

모바일 센서 네트워크에서 2계층 클러스터링을 이용한 에너지 소비 모델

김진수
동명대학교 항만물류시스템학과

An Energy Consumption Model using Two-Tier Clustering in Mobile Sensor Networks

Jin-Su Kim

Department of Port & Logistics System, Tongmyong University

요약 무선 센서 네트워크는 센서 노드와 기지국으로 구성되며, 사람이 직접적으로 접근하기 어려운 장소에 노드들이 광범위하게 배치되어 화재나 특정 상황의 정보를 수신하고, 수신된 정보를 기지국까지 전달하여 실시간 감시나 유통, 의료 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 또한 최근에는 이러한 무선 센서 네트워크에 이동성을 추가하여 야생동물의 실태조사, 해양 생태계 모니터링 등의 응용으로 확대한 모바일 무선 센서 네트워크의 유용성이 증가하는 추세이다. 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. 따라서 센서 노드에서 센싱된 정보를 기지국으로 전송하는 효율적인 방법이 요구된다. 본 논문에서는 모바일 센서 네트워크에서 2계층 클러스터링을 이용한 에너지 소비 모델을 제안한다. 제안하는 방법은 클러스터를 2계층으로 구분하여 이동성을 고려하고 에너지 소모를 줄인다. 또한 에너지 소모량 모델을 제시하여 이제까지 제안된 여러 클러스터링 기법의 에너지 소모량을 비교 분석한다. 실험을 통해 이전의 모바일 센서 네트워크 클러스터링 기법보다 네트워크 에너지 효율성이 향상됨을 입증한다.

Abstract Wireless sensor networks (WSN) are composed of sensor nodes and a base station. The sensor nodes deploy a non-accessible area, receive critical information, and transmit it to the base station. The information received is applied to real-time monitoring, distribution, medical service, etc.. Recently, the WSN was extended to mobile wireless sensor networks (MWSN). The MWSN has been applied to wild animal tracking, marine ecology, etc.. The important issues are mobility and energy consumption in MWSN. Because of the limited energy of the sensor nodes, the energy consumption for data transmission affects the lifetime of the network. Therefore, efficient data transmission from the sensor nodes to the base station is necessary for sensing data. This paper, proposes an energy consumption model using two-tier clustering in mobile sensor networks (TTCM). This method divides the entire network into two layers. The mobility problem was considered, whole energy consumption was decreased and clustering methods of recent researches were analyzed for the proposed energy consumption model. Through analysis and simulation, the proposed TTCM was found to be better than the previous clustering method in mobile sensor networks at point of the network energy efficiency.

Keywords : energy consumption model, mobility, two-tier clustering, mobile wireless sensor networks, lifetime of network, network energy efficiency

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

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

Received August 30, 2016

Revised September 27, 2016

Accepted December 8, 2016

Published December 31, 2016

1. 서론

무선 센서 네트워크는 센서 노드와 기지국(BS; Base Station)으로 구성되며, 노드의 크기가 작다는 특징을 이용하여 사람이 직접적으로 접근하기 어렵거나 협소한 장소에 노드들이 광범위하게 배치되어 화재나 특정 상황의 정보를 수신하고, 수신된 정보를 BS까지 전달하여 실시간 감시나 정보 확인, 교통, 유통, 의료 등 다양한 분야에 활용되고 있다[1]. 또한 최근에는 이러한 무선 센서 네트워크에 이동성을 추가하여 야생동물의 실태조사, 해양 생태계 모니터링 등의 응용으로 확대한 모바일 무선 센서 네트워크(MWSN; Mobile Wireless Sensor Networks)의 유용성이 증가하는 추세이다.

MWSN을 형성하는 이동 센서 노드들은 제한된 배터리 용량을 이용하여 이벤트 감지 등의 목적으로 사용되므로, 노드의 이동성을 고려한 안정적인 에너지 효율적인 네트워크 구성을 위한 프로토콜이 많이 연구되고 있다[2].

MWSN에서는 LEACH-Mobile(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy-Mobile)[3], 동적인 트래픽(traffic)과 네트워크의 이동성 조건에 따라 TDMA(Time Division Multiple Access) 스케줄을 적응적으로 조정하는 CBR(Cluster Based Routing)[4], LEACH-Mobile을 개선한 LEACH-ME[5], M-LEACH[6], MBC(Mobility-based Clustering Protocol)[7] 프로토콜 등과 같은 센서 노드들의 이동성을 고려한 클러스터링 기법들이 제안되었다.

