

센서 네트워크에서 클러스터 응집도를 이용한 에너지 절약 방안

김진수^{1*}

An Energy Saving Method using Cluster Cohesion in Sensor Networks

Jin-Su Kim^{1*}

요 약 본 논문에서는 에너지 소비를 줄여 네트워크의 수명을 길게 하는 연구에 주안점을 두고 있고, 센서 네트워크의 수명을 길게 하기 위해 각 센서 및 클러스터 헤드에서의 데이터 전송량을 줄이기 위한 방법을 제안한다. 센서의 에너지 소모를 줄이는 가장 중요한 요소는 전송되는 메시지 수를 줄이는 것이다. 본 연구에서는 그러한 목적을 달성하기 위해 클러스터 응집도를 제안한다. 그 방법은 네트워크 토폴로지 측면에서 클러스터 응집도를 이용하여 클러스터 수를 적응적으로 조정하여 메시지 전송량을 줄이는 것이다. 이 기법은 네트워크 소모량을 크게 줄이고 네트워크의 수명을 연장시키는데 있어서 더 효율적이고 또한 효과적인 방법이다.

Abstract The main issue of this study is to find ways to lengthen the lifetime of network mainly by reducing energy consumption. This paper proposes how to reduce the amount of data transmitted in each sensor and cluster head in order to lengthen the lifetime of sensor network. The most important factor of reducing the sensor's energy dissipation is to reduce the amount of messages transmitted. This study proposes cluster cohesion for the purposes. The method is to use the cluster cohesion and manage the number of clusters adaptively and reduce the amount of message transmitted in network topology. This method should be much more efficient and effective as it reduces the network traffic significantly and increases the network's lifetime.

Key Words : 센서 네트워크(Sensor Networks), 클러스터 응집도(Cluster Cohesion), 네트워크의 수명(Lifetime of Network), 클러스터의 수(Number of Clusters)

1. 서론

센서 네트워크에서는 센서 필드에 많은 수의 노드가 밀집되어 분포하고 있으므로, 각 센서 노드는 전력 및 계산능력, 저장용량 등의 제약이 크다[1]. 또한, 한번 배치된 센서 노드는 배터리 교체가 거의 불가능하므로 센서 네트워크에서는 에너지 효율이 가장 중요한 요소 중 하나가 된다. 센서 노드의 제한된 전력(power)으로 인해, 센서 네트워크에서의 통신은 에너지 소비를 최소로 하여 네트워크의 수명을 길게 하는 것이 가장 큰 목표 중 하나이다. 이 논문은 클러스터링 기법을 이용하여 에너지 소비를 줄여 네트워크의 수명을 길게 하는 연구에 주안점을 두고 있다.

에너지 소비를 줄여 네트워크의 수명을 길게 하는 연

구들은 크게 세 가지 형태로 구분될 수 있다[2]. 첫째, 에너지 인지 프로토콜(energy-aware protocol)을 사용하는 방법이다. 에너지에 기초한 적절한 경로(routes)를 선택하는 에너지 인지 라우팅 프로토콜[3]이 있다. 둘째, 필터링을 사용해서 데이터 전송 횟수를 줄이는 방법이다[4]. 센서 데이터는 그 값에 정확도가 부족해도 큰 문제가 되지 않는 경우가 많다. 질의 결과에 대한 어느 정도의 오차를 인정할 수 있는 애플리케이션에 적용하는 것이 그러한 경우이다[5]. 셋째, 클러스터링 기법을 이용하는 방법이다. 클러스터 헤드의 선정[6]을 통해 클러스터의 구성을 효율적으로 하거나 클러스터의 유지와 클러스터를 기반으로 하는 라우팅 기법들이다. 클러스터의 수를 적응적으로 조정하여 그 환경에 맞는 토폴로지를 구성하거나 클러스터링 및 각 센서의 잔존 에너지를 이용하여 에너지가 적은 센서의 작동을 줄임으로써 노드의 에너지를 효율적으로 관리하는 방법[7]이 있다.

¹동명대학교 향만물류학부

*교신저자: 김진수(kjs8543@tu.ac.kr)

클러스터링(clustering) 기법[7]은 클러스터를 형성하여 데이터를 통합한 후 한 번에 전송해서 에너지를 효율적으로 사용하는 기법이다. 센서 네트워크 필드를 클러스터라는 작은 영역으로 나누고, 각 클러스터에는 클러스터 헤드가 존재하여 클러스터 멤버로부터 데이터를 수집하고 이를 모아 그것을 다른 클러스터 또는 기지국으로 전달하는 역할을 한다. 클러스터 기반의 모델에서는 클러스터 헤드만이 데이터 집계를 수행한다. 따라서 클러스터 기반의 모델이 멀티 홉 기반의 네트워크보다 센서 네트워크에 더 적합한 모델이 될 수 있다.

