

무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 불균형 클러스터링 알고리즘

이 성 주[†] · 김 성 천^{††}

요 약

무선 센서 네트워크의 필요성이 증가함에 따라 관련된 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 특히, 에너지 제약적인 무선 센서 네트워크의 생존 시간을 증가시키고자 하는 클러스터링 기법들이 많이 연구되고 있다. 대표적인 LEACH와는 달리, 최근의 클러스터링 기법들은 다중 홉으로 데이터를 전송하기 때문에 데이터 병목 현상 문제가 발생한다. 불균형 클러스터링(unequal clustering) 기법들은 라우팅 경로를 증가시켜 데이터 병목 현상 문제를 해결하였다. 불균형 클러스터링 기법들의 대부분은 BS(Base Station)와의 거리만을 고려하여 클러스터의 크기를 결정하였기 때문에, 클러스터 헤드의 에너지 소모가 커지는 문제점이 있다.

본 논문에서는 클러스터 헤드의 에너지 소모를 최소화하고, 데이터 병목 현상 문제도 해결할 수 있는 불균형 클러스터링 알고리즘을 제안하였다. 기본 아이디어는 적절한 클러스터 헤드를 선출한 이후, BS와의 거리와 노드의 에너지 상태, 이웃 노드의 수를 고려하여 클러스터의 크기를 결정하고, 동시에 클러스터 헤드의 전송기능을 분담하는 노드를 선정하는 것이다. 이처럼 클러스터 헤드의 에너지 소모를 최소화함으로써 클러스터링의 반복횟수를 감소시킬 수 있었으며, 더불어 전체 네트워크의 에너지 소모도 감소시킬 수 있었다.

키워드 : 센서 네트워크, LEACH, EEUC, 불균형 클러스터링

An Energy Efficient Unequal Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks

Lee Sung-Ju[†] · Kim Sung-Chun^{††}

ABSTRACT

The necessity of wireless sensor networks is increasing in the recent years. So many researches are studied in wireless sensor networks. The clustering algorithm provides an effective way to prolong the lifetime of the wireless sensor networks. The one-hop routing of LEACH algorithm is an inefficient way in the energy consumption of cluster-head, because it transmits a data to the BS(Base Station) with one-hop. On the other hand, other clustering algorithms transmit data to the BS with multi-hop, because the multi-hop transmission is an effective way. But the multi-hop routing of other clustering algorithms which transmits data to BS with multi-hop have a data bottleneck state problem. The unequal clustering algorithm solved a data bottleneck state problem by increasing the routing path. Most of the unequal clustering algorithms partition the nodes into clusters of unequal size, and clusters closer to the BS have small-size the those farther away from the BS. However, the energy consumption of cluster-head in unequal clustering algorithm is more increased than other clustering algorithms. In the thesis, I propose an energy efficient unequal clustering algorithm which decreases the energy consumption of cluster-head and solves the data bottleneck state problem. The basic idea is divided a three part. First of all I provide that the election of appropriate cluster-head. Next, I offer that the decision of cluster-size which consider the distance from the BS, the energy state of node and the number of neighborhood node. Finally, I provide that the election of assistant node which the transmit function substituted for cluster-head. As a result, the energy consumption of cluster-head is minimized, and the energy consumption of total network is minimized.

Keywords : Sensor Networks, LEACH, EEUC, Unequal Clustering

[†] 정 회 원 : 서강대학교 컴퓨터공학과 공학석사
^{††} 정 회 원 : 서강대학교 컴퓨터학과 교수
논문접수: 2009년 4월 3일
수 정 일: 1차 2009년 8월 19일
심사완료: 2009년 8월 20일

1. 서 론

무선 네트워크 기술이 빠른 속도로 발전하면서 이를 이용한 유비쿼터스 네트워크 환경과 같은 새로운 네트워크 환경

에 대한 요구가 폭발적으로 증가하고 있다. 기존의 유선 네트워크에서 사용하는 기술만으로는 새로운 네트워크 환경에 대한 요구를 충족시킬 수 없기에 보다 적합한 무선 네트워크 기술이 연구되고 있다.[1] 하지만 위험한 곳이거나 좁은 곳과 같이 사람의 접근이 어려운 환경에서는 무선 네트워크 기술도 서비스 제공이 쉽지 않기 때문에 무선 장치의 접근성이 용이해야만 한다. 이 같은 특정 환경에서의 네트워크를 구축하고 데이터를 전송하기 위한 방법 중 하나가 작은 센서를 일정 구역에 퍼뜨려 통신을 가능하도록 하는 무선 센서 네트워크 기술이다.

