정하는 것은 CM과 CH의 거리를 비슷하게 하여 데이터를 전송할 때의 에너지 소모량을 공평하게 하기 위함이다. 이러한 방식은 전체 네트워크 수명에 도움이 된다. 센서 노드가 고정되어 있는 경우, 이러한 방식은 에너지 사용이 특정한 지역에 집중되는 에너지 홀 문제가 발생할 수 있으나, 노드들의 이동성이 있는 경우에는 그러한 문제가 발생하지 않는다. 또한 RP를 클러스터의 중심에 지정하고 CH를 클러스터의 중심부에 배치함으로써 CH의 데이터를 싱크로 전송할 때 에너지 소모량을 줄일 수 있다.

BS는 지정된 CH에게 메시지를 보내고, 각 CH는 주위의 센서 노드들에게 자기가 CH로 선택되었음을 알린다. 센서 노드들은 그러한 메시지의 강도를 이용하여 강도가 제일 강한 CH에게 JOIN 메시지를 보낸다. 또한 그림 3과 같이 강도가 조금 약한 주변의 CH들을 CH 후보로 저장해 두고, 나중에 새로운 CH를 지정할 때 이용한다.

## 2.4 클러스터 헤드 교체 및 슬롯 사용

MECM의 슬롯 사용 구조는 그림 4와 같다.

정상 상태 단계 도중에 발생할 수 있는 센서 노드의 이동성에 대비해서 CM은 자기에게 적합한 CH를 선택한다. 이때 MBC와 같이 매 프레임마다 실행하는 것이 아니라, 수식 (2)를 이용하여 CH 교체 주기일 때 수행한다. 이렇게 하는 이유는 CH를 너무 빈번하게 교체하면 에너지 소모량이 너무 크기 때문이다.

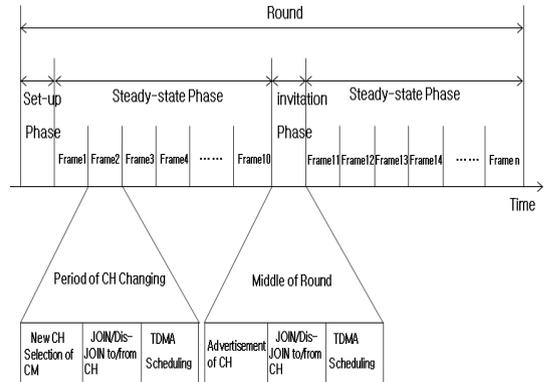


Fig. 4. Slot Utilization of MECM

수식 (2)에서  $W_{CH-change}$ 는 한 라운드의 프레임 중에서 현재 프레임이 CH 교체 주기일 확률이다.

$$W_{CH-change} = \partial (LCT - step * 0.5) / 10 \quad (2)$$

정상 상태 도중에 새로운 CH를 선택하는 방법은 그림 4와 같이 3개의 세부 단계로 이루어진다. 먼저 CH 교체 주기가 되었을 때, 각 CM은 CH-nearness를 이용해서 저장된 현재 CH 및 CH 후보 중에서 새로운 CH를 선택한다. 그 다음에 각 CM은 CH 선택 정보를 이용하여 JOIN 및 DIS-JOIN 메시지를 보낸다. 마지막으로 CH는 CM이 보내온 JOIN 메시지를 이용하여 TDMA 스케줄을 만들어 CM에게 브로드캐스팅 한다.

초대 단계 역시 그림 4와 같이 3개의 세부 단계로 이루어진다. 먼저, 각 CH는 각자의 위치, 에너지 잔량 등의 정보를 브로드캐스팅 한다. 그 다음에 각 CM은 CH가 보내온 정보를 이용하여 새로운 CH를 선택하고 JOIN 및 DIS-JOIN 메시지를 보낸다. 마지막으로 CH는 TDMA 스케줄을 CM에게 브로드캐스팅 한다.

## 3. 분석 및 실험

### 3.1 에너지 소모량 분석

MECM에 대한 에너지 소모량 분석은 [11]의 에너지 소비 모델을 이용하여 전개한다.