클러스터링 알고리즘의 기본적 요구사항은 클러스터링 후 모든 노드는 클러스터 헤드가거나 단 하나의 클러스터에 속해야 한다는 것이다. 이를 위해 필요로 하는 메시지와 시간의 오버헤드는 최소화되어야 하며 클러스터링의 목표를 만족해야 한다. 클러스터링의 목표는 안정적 망의 형태의 유지, 라우팅 네트워크 효율성, 에너지 소비의 최소화 등이다. 클러스터 기반의 통신이 클러스터 내의 대역폭을 효율적으로 관리하고 망의 형태 관리를 이룰 수 있지만 클러스터링의 결과에 따라 네트워크의 성능에 밀접한 영향을 미치기 때문에 이를 효율적으로 수행할 수 있어야 한다. 전통적인 클러스터 기반(cluster-based)의 네트워크는 고정된 기반 구조에 의존하고 있으나, SPAN[8] 등에서는 애드 혹 네트워크에서 클러스터링 구조를 배치하는데 중점을 두고 있다. 참고 문헌 [9]에서는 클러스터 형성(cluster formation)을 이용하여 플러딩 노드의 수를 감소시키는 방법들을 제안하였다. 참고 문헌 [10]에서는 네트워크 영역 내에서 기지국의 위치를 가운데 두고 k 홉 내에서 클러스터링을 구성하는 알고리즘을 제안하였다.

클러스터 헤드 선정 알고리즘을 분류하면 세 가지 범주로 나눌 수 있다. 첫째, 노드의 식별자(ID: identifier) 기반 클러스터 헤드 선정, 둘째는 노드의 연결성(connectivity) 기반 클러스터 헤드 선정, 셋째는 노드의 가중치(weight) 기반 클러스터 헤드 선정 알고리즘이다. 이들은 무선 애드 혹 네트워크를 기반으로 하여 제안되었다[6].

클러스터 수를 지정하는 방법은 클러스터의 밀도, 새로운 클러스터를 형성하는 라운드(round) 시간, 센서 네트워크의 환경, 센서 네트워크의 규모, 센서 노드와 기지국과의 거리 등의 여러 가지 요인에 따라 달라질 수 있다 [7].

본 논문에서 제안하는 방법은 전송 데이터를 필터링 [12]하는 센서 네트워크의 환경에서 클러스터 헤드의 필터링 비율 및 센서 노드의 클러스터 상태 전이[13]에서 노드가 '수면 상태'가 되는 비율 등의 인자를 이용하여 클러스터 응집도를 생성한다. 또한 그 응집도를 이용하여 애플리케이션 환경에 적응하는 새로운 클러스터 수를 지

정함으로써 센서 네트워크의 에너지 효율을 증가시켜 네트워크 수명을 연장한다. 참고 문헌 [4] 및 [5]와 같은 과거의 필터링 알고리즘은 에너지 효율성을 필터링에만 국한하기 때문에 에너지 효율과 데이터 정확도에 대한 동시 만족이 어려운 경우가 발생할 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안하는 방법은 에너지 효율성을 필터링 알고리즘뿐만 아니라 네트워크 토폴로지 측면의 클러스터링에서 찾기 때문에 에너지 효율성 및 데이터 정확도를 동시에 만족할 수 있는 장점이 있다.

2. 관련 연구

2.1 계층적 필터링

많은 애플리케이션이 정확한 정밀도를 요구하지 않는다는 점을 이용하여 통신 비용을 줄이는 효율적인 방법을 제공할 수 있다[5]. 사용자가 입력한 질의를 받은 센서 노드는 일정 시간마다 데이터를 감지한다. 그 감지된 데이터를 클러스터 헤드로 보낸다. 또한 클러스터 헤드에서 모아진 데이터는 집계 연산 처리되어 기지국으로 보내진다. 이러한 데이터를 보내는 과정은 각 센서에서 감지한 데이터를 필터링하는 경우와 클러스터 헤드에서 집계한 데이터를 필터링하는 경우로 구분된다. 이러한 계층적 필터링 [12]은 네트워크를 두 계층으로 나눈 뒤 각 계층별로 서로 다른 데이터 필터링 허용 범위를 사용한다.

