

궤적 클러스터링 기법을 이용한 클러스터 그룹 헤드 선정

김진수^{1*}, 신승수²

¹동명대학교 항만물류학부, ²동명대학교 정보보호학과

A Cluster Group Head Selection using Trajectory Clustering Technique

Jin-Su Kim^{1*} and Seung-Soo Shin²

¹Division of Port & Logistics, Tongmyong University

²Dept. of Information Security, College of Information & Communication, Tongmyong University

요약 무선 센서 네트워크의 클러스터링 시스템에서 클러스터 헤드가 기지국으로부터 멀리 떨어져있어 다중홉으로 통신하는 경우, 센싱된 데이터는 중간 클러스터 헤드를 통해 기지국으로 전송한다. 기지국에 가까이 있는 헤드 노드가 먼 노드보다 더 많은 패킷을 중계할 필요가 있기 때문에 핫 스팟 문제가 생긴다. 이런 문제로 기지국 가까이에 있는 클러스터 헤드는 에너지가 쉽게 고갈되고 이로 인해 네트워크의 수명을 단축시킨다.

본 논문에서는 궤적 클러스터링 기법을 이용한 클러스터 그룹 헤드 선정 기법을 제안한다. 제안하는 방법에서 클러스터 헤드 및 그룹 헤드의 선정은 궤적 클러스터링 기법 및 적합도 함수를 이용함으로써 에너지 효율을 높인다. 또한 핫 스팟 문제는 여러 계층을 클러스터 그룹으로 지정하고 그에 대한 적합도 함수를 이용하여 에너지 소모의 균형을 맞추므로써 해결한다. 실험을 통해 이전의 클러스터링 기법보다 네트워크 에너지 효율성이 향상됨을 입증한다.

Abstract Multi-hop communication in clustering system is the technique that forms the cluster to aggregate the sensing data and transmit them to base station through midway cluster head. Cluster head around base station send more packet than that of far from base station. Because of this hot spot problem occurs and cluster head around base station increases energy consumption. In this paper, I propose a cluster group head selection using trajectory clustering technique(CHST). CHST select cluster head and group head using trajectory clustering technique and fitness function and it increases the energy efficiency. Hot spot problem can be solved by selection of cluster group with multi layer and balanced energy consumption using it's fitness function. I also show that proposed CHST is better than previous clustering method at the point of network energy efficiency.

Key Words : Multi-hop communication, Trajectory clustering, Fitness function, Cluster group head selection, Hot spot problem

1. 서론

무선 센서 네트워크에서 노드들은 클러스터로 구분되고 센싱 모드 또는 클러스터 헤드 모드로 작동한다. 노드가 센싱 모드로 작동하는 경우, 노드는 센싱된 데이터를 클러스터 헤드로 보낸다. 클러스터 헤드 모드로 작동하는 경우, 노드는 클러스터 멤버로부터 수신된 데이터를 병합하고 기지국으로 전송한다. 기지국은 클러스터 헤드 선정

에 대한 중요한 일을 수행한다.

센서 노드에서 기지국까지 통신하는 방법은 단일홉(single-hop)과 다중홉(multi-hop) 통신이 있다. 단일홉 통신인 경우, 센싱 데이터를 클러스터 멤버에서 기지국으로 바로 송신하거나, 클러스터 헤드에서 기지국으로 송신한다. 이때, 클러스터 헤드는 센싱된 정보를 병합함으로써 전송량을 줄이고 네트워크의 에너지 소비를 감소시킨다. 다중홉 통신인 경우, 센싱 데이터를 클러스터 멤버에서

*교신저자 : 김진수(kjs8543@tu.ac.kr)

접수일 11년 11월 14일

수정일 11년 11월 30일

게재확정일 11년 12월 13일

다른 클러스터 멤버를 거쳐 기지국으로 송신하거나, 클러스터 헤드에서 다른 클러스터 헤드를 거쳐 기지국으로 송신한다. 따라서 기지국에 더 가까운 클러스터 헤드는 더 많은 수의 패킷을 송수신하기 때문에 쉽게 배터리가 방전된다.

궤적 클러스터링이란 궤적간의 유사도를 이용하여 전체 궤적들을 그룹화 하는 것을 말한다. 객체의 궤적 정보를 효율적으로 저장 및 관리하는 기법들에 관한 많은 연구 결과들이 보고되고 있다. 이러한 연구에서는 주어진 객체의 궤적과 유사한 궤적을 검색 또는 클러스터링하고, 이를 사용자 정보 등과 연계하여 분석하고 있다[1].

Dhanaraj[2]는 네트워크의 밀도를 이용하여 핫 스팟 문제의 해결을 시도하였으나 계층별로 클러스터 헤드 개수를 달리하기 때문에 운용이 쉽지 않고 전체 네트워크의 에너지 효율은 크게 향상되지 않았다. Munaga[3]는 궤적 클러스터링 기법을 이용하여 클러스터 헤드를 선정하였다. 이 기법은 핫 스팟 문제는 어느 정도 해결하였으나 클러스터 헤드의 에너지 잔량 등을 고려하지 않아 전체 네트워크의 수명 연장에는 한계가 있다.

