韓國 컴퓨터情報學會 論文誌
第12卷 第2號, 2007. 5.

2007-12-2-1-17

센서 네트워크에서 클러스터 상태 전이를 이용한 에너지 절약 방안

김 진 수*

A Energy Saving Method using Cluster State Transition in Sensor Networks

Jin Su Kim*

요 약

본 논문에서는 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 논문에서는 노드의 에너지를 보다 효율적으로 사용하기 위해 노드의 클러스터 상태를 초기상태, 클러스터 헤드 상태, 클러스터 멤버 상태, 비 전송 클러스터 헤드 상태, 비 전송 클러스터 멤버 상태, 수면 상태 등의 여섯 가지 상태로 분류해서 관리한다. 이는 일반적으로 필터의 폭을 넓혀 필터링을 많이 하는 것보다 필터링 효율은 증대시키면서 필터링에 따른 데이터 부정확성을 최소한 줄이는 효과를 가진다. 이 방법은 기존의 연구보다 더 효율적이고 효과적인 방법이다. 다양한 실험을 통해서, 제안한 방법이 다른 방법들보다 더 많은 메시지를 줄이고, 네트워크의 생존기간이 더 증가하였음을 보여준다.

Abstract

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 paper proposed is to classify the node's cluster state into 6 categories in order to reduce both the number and amount of data transmission: Initial, Cluster Head, Cluster Member, Non-transmission Cluster Head, Non-transmission Cluster Member, and Sleep. This should increase the efficiency of filtering and decrease the inaccuracy of the data compared to the methods which enlarge the filter width to do more filtering. This method is much more efficient and effective than the previous work. We show through various experiments that our scheme reduces the network traffic significantly and increases the network's lifetime than existing methods.

▸ Keyword : 센서 네트워크(Sensor Networks), 필터링(Filtering), 클러스터 상태 (Cluster State)

• 제1저자 : 김진수
• 접수일 : 2007.5.11, 심사일 : 2007.5.15, 심사완료일 : 2007. 5.24.
* 동명대학교 항만물류학부 교수

Ⅰ. 서 론

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. 따라서 본 논문에서는 노드의 클러스터 상태 전이를 이용한 필터링 기법을 이용하여 보다 에너지 효율적인 알고리즘을 제시하였다.

에너지 소비를 줄여 네트워크의 수명을 길게 하는 연구들은 여러 가지 형태로 연구되어 왔다. 그 중에서 필터링을 사용해서 데이터 전송 횟수를 줄이는 방법이 네트워크의 수명을 연장시키는데 큰 효과를 낸다[2]. 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[3].

본 논문에서는 센서 네트워크의 수명을 길게 하기 위해 각 센서 및 클러스터 헤드에서의 전송량을 줄이기 위한 방법을 제안한다. 그 방법은 기본적으로 클러스터링, 계층적 필터링 및 노드의 클러스터 상태 전이를 결합한 것이다. 즉, 기존에 제시된 LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[4] 등의 클러스터링 알고리즘을 기본으로 하여 클러스터 내에서는 계층적 필터링 및 클러스터 상태 전이를 이용한 필터링을 수행하고, 클러스터 헤드에서는 그 데이터를 집계하고 기지국으로 전송한다. 이러한 과정을 거침으로써 센서 네트워크로부터 데이터를 수집할 때 각 센서의 데이터 전송 억제를 극대화 할 수 있다.

계층적 필터링[5]은 네트워크를 두 계층 즉, 클러스터 멤버 계층과 클러스터 헤드 계층으로 나누어서 각각 다른 데이터 필터링 허용 범위를 이용하여 필터링한다. 이러한 필터링을 기반으로 해서 데이터 전송 횟수 및 전송량을 줄이고 에너지를 보다 효율적으로 사용하기 위해 노드의 클러스터 상태를 초기상태, 클러스터 헤드 상태, 클러스터 멤버 상태, 비 전송 클러스터 헤드 상태, 비 전송 클러스터 멤버 상태, 수면(sleep) 상태 등의 여섯 가지 상태로 분류해서 관리한다. 이는 일반적으로 필터의 폭(widths)을 넓혀 필터링을 많이 하는 것보다 필터링 효율은 증대시키면서 필터링에 따른 데이터 부정확성을 최소한 줄이는 효과를 가진다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 노드의 클러스터 상태 전이를 이용한 필터링을 설명하기 전에 알아야 할 개념 및 관련 연구를 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 제시하는 클러스터 상태 전이를 이용한 필터링에 대해 설명하고, 4장에서는 이 연구의 우수성을 실험으로 증명해 보인다. 마지막 5장에서는 본 논문의 결론을 내리고 향후 연구 방향을 제시한다.

Ⅱ. 관련 연구

2.1 클러스터링 기법

클러스터링(clustering) 기법[6]은 클러스터를 형성하여 데이터를 통합한 후 한 번에 전송해서 에너지를 효율적으로 사용하는 기법이다. 센서 필드를 클러스터라는 작은 영역으로 나누고, 각 클러스터에는 클러스터 헤드가 존재하여 클러스터 멤버로부터 데이터를 수집하고 이를 모아 그것을 다른 클러스터 또는 기지국으로 전달하는 역할을 한다.