하지만 무선 센서 네트워크에서 데이터를 전송하기 위해서는 많은 에너지를 필요로 하며, 이로 인하여 배터리 교체나 충전이 힘든 무선 센서 노드의 사용에 제약이 받게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 고안된 가장 대표적인 클러스터링 기법은 LEACH[2]이다. LEACH는 모든 센서 노드 중에서 특정 노드 몇 개를 클러스터 헤드로 선택하고 그것들을 중심으로 클러스터들을 형성한다. 하지만 클러스터링이 이루어지는 경우 BS로 데이터를 전송할 때, 주로 다중 홉으로 라우팅을 하기 때문에 BS에 가까이 있는 클러스터 헤드들이 데이터 병목 현상으로 인해 많은 양의 데이터가 특정 노드를 통하여 전송되므로 에너지 소모가 증가하여 빨리 작동 불능 상태가 되는 문제가 있다. 이와 관련하여, C. Li의 연구 [3-4]와 F. Tashtarian의 연구[5] 같은 불균형 클러스터링 기법들을 비롯하여 다수의 연구가 이루어지고 있다. BS까지의 거리에 따라 클러스터의 크기를 다르게 하여, BS 근처에는 다수의 클러스터가 존재하고 BS와 멀어질수록 클러스터의 수가 점점 적게 하여 라우팅 시에 에너지 소모를 최소화 하는 것이다. 하지만 단순히 BS와의 거리에 따라 클러스터의 크기를 다르게 하는 것은 클러스터 헤드 역할을 하는 센서 노드의 잔여 에너지, 통신 여부 등의 상태와 주변 노드의 개수와 같은 상황을 고려하지 않아 일반적인 무선 네트워크 환경에 적용시키는 것에 는 문제가 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하고자 BS와의 거리 외에 클러스터 헤드의 에너지 상태와 주변 상황에 따라 클러스터의 크기를 제어하여 BS와의 거리 당 적절한 수의 클러스터를 형성, 배치하는 동시에 클러스터 헤드의 기능을 보조하는 노드를 두어 클러스터 헤드가 데이터를 BS로 전송할 때에 에너지 소모를 최소화 하는 기법을 제안한다. 이를 통해 네트워크 에너지 소모를 감소시켜 네트워크의 생존 시간을 늘리고, 다수의 클러스터를 BS 주변에 형성하여 라우팅 경로를 다양하게 함으로써 BS 근처의 클러스터 헤드의 병목 현상을 해결할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 연구되었던 클러스터링과 라우팅 기법을 소개하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 기법을 설명한다. 그리고 4장에서는 제안한 기법의 시뮬레이션 결과를 분석하고, 마지막 5장에서 결론을 맺는다.