본 논문에서는 핫 스팟 문제를 완화시키고, 에너지 효율성을 향상시키기 위해서 궤적 클러스터링 기법을 이용한 클러스터 그룹 헤드 선정 기법(CHST: Clustering group Head Selection method using Trajectory clustering techniques)을 제안한다. 에너지 효율을 향상시키기 위해서 클러스터 헤드 및 그룹 헤드는 궤적 클러스터링 기법과 적합도 함수를 이용하여 선정한다. 또한 핫 스팟 문제는 여러 계층을 클러스터 그룹으로 지정하고, 적합도 함수를 이용하여 에너지 소모의 균형을 맞추므로써 해결한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 알아보고, 3장에서는 본 논문에서 제안한 CHST 클러스터링 기법을 설명한다. 4장에서는 제안한 기법과 기존 기법에 대해서 비교 분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

센서 네트워크에서 라우팅 및 클러스터링 프로토콜을 이용하여 에너지 소비를 줄이고 네트워크 수명을 연장시키는 많은 연구들이 이루어지고 있다. 다중홉 통신에서 라우터들은 기지국까지 패킷을 전송하기 위해서 인접한 라우터 사이에서 경로 정보를 주고받는데, 이때의 경로 정보를 작성하고 제어하는 프로토콜을 라우팅 프로토콜이라 한다[4-5]. 라우팅 프로토콜은 각 노드에서 기지국까지 데이터를 전송할 때 에너지의 효율을 고려하여 다

중홉 경로를 결정한다. 클러스터링 기법은 클러스터를 형성하여 데이터를 통합한 후 한 번에 전송해서 에너지를 효율적으로 관리하는 기법이다. 클러스터링 관련 연구는 클러스터링을 효율적으로 하기 위한 프로토콜과 클러스터의 헤드 선정이 있고, 본 연구는 후자에 중점을 두고 있다.

LEACH[6] 프로토콜은 노드간의 에너지 소모를 균등하게 하기 위해 확률에 기반을 두어서 클러스터 헤드를 선정한다. 클러스터 내부 통신, 즉, 클러스터 헤드와 멤버 사이의 통신은 TDMA 방식을 사용하고, 기지국과 클러스터 헤드 사이의 통신은 CDMA 방식을 사용한다.

Dhanaraj[2]에서 제안한 최적의 클러스터 배치 알고리즘은 클러스터 헤드에 대한 수명의 균형을 맞추므로써 네트워크의 수명을 최대화한다. 이 알고리즘에서는 이러한 목표를 달성하기 위해 클러스터 헤드에 대한 최적 밀도와 무선 전송 범위를 제공한다.

Munaga[3]에서 제안한 궤적 클러스터링 기법은 트래픽에 근거하여 클러스터 헤드를 선정하고 주기적으로 순환한다. 이와 같은 효율적인 클러스터 헤드 선정 방법으로 핫 스팟 문제를 완화하고 네트워크 수명을 연장한다.

본 논문에서는 Rappaport[7]의 에너지 소모 모델을 기본으로 에너지 소모량 수식을 전개하고, 궤적 클러스터링 기법을 사용하여 클러스터 그룹 헤드를 선정한다. Rappaport 모델의 주요 파라미터는 전체 송신 에너지, 송신 전력, 송신 증폭 에너지, 송수신 거리, 송신 증폭 임계값, 전체 수신 에너지, 데이터 수신 에너지 등이 있다.

궤적 클러스터링은 궤적간의 유사도를 이용하여 전체 궤적들을 그룹화 하는 것이다. 이 궤적 클러스터링을 이용함으로써 클러스터에 속한 여러 궤적 중에서 트래픽이 제일 작은 궤적을 선정할 수 있고, 이를 이용하여 다중홉으로 데이터를 송신할 때 에너지 효율을 증진시킬 수 있다. 궤적간의 상이성 척도로는 하우스도르프 거리(Hausdorff distance)를 이용한다.

하우스도르프 거리는 다른 집합에 있는 가장 가까운 점(point)에 대한 집합의 가장 거리가 먼 거리이다[8-9]. 집합 A에서 집합 B까지의 하우스도르프 거리에 대한 수식은 다음과 같다.

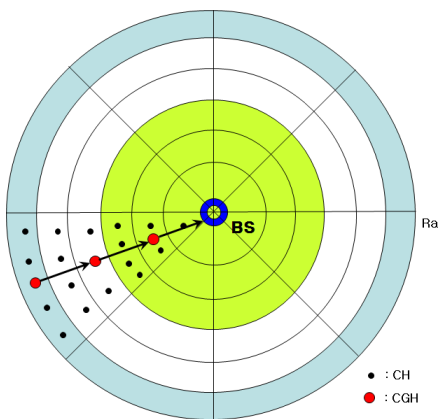
$$H(A, B) = \max_{a \in A} \{ \min_{b \in B} \{ d(a, b) \} \} \quad (1)$$

위 식에서 $d(a, b)$ 는 유클리드 거리(Euclidean distance)이고, a 와 b 는 점집합(point set) A와 B에 속한다. 하우스도르프 거리는 수학에서 하우스도르프 메트릭(metric) 또는 Pompeiu-Hausdorff 거리 등으로 불린다. 이 거리를 이

용하여 계량하고자 하는 공간의 두 부분집합 사이의 거리가 얼마나 멀리 떨어져 있는지를 측정한다[10].