1) 1계층 (클러스터 멤버 계층) 필터링

1계층 필터링은 클러스터 멤버에서 클러스터 헤드로 데이터를 전송할 때의 데이터 필터링이다. 일반적으로 특정 노드 i에서의 필터링 되는 데이터 필터링 허용 범위는 식 (2.1)과 같다.

$$-VP_i * \delta \leq VP_i - V_i \leq VP_i * \delta \quad (2.1)$$

이 식에서 V_i 는 센서 i의 현재 감지한 값, VP_i 는 센서 i의 이전에 감지된 값, δ 는 센서 노드 값에 대한 기본적인 필터링 허용 범위율이다.

2) 2계층 (클러스터 헤드 계층) 필터링

2계층 필터링은 클러스터 헤드에서 기지국으로 데이터를 전송할 때의 데이터 필터링이고, 1 hop 이상으로 전송한다. 이때의 δ 값은 집계된 데이터를 다시 필터링해야 하기 때문에 $\delta * CW$ 로 줄여서 필터링한다. CW의 실험 값은 0.1이다.

$$-SV_i * \delta * CW \leq SV_i - SVP_i \leq SV_i * \delta * CW \quad (2.2)$$

이때 SV_i 는 클러스터 헤드 i 의 현재 집계한 값이고, SVP_i 는 클러스터 헤드 i 의 이전에 집계한 값이다.

2.2 센서 노드의 클러스터 상태 전이

현재 감지한 데이터를 확인하여 앞서 전송된 데이터와 비교하여 변화의 차이가 필터링 허용 범위에 있느냐에 따라 클러스터 상태 전이가 발생한다. 각 노드의 클러스터 상태 정보는 ‘초기 상태’, ‘클러스터 헤드 상태’, ‘비전송 클러스터 헤드 상태’, ‘클러스터 멤버 상태’, ‘비전송 클러스터 멤버 상태’ 및 ‘수면 상태’ 등의 여섯 가지 중 하나로 설정된다[13].

‘초기 상태’는 초기에 네트워크에 가입하는 모든 노드의 상태이다. ‘클러스터 헤드 상태’에서는 센서 노드로부터 수신한 데이터를 집계하고, 그 집계된 데이터 값을 식 (2.2)의 필터링 허용 범위에 따라 기지국으로 데이터를 전송할 지 여부를 결정한다. ‘비전송 클러스터 헤드 상태’는 ‘클러스터 헤드 상태’에서 집계된 데이터의 값이 필터링 허용 범위 내에 있는 경우로 기지국으로 데이터를 전송하지 않는다. ‘클러스터 멤버 상태’에서는 데이터를 감지하고, 그 데이터를 이전에 감지된 데이터와 비교하여 식 (2.1)의 필터링 허용 범위에 따라 클러스터 헤드로 데이터를 전송할 지 여부를 결정한다. ‘비전송 클러스터 멤버 상태’는 ‘클러스터 멤버 상태’에서 감지한 데이터의 값이 식 (2.1)의 필터링 허용 범위 내에 있어서 클러스터 헤드로 데이터를 전송하지 않은 경우이다. ‘수면 상태’는 ‘비전송 클러스터 멤버 상태’인 노드가 감지한 데이터를 또다시 필터링하게 되어 데이터를 전송하지 않는 경우이다. 이 상태에서는 일정 시간 동안 ‘수면 상태’에 들어간다.

3. 클러스터 응집도를 이용한 에너지 효율 증대

본 논문에서 제안한 센서 노드의 클러스터 응집도 (cluster cohesion)를 이용한 클러스터 수의 적응적인 조정 방법은 메시지 전송 효율성 및 네트워크의 수명 연장을 목적으로 하고 있다. 이 알고리즘은 클러스터링을 이용함과 동시에 네트워크 토폴로지 측면에서 에너지 소모량을 줄이는 방법이다. 일정한 라운드 시간에 새로운 클러스터를 구성하는 것은 참고 문헌 [7]에서 제안하는 방법 등을

이용해서 빠른 시간 안에 새로운 클러스터가 재구성된다고 가정한다. 또한 모든 센서 노드는 클러스터 헤드 정보를 가지고 있어서, 자신이 어떤 클러스터에 소속되어 있고 어떤 노드가 자신의 클러스터 헤드인지, 또한 클러스터 헤드는 어떤 노드들로부터 데이터를 기다리고 있어야 하는지 알고 있다고 가정한다.