2. 기존 클러스터링과 라우팅 기법

2.1 기존 클러스터링 기법

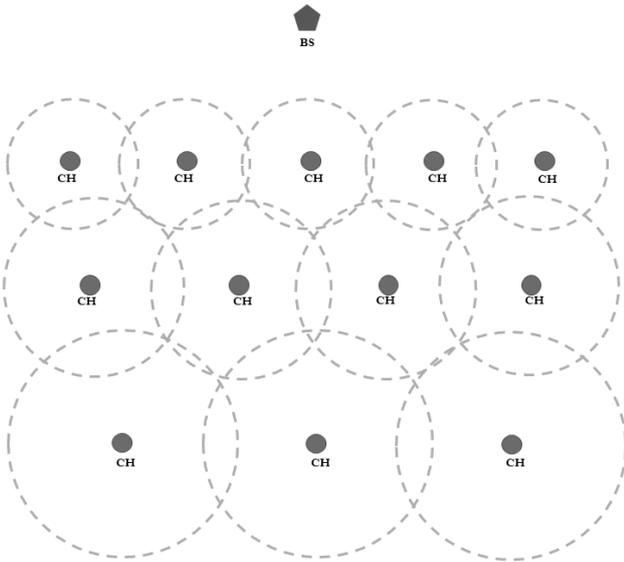
무선 센서 네트워크에서 노드의 기능은 주변을 감지하고 필요한 데이터를 수집하는 기능과 수집한 데이터를 전송하는 기능으로 나뉜다. 에너지 제약적인 무선 센서 네트워크의 특성상 에너지 소모가 큰 기능인 후자에 관심을 기울인다. 특히 이 경우 이전의 기법보다 에너지 소모를 줄이기 위해서 클러스터를 형성하여 특정 노드가 수집한 데이터를 BS로 전송하는 LEACH와 같은 기법이 나타났다.[2]

이 기법은 우선 클러스터 헤드를 선출하고 이를 바탕으로 클러스터를 구성한다. 이전에 클러스터 헤드가 되었던 노드를 제외한 모든 노드들 중 랜덤하게 클러스터 헤드를 선출한다. 이를 다른 노드들에게 알리고 주변 노드들을 포함한 클러스터를 구성한 이후에 각 노드들은 주변 환경을 감지하고 데이터를 수집한다. 수집된 데이터는 클러스터 헤드로 전송되어 압축된 후 단일 홉으로 BS에게 전송된다.

LEACH 이후에도 클러스터링 기법들의 연구는 계속되어 단일 홉을 사용하였을 경우 먼 거리를 한 번에 전송하는데 생기는 에너지 비효율성을 개선하기 위해 다중 홉으로 데이터를 전송하는 기법들이 연구되어왔으나 대다수의 기법들은 클러스터 헤드의 선출과정에서 단순히 BS와의 거리나 잔여 에너지만을 기준으로 선정하였기 때문에 다중 홉으로 데이터를 전송하는 경우에 발생하는 병목 현상 문제를 고려하지 않았다. 병목 현상 문제는 클러스터를 형성한 이후에 다중 홉으로 라우팅 하는 과정에서 모든 클러스터 헤드들이 BS 주변에 있는 클러스터 헤드를 라우팅 경로로 사용하는데 비해 그 경로가 되는 클러스터 헤드의 수는 적기 때문에 너무 많은 데이터가 BS주변의 일부 클러스터로 몰려서 발생된다.

2.2 불균형 클러스터링 기법

앞서 살펴본 병목 현상 문제를 해결하기 위해서 연구가 진행된 것이 불균형 클러스터링 기법이다[3-5]. 기존의 불균형 클러스터링 기법은 BS와의 거리가 가까운 클러스터의 크기는 작고 수가 많은 대신, 거리가 먼 클러스터의 크기는 크고 수가 적다. 이렇기 때문에 BS 주변의 클러스터 헤드의 수가 증가하고 그에 따라 라우팅 경로도 많아져 기존의 라우팅 시 발생하는 병목 현상이 해결되었다. 대표적인 연구로 Energy-Efficient Unequal Clustering 기법이다. EEUC에서 몇 개의 센서 노드들은 이전 클러스터 헤드에 의해서 임시적 클러스터 헤드로 선택된다. 임시적 클러스터 헤드가 된 노드들은 BS와의 거리를 기준으로 해서 클러스터의 크기를 정하고, 그에 맞춰서 컨트롤 메시지의 반경을 설정한다. 만약 임시적 클러스터 헤드의 컨트롤 메시지 반경 안에 다른 클러스터 헤드가 존재할 경우에는 클러스터 헤드의 남은 에너지가 큰 노드를 최종 클러스터 헤드로 결정하고, 남은 에너지가 같을 경우엔 노드의 ID가 작은 노드를 최종 클러스터 헤드로 결정한다.[3]



(그림 1) EEUC 알고리즘

최종 클러스터 헤드가 결정되면 슬립 모드였던 나머지 노드들이 깨어나고 클러스터 헤드는 클러스터를 형성하기 위한 메시지를 방송한다. 클러스터가 형성되면 클러스터 헤드는 클러스터 안의 멤버 노드들로부터 데이터를 모으고, 이 데이터를 BS로 다중 홉 통신을 통해서 전송한다.