3. CHST 클러스터링 기법

본 논문에서는 핫 스팟 문제를 완화시키고 에너지 효율성을 높이기 위해서 그림 1과 같이 중간에 기지국(BS: Base Station)이 있고 네트워크의 반경이 R_a 인 여러 계층으로 구성된 클러스터링 기법을 제안한다. 제안된 기법은 기존 기법과는 달리 BS에서 계층별로 먼저 k 개의 클러스터를 지정한 다음, 그 클러스터 안에서 클러스터 헤드 적합도(FIT_{CH})가 제일 높은 노드를 클러스터 헤드(CH: Cluster Head)로 지정한다. 즉, CH를 선정한 후 클러스터를 형성하는 방식과는 달리 클러스터 및 클러스터 그룹 지역을 지정한 뒤 클러스터 헤드 및 클러스터 그룹 헤드(CGH: Cluster Group Head)를 선정한다. 그림 1과 같이 네트워크의 섹터별로 여러 계층에 속한 클러스터를 하나의 클러스터 그룹으로 지정하고, 궤적 클러스터링 기법을 이용하여 여러 계층에 있는 CH 중에서 CGH를 선정한다. 제안한 기법의 목적은 에너지 소비를 최소화할 수 있는 최적의 CH 및 CGH 선정을 기지국이 통제함으로써 효율적인 클러스터와 클러스터 그룹을 구성할 수 있도록 한다. 그리고 CH로 선정된 노드들의 수명 균형을 맞추기 위해서 전체 에너지가 각 CH에 골고루 활용될 수 있도록 한다. 이 때 기지국은 각 라운드의 시작 단계인 셋업 단계에서 각 노드에 대한 위치 정보와 에너지 잔량에 대한 정보를 전송받는다.



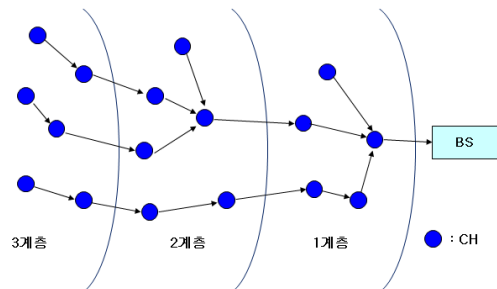
[그림 1] 여러 계층으로 구성된 클러스터링 기법
[Fig. 1] Clustering Method with Multi Layers

궤적 클러스터링 기법은 여러 계층에 걸친 클러스터 헤드의 트래픽을 분석하여 그 중 제일 적합한 CH를 CGH로 선정하기 위한 방법이다. 궤적은 네트워크의 각 계층에 있는 CH와 BS 사이의 거리와 통신 트래픽을 합쳐서 제일 작은 CH들의 순서이다. BS는 매 라운드마다 새로운 궤적을 지정함으로써 통신 트래픽이 제일 적은 경로를 결정할 수 있다. 그 경로에 있는 CH 중에서 클러스터 그룹 헤드 적합도를 이용하여 CGH를 지정함으로써 특정 CH에 편중된 에너지를 줄이고 핫스팟 문제를 어느 정도 해결할 수 있다[11].

3.1 궤적 클러스터링 기법

BS에서는 궤적 클러스터링 기법을 사용하여 궤적(즉, CGH에서 BS로 데이터를 전송하는 다중 경로)을 클러스터링 함으로써 대표 궤적(representative trajectory)을 계산한다. 이 때 궤적의 차이점을 계산하는 상이성 척도(dissimilarity measure)로 하우스도르프 거리[8]를 사용한다.

궤적 T_{CH} 는 $(T_{id-CH_n}, T_{id-CH_{n-1}}, \dots, T_{id-CH_2}, T_{id-CH_1})$ 로 표현한다. 이 때 T_{id} 는 궤적 번호이고, CH_0, CH_1 등은 CH의 공간적인 위치를 반영하는 순서이다.



[그림 2] 3계층 네트워크에서의 궤적 예
[Fig. 2] Trajectory Example for Network with Three Layers

그림 2와 같은 궤적은 각 계층의 CH와 BS사이의 거리와 통신 트래픽을 합쳐서 제일 작은 CH들의 순서로서 BS는 매 라운드마다 새로운 궤적을 지정한다. 두 궤적의 공간적인 상이성 함수는 두 궤적 사이의 하우스도르프 거리에 에너지 잔량 가중치(W)를 곱한 값의 합이다. 에너지 잔량 가중치를 곱하는 이유는 CH의 에너지 잔량이 작은 경우는 통신 트래픽이 과중한 경우이므로 그에 대한 보정을 한 것이다. 상이성 함수 값(T_{Hw})이 제일 작은 궤적을 대표 궤적으로 지정한다. 대표 궤적에 속한 CH 중에서 클러스터 그룹 헤드 적합도를 계산하여 적합도가 제일 큰 CH를 CGH로 지정한다.