클러스터링 방식의 프로토콜로써 가장 대표적인 LEACH 프로토콜[4]은 라운드 시간(round time) 동안 집계연산(aggregation)한 데이터를 전송하여 에너지 소모를 줄이는 방법이다. HEED[7]는 LEACH를 개선한 방법으로 에너지와 통신 비용의 복합적인 면을 고려한 분산된 클러스터링 접근 방법이다. LEACH는 클러스터 헤드에 대한 균일한 에너지 소비를 가정하고 있으나, HEED는 에너지 소비에 대한 가정이 없고 잘 분산된 클러스터 헤드를 선택한다. 이 연구들 중에서 본 논문과 가장 관련이 많은 연구가 LEACH이다.

LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[4]는 클러스터링 기반 라우팅 기법으로, 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를

수집하여 데이터 집계를 통해 데이터를 모아서 직접 기지국(BS)으로 전달한다. 이 기법의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서 노드들에게 에너지 소비를 공정하게 분산하기 위해 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고, 전체적으로 통신 비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터 내의 데이터를 모아 지역적으로 집계하는 것이다.

LEACH의 작동은 라운드(rounds)로 나누어지고, 각 라운드는 클러스터를 형성하는 설정 단계(set-up phase)와 센싱 정보를 전송하는 전송 단계(steady-state phase)로 구성된다. 매 라운드마다 클러스터 헤드를 변경함으로써 에너지 소모를 분산시킨다.

LEACH의 분산된 클러스터 형성 알고리즘은 그림 1과 같다.

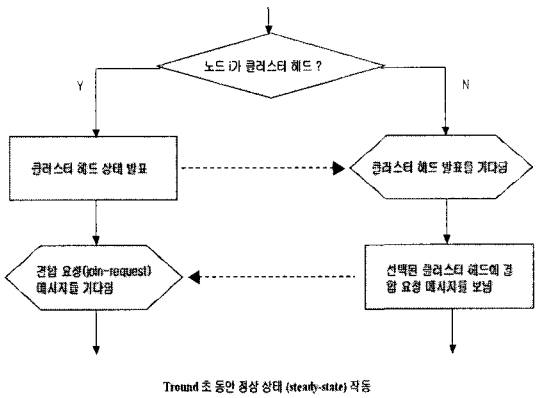

그림 1. 분산된 클러스터 형성 알고리즘 순서도
Fig 1. Flowchart of the Distributed Cluster Formation Algorithm for LEACH

네트워크의 노드 수를 N이라고 했을 때 각 라운드 당 예상되는 클러스터 헤드의 수(E[#CH])는 다음 수식과 같다.

$$E[\#CH] = \sum_{i=1}^{N} Pi(t) * 1 = k \quad \cdots\cdots (2.1)$$

r은 현재 라운드, $C_i(t)$는 노드가 가장 최근 라운드에 클러스터 헤드 이었는지의 여부를 결정하는 지시자 함수(노드 i가 클러스터 헤드 이었다면 $C_i(t) = 0$, 아니면 1)라고 한다면, 각 노드가 클러스터 헤드로 선택되는 확률(Pi(t))은 다음 수식과 같다.

$$Pi(t) = \begin{cases} \dfrac{k}{N - k*\left(r \bmod \dfrac{N}{k}\right)} & : Ci(t) = 1 \\ 0 & : Ci(t) = 0 \end{cases} \quad \cdots\cdots (2.2)$$

이때 N - k * r은 첫 번 r 라운드 동안 클러스터 헤드가 되지 않은 노드의 수이다.

2.2 필터링

많은 애플리케이션이 정확한 정밀도를 요구하지 않는다는 점을 이용하여 통신 비용을 줄이는 효율적인 방법을 제공할 수 있다[3].

센서 데이터에 의존하는 많은 애플리케이션은 데이터 전송량을 줄이기 위해서 필터링을 이용한다. 이러한 필터링을 통해 비록 부정확하지만 통제된 등급(degree)을 가지는 근사 해답을 찾을 수 있다[9].

참고 문헌 [2]에서는 계층적 데이터 집계를 위한 프레임워크를 제안하고 있고, 참고 문헌 [3]에서는 연속 질의를 위한 스트림 필터링(stream filtering) 접근 방법을 제안하고 있다. 참고 문헌 [5]에서는 계층적 필터링에 대한 에너지 효율적인 데이터 집계연산에 대해 제안하고 있다.

2.2.1 계층적 필터링

사용자가 입력한 질의를 받은 센서 노드는 일정 시간마다 데이터를 센싱한다. 그 센싱된 데이터를 클러스터 헤드로 보낸다. 또한 클러스터 헤드에서 모아진 데이터는 집계 연산 처리되어 기지국으로 보내진다. 이러한 데이터를 보내는 과정은 각 센서에서 센싱한 데이터를 필터링하는 경우와 클러스터 헤드에서 집계한 데이터를 필터링하는 경우로 구분된다. 이러한 필터링 및 집계 연산을 효율적으로 처리하기 위해서 계층적으로 필터링을 수행한다[5].