LEACH-Mobile[3]은 LEACH[8]가 클러스터를 재구성하는 셋업 단계 이후에 노드의 이동성에 대한 지원을 하지 못하므로, 그러한 점을 고려한 프로토콜이다. LEACH-Mobile의 기본 개념은 이동하는 노드가 주어진 TDMA 스케줄에 따른 시간 슬롯(time slot)에서 클러스터 헤드(CH; Cluster Head)로부터 이동 노드에 데이터 요청 메시지를 전송하여, 특정 CH와 통신이 가능한지의 여부로서 클러스터 멤버(CM; Cluster Member)가 될 노드를 결정하고 클러스터를 재구성하는 방법이다.

M-LEACH[6]는 LEACH-C(LEACH-Centralized) [9]를 향상시켜 이동성을 고려한 기법이다. 각 노드는 셋업 단계에서 각 노드의 위치, 이동 속도, 에너지 잔량 등의 정보를 BS에 보내면, BS는 그러한 정보를 종합해서 CH를 선정한다. 또한 이동성을 고려하여 라운드 중간에 초대

단계(Invitation Stage)를 두어 각 노드가 CH가 보낸 정보를 이용하여 자기가 조인(join)하는데 가장 비용이 적게 드는 CH를 새로운 CH로 선정하는 방법이다.

MBC[7]는 LEACH-Mobile을 향상시킨 기법으로서, 셋업 단계에서 각 센서 노드는 최근 CH로 선정되었는지 여부, 에너지 잔량, 노드의 이동 속도 등의 정보를 기준해서 CH로 선정된다. 또한 라운드 중간에 데이터 프레임마다 각 노드의 이동성을 고려하여 새로운 CH가 선정되는데, 그 기준은 CH와 예상 접근 시간, CH의 에너지 잔량, 센서 노드와 CH와의 거리 등이 주된 요소가 된다.

본 논문에서는 모바일 센서 네트워크에서 2계층 클러스터링을 이용한 에너지 소비 모델(TTCM: Two-Tier Clustering in Mobile sensor networks)을 제안한다. TTCM은 M-LEACH 프로토콜을 기반으로 하여 네트워크 구조를 이동성과 에너지 소모량을 고려하여 2계층으로 구성하고, 그에 따라 선정된 CH와 CGH(Cluster Group Head)를 이용하여 BS까지 데이터를 송신할 때 에너지 소모량을 줄인다. 또한 에너지 소모량 모델을 제시하여 이제까지 제안된 여러 클러스터링 기법의 에너지 소모량을 비교 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안한 TTCM 에너지 소비 모델을 설명하고, 3장에서는 제안된 기법과 기존 기법에 대해서 비교 분석하고, 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 제안 모델

2.1 네트워크 모델(Network Model)

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

- 네트워크는 그림 1과 같이 2계층으로 구성되어 있다. 네트워크의 반지름은 R, 1계층의 반지름 R1, 2계층의 반지름은 R2이다. 전체 네트워크의 규모가 커진다면, 이러한 구조를 여러 개 만들 수 있다.
- 네트워크의 1계층에는 한 개의 클러스터, 2계층에는 여러 개의 클러스터가 구성되며, 각 클러스터의 크기는 동일하다
- 1계층 클러스터는 CM1, CH1 및 CGH로 구성되