하지만 불균형 클러스터링 기법들은 클러스터 헤드와 BS와의 거리 이외에 이웃한 노드의 수나 남은 에너지의 상태를 고려하지 않기 때문에 특정 클러스터 헤드가 막대한 에너지를 급격하게 소모하게 되어 빠르게 기능이 정지되고 그로 인해 클러스터 헤드를 재선정하는 과정을 반복하게 된다. 이 과정에서 발생하는 에너지 소모로 인해 전체적인 네트워크의 총 에너지 소모가 증가하게 되고 생존 시간은 감소한다.

2.3 무선 센서 네트워크 라우팅 기법

무선 네트워크에서 각 노드가 서로 데이터를 송신하고 수신하는 경로를 정하는 방법을 라우팅 기법이라고 한다. LEACH이전의 기법들은 모든 노드가 각각 데이터를 BS로 전송하는 방식이었고, LEACH 이후의 클러스터링 기법들은 클러스터 헤드라는 특정 노드만이 데이터를 BS로 전송하는 방식이었다. 클러스터 헤드를 이용하지 않는 기법중 가장 일반적인 데이터 전송 방식인 플러딩 기법은 데이터를 수신하는 각 노드가 자신과 연결된 모든 노드들에게 데이터를 전달하는 방식이다. 이는 복잡한 알고리즘이 필요하진 않지만, 모든 노드가 전송하는 것을 반복해서 수행하므로 에너지소모가 크고 전파 영역이 중복되는 문제가 발생한다. 또한 데이터 중심적인 특성을 가지면서 플러딩 기법과 유사한 방식으로 데이터를 전달하는 Directed Diffusion 기법이 있다. 이는 데이터 전달의 관점에서는 효율적이지만 플러딩 기법과 같은 방식으로 전달하기 때문에 동일한 문제를 가지고 있다.

또한 클러스터 헤드를 이용하는 기법들도 많이 연구되었다. LEACH와 유사하게 동작하지만 데이터를 수집하는 기준과 방식이 다른 TEEN, APTEEN과 같은 기법들이 연구되었다. 그 외에도 에너지 효율적인 클러스터링 기법과 클러스터를 구성한 이후에 라우팅을 하는 기법들이 많이 연구되었지만, 각 기법들은 실제 무선 센서 네트워크에 적용하기에는 비효율적이거나 많은 제약 사항을 가지고 있다. LEACH의 경우에는 각 클러스터 헤드가 데이터를 BS로 단일홉으로 전송하기 때문에 에너지 비효율적이고 LEACH를 개선하고자 한 기법들은 다중홉으로 데이터를 전송하여 이러한 LEACH의 문제는 해결하였지만 BS 주변의 데이터 병목 현상 문제가 발생하여 전체 네트워크의 생존시간을 단축시키는 요인이 된다.

3. 제안 기법

3.1 클러스터링

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 기본 아이디어는 다음과 같다. 클러스터 헤드의 에너지 소모를 최소화하기 위해 클러스터링 과정에서 클러스터 크기를 BS와의 거리뿐만 아니라 이웃한 노드의 수와 노드의 남은 에너지도 고려하여 결정하고, 클러스터 헤드의 기능을 분담하는 노드를 설정하는 것이다.