수식 (1)의 $H(A, B)$ 는 기존의 하우스도르프 거리이고,

$H_w(A, B)$ 는 두 궤적 사이의 하우스도르프 거리에 에너지 잔량 가중치를 곱한 값이다.

$$H_w(A, B) = \max_{i \in A} \{ \min_{j \in B} \{ d(i, j) * W_i \} \} \quad (2)$$

W_i 는 노드 i 에 대한 에너지 잔량 가중치로써 다음 수식과 같다.

$$W_t = \frac{E_{Base}}{E_{CHres(i)}} \quad (3)$$

E_{Base} 는 노드의 초기 설정된 에너지량이고, $E_{CHres(i)}$ 는 CH_i 의 에너지 잔량이다.

두 궤적의 공간적인 상이성 함수는 다음 수식과 같다.

$$T_{Hw(i)} = \sum_{j=1}^{tn-1} H_w(T_{CH(i)}, T_{CH(j)}) \quad (4)$$

여기에서, tn 은 클러스터 그룹 내에 소속된 궤적 수이다.

수식 (4)와 같은 상이성 함수 값이 제일 작은 궤적 ($T_{CH(i)}$)을 대표 궤적으로 지정한다. 다음 절에서 설명하는 클러스터 그룹 헤드 적합도는 이러한 대표 궤적에 속한 CH 중에서 CGH를 선정할 때 이용한다. 또한 클러스터 헤드 적합도는 클러스터 내에서 CH를 선정할 때 이용한다.

3.2 클러스터 헤드 및 그룹 헤드 적합도

CH 및 CGH의 적합도는 CH 또는 CGH를 지정할 때 노드의 에너지 잔량이 많고 사용 예정 에너지가 적은 노드를 선정함으로써 네트워크의 수명을 연장하기 위한 함수이다. 사용 예정 에너지는 해당 노드가 CH 또는 CGH로 선정되었다고 가정할 때 한 프레임 당 사용할 에너지이다.

클러스터 헤드 적합도(FIT_{CH})는 계층별 클러스터 헤드를 선정할 때 이용한다. 클러스터 내에서 FIT_{CH} 가 제일 높은 노드를 CH로 선정한다. FIT_{CH} 계산 방식은 다음 수식과 같다.

$$FIT_{CH(i)} = (E_{Nres(i)} - E_{ECH(i)}) * W_{fit} \quad (5)$$

수식 (5)에서 $E_{ECH(i)}$ 는 노드 i 를 ECH(Estimated CH)로 가정했을 때 각 클러스터의 클러스터 멤버(CM: Cluster Member)에서 ECH로 데이터 송수신과 데이터를 병합할 때 소모되는 예상 에너지 및 병합된 데이터를 ECH에서 CGH로 송신할 때 소모되는 예상 에너지 비용 합계이다. 이때 W_{fit} 는 가중치(weight)로서 현재 사용 중인 CH는 기본 에너지량, 네트워크의 기본 토폴로지 및 기지국의 위

치 등의 네트워크 특성에 따라 1보다 크게 지정하고, 그 외의 노드들은 1로 지정한다. 이는 새로운 CH 대상 노드의 조건이 사용 중인 CH의 조건과 큰 차이가 없으면 CH의 상태를 그대로 유지함으로써 클러스터 헤드 재선정에 따른 시스템 부하를 줄이기 위함이다. 단, CM에서 ECH까지는 근거리 통신, ECH에서 CGH까지 그리고 CGH에서 BS까지는 장거리 통신으로 간주한다.

$E_{ECH(i)}$ 에 대한 수식은 다음과 같다.

$$E_{ECH(i)} = \sum_{j=1}^{Nc} (l * (E_{elec} + E_{Gfs} * d_{jtoECH}^2)) + (l * Nc * (E_{elec} + E_{DA})) + (l * E_{Gmp} * d_{ECHtoCGH}^4) \quad (6)$$

수식 (5)와 (6)에서 사용되는 변수 및 상수는 다음과 같다.

- $E_{Nres(i)}$: 노드 i 의 에너지 잔량
- l : 각 데이터 메시지의 비트 수
- Nc : 클러스터에 소속된 노드 수
- d_{jtoECH} : 노드 j 로부터 ECH까지의 거리
- $d_{ECHtoCGH}$: ECH로부터 CGH까지의 거리
- E_{elec} : 무선 전자 에너지(50 nJ/bit)
- E_{Gfs} : 근거리 송신할 때의 무선 증폭 에너지 (10pJ/bit/m²)
- E_{Gmp} : 장거리 송신할 때의 무선 증폭 에너지 (0.0013 pJ/bit/m⁴)
- E_{DA} : 데이터 병합을 위한 에너지 (5 nJ/bit/signal)

클러스터 그룹 헤드 적합도(FIT_{CGH})는 여러 계층에 속한 클러스터를 하나의 클러스터 그룹으로 지정할 후 CGH를 선정할 때 이용한다. 클러스터 그룹 내에서 궤적 클러스터링 기법을 이용하여 대표 궤적을 선정하고, 선정된 궤적안의 CH 중에서 FIT_{CGH} 가 제일 높은 CH를 CGH로 지정한다.