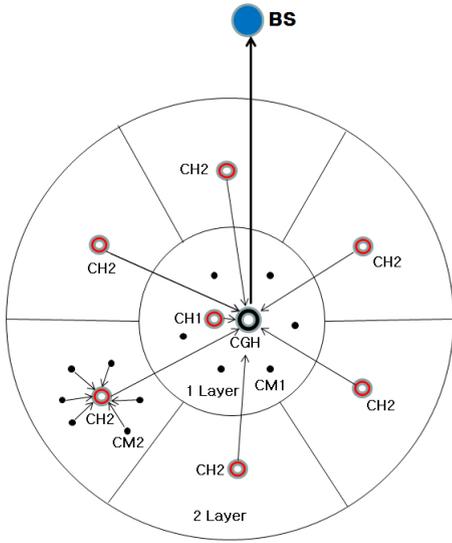


Fig. 1. Network Model with 2 Layers

- 고, 2계층 클러스터는 CM2 및 CH2로 구성된다.
- 각 센서 노드는 자기의 ID, 위치 및 잔여 에너지 정보를 가지고 있고, 셋업 단계에서 그 정보를 BS에 전송한다. BS는 그 정보를 이용하여 CH 및 CGH를 선정한다. 또한 라운드 도중 초대 단계에서 각 노드들은 이러한 정보를 이용하여 자기의 CH를 재선정한다.
 - CH 및 CGH의 선정은 센서 노드가 클러스터의 중심부에 위치하는지 여부, 에너지 잔량이 많은 노드 및 노드 이동 가능성이 적은 노드 등의 정보를 합성하여 정한다. 이동성이 없는 경우, 클러스터 중심부의 노드를 CH로 지정하면 중심부의 노드들의 에너지가 빨리 고갈되는 핫 스팟(hot spot) 현상이 발생하지만, 이동성이 있는 경우는 CH를 중심부에 지정해야만 이동성이 생기더라도 현 클러스터 영역을 벗어나는 일이 없어지고, 이동성으로 중심부가 계속 바뀌므로 오히려 시스템 효율이 좋아진다 [10]. 지정된 CH 및 CGH는 초대 단계까지 해당 클러스터를 벗어나지 않는다고 가정한다.
 - 각 센서 노드(CM1 및 CM2)에서 센싱(sensing)된 정보는 CH1 및 CH2로 보내지고, 클러스터 헤드(CH1 및 CH2)는 그 정보를 병합(data fusion)하여 CGH로 보낸다. 또한 CGH는 그 정보를 병합하여 BS로 보낸다.

2.2 2계층 클러스터링을 이용한 에너지 소비 모델

2계층 클러스터링을 이용한 에너지 소비 모델(TTCM; Two-Tier Clustering in Mobile sensor networks)은 무선 에너지 소비 모델[11]과 M-LEACH 프로토콜[6]을 기반으로 한 모델이다. TTCM에서 에너지 소비는 한 라운드 당 소모되는 에너지량을 기준으로 한다.

한 라운드 당 에너지 소모량($E_{RoundTotal}$)은 라운드 셋업 단계(setup stage)의 에너지 소모량(E_{setup}), 각 프레임에서 사용되는 에너지량($E_{FrameTotal}$) 및 초대 단계에서 소모되는 에너지량($E_{invitation}$)을 합친 값이다. 또한 초대 단계는 한 라운드가 수행되는 중간에 한번 수행된다.

$$E_{RoundTotal} = E_{setup} + F_{ct} * E_{FrameTotal} + E_{invitation} \quad (1)$$

수식 (1)에서 F_{ct} 는 한 라운드 당 수행되는 프레임 수이다. E_{setup} 은 라운드를 시작할 때 CH 및 CGH를 선정하기 위해 필요한 에너지(E_{InForm})와 CH가 센서 노드에게 TDMA 스케줄을 전송할 때 사용되는 에너지(E_{TDMA})를 합친 값이다.

$$E_{setup} = E_{InForm} + E_{TDMA} \quad (2)$$

수식 (2)에서 E_{InForm} 은 각 노드의 위치 및 에너지 잔량 정보를 BS에 송신하는 에너지로 $E_{FrameTotal}$ 과 유사하다. 또한 E_{TDMA} 는 CH가 TDMA 스케줄을 전송할 때 사용되는 에너지로서 수식 (15)에서 설명한다.

$$E_{FrameTotal} = E_{CM1toCH1} + E_{CM2toCH2} + E_{CH1toCGH} + E_{CH2toCGH} + E_{CGHtoBS} \quad (3)$$

수식 (3)에서 $E_{CM1toCH1}$ 은 한 프레임 당 1계층의 센서 노드 CM1에서 CH1까지 센싱된 데이터를 송신하는데 드는 에너지 소모량, $E_{CM2toCH2}$ 는 2계층의 센서 노드 CM2에서 CH2까지 센싱된 데이터를 송신하는데 드는 에너지 소모량, $E_{CH1toCGH}$ 는 CM1에서 CH1으로 송신된 데이터를 병합하고 CH1에서 CGH까지 그 데이터를 송신하는데 드는 에너지 소모량, $E_{CH2toCGH}$ 는 CM2에서