계층적 필터링은 네트워크를 두 계층으로 나눈 뒤 각 계층별로 서로 다른 데이터 필터링 허용 범위를 사용한다. 그림 2의 CM(흰색 원)에서 CH(검은색 원)로 데이터를 전송하는 것을 1계층 데이터 전송 및 필터링으로 분류했고, CH에서 BS으로 데이터를 전송하는 것을 2계층 데이터 전송 및 필터링으로 분류했다.

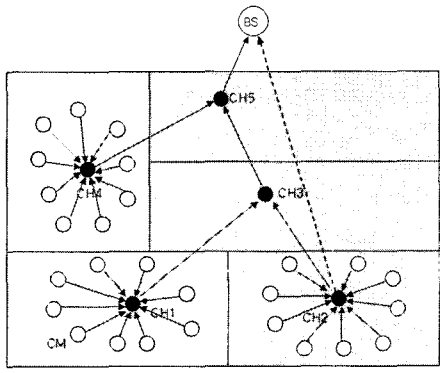

그림 2. 클러스터 계층에 따른 데이터 전송 및 필터링
Fig 2. Data Transmission and Filtering for Cluster Hierarchy

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 다음 식과 같다.

$$-VPi * \delta \leq VPi - Vi \leq VPi * \delta \quad \cdots\cdots (2.3)$$

이 식에서 Vi는 센서 i의 현재 센싱한 값, VPi는 센서 i의 이전에 센싱된 값, δ는 센서 노드 값에 대한 기본적인 필터링 허용 범위율이다.

특정 노드 i에서의 메시지 송신 비율(MRi)은 MRi = Mi / MTi이다. 이 식에서 Mi는 특정 노드 i에서 필터링 된 후 송신되는 메시지 수, MTi는 특정 노드 i에서 송신될 전체 메시지 수이다.

2) 2계층 (클러스터 헤드 계층) 필터링

2계층 필터링은 클러스터 헤드에서 기지국으로 데이터를 전송할 때의 데이터 필터링이고, 1 hop 이상으로 전송한다. 그림 2와 같이 트리 구조로 데이터를 집계 및 전송한다. 이렇게 하는 이유는 클러스터 헤드에서 기지국까지 거리가 먼 경우가 있기 때문에 1 hop으로 전송할 경우 에너지 소모량이 과다하기 때문이다. 이때의 δ 값은 집계된 데이터를 다시 필터링해야 하기 때문에 δ /10으로 줄여서 필터링한다.

$$-SVi * \frac{\delta}{10} \leq SVi - SVPi \leq SVi * \frac{\delta}{10} \quad \cdots\cdots (2.4)$$

이때 SVi는 클러스터 헤드 i의 현재 집계한 값이고, SVPi는 클러스터 헤드 i의 이전에 집계된 값이다.

III. 노드의 클러스터 상태 전이를 이용한 필터링

3.1 노드의 클러스터 상태 전이

본 논문에서는 데이터 전송량을 줄이기 위해 노드의 클러스터 상태를 초기 상태, 클러스터 헤드 상태, 클러스터 멤버 상태, 비 전송 클러스터 헤드 상태, 비 전송 클러스터 멤버 상태, 수면 상태 등의 여섯 가지 상태로 분류해서 관리한다.

본 논문에서 제안하는 기법은 센서 네트워크의 각 센서 노드는 사용자의 질의 결과 데이터를 효율적으로 전송하기 위해서 먼저 클러스터 상태 정보를 그 패킷에 삽입한다. 즉, 센서 노드와 클러스터 헤드 노드의 전송 유무에 대한 클러스터 정보를 삽입한다. 이렇게 하는 이유는 클러스터 구조를 구축하고 이 패킷을 이용하여 비전송 노드를 선정하고, 연속적으로 비전송 노드가 될 때 일정기간 동안 '수면 상태'에 둠으로써 센서 네트워크의 효율을 높이기 위함이다. 이러한 목적을 위해 클러스터 상태 정보는 다음과 같은 필드로 구성한다.

- 송신자 식별자(source identifier) : 이 클러스터 정보를 전송하는 노드의 IP 주소
- 수신자 식별자(destination identifier) : 이 클러스터 정보의 목적지 IP 주소
- 클러스터 상태(cluster state) : 이 클러스터 정보를 전송하는 노드의 클러스터 내 역할(클러스터 헤드 및 클러스터 멤버) 및 전송 유무 구분

각 노드의 클러스터 상태 정보는 그림 3과 같이 여섯 가지 중 하나로 설정한다.