전체 에너지 소모량( $E_{Total}$ )은 라운드 셋업 단계의 에너지 소모량( $E_{Setup}$ ), 각 프레임에서 사용되는 에너지량( $E_{FrameTotal}$ ) 및 초대 단계에서 소모되는 에너지량

( $E_{invitation}$ )을 합친 값에 라운드 수를 곱한 값이다[11].

$$E_{Total} = R_{ct} * G_{ct} (E_{setup} + F_{ct} * E_{FrameTotal} + E_{invitation}) \quad (3)$$

수식 (3)에서  $R_{ct}$ 는 수행되는 라운드 수,  $G_{ct}$ 는 클러스터 그룹 수,  $F_{ct}$ 는 한 라운드 당 수행되는 프레임 수이다.

$$E_{setup} = (E_{CMtoCH} + E_{CHtoSink}) + E_{Broad} + E_{Join} + E_{TDMA} \quad (4)$$

수식 (4)에서  $E_{CMtoCH}$ 와  $E_{CHtoSink}$ 는 클러스터를 형성하는데 필요한 정보를 CM에서 CH 및 CH에서 싱크로 전송하는 에너지이다.  $E_{Broad}$ 는 선택된 CH들이 근처의 모든 센서 노드들에게 자기가 CH로 선택되었다는 정보를 알리는데 사용되는 에너지이고,  $E_{Join}$ 은 CH가 되지 못한 센서 노드들이 자기에게 제일 적합한 CH에게 조인할 때 사용되는 에너지이다.  $E_{TDMA}$ 는 CH가 해당 클러스터의 CM에게 TDMA 스케줄을 전송할 때 사용되는 에너지이다.  $E_{Broad}$ ,  $E_{Join}$ ,  $E_{TDMA}$  및  $E_{invitation}$ 은 [11]의 수식과 유사하므로 생략한다.

수식 (4)에서  $E_{CMtoCH}$ 는 CM에서 CH로 데이터를 전송할 때 사용되는 에너지 소모량이다.

$$E_{CMtoCH} = GC_{ct} * (CN_{ct} - 1)(l_{msg} * E_{elec} + l_{msg} * \epsilon_{fs} (d_{CMtoCH} + md_{avg})^2) \quad (5)$$

수식 (5)에서  $GC_{ct}$ 는 그룹에 소속된 클러스터 수,  $CN_{ct}$ 는 클러스터의 노드수,  $l_{msg}$ 는 데이터 송수신 메시지 길이,  $E_{elec}$ 는 데이터 송수신 에너지로서 50nJ/bit,  $\epsilon_{fs}$ 는 송신 데이터를 증폭할 때 사용되는 자유공간 모델 상수로서 10 pJ/bit/m<sup>2</sup>,  $md_{avg}$ 는 센서 노드들의 평균 이동 거리이다.

수식 (5)에서  $d_{CMtoCH}$ 는 CM에서 CH까지 평균 거리로서, 클러스터 내의 센서 노드수가 동일하다고 가정하면 그 예상되는 값은

$$[exp]d_{CMtoCH} = \sqrt{\frac{R^2}{2 * GC_{ct}}} \quad (6)$$

수식 (4)에서  $E_{CHtoSink}$ 는 CH에서 싱크로 데이터를 전송할 때 사용되는 에너지 소모량이다.

$$E_{CHtoSink} = GC_{ct} * ((CN_{ct} - 1)(l_{msg} * E_{elec}) + CN_{ct} * l_{msg} * E_{df} + l_{msg} * E_{elec} + l_{msg} * \epsilon_{fs} (d_{CHtoSink} + md_{avg})^2) \quad (7)$$

수식 (7)에서  $E_{df}$ 는 CH가 CM들이 보내온 데이터를 병합하는데 사용되는 에너지로서 5nJ/bit/signal이다.

$$E_{FrameTotal} = E_{CMtoCH} + E_{CHtoSink} + E_{NewCH} \quad (8)$$

수식 (8)에서  $E_{NewCH}$ 은 라운드 도중에 CH 교체 주기가 되었을 때, 새로운 CH로 교체하는 데 사용되는 에너지 소모량이다.