CH2로 송신된 데이터를 병합하고 CH2에서 CGH까지 그 데이터를 송신하는데 드는 에너지 소모량, $E_{CGHtoBS}$ 는 CH1과 CH2가 CGH로 송신된 데이터를 병합하고 CGH에서 BS까지 그 데이터를 송신하는데 드는 에너지 소모량이다.

$$E_{CM1toCH1} = (S_{ct} - 1)(l_{msg} * E_{Tx-elec} + l_{msg} * \epsilon_{fs} (d_{CM1toCH1} + md_{est})^2) \quad (4)$$

수식 (4)에서 S_{ct} 는 클러스터 내 센서 노드의 수, l_{msg} 는 데이터 송수신 메시지 길이, $E_{Tx-elec}$ 는 데이터 송신 에너지로서 50nJ/bit, ϵ_{fs} 는 송신 데이터를 증폭할 때 사용되는 자유 공간(free space) 모델 상수로서 10 pJ/bit/m²이다. $d_{CM1toCH1}$ 은 CM1에서 CH1까지의 평균 거리로서, 클러스터 내의 센서 노드 수가 동일하다고 가정하면 그 예상되는 값은

$$[exp]d_{CM1toCH1} = \sqrt{\frac{2R^2}{C_{ct}}} / \sqrt{2} \quad (5)$$

수식 (5)에서 R은 네트워크의 반지름, C_{ct} 는 네트워크 전체 클러스터 수이다.

수식 (4)에서 md_{est} 는 센서 노드들의 평균 이동 거리로서, 그 예상되는 값은

$$[exp]md_{est} = V_{th} * \frac{F_{ct}}{4} * \frac{N_{mobile}}{N_{ct}} \quad (6)$$

수식 (6)에서 V_{th} 는 센서 노드의 초 당(프레임 당) 평균 이동 속도, N_{mobile} 는 네트워크 전체에서 이동하는 노드 수, N_{ct} 는 네트워크 전체 노드 수이다.

$$E_{CM2toCH2} = (C_{ct} - 1)(S_{ct} - 1)(l_{msg} * E_{Tx-elec} + l_{msg} * \epsilon_{fs} (d_{CM2toCH2} + md_{est})^2) \quad (7)$$

수식 (7)에서 $d_{CM2toCH2}$ 는 CM2에서 CH2까지의 평균 거리로서, 클러스터 내의 센서 노드 수가 동일하다고 가정하면 그 예상되는 값은

$$[exp]d_{CM2toCH2} = \sqrt{\frac{(R^2 - R1^2)}{2 * (C_{ct} - 1)}} \quad (8)$$

수식 (8)에서 R은 전체 네트워크의 반지름이고, R1은 네트워크에서 1계층의 반지름이다.

$$E_{CH1toCGH} = (S_{ct} - 1)(l_{msg} * E_{Rx-elec}) + S_{ct} * l_{msg} * E_{df} + l_{msg} * E_{Tx-elec} + l_{msg} * \epsilon_{fs} (d_{CH1toCGH} + md_{est})^2 \quad (9)$$

수식 (9)에서 $E_{Rx-elec}$ 는 데이터 수신 에너지로서 50nJ/bit, E_{df} 는 클러스터 내 센서 노드들이 보내온 데이터를 병합하는데 사용되는 에너지로서 5nJ/bit/signal이다. $d_{CH1toCGH}$ 는 1계층의 CH1에서 CGH까지의 거리로서, 그 둘은 클러스터의 중앙부에 위치하므로 근접되어 있다.

$$E_{CH2toCGH} = (C_{ct} - 1) * ((S_{ct} - 1)(l_{msg} * E_{Rx-elec}) + S_{ct} * l_{msg} * E_{df} + l_{msg} * E_{Tx-elec} + l_{msg} * \epsilon_{fs} (d_{CH2toCGH} + md_{est})^2) \quad (10)$$

수식 (10)에서 $d_{CH2toCGH}$ 는 2계층의 CH2에서 CGH까지의 평균 거리이다.

$$E_{CGHtoBS} = (C_{ct} - 1)(l_{gmsg} * E_{Rx-elec}) + C_{ct} * l_{gmsg} * E_{df} + l_{gmsg} * E_{Tx-elec} + l_{gmsg} * \epsilon_{mp} (d_{CGHtoBS} + md_{est})^4 \quad (11)$$