FIT_{CGH} 계산 방식은 다음 수식과 같다.

$$FIT_{CGH(i)} = E_{CHres(i)} - E_{ECGH(i)} \quad (7)$$

수식 (7)에서 $E_{ECGH(i)}$ 는 노드 i 를 ECGH(Estimated CGH)로 가정했을 때 각 클러스터 그룹 안에 있는 CH로부터 ECGH까지의 데이터 송수신과 데이터를 병합할 때 소모되는 예상 에너지 및 병합된 데이터를 ECGH에서 다음 계층의 CGH 또는 BS로 송신할 때 소모되는 예상 에너지 비용 합계이다.

$E_{ECGH(i)}$ 에 대한 수식은 다음과 같다. 이 때, 각 CGH의

데이터는 이전의 CGH에서 송신된 데이터와 병합하지 않고 별도로 BS에 송신한다.

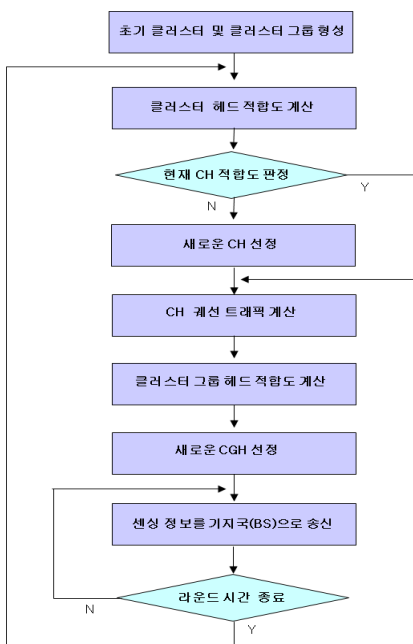
$$E_{ECGH(i)} = \sum_{j=1}^{Nch} (l * (E_{elec} + E_{Cmp} * d_{CH_j \rightarrow ECGH}^4)) + (l * Nch * (E_{elec} + E_{DA})) + (l * E_{Cmp} * d_{ECGH \rightarrow BS}^4 * (gn_{ps} - Gi_{ps} + 1)) \quad (8)$$

수식 (7)과 (8)에서 사용되는 변수 및 상수는 다음과 같다.

- gn_{ps} : 섹터별 그룹수
- Gi_{ps} : 섹터별 CGH 번호로서 BS에 가까운 CGH부터 1, 2, 3, ..., n 번호를 부여한다.
- $E_{CHres(i)}$: CH_i 의 에너지 잔량
- Nch : 클러스터 그룹에 소속된 CH 수
- $d_{CH_j \rightarrow ECGH}$: CH_j 로부터 ECGH까지의 거리
- $d_{ECGH \rightarrow BS}$: ECGH로부터 다음 계층의 CGH 또는 BS까지의 거리

3.3 클러스터 헤드 및 그룹 헤드 선정 알고리즘

궤적 클러스터링 기법을 이용한 클러스터 헤드 및 그룹 헤드 선정 알고리즘은 그림 3과 같다.



[그림 3] 궤적 클러스터링 기법을 이용한 CH 및 CGH 선정 알고리즘

[Fig. 3] CH and CGH Selection Algorithm using Trajectory Clustering Method

1) 초기 클러스터 및 클러스터 그룹 형성

계층별로 네트워크의 크기 및 특성에 따라 BS에서 계층별로 먼저 k개의 클러스터를 지정한 다음 클러스터 그룹으로 묶을 계층을 지정한다. 이 때 클러스터 그룹은 BS에 가까울수록 더 많은 수의 계층을 그룹으로 묶는다.

2) 클러스터 헤드 적합도 계산

각 클러스터 내에서 클러스터 헤드 적합도(FIT_{CH})가 제일 높은 노드를 CH로 지정한다. 이 때 현재 클러스터 헤드의 적합도가 제일 높으면 새로운 CH를 지정하지 않고 현 상태를 유지한다.

3) 클러스터 그룹 헤드 선정

BS는 CH가 BS까지 데이터를 송신하기 위한 다중 경로의 트래픽 량을 계산하고, 그에 따른 궤적을 설정한다. BS에서는 궤적 클러스터링 기법을 사용하여 궤적 클러스터링에 의해 생성되는 대표 궤적을 계산한다. 선정된 대표 궤적의 CH 중에서 클러스터 그룹 헤드 적합도(FIT_{CGH})가 제일 높은 CH를 CGH로 선정한다. BS는 네트워크에 CGH와 CH에 대한 메시지를 브로드캐스트 한다. 이러한 절차로 FIT_{CGH}와 대표 궤적에 기초해서 CGH를 주기적으로 선정한다.

4. 실험을 통한 비교 및 분석

제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 LEACH[6], Munaga[3] 클러스터링 기법과 에너지 소모량에 대한 효율을 비교 분석한다. 실험에 사용되는 실험 환경 파라미터는 수식 (5)와 (6)에서 사용하는 상수와 같고, 메시지 길이(l)는 4,000 비트이다. 실험은 LEACH[6], Munaga[3] 및 본 논문에서 제안한 CHST를 수식 (9), (13) 등을 이용하여 두 가지 방법으로 비교한다. 하나는 네트워크의 크기 및 노드 수에 따른 전체 네트워크의 프레임 당 에너지 소모량을 비교한다. 다른 하나는 네트워크의 프레임 당 노드의 평균 에너지를 비교함으로써 CH 및 CGH 지정에 따라 네트워크 전체가 에너지를 균형있게 사용하는지를 알아본다. 또한 BS에 가까운 1계층의 노드 평균 에너지를 비교함으로써 핫 스팟 문제가 어느 정도 완화되는지 실험 데이터를 통해서 분석한다.