네트워크 내의 모든 노드들의 초기화가 완료되면 BS는 네트워크 전체에 자신의 광고 메시지(advertisement message)를 방송하고, 각 노드들은 이 메시지를 통해서 자신과 BS와의 거리를 측정한다. 각 노드들은 주변으로 자신의 광고 메시지를 방송하여 이를 통해 단일 홉 거리 내에 이웃한 노드의 수와 그들에 관한 정보를 파악하고 식 (1)을 이용하여 waiting time을 계산, W 값이 큰 경우 $1/W$ 에 비례하는 작은 waiting time을 할당받는다.

$$W = [(1 - \alpha) \times \frac{N_i}{N_{MAX}}] + [\alpha \times V_{random}] \quad (1)$$

식 (1)에서 i 는 각각의 노드, N_i 는 이웃 노드의 수를 의미하고, N_{MAX} 는 전체 노드의 수를 의미한다. 또한 α 는 각 노드들의 waiting time의 차를 조절하기 위한 변수로 0-1의 범위를 갖고, V_{random} 은 랜덤 값이다.

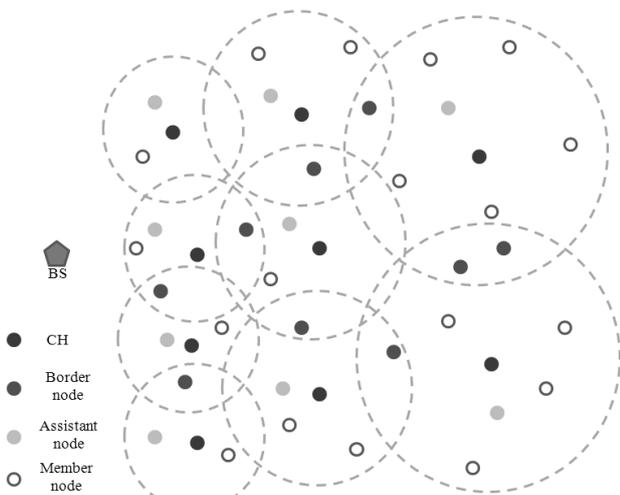
또한 각 노드들은 자신에게 할당된 waiting time을 줄여나가기 시작하여 0이 되면 자신의 모드를 클러스터 헤드로 변경하고 주변으로 hello message를 방송한다. 이때 클러스터의 크기를 결정하기 위해 클러스터 헤드가 될 노드들은 식 (2)를 이용하여 전송범위 R_{comp} 를 결정하고, 이에 맞춰서 메시지의 TTL을 조절한다.

$$R_{comp} = [1 - w_1(1 - \frac{TS_i}{TS_{MAX}}) - w_2(1 - \frac{E_i}{E_{MAX}}) - w_3 \frac{N_i}{N_{MAX}}] R_{MAX} \quad (2)$$

식 (2)에서 TS_i 는 BS와의 거리를 의미하고, TS_{MAX} 는 네트워크 내에서 BS와의 최대거리, E_i 는 해당 노드의 남은 에너지, E_{MAX} 는 노드의 초기 에너지를 의미한다. 그리고 R_{MAX} 는 노드의 메시지 최대 전송 거리를 의미한다.

클러스터 헤드의 헬로 메시지를 받은 노드들은 자신의 waiting time을 줄여나가는 것을 중단하고 메시지에 담긴 클러스터 헤드의 정보를 저장, 자신의 모드를 클러스터 멤버로 변경한다. 그 후에 TTL값을 하나 줄인 클러스터 헤드의 헬로 메시지를 다음 홉으로 전달한다. 다수의 클러스터 헤드로부터 헬로 메시지를 받은 경우에는 각 메시지에 담긴 클러스터 헤드의 정보를 저장하고, 자신의 모드를 보더 노드로 변경한 후 헬로 메시지 전송을 중단한다. 클러스터링이 완료되면 (그림 2)의 형태로 형성되며 보더 노드는 남은 에너지가 가장 큰 클러스터 헤드의 멤버가 되어 클러스터간 통신에 이용된다.