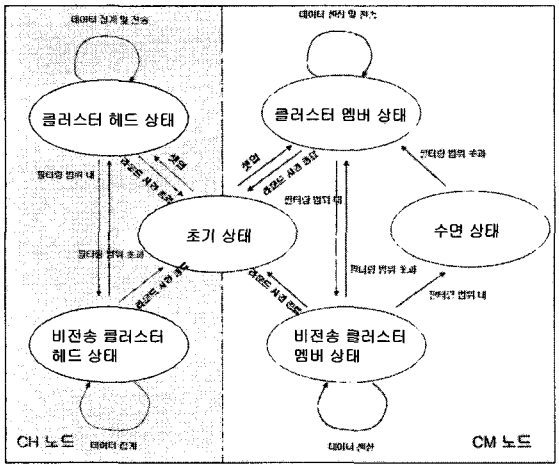

그림 3. 노드의 클러스터 상태 전이
Fig 3. Cluster State Transition of Sensor Node

- 초기 상태 : 어떠한 클러스터에도 가입이 되지 않은 노드로서 초기에 네트워크에 가입하는 모든 노드에 해당된다.

- 클러스터 헤드 상태 : 임의의 센서 노드가 셋업 시간에 LEACH의 클러스터 헤드 선출 확률(수식 2.2)에 의해 선출되면 '클러스터 헤드 상태'로 된다.

- 클러스터 멤버 상태 : 임의의 센서 노드가 클러스터 헤드로 선출되지 않으면 '클러스터 멤버 상태'가 된다.

- 비전송 클러스터 헤드 상태 : '클러스터 헤드 상태'에서 집계된 데이터의 값이 수식 2.4의 필터링 허용 범위 내에 있는 경우 '비전송 클러스터 헤드 상태'가 되며 기지국으로 데이터를 전송하지 않는다.

- 비전송 클러스터 멤버 상태 : '클러스터 멤버 상태'에서 센싱한 데이터의 값이 수식 2.3의 필터링 허용 범위 내에 있는 경우 '비전송 클러스터 멤버 상태'로 된다.

- 수면 상태 : '비 전송 클러스터 멤버 상태'인 노드에서 센싱한 데이터가 이전에 저장된 데이터와의 차이가 필터링 허용 범위 내에 있는 상태이다. 이 상태에서는 클러스터 헤드 노드로 데이터를 전송하지 않고 일정 시간(ST) 동안 '수면 상태'에 들어간다.

표 1. 노드의 클러스터 상태 필드값
Table 1. Cluster State Field Value of Sensor Node

값	노드의 클러스터 상태
0	초기 상태
1	클러스터 헤드 상태
2	클러스터 멤버 상태
3	비전송 클러스터 헤드 상태
4	비전송 클러스터 멤버 상태
5	수면 상태

표 1은 노드의 클러스터 상태 필드값이다. 클러스터 상태 전이(state transition)에서는 현 라운드 시간에 센싱한 데이터를 확인하여 앞서 전송된 데이터와 비교하여 변화의 차이가 필터링 허용 범위에 있느냐에 따라 상태 전이가 발생한다.

3.2 노드의 클러스터 상태 전이에 따른 필터링 알고리즘

본 절에서는 계층적 필터링[5]에서 한 걸음 더 나아가 노드의 상태 전이를 이용하여 에너지를 효율적으로 필터링 할 수 있는 알고리즘을 제시한다. 제안된 알고리즘 순서도는 그림 4와 같다.

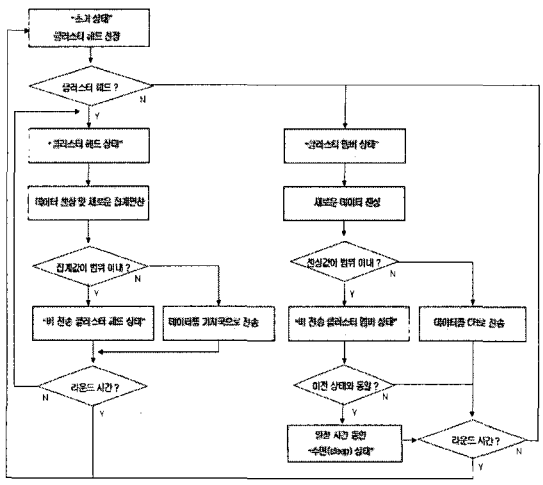

그림 4. 노드의 클러스터 상태 전이에 따른 알고리즘 순서도
Fig 4. Cluster State Transition Flowchart of Sensor Node

사용자가 입력한 질의를 받은 센서 노드는 일정 시간마다 데이터를 센싱하고, 그 센싱한 데이터를 클러스터 헤드로 보낸다. 또한 클러스터 헤드에서 모아진 데이터는 집계 연산 처리되어 기지국(BS)으로 보내진다. 이렇게 데이터를 보내는 과정은 각 센서에서 센싱한 데이터를 필터링하는 경우와 클러스터 헤드에서 집계한 데이터를 필터링하는 경우로 구분된다. 이러한 필터링 및 집계 연산을 효율적으로 처리하기 위해서 노드의 클러스터 상태를 관리한다.