$$E_{NewCH} = W_{CH-change} * GN_{ct} * W_{NewCH} * 2(l_{Join} * E_{elec} + l_{Join} * \epsilon_{fs} (d_{toNewCH})^2) + W_{CH-change} * E_{TDMA} \quad (9)$$

수식 (9)에서  $W_{CH-change}$ 는 CH 교체 주기일 확률로서  $0.1 \leq W_{CH-change} \leq 0.5$ ,  $GN_{ct}$ 는 그룹에 소속된 노드수,  $W_{NewCH}$ 는 클러스터의 노드들 중에서 새로운 CH를 선택할 확률,  $l_{Join}$ 은 JOIN/ DIS-JOIN 메시지 길이,  $d_{toNewCH}$ 는 CH를 변경할 때 센서 노드들과 새로운 CH들과의 평균 거리이다.  $E_{TDMA}$ 는 수식 (4)의  $E_{TDMA}$ 와 유사하나 조인하는 센서 노드의 수가 적기 때문에 에너지 소모량이 조금 줄어든다.

### 3.2 실험

실험은 제안된 MECM, M-LEACH 및 MBC를 비교하여 수행하였다. 실험에 사용되는 에너지 소비 모델 상수로서  $l_{msg}$ 는 500byte,  $l_{Join}$ 은 40byte,  $l_{TDMA}$ 는 500byte, 라운드 당 프레임 수는 20 프레임, 한 프레임 당 수행시간은 1초, 클러스터 그룹 당 노드 수는 120개,

그룹의 수는 4개(R이 100m) 및 16개(R이 200m)인 경우를 적용하였다.

그림 5 ~ 6은 R이 100m 및 200m인 경우, 클러스터 수 변화에 따른 한 라운드 당 에너지 소모량(J) 그래프이다. 이 때 평균 이동 속도는 3m/s로 지정하였다.

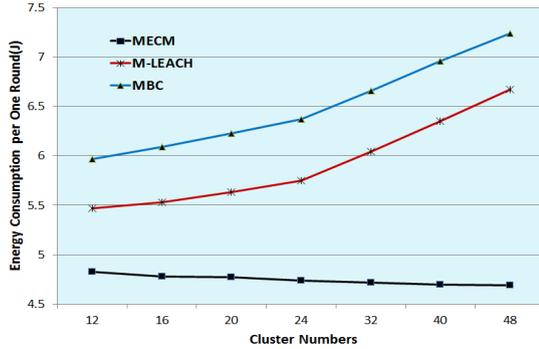


Fig. 5. Total Energy Consumption 1 per One Round for Cluster Numbers

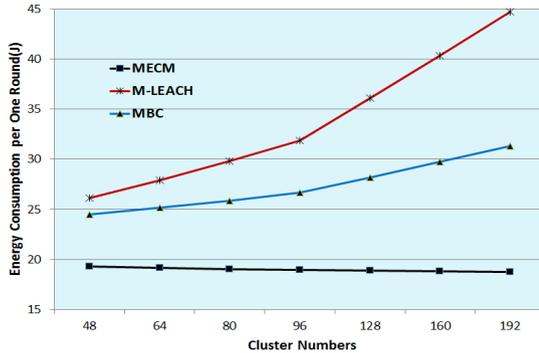


Fig. 6. Total Energy Consumption 2 per One Round for Cluster Numbers

그림 5 ~ 6에서 최적의 조건 기준으로 MECM은 M-LEACH에 비해 에너지 소모량이 17% ~ 39%, MBC에 비해 에너지 소모량이 27% ~ 30%, 줄어들었다. 특히 R이 100m인 경우보다 200m인 경우에 차이가 더 많았다. 모바일 싱크를 쓰지 않고 고정형 싱크(BS)를 쓰는 경우, 네트워크 크기가 커지면 CH에서 BS까지의 데이터 송신에 따른 에너지 소모량이 많아진 것으로 보인다. M-LEACH는 R이 100m인 경우 MBC에 비해 좋은 효율을 보이고, R이 200m로 시스템 규모가 커지면서 효율이 떨어진다. 그 이유는 이는 M-LEACH가 CH에서 BS로 데이터를 송신할 때 단일홉 통신을 사용해서 CH에 대한 부하가 커진 것으로 생각되고, MBC는 이러한