수식 (11)에서 l_{gmsg} 는 CGH에서 BS로 데이터를 송신하는 메시지 길이, ϵ_{mp} 는 송신 데이터를 증폭할 때 사용되는 다중 경로(multi path) 모델 상수로서 0.0013 pJ/bit/m⁴이고, $d_{CGHtoBS}$ 는 CGH에서 BS까지의 거리이다. 일반적으로 송신 데이터를 증폭할 때 두 가지 모델을 사용하는데, 가까운 거리는 자유 공간 모델을 이용하고, 먼 거리로 데이터를 송신할 때는 다중 경로 모델을 이용한다.

수식 (1)의 초대 단계에서 소모되는 에너지량($E_{invitation}$)은

$$E_{invitation} = E_{Broad} + E_{Join} + E_{TDMA} \quad (12)$$

수식 (12)에서 E_{Broad} 는 CH들이 근처의 모든 센서 노드들에게 자기의 ID 및 CH를 선택할 수 있도록 도와주는 정보를 브로드캐스팅 하는데 사용되는 에너지이고, E_{Join} 은 각 센서 노드들이 CH들이 보낸 정보를 수신하여, 해당 CH에게 JOIN/DIS-JOIN 메시지를 보낼 때 사용되는 에너지이다. 또한 E_{TDMA} 는 CH들이 센서 노드들의 JOIN/DIS-JOIN 메시지를 수신하여 새로운 TDMA 스케줄을 브로드캐스팅 하고, 센서 노드들이 그러한 스케줄을 수신하는데 사용되는 에너지이다.

$$E_{Broad} = C_d * (l_{will} * E_{Tx-elec} + l_{will} * \epsilon_{fs} * (d_{avg})^2) \quad (13)$$

수식 (13)에서 l_{will} 은 CH들이 근처의 모든 센서 노드들에게 보내는 자기의 ID 및 CH를 선택할 수 있도록 도와주는 정보의 길이이고, d_{avg} 는 CH들이 브로드캐스팅 하는 평균 거리이다.

$$E_{Join} = C_d * (N_d - C_d) * W_{Join} * (l_{Join} * E_{Rx-elec}) + (N_d - C_d) * (l_{Join} * E_{Tx-elec} + l_{Join} * \epsilon_{fs} * (d_{toCH})^2) \quad (14)$$

수식 (14)에서 l_{Join} 은 JOIN/DIS-JOIN 메시지 길이, W_{Join} 은 CH가 브로드캐스팅 한 메시지를 근처의 센서 노드들이 받을 확률, d_{toCH} 는 근처의 센서 노드들과 CH들의 평균 거리이다.

$$E_{TDMA} = (N_d - C_d)(l_{Join} * E_{Rx-elec}) + C_d * (l_{TDMA} * E_{Tx-elec} + l_{TDMA} * \epsilon_{fs} * (d_{avg})^2) + (N_d - C_d) * W_{Join} * (l_{TDMA} * E_{Rx-elec}) \quad (15)$$

수식 (15)에서 l_{TDMA} 은 CH들이 센서 노드들에게 브로드캐스팅 하는 TDMA 스케줄 길이이다.

3. 실험을 통한 비교 및 분석

제안된 TTCM 모델에 대한 에너지 소모량과 M-LEACH[6] 및 MBC[7] 프로토콜 에너지 소모량을 수

식 및 예상 데이터를 이용하여 비교 분석한다. 센서 노드에서 센싱된 정보를 BS로 전송하는 방법은 M-LEACH는 LEACH 프로토콜[8]과 유사하게 CH로 병합한 데이터를 바로 BS으로 전송하고, MBC는 CH로 병합한 데이터를 근처의 가까운 CH로 전달하면서 BS까지 데이터를 전송하는 다중 경로 방법을 사용하고 있다.