각 센서 노드는 초기에 '초기 상태'로 지정된다. 각 센서 노드 i는 수식 2.2의 확률 Pi(t)에 따라 클러스터 헤드로 선택된다. 노드가 클러스터 헤드로 선택되면, 클러스터 헤드 노드는 네트워크에 있는 다른 모든 노드에게 현 라운드 동안 이러한 역할을 받았다고 알려야 한다. 이 때 클러스터 헤드로 선택된 노드는 '클러스터 헤드 상태' 상태로 된다. 이 상태에서는 센서 노드로부터 수신한 데이터를 집계한다. 데이터를 집계하는 방법은 각 센서 노드에서 보내온 데이터와 헤드 노드가 센싱한 데이터를 집계한다. 이 때 필터링에 의해 데이터를 보내지 않은 센서 노드의 값은 이전에 저장된 데이터를 그대로 이용하여 집계한다. 그 집계된 데이터 값이 이전 라운드(round)에서 저장되어 있는 데이터를 비교하여 수식 2.4의 필터링 허용 범위를 초과하는 경우 노드 자신의 상태 정보를 그대로 유지하게 되고 기지국(BS)으로 데이터를 전송한다. 필터링 허용 범위 내에 있는 경우는 자신의 상태를 '비전송 클러스터 헤드 상태'로 전환하게 되며, 집계된 데이터는 기지국으로 전송하지 않고 그 값만 캐시에 저장한다. 위와 같은 과정이 계속 반복되면서 라운드 시간을 체크하여 새로운 라운드 시간이 되면 '초기 상태'에서 다시 시작하며 클러스터 헤드 선출에 참여하게 된다.

클러스터 헤드로 선택되지 않은 노드는 '클러스터 멤버 상태'가 된다. 이 상태에서는 새로운 데이터를 센싱하고, 그 데이터를 이전에 센싱된 데이터와 비교하여 수식 2.3의 필터링 허용 범위를 초과하는 경우 클러스터 헤드로 데이터를 전송하고 자신의 상태를 유지한다.

센싱한 데이터의 값이 수식 2.3의 필터링 허용 범위 내에 있는 경우 '비전송 클러스터 멤버 상태'로 된다. 이 상태에서는 센싱한 데이터를 클러스터 헤드로 전송하지 않고 그 값만 캐시에 저장한다. 그리고 라운드(round) 시간이 지나면 '초기 상태'로 되어 클러스터 헤드 선출에 참여하게 된다. '비 전송 클러스터 멤버 상태'는 데이터를 센싱만 하고 클러스터 헤드로 전송하지 않으므로 클러스터 헤드로 선출될 확률이 높아진다.

이전 상태가 '비 전송 클러스터 멤버 상태'로 동일한 상태가 계속될 경우 일정시간 동안 '수면(sleep) 상태'에 들어간다. 일정 시간 후 새로운 데이터를 센싱해서 필터링 허용 범위 내에 있으면 '수면 상태'가 지속되고, 아니면 '수면 상태'에서 깨어서 '비 전송 클러스터 멤버 상태'로 전환된다. 이는 센싱 데이터 필터링과 더불어 노드의 상태 관리를 통해 노드를 수면 상태에 들어가게 함으로써 필터링 효과를 높인다.

본 논문에서 제시한 노드의 클러스터 상태 관리를 이용한 필터링 효과는 필터링 허용 범위율 즉, 필터 폭(widths)을 더 넓혀서 필터링을 더 많이 하는 경우와 달리 필터링 효과 및 에너지 효율성 측면뿐만 아니라 데이터 정확도 측면에서도 많은 효과를 낸다. 즉, 전체적인 노드의 필터 폭(widths)을 늘이기보다 특정 노드를 '수면(sleep) 상태'에 두게 함으로써 되도록 필터 폭을 크게 하지 않으면서 필터링 효과는 극대화 시킨다.

Ⅳ. 실험 및 분석

4.1 실험 환경

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 분석하기 위하여 시뮬레이터를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험도구로는 CMU(Carnegie Mellon University)의 무선 확장을 구현한 NS-2 네트워크 시뮬레이터[8]를 이용하여 성능을 평가하였다.

클러스터 상태 전이를 이용한 실험은 시간에 따른 에너지 소모량, 데이터 전송량 및 생존 노드수에 대한 내역을 기본으로 하고, 그에 덧붙여서 특정 시간대의 에너지 소모량 및 네트워크의 생존 노드수에 대해 실험하고 분석하였다. 이 실험은 LEACH, Filtering1, Filtering2 및 클러스터 상태 전이(State Transition)를 이용한 필터링 알고리즘에 대해 그 성능을 비교 분석하였다. 이때 Filtering1은 20%, Filtering2는 30% 정도의 필터링을 하는 것이고, State Transition은 Filtering2에 내역에 상태 전이의 알고리즘을 추가한 것이다. 실험에 대한 시나

리오 모델은 표 2와 같다.