클러스터 헤드가 방송하는 헬로 메시지에 클러스터 헤드에 관한 정보와 BS와의 거리, 그리고 클러스터 헤드의 기능 중 일부를 분담할 노드에 관한 정보가 담겨있다. 본 논문에서는 클러스터 헤드의 기능 중 일부를 분담할 노드를 어시스턴트 노드라 지칭한다. 클러스터 헤드는 광고 메시지를 통해서 파악한 단일 홉 거리 내에 이웃한 노드들 중에서 클러스터 헤드와 가깝고, 남은 에너지가 큰 노드를 어시스턴트 노드로 선택한다. 어시스턴트 노드는 클러스터 헤드의 기능 중 에너지 소모가 가장 큰 기능인 데이터 전송 기능의 일부를 분담하여 클러스터 헤드의 에너지 소모를 최소화 한다. 또한 클러스터의 범위가 겹치는 부분에 존재하는 노드들을 보더 노드로 선정하여 클러스터간의 통신에 이용하도



(그림 2) 클러스터링 구조

록 한다.

3.2 라우팅

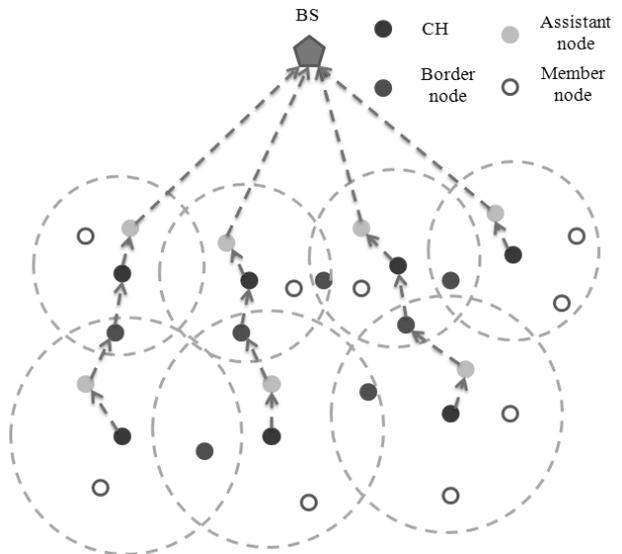
클러스터의 구성과 어시스턴트 노드 설정을 마치고 나면, 각 클러스터는 클러스터 헤드를 중심으로 주변 환경을 감지하고 데이터를 수집하여 이를 BS으로 전송한다. 클러스터 헤드는 클러스터 내부에서 수집한 데이터를 다중 홉으로 BS로 전송을 하기 위해 다음 클러스터 헤드로 전송하고 다음 클러스터 헤드도 같은 과정을 거쳐서 최종적으로 BS로 데이터를 전송한다.

본 논문에서의 라우팅에 관한 구체적인 아이디어는 다음과 같다. 클러스터 헤드는 이전 클러스터 헤드로부터 데이터를 받거나 자신의 클러스터 내에서 수집된 데이터를 전송하게 될 경우, 자신의 클러스터와 BS 사이에 다른 클러스터가 존재하는지 확인한다. 다른 클러스터가 존재하지 않으면 클러스터 헤드는 데이터를 BS로 바로 전송하고, 존재하면 다음 클러스터 헤드로 데이터를 라우팅한다. 클러스터 헤드는 식 (3)을 이용하여 데이터를 전송할 다음 클러스터 헤드를 결정한다.

$$C_N = (1 - \alpha)(1 - \frac{D_i}{D_{CH}}) + \alpha(\frac{E_i}{E_{MAX}}) \quad (3)$$

식 (3)에서 D_i 는 이웃 클러스터 헤드와 BS사이의 거리를 의미하고, D_{CH} 는 현재 클러스터 헤드와 BS사이의 거리를 의미한다.

클러스터 헤드가 데이터를 전송할 다음 클러스터 헤드를 결정하면 해당 클러스터 헤드와의 보더 노드 중에서 에너지가 제일 큰 보더 노드를 선택한다. (그림 3)과 같이 클러스터 헤드는 데이터를 어시스턴트 노드로 전송하고 데이터를 받은 어시스턴트 노드는 데이터에 저장된 정보를 바탕으로



(그림 3) 라우팅 과정

다음 클러스터로 연결된 보더 노드로 데이터를 전송한다. 데이터를 받은 보더 노드는 다음 클러스터 헤드로 데이터를 전송한다.