이러한 분석을 하기 위해 본 논문에서 제안한 CHST 기법에 대한 에너지 소모 비용 수식에 대해 알아본다.

4.1 에너지 소모 비용 수식

실험을 위해 네트워크에서 한 프레임 당 사용되는 총 에너지(E_{total})는 다음 수식과 같고, 이를 이용하여 제안된 기법에 대한 성능을 분석한다.

$$E_{total} = \sum_{Gi=1}^{gn} \left[\sum_{i=1}^{Nch(Gi)} \{ (Nc(Gi, i) \times E_{CM(Gi, i)} + E_{CH(Gi, i)}) \} + E_{CGH(Gi)} \right] \quad (9)$$

$$E_{CM(Gi, i)} = l (E_{elec} + E_{efs} \times d_{toCH(Gi, i)}^2) \quad (10)$$

$$E_{CH(Gi, i)} = l (Nc(Gi, i) \times (E_{elec} + E_{DA})) + l (E_{elec} + E_{emp} \times d_{CHtoCGH(Gi, i)}^4) \quad (11)$$

$$E_{CGH(Gi)} = l (Nch(Gi) \times (E_{elec} + E_{DA})) + l (E_{elec} + E_{emp} \times d_{CGHtoBS(Gi)}^4) \times (gn_{ps} - Gi_{ps} + 1) \quad (12)$$

수식 (9)부터 (12)까지 사용되는 변수 및 상수는 다음과 같다.

- gn : 네트워크 전체 그룹수
- $Nch(Gi)$: 클러스터 그룹 Gi 에 소속된 CH 수
- $E_{CM(Gi, i)}$: 클러스터 그룹 Gi 의 클러스터 i 에 소속된 CM에서 CH_i 로 데이터를 송신하는 에너지 소모량
- $E_{CH(Gi, i)}$: 클러스터 그룹 Gi 의 클러스터 i 에 소속된 CH_i 의 데이터 수신 및 병합 에너지와 CH_i 에서 CGH_{Gi} 까지 데이터를 송신하는 에너지 소모량의 합
- $E_{CGH(Gi)}$: 클러스터 그룹 Gi 에 소속된 CGH_{Gi} 의 데이터 수신 및 병합 에너지와 CGH_{Gi} 에서 다른 그룹의 CGH (또는 BS)까지 데이터를 송신하는 에너지 소모량의 합
- $d_{toCH(Gi, i)}$: 클러스터 그룹 Gi 의 클러스터 i 에 소속된 CM에서 CH_i 까지의 거리
- $d_{CHtoCGH(Gi, i)}$: 클러스터 그룹 Gi 의 클러스터 i 에 소속된 CH_i 에서 CGH_{Gi} 까지의 거리

네트워크에서 BS 에 제일 가까운 1계층의 한 프레임 당 사용되는 총 에너지($E_{total-layer1}$)는 다음 수식과 같고, 이를 이용하여 1계층에서 사용하는 에너지와 전체 네트워크에서 사용하는 에너지를 비교하여 핫 스팟의 완화 여부를 분석한다.

$$E_{total-layer1} = \sum_{i=1}^{Nch-layer1} \{ (Nc(1, i) \times E_{CM(1, i)} + E_{CH(1, i)}) \} + (E_{CGH(1)} / Nch(1) \times Nch-layer1) \quad (13)$$

이때, 클러스터 그룹1이 세 개의 계층으로 이루어졌다

고 하면, $Nch-layer1$ 은 그룹1에서 1계층의 CH 수, $Nc(1, i)$ 은 그룹1에서 1계층의 i 번째 클러스터의 노드수이다.

네트워크에서 CM의 밀도가 클러스터 면적 전체에서 균등하다고 가정하면, 각 계층의 CM에서 CH까지의 예상 거리의 곱은 수식 (14) 및 (15)와 같다[12]. 이 때, k_1 은 1 계층, k_i 는 i 번째 계층의 클러스터 수이고, R_1 은 1 계층, R_i 는 i 번째 계층의 네트워크 반경이다.

$$\text{Exp}[d_{toCH(1)}^2] = R_1^2 / 2k_1 \quad (14)$$

$$\text{Exp}[d_{toCH(i)}^2] = (R_i^2 - R_{i-1}^2) / 2k_i \quad (i \geq 2) \quad (15)$$

또한 각 클러스터 그룹의 CH에서 CGH 까지의 예상 거리의 곱은 수식 (16) 및 (17)과 같다[12]. 이 때, k_{G1} 은 첫 번째 클러스터 그룹, k_{Gi} 는 i 번째 클러스터 그룹의 클러스터 수이고, R_{G1} 은 첫 번째 클러스터 그룹, R_{Gi} 는 i 번째 클러스터 그룹의 네트워크 반경이다.

$$\text{Exp}[d_{CHtoCGH(G1)}] = R_{G1}^2 / 2k_{G1} \quad (16)$$

$$\text{Exp}[d_{CHtoCGH(Gi)}] = (R_{Gi}^2 - R_{Gi-1}^2) / 2k_{Gi} \quad (Gi \geq 2) \quad (17)$$

클러스터 전체의 에너지 소비를 줄이기 위해서 CGH 의 위치는 가능한 중앙에 위치해야 한다. 이러한 경우에 CGH_{G1} 및 CGH_{Gi} 에서부터 BS 까지의 거리는 다음 수식과 같다[13].