표 2. 실험 시나리오 모델
Table 2. Simulation Scenario Model

파라미터	값
노드의 수 : N	100 (BS 노드는 별도)
실험 영역 : M * M	10,000 m2 (가로 100m * 세로 100m)
채널의 대역폭	100 Mb/s
각 노드의 초기 에너지	기지국(Base Station) : 50,000 J 센서 노드 : 2 J
각 데이터의 메시지 크기	500 bytes
패킷 헤더	25 bytes
처리 지연	50 μs
전송률 (bit rate)	100 kbps
초기 클러스터 수 (Ks)	5
필터링 가중치율(W)	0.01
무선 전자 에너지 (E_{elec}, radio electronics energy)	50 nJ/bit
자유 공간(free space) 모델 무선 증폭에너지(ε_{fs})	10 pJ/bit/m2
다중 경로 페이딩 채널 모델 무선 증폭에너지(ε_{mp})	0.0013 pJ/bit/m4
기지국(BS) 위치	x=50, y=175
라운드 시간	20 초

4.2 실험 결과 및 분석

실험은 에너지 소모량 실험, 데이터 전송량 실험 및 네트워크 수명(lifetime) 실험의 세 가지로 나누어서 수행하였다. 또한 그에 대한 성능 분석도 각각의 내역에 따라 나누어서 비교 분석하였다.

1) 에너지 소모량 실험

표 3. 시간대별 에너지 소모량
Table 3. Amount of Energy Dissipation for a Time Period

Time	LEACH	Filtering1	Filtering2	State Transition
100	41.31	32.65	30.68	29.50
200	86.92	65.57	64.62	62.14
300	123.52	103.95	100.83	89.50
400	162.05	144.30	135.67	117.43
500	265.31	229.26	206.85	151.76

표3은 시간대별 에너지 소모량을 LEACH, Filtering1, Filtering2 및 클러스터 상태 전이(State Transition)를 통한 필터링 기법에 대해 실험한 결과를 100초에서 500초 사이의 결과 값을 표로 나타낸 것이다.

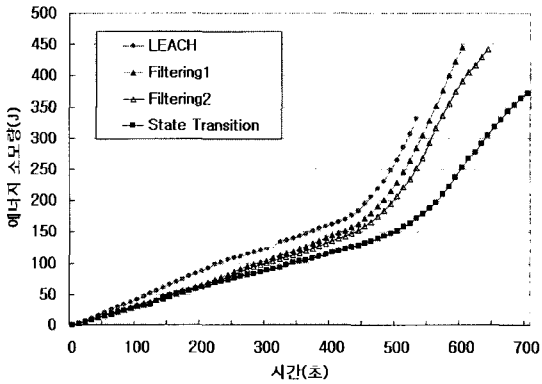

그림 5. 시간에 따른 에너지 소모량
Fig 5. Amount of Energy Dissipation over Time

그림 5는 시간에 따른 에너지 소모량을 나타낸다. 표3과 그림 5에서 보는 바와 같이 State Transition은 LEACH 및 Filtering1, 2와 비교 했을 때 에너지 소모량이 많이 줄었음을 알 수 있다. 이는 데이터 처리를 위한 오버헤드가 줄었기 때문이다. 특히 State Transition은 LEACH보다 400초 이후의 후반부에 에너지 효율이 좋은 것은 100초와 400초 사이에 에너지를 많이 절약했음을 입증한다.

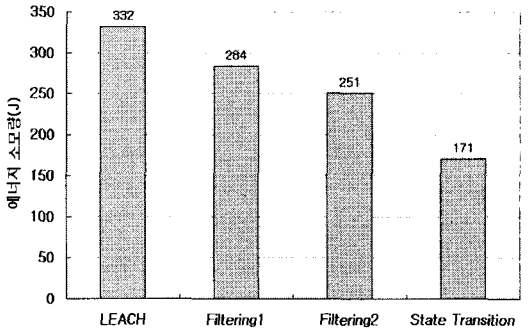

그림 6. 전체 에너지 소모량
Fig 6. Total Amount of Energy Dissipation

그림 6의 그래프는 LEACH의 네트워크 수명이 다하는 시간이 530초이므로 그 시간을 기준으로 한 전체 에

너지 소모량을 집계한 것이다. 그림 6의 전체 에너지 소모량을 보면 그림 5에 비해 그 내용을 확실히 알 수 있다. 이 그래프를 보면 State Transition이 LEACH보다 훨씬 더 에너지 소모량이 적고, 그것으로 인해 전체 네트워크 수명이 길어진다는 것을 알 수 있다. 그러나 이러한 필터링 방법에 의한 에너지 절약은 데이터 정확성에서 어느 정도의 문제점이 있을 수 있다. 그래서 본 논문에서 제시한 노드의 클러스터 상태 전이를 이용한 필터링 효과는 필터링 허용 범위을 즉, 필터 폭(widths)을 넓혀서 필터링을 더 많이 하는 경우보다는 데이터 부정확성을 되도록 줄이는 방법이라 할 수 있다.