본 연구에서는 네트워크 토폴로지 측면에서의 메시지 전송량을 줄이기 위해 클러스터 상태 전이를 이용하여 클러스터 응집도를 구한다. 그것을 기반으로 클러스터 수를 적응적으로 조정하여 네트워크의 수명을 연장할 수 있는 알고리즘을 제시한다. 제안한 클러스터 응집도는 센서 네트워크에서 생성된 모든 클러스터에 대해 센서 노드의 상태가 ‘수면 상태(sleep state)’가 되는 비율 및 클러스터 헤드에서 필터링 된 후 기지국으로 송신되는 메시지 비율을 조합하여 정한다. 이 비율이 큰 경우 즉, 클러스터 응집도가 높은 경우는 센서 노드에서 송신되는 데이터의 유사성이 높은 것으로 판단하고 그 값에 따라 클러스터 수를 조정한다. 클러스터 응집도(CO)는 식 (3.1)과 같다.

$$CO = NSR + 1 - \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K \left(\frac{MCI_i}{MCT_i} \right) \quad (3.1)$$

이 식에서 NSR은 전체 송수신 노드 중에서 ‘수면 상태’(표1 참조)가 되는 노드의 비율, K 는 클러스터의 수, MCI_i 는 특정 클러스터 헤드 노드 i 에서 필터링 된 후 송신되는 메시지 수, MCT_i 는 특정 클러스터 헤드 노드 i 에서 송신될 전체 메시지 수이다. 초기 설정된 클러스터 수 (K_s)는 식 (3.2)와 같다[7].

$$K_s = \frac{\sqrt{N}}{\sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}} \frac{M}{D^2}} \quad (3.2)$$

$$N = 100 \text{ nodes}, M = 100 \text{ m}, \epsilon_{fs} = 10 \text{ pJ/bit/m}^2, \epsilon_{mp} = 0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4$$

이 식에서 N 은 노드 수, ϵ_{fs} 와 ϵ_{mp} 는 그림 1의 무선 에너지 손실 모델에서 송신기와 수신기 사이의 거리에 의존하여 자유 공간(free space: d^2 power loss)과 다중경로 페이딩(multipath fading: d^4 power loss) 채널 모델을 사용[11]할 때의 무선 증폭 에너지이다. M 은 센서 네트워크의 점유 지역이 $M(m) * M(m)$ 이란 의미이다. 또한 D 는 클러스터 헤드 노드로부터 기지국(BS)까지의 거리이다. 전력 조절은 전력 증폭기를 적절히 지정함으로써 이러한 손실(loss)을 줄

이기 위해서 사용될 수 있다. 만약 거리가 교차 거리 (crossover distance)보다 작으면 자유 공간 모델이 사용되고, 그렇지 않으면 다중 경로 모델이 사용된다.

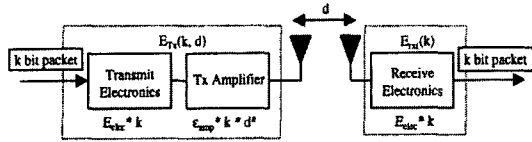


그림 1. 무선 에너지 손실 모델[7]

클러스터링 라운드가 끝나고 다음 라운드에서는 이전에 집계된 자료를 이용하여 클러스터 수를 적응적으로 조정한다. 클러스터 응집도가 낮은 경우는 노드의 클러스터 상태가 '수면 상태'가 되는 비율(NSR)이 낮은 경우 또는 집계 데이터의 변동폭이 큰 경우로 볼 수 있다. 클러스터 응집도가 높은 경우는 그 반대의 경우로 볼 수 있다. 이러한 클러스터 응집도(CO)를 이용하여 적응적으로 조정된 클러스터의 수 K 는 식 (3.1)에서 도출된 CO와 식 (3.2)에서 도출된 K_s 를 이용하여 구하고, 식 (3.3)과 같다.