M-LEACH의 문제점을 개선하여 데이터를 송신할 때 다중홉 통신을 사용하였지만, 매 프레임마다 CH를 다시 선정하는데 너무 많은 에너지를 소모한 것으로 보인다. MECM에서는 이러한 두 가지 문제점을 개선하고 또한 모바일 싱크를 사용하여 전체 에너지 소모량을 많이 줄인 것으로 보인다.

그림 7 ~ 8은 R이 100m 및 200m인 경우, 클러스터 수 변화에 따른 한 라운드 당 CH 에너지 소모량(J) 그래프이다. 실험 조건은 그림 5 ~ 6과 동일하다.

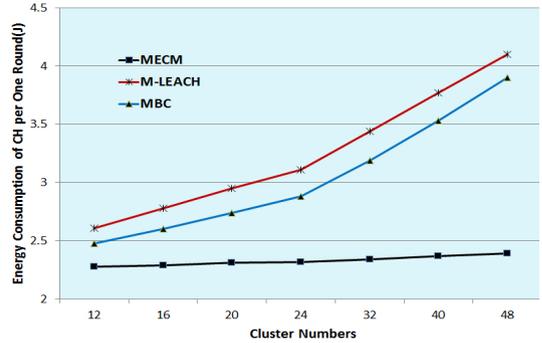


Fig. 7. Energy Consumption 1 of CH per One Round for Cluster Numbers

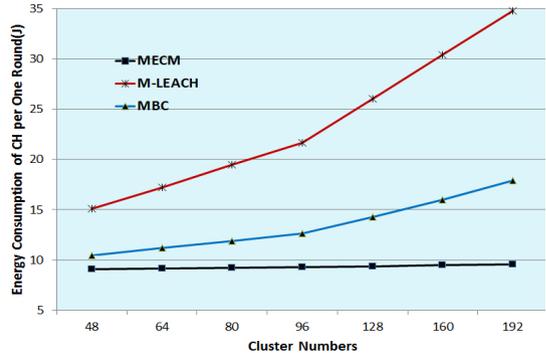


Fig. 8. Energy Consumption 2 of CH per One Round for Cluster Numbers

그림 7 ~ 8에서 최적의 조건 기준으로 MECM은 M-LEACH에 비해 에너지 소모량이 14% ~ 65%, MBC에 비해 에너지 소모량이 9% ~ 15%, 줄어들었다. M-LEACH와 MBC는 클러스터 수가 많아질수록 에너지 소모량이 많았고, 특히 M-LEACH는 네트워크 크기에 따라 편차가 더 심한 것으로 보인다. 전체 에너지 소모량에 비해 CH의 에너지 사용량이 많은 것은 핫스팟 현상이 심하게 나타난 것으로 시스템 전체 수명에 많은 영향을 끼친다. MECM에서는 클러스터 수가 많아지

라도 CH 에너지 소모량은 큰 차이가 없다. 클러스터 수가 증가하면 각 단위 CH 당 에너지 소모량이 줄어들므로 CH에 집중되는 에너지 소모량을 분산시킨다는 장점이 있다. 그러나 CH 수가 많아지면 싱크에 데이터를 전송할 때, 싱크가 거쳐야 할 RP가 많아지므로 CH들의 데이터 전송 지연이 발생할 수 있다. 또한 클러스터 수가 적다는 것은 그 클러스터에 소속된 센서 노드 수가 많다는 뜻이다. 이는 CH가 CM에게 보내는 TDMA 스케줄 메시지의 크기가 커지므로, 단위 CH 당 에너지 소모량이 늘어난다. 이러한 전반적인 문제는 좀 더 세부적인 연구가 필요하다.