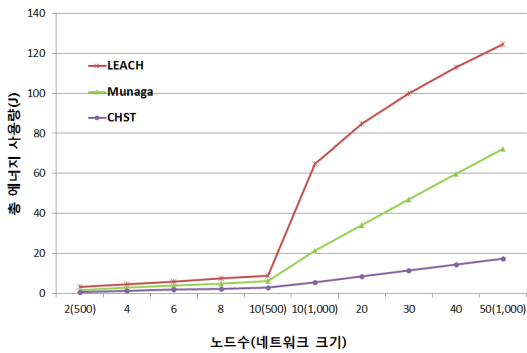
$$d_{CGHtoBS(G1)} = \frac{2}{3} R_{G1} \frac{\sin(\beta_{G1})}{\beta_{G1}} \quad (18)$$

$$d_{CGHtoBS(Gi)} = \frac{2}{3} \frac{(R_{Gi}^3 - R_{Gi-1}^3) \sin(\beta_{Gi})}{(R_{Gi}^2 - R_{Gi-1}^2) \beta_{Gi}} \quad (19)$$

단, β_{Gi} 는 그룹 Gi 가 소속된 섹터의 라디안 각도이다.

4.2 실험 결과

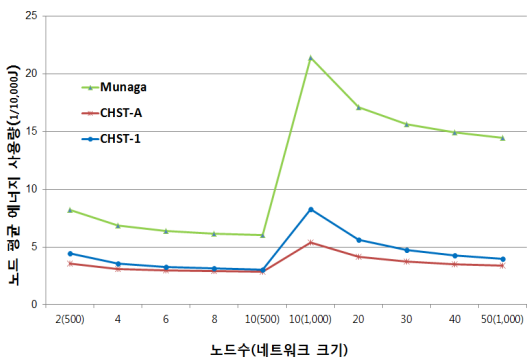
그림 4는 한 프레임 당 사용되는 총 에너지 소모량을 LEACH, Munaga 및 CHST 기법에서 비교 분석한 것이다. 즉, 네트워크 크기(R_a)가 500m일 때 노드수가 2,000 ~ 10,000인 경우와 네트워크 크기가 1,000m일 때 노드수가 10,000 ~ 50,000인 경우의 총 에너지 사용량에 대한 그래프이다. 이 때, 세로축은 노드수(네트워크 크기)로서 노드수는 단위가 1,000개이고, 네트워크 크기는 단위가 m이다. 참고로 네트워크의 크기 즉, 반지름(R_a)이 500m인 경우 LEACH에서는 네트워크의 크기($m * m$)가 1,000m인 경우와 유사하다.



[그림 4] 한 프레임 당 사용되는 총 에너지 소모량
[Fig. 4] Total Energy Consumption per Frame

그림 4에서 LEACH는 네트워크 크기와 노드수가 커질수록 에너지 소모량이 급격하게 증가한다. 이는 CH에서 BS까지 데이터를 송신할 때 단일홉으로 전송하고, CH 선정 방식이 에너지를 비효율적으로 사용하기 때문이다. Munaga가 LEACH에 비해 에너지 소모량이 줄어든 것은 CH에서 다중홉으로 BS까지 데이터를 송신하고, CH 선정 방식이 좀 더 개선되었기 때문이다. 제안된 CHST 기법은 궤적 클러스터링 기법과 클러스터 헤드 및 그룹 헤드 적합도를 이용하여 CH와 CGH를 선정하고, 데이터를 BS에 송신할 때 다중홉을 이용한다. 또한 CH의 데이터를 CGH로 병합하여 송신함으로써 에너지 효율을 높인다. 그래서 CHST 기법은 Munaga에 비해 에너지 소모량을 많이 줄이고 또한 네트워크 크기가 커지고 노드수가 많아질수록 에너지 소모량이 서서히 증가를 하므로 네트워크 수명을 늘리는 장점이 있다.

Munaga 및 CHST 기법에서 한 프레임 당 사용되는 노드의 평균 에너지 소모량은 그림 5와 같다. 범례에서 Munaga와 CHST-A는 전체 네트워크에서의 노드 평균 에너지 소모량이고, CHST-1은 1계층 노드의 평균 에너지 소모량이다.



[그림 5] 한 프레임 당 사용되는 노드의 평균 에너지 소모량
[Fig. 5] Average Energy Consumption for Node per Frame

5. 결론

그림 5에서 CHST 기법은 전체 노드의 평균 에너지 소모량에 비해 1계층 노드의 평균 에너지 소모량은 크게 증가되지 않는다. 또한 CHST 기법의 1계층에 대한 노드의 평균 에너지 소모량은 Munaga의 전체 노드에 대한 평균 에너지 소모량에 비해 50% ~ 75% 정도 감소된다. 이와 같이 CHST 기법은 전체 네트워크에서 노드의 에너지 소모량의 균형을 맞추고, 이전 기법에 비해 노드별 에너지 소모량을 줄이므로 핫 스팟 문제를 완화시킨다.