$$K = K_s - K_s * CO \quad (3.3)$$

제한한 알고리즘(순서도)은 그림 2와 같고, 세부적인 의사 코드(pseudo code) 알고리즘은 그림 3과 같다. 알고리즘 시작 초기에 센서 네트워크의 클러스터 수를 설정한다. 사용자가 입력한 질의를 받은 센서 노드는 일정 시간마다 새로운 데이터를 감지한다. 센서 노드가 클러스터 헤드가 아닌 경우는 현재 감지한 데이터와 이전에 감지된 데이터를 비교해서 클러스터 상태를 지정하고 그 내용을 저장한다. 클러스터 상태가 '수면 상태'인 경우는 그 건수를 계속 누적한다. 클러스터 상태가 연속적으로 '비전송 클러스터 멤버 상태'가 될 경우는 일정 시간 동안 '수면 상태'로 지정된다. 센서 노드가 클러스터 헤드인 경우는 현재의 집계 데이터와 이전에 집계된 데이터를 비교해서 메시지 전송 여부를 결정하고 그 내용을 저장한다. 메시지를 전송하는 경우는 그 건수를 계속 누적한다. 라운드 시간이 되면 위에서 저장 및 집계한 데이터를 이용하여 클러스터 응집도를 계산한다. 또한 그 클러스터 응집도를 이용하여 새로운 클러스터 수를 설정한다.

본 논문에서 제시한 클러스터 응집도를 이용한 클러스터 수의 적응적인 조정은 센서 네트워크 수명에 많은 영향을 미친다. 4장의 실험 결과를 보면 알 수 있듯이 에너지 효율이 크게 증가되는 것을 알 수 있다.

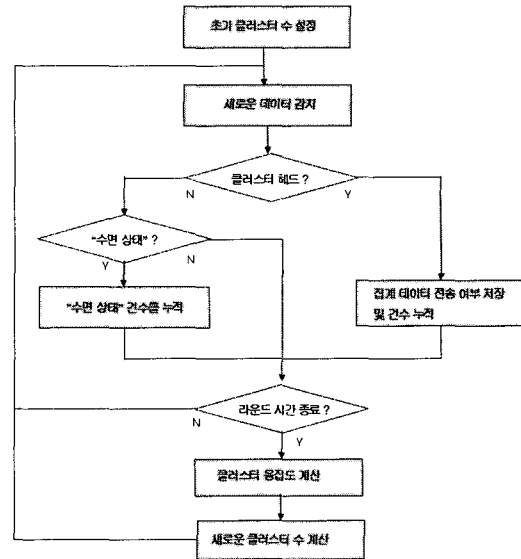


그림 2. 클러스터 응집도를 이용한 에너지 효율 증대 알고리즘(순서도)

Cluster-Cohesion-Algorithm ($N, NT, RT, D, M, \epsilon_{ts}, \epsilon_{emp}$)

```
{
   $K_s = (\text{sqrt}(N)/\text{sqrt}(2\pi)) * (\text{sqrt}(\epsilon_{ts}/\epsilon_{emp})) * (M/(D*D));$ 
   $K = K_s;$ 

```

```
while (NT) { // NT: 네트워크 수명
  select-CH(); // 클러스터 헤드 선정

  while (RT) { // RT: 라운드 시간
     $V[i] = \text{sensing value};$  // 새로운 데이터 감지
    if ( $N[i] == CH$ ) { // 노드가 클러스터 헤드
       $MCT[i] = MCT[i] + 1;$ 
      check-CS( $N[i]$ ); // 노드의 클러스터 상태 체크
      if ( $NS[i] == \text{'클러스터 헤드 상태'}$ )
         $MC[i] = MC[i] + 1;$  // 전송 건수 누적
    }
    else {
       $t-NS = t-NS + 1;$  // 전체 건수 누적
      check-CS( $N[i]$ );
      if ( $NS[i] == \text{'수면 상태'}$ )
         $w-NS = w-NS + 1;$  // 수면 건수 누적
    }
  }
  for ( $j=1; j \leq K; j++$ ) { // 메시지 전송률 계산
     $w-MCR = MC[j] / MCT[j];$ 
     $MCR = MCR + w-MCR;$ 
  }
   $NSR = w-NS / t-NS;$  // 노드의 '수면 상태' 비율 계산
   $CO = NSR + 1 - MCR/K;$  // 클러스터 응집도 계산

```

```

K = Ks - Ks * CO; // 새로운 클러스터 수 계산
w-NS = 0; t-NS = 0; MCR = 0;
}
}
    
```

그림 3. 클러스터 응집도를 이용한 에너지 효율 증대 의사 코드 알고리즘

4. 실험 및 분석

4.1 실험 환경

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 분석하기 위하여 시뮬레이터를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험 도구로는 NS-2 네트워크 시뮬레이터를 이용하여 성능을 평가하였다. 성능평가 파라미터에는 시간에 따른 에너지량과 데이터 전송량, 그리고 네트워크의 수명을 LEACH, 필터링 기법 및 클러스터 응집도 기법과 비교 분석하였다. 실험에 대한 매개변수 및 값은 표 1과 같다.