2) 데이터 전송량 실험

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

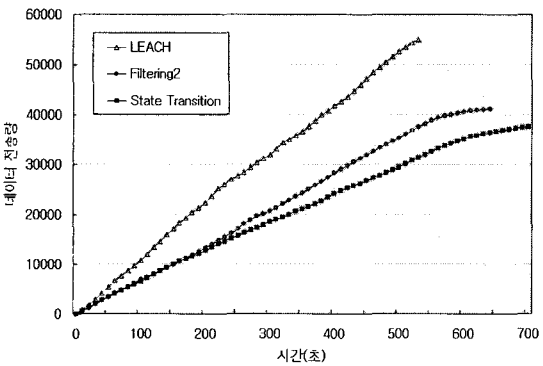

그림 7. 시간에 따른 데이터 전송량
Fig 7. Amount of Data Transmission over Time

그림 7은 시간 흐름에 따라 LEACH, Filtering2 및 State Transition에 대한 데이터 전송량을 비교 분석한 도표이다. 그림 7을 보면, Filtering2 및 State Transition이 LEACH보다 데이터 전송량이 적은 것을 알 수 있다. 그러나 Filtering2 및 State Transition은 데이터 전송 내역을 필터링하기 때문에 전송 데이터량은 떨어지나 LEACH보다 오랜 시간 동안 노드가 생존해 있음을 알 수 있다. 이는 메시지를 필터링해서 기지국(BS)에 보내기 때문에 당연한 결과이다.

그림 8은 에너지 소모량에 따른 데이터 전송량을 나타내는 그래프이고, 표 4는 해당 에너지를 소모하는 시점을 나타내는 표이다. 즉 센서 노드가 센싱한 데이터를 기지국

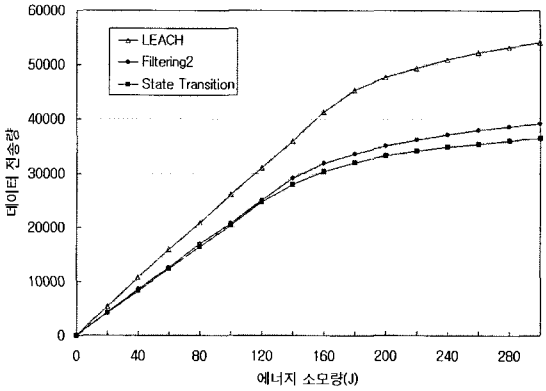

그림 8. 에너지 소모량에 따른 데이터 전송량
Fig 8. Amount of Data Transmission for Energy Dissipation Quantity

표 4. 해당 에너지를 소모하는 시점
Table 4. Time Period of Energy Dissipation

에너지(J)	LEACH	Filtering2	State Transition
100	230초	300초	340초
200	460초	500초	570초
300	520초	560초	640초

(BS)까지 도착한 데이터의 양을 나타내는데, 필터링을 적용한 기법(Filtering2)과 상태 전이(State Transition) 기법은 별 차이를 보이지 않지만 LEACH의 경우는 에너지 소모량에 비해 많은 양의 데이터를 처리하는 것을 볼 수 있다. 기존의 LEACH와 비교해서 에너지 소모량에 따른 데이터 전송량은 해당 에너지를 소모하는 량(20J ~ 300J)에 따라 State Transition 보다 30%에서 40% 이상 차이가 난다. State Transition과 Filtering2의 경우는 데이터 전송과 더불어 상태 전이와 필터링으로 인한 에너지 소모가 발생하였기 때문에 같은 에너지 소모량이지만 데이터 전송량은 다름을 알 수 있다. 또한 여기에서의 에너지 소모량은 센서 노드가 소모한 에너지에 기지국(BS)에서 소모한 에너지가 포함되어 있다. 사실 BS는 에너지를 많이 소모(10초당 약 2J ~ 15J)해도 별 무리가 없기 때문에 에너지의 사용 효율은 센서 노드가 소모한 에너지가 더 중요하다. 그런 점에서 표 4의 해당 에너지를 소모하는 시점을 보면 당연히 LEACH보다 State Transition이 나중에 있다. 그만큼 State Transition이 에너지를 절약한다는 뜻이다. 또한 그 시간적인 차이만큼 BS가 소모한 에너지를 감안한다면 데이터 전송량의 차이

가 많이 줄어들 것이다.

3) 네트워크 수명(lifetime) 실험

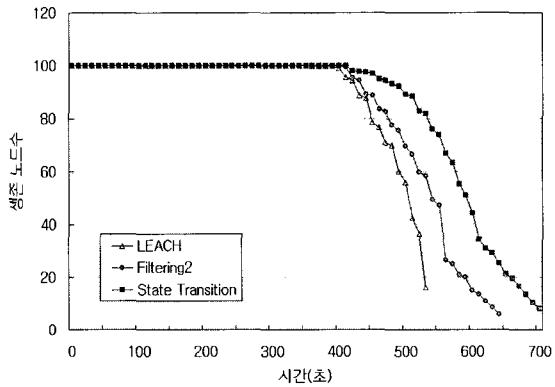

그림 9. 시간에 따른 생존 노드수
Fig 9. Number of Nodes alive over Time

그림 9는 시간에 따른 생존 노드수에 대한 그래프이다. 이 그래프에서 LEACH는 360초에서 거의 모든 에너지를 소모하여 통신이 불가능한 센서 노드가 생기기 시작하면서 급격하게 네트워크의 수명이 짧아지는 것을 볼 수 있다. 그러나 State Transition은 420초에서 통신이 불가능한 센서 노드가 생기기 시작 하였지만 LEACH 보다 완만한 그래프를 볼 수 있다. 이는 네트워크 내에서 에너지 소모가 적절하게 소모되기 때문에 네트워크의 수명이 LEACH 보다 연장되었음을 볼 수 있다.