M-LEACH의 한 라운드 당 에너지 소모량($E_{RoundTotal2}$)은 라운드 셋업 단계에서 사용되는 에너지(E_{setup2}), 각 프레임에서 사용되는 에너지 소모량 및 초대 단계에서 소모되는 에너지량($E_{invitation2}$)을 합친 값이고, E_{setup2} 및 $E_{invitation2}$ 값은 TTCM의 E_{setup} 및 $E_{invitation}$ 과 유사하다.

$$E_{RoundTotal2} = E_{setup2} + F_d * C_d * (E_{CMoCH(2)} + E_{CHtoBS(2)}) + E_{invitation2} \quad (16)$$

$$E_{CMoCH(2)} = (S_d - 1)(l_{msg} * E_{Tx-elec} + l_{msg} * \epsilon_{fs} * (d_{CMoCH} + m d_{est})^2) \quad (17)$$

수식 (17)에서 d_{CMoCH} 는 CM에서 CH까지의 평균 거리이다.

$$E_{CHtoBS(2)} = (S_d - 1)(l_{msg} * E_{Rx-elec}) + S_d * l_{msg} * E_{df} + l_{msg} * E_{Tx-elec} + l_{msg} * \epsilon_{mp} * (d_{CHtoBS} + m d_{est})^4 \quad (18)$$

수식 (18)에서 d_{CHtoBS} 는 CH에서 BS까지의 평균 거리이다.

MBC의 한 라운드 당 에너지 소모량($E_{RoundTotal3}$)은 수식 (19)와 같다.

$$E_{RoundTotal3} = F_d * (C_d * (E_{CMoCH(3)} + E_{CHtoBS(3)}) + E_{mobile}) \quad (19)$$

$$E_{CMoCH(3)} = (S_d - 1)(l_{msg} * E_{Tx-elec} + l_{msg} * \epsilon_{fs} * (d_{CMoCH})^2) \quad (20)$$

$$E_{CHtoBS(3)} = (S_d - 1)(l_{msg} * E_{Rx-elec}) + S_d * l_{msg} * E_{df} + l_{msg} * E_{Tx-elec} + l_{msg} * \epsilon_{fs} * (d_{CHtoBS})^2 \quad (21)$$

수식 (19)의 E_{mobile} 은 TTCM의 수식 (12)와 구조가 유사하지만, 더 적은 량의 에너지를 소모한다. 그러나 TTCM은 한 라운드에 한번 수행하지만, MBC는 매 프레임마다 CH 선택 작업을 수행하여 에너지를 사용하기 때문에 에너지 효율을 고려하여 E_{Join} 과 E_{TDMA} 의 에너지 사용량을 축소시킬 연구가 필요하다.

실험에 사용되는 에너지 소비 모델 상수로서 센서 네트워크의 크기(반지름) R은 100m, 데이터 송수신 메시지 길이(l_{msg})는 500byte, l_{gmsg} 는 1,000byte, l_{will} 은 50byte, l_{Join} 은 40byte, l_{TDMA} 는 500byte, 라운드 당 프레임 수는 20 프레임, 한 프레임 당 수행시간은 1초, 전체 네트워크의 노드 수는 420개를 적용하였다.

그림 2는 클러스터 수 변화에 따른 한 라운드 에너지 소모량(J) 그래프이다. 이 때 이동 속도는 0.3m/s, 이동 노드 수는 100개로 지정한 상태에서 실험하였다.

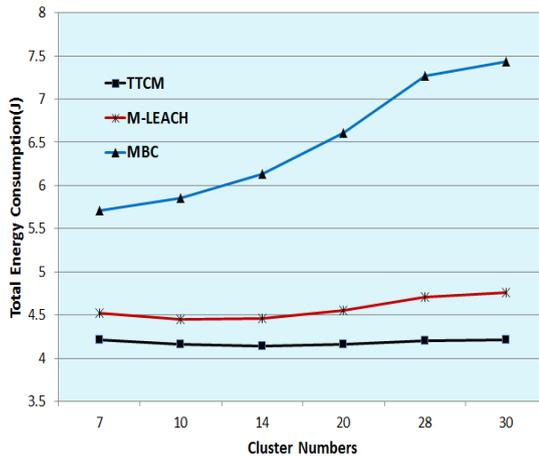


Fig. 2. Total Energy Consumption per One Round for Cluster Numbers

그림 2에서 클러스터 수가 TTCM은 14개, M-LEACH는 10개, MBC는 7개일 때가 효율이 가장 좋았다. TTCM은 M-LEACH에 비해 에너지 소모량이 7 ~ 13% 줄어들었다. 이는 클러스터 구성을 2계층으로 하여 BS로 데이터를 송신할 때 에너지 소모를 줄인 것으로 보인다. MBC는 클러스터 수가 많을수록 에너지 사용량이 급격하게 늘어나는 것을 알 수 있다. 이는 각 프레임마다 노드들이 자기에게 적합한 CH를 선정하기 위한 에너지 소모량이 많기 때문이다.