표 1. 실험 매개변수 및 값

매개변수	값
노드의 수 : N	100 (BS노드 별도)
실험 영역 : M * M	100m * 100m
채널의 대역폭(bandwidths)	100 Mb/s
각 노드의 초기 에너지	기지국 : 50,000 J 센서 노드 : 2 J
각 데이터의 메시지 크기	500 bytes
패킷 헤더	25 bytes
처리 지연(processing delay)	50 μs
전송률 (bit rate)	100 kbps
초기 클러스터 수 (K _s)	5
무선 전자 에너지 (E _{elec} , radio electronics energy)	50 nJ/bit
자유 공간(free space) 모델	
무선 증폭 에너지 (ε _{fs})	10 pJ/bit/m ²
다중 경로 페이딩 채널 모델	
무선 증폭 에너지(ε _{mp})	0.0013 pJ/bit/m ⁴
기지국(BS) 위치	x=50, y=175
라운드 시간	20 초

4.2 실험 결과 및 분석

클러스터 응집도(수식 3.1)와 적응적인 클러스터 수의 조정(수식 3.3)을 이용한 에너지 효율에 대한 실험은 시간에 따른 에너지 소모량, 데이터 전송량 및 생존 노드수 등의 내역을 기본으로 한다. 이 실험은 LEACH 알고리즘과 Filtering2 및 클러스터 응집도(Cluster Cohesion)에 따른 클러스터 수의 조정 알고리즘(그림 3) 등의 3가지 경

우에 대해 그 성능을 비교 분석하였다. 이때 Filtering2는 계층적 필터링[12]에서 메시지 송신 비율(MRi) 즉, 필터링 비율이 약 30%인 경우로서 1계층 및 2계층을 같이 필터링한 경우이다.

1) 에너지 소모량 실험

표 2. 시간대별 에너지 소모량

Time(s)	LEACH	Filtering2	Cluster Cohesion
350	143.02	116.35	92.59
450	194.77	159.59	116.97
530	331.76	251.77	136.74
550		292.40	143.30
640		441.73	202.39

표 2는 시간대별 에너지 소모량을 LEACH, Filtering2 및 Cluster Cohesion에 대해 350초에서 640초 사이의 성능 분석 결과 값을 표로 나타내었다. LEACH는 530초에서 실험이 종료되었기 때문에 그 이후 자료는 없다. 이 표에서 보는 바와 같이 Filtering2는 LEACH보다 네트워크 생존 기간이 길어졌지만 에너지 소모량(주로 BS 노드)은 많이 증가하였다. 그러나 Cluster Cohesion은 네트워크 생존 기간이 길어졌음에도 불구하고 에너지 소모량은 많이 줄었음을 알 수 있다. 즉, 실행 시간이 530초일 때 Cluster Cohesion의 에너지 소모량은 LEACH보다 58.8% 감소했고, Filtering2보다 45.7% 감소했다.

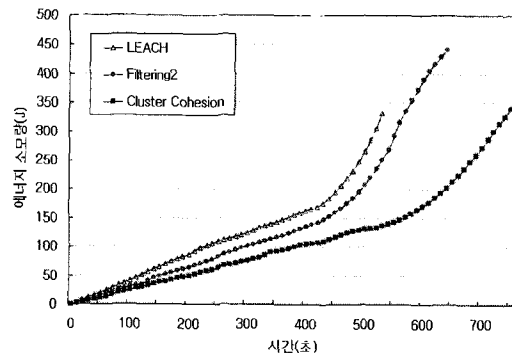


그림 4. 시간에 따른 에너지 소모량

그림 4를 보면, Cluster Cohesion은 LEACH보다 에너지 소모량이 적은 것을 알 수 있다. Cluster Cohesion이 Filtering2보다 에너지 소모량이 많이 적고 그에 대한 경사가 완만한 것은 클러스터 응집도를 이용하여 클러스터 수를 적응적으로 조정하는 것이 메시지 전송량을 줄이게 되어 그에 대한 효과가 큰 것임이 입증된다.

2) 데이터 전송량 실험

이 실험은 센서 노드에서 보낸 메시지가 기지국(BS)에 도달한 데이터 전송량에 대한 것이다.