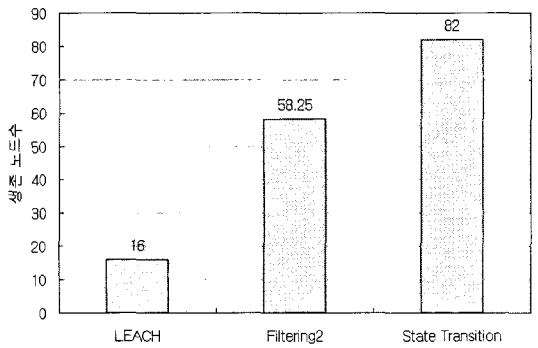

그림 10. 수행 시간이 530초일 때 생존 노드수(%)
Fig 10. Number of Nodes alive at 530 Second

그림 10은 수행 시간이 530초일 때의 생존 노드수를 보여 주고 있다. LEACH는 16%의 생존율을 가지고 있지만, State Transition의 경우는 82%의 생존율로서 LEACH보다 약 66%의 더 나은 생존율을 보여 주고 있다. 이는 네트워크의 성능과 안정성 그리고 수명을 연장하는 결과를 가져오게 된다.

V. 결론 및 향후 연구 계획

본 논문에서 제안한 노드의 클러스터 상태 전이를 이용한 필터링 효과는 필터링 허용 범위을 즉, 필터 폭(widths)을 더 넓혀서 필터링을 더 많이 하는 경우와 달리 필터링 효과 및 에너지 효율성 측면뿐만 아니라 데이터 정확도 측면에서도 많은 효과를 낸다. 제안한 기법은 네트워크의 수명이 LEACH보다 약 66% 증가하였음을 실험을 통해 보였다.

참고 문헌 [2] 등의 과거의 필터링 알고리즘은 에너지 효율성을 필터링에만 국한하기 때문에 에너지 효율과 데이터 정확도에 대한 동시 만족이 어려운 경우가 발생할 수 있다. 그러나 본 논문에서 제안한 기법은 에너지 효율성을 필터링에서 일부를 찾고 일부는 클러스터링에서 찾기 때문에 에너지 효율성 및 데이터 정확도를 동시에 만족할 수 있는 장점이 있다. 또한 클러스터 상태 전이를 포함한 광범위하고 포괄적인 필터링을 이용하여 데이터를 전송하므로 네트워크 수명을 연장하고 기존 연구들에서 발생하는 단점을 극복할 수 있다.

앞으로 본 연구와 관련하여 센서 네트워크의 수명을 연장하기 위한 라운드 시간의 적응적인 설정과 네트워크의 크기 및 밀도에 따른 에너지 효율적인 클러스터 헤드 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] Antonios Deligiannakis, Yannis Kotdis, and Nick Roussopoulos, "Hierarchical In-Network Data Aggregation with Quality Guarantees," In Proceedings of EDBT. pp. 658-675. 2004

[3] 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

[4] Wendi B. Heinzelman, Anantha P. Chandrakasan, Hari Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," IEEE transactions on Wireless communi- cations Vol. 1, no. 4, Oct. 2002

[5] 김진수, 박찬홈, 김종근, 강병욱, "센서 네트워크에서 계층적 필터링을 이용한 에너지 효율적인 데이터 집계 연산", 한국 컴퓨터정보학회 논문지, 제12권 제1호, 2007. 3.

[6] V. Kawadia and P. R. Kumar, "Power Control and Clustering in Ad Hoc Networks," in Proceedings of IEEE INFOCOM, April 2003.

[7] Ossama Younis and Sonia Fahmy, "Distributed Clustering in Ad -hoc Sensor Networks: A Hybrid, Energy-Efficient Approach," in Proceedings of IEEE INFOCOM, 2004.

[8] "Network Simulator. ns-2," UC Berkeley, Available: http://www. isi.edu/nsnam/ns

[9] R. Min, M. Bhardwaj, S. Cho, A. Sinha, E. Shih, A. Wang, and A. Chandrakasan. "Low-power wireless sensor networks," In Proc. Fourteenth International Conference on VLSI Design, 2001.

저 자 소 개

김 진 수

1990년 : 숭실대학교 정보산업학과 이학석사

2000년 : 영남대학교 컴퓨터 공학과 박사과정 수료

1992년 : 정보처리 기술사 정보처리 기술지도사

1993년 : 쌍용정보통신 교육담당 차장

현재 : 동명대학교 항만물류학부 교수

관심분야 : 데이터베이스, 센서네트워크, 소프트웨어 공학