3.3 리클러스터링

무선 센서 네트워크가 동작하는 도중에 클러스터 헤드의 에너지가 일정수준 이하로 떨어지거나 사고로 인해서 기능을 상실한 경우에는 클러스터 헤드를 새로 선출하고 클러스터링 과정을 다시 해야만 한다. 이 과정은 클러스터링 과정과 동일하지만, 클러스터 헤드를 선출할 때에 각 노드들에게 할당되는 waiting time을 결정하기 위해 사용하는 함수는 다르다.

$$W_R = [(1 - \alpha - \beta) \times \frac{N_i}{N_{MAX}}] + [\alpha \times \frac{E_i}{E_{MAX}}] + [\beta \times V_{random}] \quad (4)$$

첫 번째 대괄호 안은 각 노드별로 이웃 노드의 수를 수치화한 것이다. 즉, 값이 커질수록 첫 번째 대괄호 안의 값은 커지게 된다. 두 번째 대괄호 안은 노드의 남은 에너지 수준을 보여주는 것이다. 노드의 에너지가 많이 남아있으면 그만큼 두 번째 대괄호 안의 값도 커지게 된다. 마지막으로 세 번째 대괄호 안은 각 노드별로 주어지는 랜덤 값이다. 각 노드들의 동기화를 맞추기가 불가능하기 때문에 식 (1)에서와 같이 랜덤 값을 이용하여 waiting time의 차이를 조절한다

각 센서 노드들은 자신의 남은 에너지 수준과 이웃 노드의 수를 포함한 함수를 통해서 1/W에 비례하는 waiting time을 부여 받고 이를 통해서 클러스터 헤드 선출 과정에 참여한다. 식 (1)과 마찬가지로 식 (4)의 값을 통해 1/W_R에 비례하는 waiting time을 할당, 큰 노드가 작은 waiting time을 부여 받아 클러스터 헤드로 선출될 가능성이 높아지게 된다. 초기화 과정에서는 모든 센서 노드들이 동일한 에너지로 시작하기 때문에 waiting time에 노드의 에너지를 고려하지 않았다.

4. 시뮬레이션

본 논문에서는 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 NS-2 (Network Simulator 2)를 이용한다. 무선 센서 네트워크 환경을 구축하는 시뮬레이션은 NS-2 Ver 2.31 안에 포함된 AODV 파일을 기반으로 하여 사용하였고, 제안 기법에 맞게 AODV 파일을 수정하여 성능을 평가하였다.

4.1 시뮬레이션 모델

시뮬레이션에서 구현하는 무선 센서 네트워크는 BS와 노드로 구성되며, 본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 노드와 시뮬레이션 필드 환경을 <표 1, 2>와 같이 설정하였다.

<표 1> 무선 센서 네트워크 노드 환경

MAC Protocol	Mac / 802.15.4
Traffic Pattern	CBR
Size of data packet	70 Bytes
Interface queue type	Drop-Tail, Priority Queue
Initial Energy	1 J