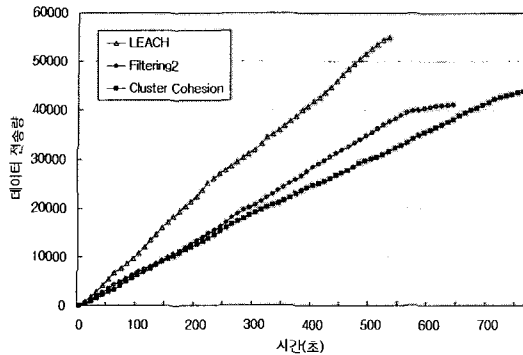


그림 5. 시간에 따른 데이터 전송량

그림 5는 시간 흐름에 따라 LEACH, Filtering2 및 Cluster Cohesion에 대한 데이터 전송량을 비교 분석한 도표이다. 이 그림을 보면 Cluster Cohesion은 LEACH보다 데이터 전송량이 적지만 네트워크 수명은 연장된 것을 알 수 있다. 이는 클러스터 응집도를 이용한 클러스터 수의 적응적인 조정이 네트워크의 수명 연장에 관련이 많다는 뜻으로 해석된다. 또한 Cluster Cohesion이 마지막 시점에 네트워크 수명을 연장시키는 동시에 데이터 전송량을 증가시킨 것은 클러스터 수가 효율적인 에너지 사용에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

3) 네트워크 수명(lifetime) 실험

그림 6은 시간 흐름에 따라 LEACH, Filtering2 및 Cluster Cohesion에 대한 전체 네트워크 생존 노드수를 비교 분석한 도표이다. 생존 노드수는 에너지 소모량과 더불어 센서 네트워크의 에너지 관리 및 수명 측면에서 중요한 요소이다.

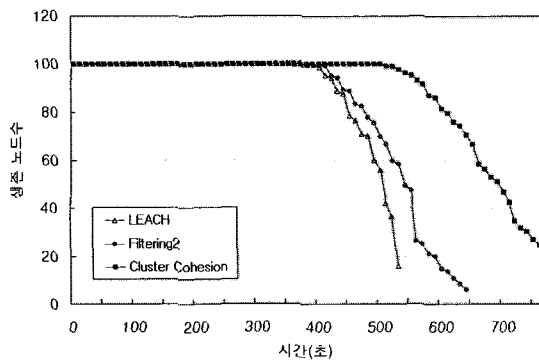


그림 6. 시간에 따른 생존 노드수

그림 6에서 생존 노드수가 많다는 것은 네트워크 수명과 직결되므로 매우 중요하다고 할 수 있다. 이러한 점은 특정 노드에 부하를 많이 주지 않고 센서 네트워크 내의 노드가 골고루 네트워크 관리에 참여했음을 알 수 있다. LEACH의 경우, 어느 특정 노드가 많은 에너지를 소모함으로써 인해 센서 네트워크에 참여하지 못하는 노드가 어느 시점에서 급격히 많아지는 것을 볼 수 있다. LEACH의 이러한 단점을 필터링을 통해 상당히 개선된 것을 그래프를 통해 알 수 있다. 또한 LEACH는 360초에서 거의 모든 에너지를 소모하여 통신이 불가능한 센서 노드가 생기기 시작하면서 급격하게 네트워크의 수명이 짧아지는 것을 볼 수 있다. Cluster Cohesion은 510초에서 통신이 불가능한 센서 노드가 생기기 시작 하였지만 LEACH보다 완만한 그래프를 볼 수 있다. 이는 네트워크 내에서 에너지 소모가 적절하게 소모되기 때문에 네트워크의 수명이 LEACH 보다 연장되었음을 알 수 있다.

표 3. 수행 시간이 530초일 때 생존 노드수(%)

LEACH	Filtering2	Cluster Cohesion
16	58.25	97.75

표 3은 수행 시간이 530초일 때 생존 노드수를 보여 주고 있다. LEACH는 16%의 생존율을 가지고 있지만 Cluster Cohesion의 경우는 97.75%의 생존율로서 LEACH보다 81.75%, Filtering2보다 39.5%의 더 나은 생존율을 보여 주고 있다. 이는 네트워크의 성능과 안정성 그리고 수명을 연장하는 결과를 가져오게 된다.