그림 3은 이동 노드 수에 따른 한 라운드 에너지 소모

량(J) 그래프이다. 이 때 클러스터 수는 TTCM은 14개, M-LEACH는 10개, MBC는 7개로 지정하여 실험하였다. 이 클러스터 수는 각 기법별로 효율이 제일 좋은 것이다.

그림 3에서 TTCM은 M-LEACH에 비해 에너지 소모량이 7 ~ 8% 줄어들었다. 이는 클러스터 구성을 2계층으로 하여 에너지 소모를 줄인 것으로 보인다.

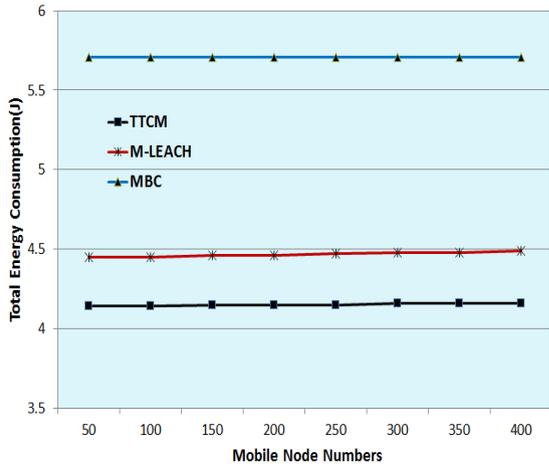


Fig. 3. Total Energy Consumption per One Round for Mobile Node Numbers

그러나 두 기법 모두 이동 노드수가 변경되어도 에너지 사용량에 큰 변화를 보이지 않는 것은 각 라운드 당 중간에 초대 단계를 두어 센서 노드의 이동성에 대비했기 때문으로 생각된다. MBC는 이동 노드 수에 따라 에너지 소모량이 거의 변화가 없는 장점이 있으나 전반적으로 에너지 소모량이 많은 것은 개선할 필요가 있다.

그림 4는 이동 속도(m/s)에 따른 한 라운드 에너지 소모량(J) 그래프이다. 이 때 이동 노드 수는 200개로 지정하였고, 클러스터 수 역시 TTCM 14개, M-LEACH는 10개, MBC는 7개로 지정하여 실험하였다.

그림 4에서 TTCM은 M-LEACH에 비해 에너지 소모량이 7 ~ 10% 줄어들었다. 이 역시 클러스터 구성을 2계층으로 하여 에너지 소모를 줄인 것으로 보인다. 그러나 두 기법 모두 이동 속도가 증가될 경우 에너지 소모량이 소폭으로 증가된다.

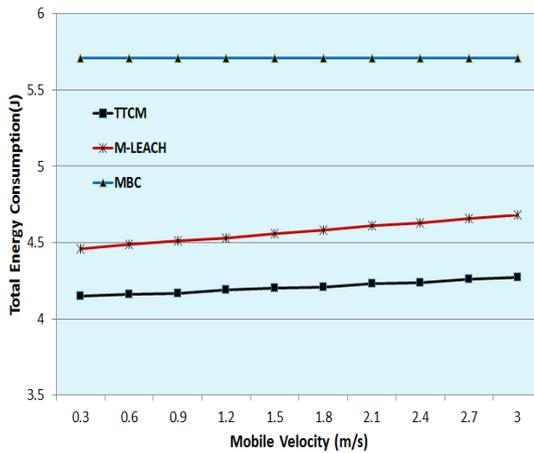


Fig. 4. Total Energy Consumption per One Round for Mobile Velocity

이동 속도가 0.3m/s ~ 3.0m/s이면 일반적인 센서 노드인 경우 충분히 감당할 수 있는 속도라고 생각된다. 초고속으로 움직이는 센서 노드인 경우, 이동 속도에 거의 영향을 받지 않는 MBC가 유리하다고 판단된다.

4. 결론

본 논문에서는 모바일 센서 네트워크에서 2계층 클러스터링을 이용한 에너지 소비 모델(TTCM)을 제안한다. 제안된 접근 방법은 네트워크 구조를 이동성과 에너지 소모량을 고려하여 2계층으로 구성하여 BS까지 데이터를 송신할 때 에너지 소모량을 줄이고, 그에 따른 에너지 소모량 모델을 제시한다.