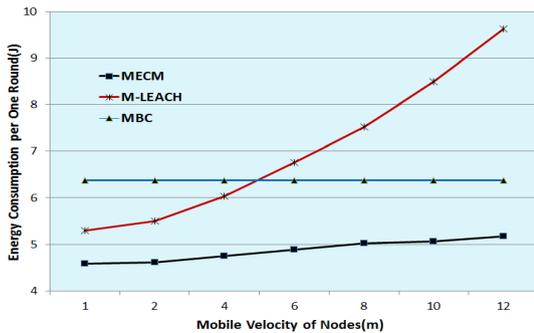


Fig. 9. Total Energy Consumption 1 per One Round for Mobile Velocity of Nodes

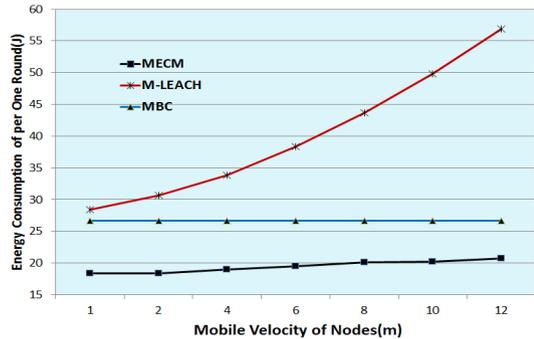


Fig. 10. Total Energy Consumption 2 per One Round for Mobile Velocity of Nodes

그림 9 ~ 10은 R이 100m 및 200m인 경우, 센서 노드의 이동 속도(m/s)에 따른 한 라운드 당 에너지 소모량(J) 그래프이다. 이 때 이동 속도는 1m/s ~ 12m/s로 지정하였다.

그림 9 ~ 10에서 MECM과 MBC 두 기법 모두 노드의 이동 속도가 변화되어도 에너지 사용량에 큰 변화를 보이지 않는 것은 각 라운드 도중에 새로운 CH를 선택

하여 센서 노드의 이동성에 대비했기 때문으로 생각된다. 반면에 M-LEACH는 노드의 이동 속도가 증가함에 따라 큰 변화를 보인다. 이는 M-LEACH의 초대 단계를 이용하여 새로운 CH를 선택하는 방법은 노드의 이동 속도가 느린 경우에는 별 문제가 없지만, 이동 속도가 빠른 경우에는 에너지 효율성이 떨어지는 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 논문에서는 모바일 센서 네트워크에서 모바일 싱크 기반 에너지 효율적인 클러스터링 기법(MECM)을 제안한다. MECM은 모바일 센서 노드들의 이동성에 따라 새로운 CH를 선택할 때의 에너지 효율을 높인다. 또한 네트워크 구조를 이동성과 에너지 소비를 고려하여 모바일 싱크 기반으로 구성하고, 그에 따라 CH에서 싱크로 데이터를 송신할 때의 에너지 소모량을 줄인다. 제안된 방법에서 초기 CH 선택은 CH 적합도가 제일 좋은 센서 노드로 정한다. 그리고 이동성을 고려하여 라운드 도중에 새로운 CH로 교체할 때는 현재 CH와 저장하고 있는 CH 후보 중에서 제일 가까운 것으로 정한다. 또한 네트워크를 여러 개 그룹으로 구분하고 각 그룹마다 모바일 싱크를 배치하여 CH에서 싱크로 데이터를 전송하는 보내는 방법을 사용하기 때문에 송신 에너지 소모량을 줄이게 되고, 큰 규모의 네트워크에도 성능을 그대로 유지할 수 있도록 한다.

이러한 네트워크 구조를 에너지 소모 모델을 통해서 분석 및 비교하였다. 제안된 MECM이 M-LEACH에 비해 에너지 소모량이 17% ~ 39%, MBC에 비해 에너지 소모량이 27% ~ 30% 줄어들었다. 또한 MECM은 노드의 이동 속도가 증가할 때 M-LEACH와 달리 에너지 소모량이 큰 변화가 없는 것으로 보인다. 이는 네트워크를 그룹별로 모바일 싱크를 배치하고, 센서 노드의 이동성에 대비해서 CH를 효율적으로 선택하였기에 에너지 소모량을 많이 줄인 것으로 보인다.