본 논문에서는 궤적 클러스터링 기법을 이용한 클러스터 헤드 선정 기법(CHST)을 제안한다. CHST는 Munaga[3]의 클러스터링을 개선한 기법이다. 클러스터 헤드 및 그룹 헤드의 선정은 궤적 클러스터링 및 적합도 함수를 이용함으로써 에너지 효율을 높인다. 그리고 핫 스팟 문제는 Dhanaraj[2]와 같이 네트워크의 밀도를 이용하여 처리하는 대신 본 논문에서는 여러 계층을 클러스터 그룹으로 지정하고 또한 적합도 함수를 이용하여 에너지 소모의 균형을 맞추므로써 해결한다. 제안된 방식은 기존 방식과는 달리 BS에서 계층별로 먼저 k개의 클러스터를 지정한 다음 그 클러스터 안에서 클러스터 헤드 적합도가 제일 높은 노드를 CH로 지정한다. 즉, CH를 선정하고 난 뒤 클러스터를 선정하는 방식과는 달리 클러스터와 클러스터 그룹 지역을 지정한 뒤 그에 대한 CH 및 CGH를 선정한다. CHST 기법은 궤적 클러스터링 기법을 이용하여 클러스터 그룹 헤드를 효율적으로 선정함으로써 전체 에너지 소모량을 줄인다. 이 기법은 다중홉 통신이지만 클러스터 그룹을 효율적으로 구축하여 전체 네트워크에서 노드의 에너지 소모량의 균형을 맞추고, 이전 기법에 비해 노드별 에너지 소모량을 많이 줄이므로 핫 스팟 문제가 완화된다.

향후에는 본 논문과 같이 클러스터의 노드 수가 일정한 클러스터링 시스템이 아니라 네트워크의 계층별 클러스터별 노드 수를 변화시키는 다계층 불균형 클러스터링을 이용하여 핫 스팟 문제를 효율적으로 완화시키는 연구가 필요하다.

References

[1] Ji-Haeng Baek, Jung-Im Won, Sang-Wook Kim, "Performance Evaluation of Trajectory Clustering in Road Network Environment," Proceedings of KSIS

- Spring Conference 2008, pp. 97-100, 2008. 6.
- [2] M. Dhanaraj and C. Siva Ram Murthy, "On Achieving Maximum Network Lifetime Through Optimal Placement of Cluster-heads in Wireless Sensor Networks," IEEE Communications Society, ICC 2007 proceedings.
- [3] Hazarath Munaga, J. V. R. Murthy, and N. B. Venkateswarlu, "A Novel Trajectory Clustering technique for selecting cluster heads in Wireless sensor Networks," International Journal of Recent Trends in Engineering, Vol. 1, No. 1, May 2009.
- [4] R. Shah and J. Rabaey, "Energy aware routing for low energy adhoc sensor networks," in WCNC 2002: Wireless Communications and Networking Conference, vol. 1. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, pp. 350 - 355, March 2002.
- [5] J. H. Chang and L. Tassiulas, "Maximum lifetime routing in wireless sensor networks," IEEE/ACM Trans. Netw., Vol. 12, No. 4, pp. 609 - 619, Aug. 2004.
- [6] W. B. Heinzelman, "Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 1, No. 4, pp. 660-670, Oct, 2002.
- [7] T. Rappaport, "Wireless Communications: Principles & Practice," Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [8] D. P. Huttenlocher and K. Kedem, "Computing the minimum hausdorff distance for point sets under translation," in SCG '90: sixth annual symposium on Comp. geo. New York, USA: ACM, pp. 340 - 349, 1990.
- [9] Normand Gregoire, Mikael Bouillot, "Hausdorff distance between convex polygons," <http://www-cgri.cs.mcgill.ca/~godfried/teaching/cg-projects/98/normand>
- [10] R. Tyrrell Rockafellar, Roger J-B Wets, "Variational Analysis," Springer-Verlag, 2005, p. 117.
- [11] Jin-Su Kim, "An Efficient Energy Consumption Method using Trajectory Clustering in Wireless Sensor Networks," KCS 2011 Conference, 2011.
- [12] Jin-Su Kim, Seung-Soo Shin, "An Energy Consumption Model using Hierarchical Unequal Clustering Method," Journal of KAIS, Vol. 12, No. 6, 2011.
- [13] S. Soro and W. Heinzelman, "Prolonging the Lifetime of Wireless Sensor Networks via Unequal Clustering," Proceedings of the 5th International Workshop on Algorithms for Wireless, Mobile, Ad Hoc and Sensor Networks (IEEE WMAN '05), April 2005.

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 항만물류학부 교수

<관심분야>

데이터베이스, 센서 네트워크, 소프트웨어 공학

신승수 (Seung-Soo Shin)

[정회원]



- 2001년 2월 : 충북대학교 수학과 (이학박사)
- 2004년 8월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 정보보호학과 교수

<관심분야>

암호프로토콜, 네트워크 보안, USN, 스마트 카드