제안된 방법에서 CH 및 CGH의 선정은 센서 노드가 클러스터의 중심부에 위치하는지 여부, 에너지 잔량이 많은 노드 및 노드 이동 가능성이 적은 노드 등의 정보를 합성하여 정한다. 특히 네트워크를 2계층으로 구성하여, 2계층의 CM2 센싱 데이터를 CH2에서 병합하고, 그 CH2와 CH1을 병합하여 CGH로 보낸다. 또한 CGH는 그 데이터를 병합하여 BS으로 보내는 방법을 사용하기 때문에 송신 에너지 소모량을 줄이게 된다.

이러한 네트워크 구조를 에너지 소모 모델을 통해서 TTCM, M-LEACH 및 MBC 기법을 클러스터 수, 이동 노드 수 및 이동 속도에 따라 에너지 소모량을 분석 및 비교하였다. 제안된 TTCM이 M-LEACH에 비해 에너지 소모량이 7 ~ 13% 줄어들었다. 이는 클러스터 구성을

2계층으로 하여 에너지 소모를 줄인 것으로 보인다. MBC는 클러스터 수가 많을수록 에너지 사용량이 급격하게 늘어나는 것을 알 수 있다. 이는 각 프레임마다 센서 노드들이 자기에게 적합한 CH를 선정하기 위해 에너지를 많이 사용하는 것으로 생각된다. 즉, 이동성에 따라 에너지 소모량이 거의 변화가 없는 장점이 있으나 전반적으로 에너지 소모량이 많은 것은 개선할 필요가 있다.

본 논문에서는 클러스터 크기가 균일하고, 각 클러스터 내 노드수가 동일하다고 가정된 상태에서 에너지 소비 모델을 제시하였다. 그러나 모바일 센서 네트워크를 응용하는 과정에서 불균일한 클러스터링이 발생할 수 있으므로 그에 대한 연구가 필요하다.

References

- [1] Jae-Hyun Son, Hee-Jung Byun, "Node scheduling algorithm for energy efficiency and delay reduction in mobile sensor networks," Journal of JICS, vol. 14, no. 4, pp. 11-118, Aug. 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.7472/jksii.2014.15.4.111>
- [2] Hyunsook Kim, Dokkyun Yi, "An Energy- Efficient Clustering Scheme using Two-Tier Zone in Mobile Wireless Sensor Networks," Journal of KITT, vol. 14, no. 2, pp. 73-79, Feb. 29, 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.14801/jkiit.2016.14.2.73>
- [3] D. S. Kim and Y. j. Chung, "Self-organization routing protocol supporting mobile nodes for wireless sensor networks", Proceedings of the 1st International Multi Symposium on Computer and Computational Sciences, pp. 622-626, June 2006. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/imsccs.2006.265>
- [4] Samer, A. B., Cheek, N. K., Mohd, F. R., et al, "Cluster based routing protocol for mobile nodes in wireless sensor network," Proc. Third Int. Conf. on Quality of Service in Heterogenous Wired/Wireless Networks, Waterloo, Ontario, Canada, pp. 233-241, Aug. 2006.
- [5] G. S. Kumar, V. Paul, G. Athithan, and K. P. Jacob. 2008. Routing Protocol Enhancement for Handling Node Mobility in Wireless Sensor Networks. In TENCON 2008-2008 IEEE Region 10 Conference. 2: 1-6.
- [6] 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: <http://dx.doi.org/10.1109/ISWCS.2008.4726120>
- [7] 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: <http://dx.doi.org/10.1049/iet-wss.2010.0084>

- [8] Wendi Rabiner Heinzelman, Anantha Chandrakasan, and Hari Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks", Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 1-10, Jan. 2000.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/HICSS.2000.926982>
- [9] 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: <http://dx.doi.org/10.1109/TWC.2002.804190>
- [10] J. Rezazadeh, M. Moradi, and A. S. Ismail, "Mobile Wireless Sensor Networks Overview," IJCCN International Journal of Computer Communications and Networks, vol. 2, no. 1, pp. 17-22, Feb. 2012.
- [11] T. Rappaport, "Wireless Communications: Principles & Practice," Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
-

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