본 논문에서는 MECM 기법을 제시하였다. 그러나 모바일 싱크를 적용하는 과정에서 네트워크 규모와 센서 노드의 밀도에 따른 클러스터의 크기와의 상관관계가 데이터 전송 및 에너지 소모에 많은 영향을 끼치므로 그에 대한 연구가 필요하다.

## References

- [1] S. Mottaghi and M. R. Zahabi, "Optimizing LEACH clustering algorithm with mobile sink and rendezvous nodes," AEU-Int. J. Electron. Commun., vol. 69, no. 2, pp. 507-514, Feb. 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aeue.2014.10.021>
- [2] W. B. Heinzelman, A. P. 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.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TWC.2002.804190>
- [3] H. Salarian, K. W. Chin, and F. Naghdy, "An energy-efficient mobile sink path selection strategy for wireless sensor networks", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 63, No. 5, pp. 2407-2419, June 2014.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TWC.2002.804190>
- [4] Mohammed A. Z., Sabah M. A., Nabil S., Shigenobu S., "Mobile Sink-Based Adaptive Immune Energy-Efficient Clustering Protocol for Improving the Lifetime and Stability Period of Wireless Sensor Networks," IEEE Sensors Journal, Vol. 15, No. 8, 2015.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/JSEN.2015.2424296>
- [5] Jin Wang, Yue Yin, Jeong-Uk Kim, Sungyoung Lee, Chin-Feng Lai, "A Mobile-Sink Based Energy-Efficient Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks", Computer and Information Technology (CIT), 2012 IEEE 12th International Conference on 2012 Oct, pp. 678- 683, 2012.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/CIT.2012.142>
- [6] D. S. Kim and Y. j. Chung, Self-organization routing protocol supporting mobile nodes for wireless sensor networks", Proceedings on the 1st International Multi Symposium on Computer and Computational Sciences, pp. 622-626, June 2006.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/imsccs.2006.265>
- [7] Lan Tien Nguyen, Xavier Defago, Razvan Beuran, and Yoichi Sinoda, "An Energy Efficient Routing Scheme for Mobile Wireless Sensor Networks", Wireless Communication Systems. 2008. ISWCS '08. IEEE International Symposium on Reykjavik, pp. 568-572, Oct. 2008.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ISWCS.2008.4726120>
- [8] S. Deng, J. Li, and L. Shen, "Mobility-based clustering protocol for wireless sensor networks with mobile nodes", IET Wireless Sensor Systems, Vol. 1, No. 1, pp. 39-47, Mar. 2011.  
DOI: <https://doi.org/10.1049/iet-wss.2010.0084>
- [9] T. Taleb, E. Sakhaee, A. Jamalipour, K. Hashimoto, Nei Kato and Yoshiaki Nemoto, "A Stable Routing Protocol to Support ITS Services in VANET Networks", IEEE Transactions on Vehicular Technology, (2007), pp. 3337-3347.  
DOI: <https://doi.org/10.1109/TVT.2007.906873>
- [10] Hyunsook Kim, "An Efficient Clustering Scheme for Data Aggregation Considering Mobility in Mobile Wireless Sensor Networks", International Journal of Control and Automation, vol. 6, no. 1, Feb. 2013, pp. 221-234.
- [11] Jin-Su Kim, "An Energy Consumption Model using Two-Tier Clustering in Mobile Wireless Sensor Networks," JKAIS, vol. 17, No. 12, pp. 9-16, Dec. 2016.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.12.9>

김진수(Jin-Su Kim)

[정회원]



- 1982년 2월 : 영남대학교 전기공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 숭실대학교 정보산업학과 (이학석사)
- 2007년 6월 : 영남대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 1992년 8월 : 정보처리 기술사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 향만물류시스템학과 교수

<관심분야>

데이터베이스, 센서 네트워크, 소프트웨어 공학