5. 결론 및 향후 연구 계획

센서 네트워크의 수명은 네트워크를 구성하고 있는 센서 노드들의 수명에 의해 좌우된다. 따라서 본 논문의 주안점은 클러스터링 기반의 센서 네트워크에서 데이터 전송량을 줄임으로써 센서 노드들의 에너지 소모를 줄여 네트워크의 수명을 연장하는 것이다. 그 방법은 계층적 필터링 및 노드의 상태 전이를 이용하여 클러스터 응집도를 구하고, 그 응집도를 이용하여 클러스터 수를 적응적으로 조정하여 에너지 효율을 높이는 기법이다.

제안한 기법은 실험 시간 530초에서 에너지 소모량이 LEACH에 비해 58.8%, Filtering2보다 45.7% 감소하였고, 네트워크의 수명이 LEACH보다 43.4%, Filtering2보다 18.8% 증가하였음을 실험을 통해 보였다.

참고 문헌 [4] 및 [5]와 같은 과거의 필터링 알고리즘

은 에너지 효율성을 필터링에만 국한하기 때문에 에너지 효율과 데이터 정확도에 대한 동시 만족이 어려운 경우가 발생할 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 기법인 적응적인 클러스터링 기법은 필터링을 기반으로 하여 네트워크 토폴로지 측면에서 데이터 전송량 및 에너지 소모량을 줄이는 방법으로 간접적인 필터링 효과 및 에너지 효율성 측면뿐만 아니라 데이터의 부정확성을 줄이는 측면에서도 많은 효과를 낸다.

앞으로 본 연구와 관련하여 애플리케이션에 따른 필터링 가중치 설정 및 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위한 네트워크의 크기 및 밀도에 따른 에너지 효율적인 클러스터 헤드의 선정 알고리즘에 대해 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] Ian F. Akyidiz, Weilian Su et al., "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communication Magazine, Vol. 40, 2002
- [2] 박노준, 현동준, 김명호, "센서 네트워크에서 집계연산을 위한 적응적 필터링," 정보과학회 논문지, 데이터베이스 제32권 제4호, pp. 372-382, 2005. 8
- [3] S. Park and M. Srivastava, "Power aware routing in sensor networks using dynamic source routing," ACM MONET Special Issue on Energy Conserving Protocols in Wireless Networks, 1999.
- [4] Antonios Deligiannakis, Yannis Kotdis, and Nick Roussopoulos, "Hierarchical In-Network Data Aggregation with Quality Guarantees," In Proceedings of EDBT. pp. 658-675. 2004
- [5] Chris Olston, Jing Jiang, and Jennifer Widom, "Adaptive Filters for Continuous Queries over Distributed Data Streams," In Proceedings of SIGMOD, pp. 563-574, San Diego, America, 2003
- [6] 이상화, "센서 네트워크 기술 동향," KETI 전자부품연구원, 2005. 10
- [7] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, Hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE transactions on Wireless communications Vol. 1, no. 4, Oct. 2002
- [8] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, and R. Morris, "Span: an Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks," ACM Wireless Networks, vol. 8, no. 5, September 2002.
- [9] K. Mase, Y. Wada, N. Mori, K. Nakano, and M. Sengoku, "Flooding Schemes for clustered Ad Hoc Networks," IEICE Trans. Communications, vol. E85-B, no. 3, pp. 605-613, Mar. 2002.
- [10] S. Bandyopadhyay and E. J. Coyle, "An Energy Efficient Hierarchical Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," Proc. of IEEE INFOCOM, pp. 1713-1723, 2003.
- [11] T. Rappaport, "Wireless Communications: Principles & Practice," Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [12] 김진수, 박찬흠, 김종근, 강병욱, "센서 네트워크에서 계층적 필터링을 이용한 에너지 효율적인 데이터 집계연산", 한국 컴퓨터정보학회 논문지, 제12권 제1호, 2007. 3.
- [13] 김진수, "센서 네트워크에서 클러스터 상태 전이를 이용한 에너지 절약 방안", 한국 컴퓨터정보학회 논문지, 제12권 제2호, 2007. 5.

김진수(Jin-Su Kim)

[정회원]



- 1982년 2월 : 영남대학교 전기공학 (공학사)
- 1990년 2월 : 숭실대학교 정보산업학과 (이학석사)
- 2000년 2월 : 영남대학교 컴퓨터공학과 (박사과정수료)
- 1992년 8월 : 정보처리 기술사
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 항만물류학부 교수

<관심분야>

데이터베이스, 센서 네트워크, 소프트웨어 공학