<표 2> 시뮬레이션 필드 환경

Simulation Area	60m X 60m
Number of Nodes	30
Simulation Time	200 seconds

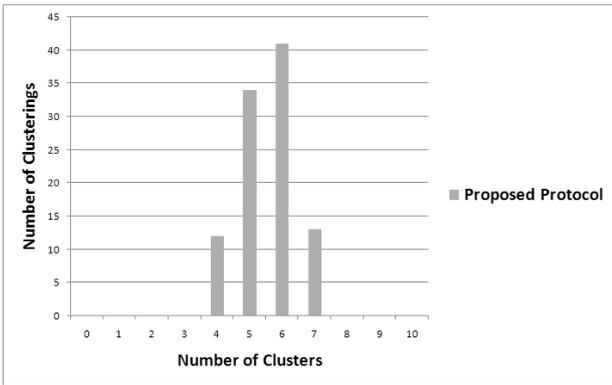
모든 노드의 초기 전력은 1 J로 설정하였고, 송신할 때의 전력 소모를 30 mW로 수신할 때의 전력 소모를 10 mW로 설정하였다. 성능 평가를 하는 환경은 <표 2>와 같고, BS는 오직 한 개만 존재한다고 설정하였다. 그리고 각 노드의 에너지 잔량이 초기 에너지 잔량의 20% 미만으로 남을 경우에는 해당 노드의 기능이 정지된다고 가정하였다.

또한 무선 센서 네트워크의 특성 상 각 노드의 에너지가 소모되어 기능이 정지될 경우 배터리의 충전이나 교체를 통해서 그 기능을 다시 동작하게 하는 경우는 없다고 가정하였다. 성능 평가는 제안하는 알고리즘의 성능을 비교하기 위해서 LEACH와 EEUC를 같은 조건에서 수행하여 비교 대상으로 고려하였고, 각 실험은 시뮬레이션을 15 번씩 반복 수행하여 그 평균값을 사용하였다.

4.2 형성된 클러스터의 수

클러스터의 수는 전체 네트워크를 형성하는 총 노드의 수와 실험 공간의 크기에 따라서 달라진다. 클러스터의 수가 너무 적게 형성되면 한 클러스터 당 멤버 노드의 수가 지나치게 많게 되어 클러스터 헤드의 에너지 소모가 커지게 되고, 효율도 떨어지게 된다. 반면에 클러스터의 수가 너무 많게 형성되면 클러스터 헤드의 수만 많아지게 되어 데이터 수집이 제대로 되지 않으며 전체 네트워크의 에너지도 불필요하게 소모된다. 클러스터의 수가 적어서 클러스터 헤드의 에너지 소모가 큰 경우나, 반대로 클러스터의 수가 많아서 전체 네트워크의 불필요한 에너지 소모가 많아지는 경우가 생기지 않도록 하는 최적의 클러스터가 형성되어야 클러스터 헤드의 에너지 소모가 줄어들 뿐만 아니라 전체 네트워크의 에너지 소모도 줄어들게 된다.

(그림 4)에서 x 축은 형성된 클러스터의 수이고, y 축은 클러스터링을 한 횟수이다. 본 논문에서는 노드의 수를 30 개로 가정하였으며, 실험 공간의 크기를 60 m X 60 m으로 정하였고, 클러스터링 횟수를 100 회로 하여 실험 결과를 측정하였다. x 축의 평균값이 4 개에서 7 개 사이인 경우는 클러스터가 최적의 개수만큼 형성되어 있음을 의미한다. 반대로 x 축의 값이 3 개 이하인 경우 클러스터 헤드가 가지는 업무량이 증가하여 비효율적이고 8 개 이상일 경우에는



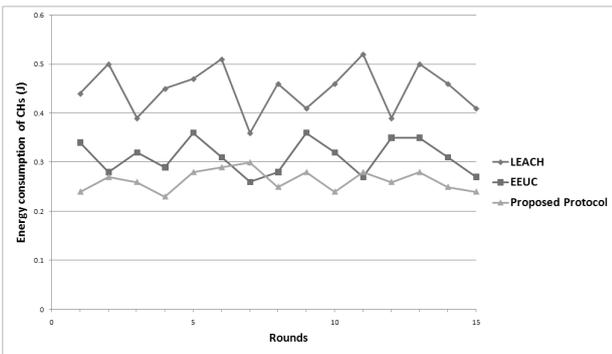
(그림 4) 형성된 클러스터의 개수

많이 형성되어 있어서 불필요한 헤더의 선정으로 효율성이 떨어진다는 것을 의미한다. 제안하는 알고리즘은 형성된 클러스터의 수가 4 개에서 7 개 사이에 밀집되어 있음을 볼 수 있다. 이는 기존의 불균형 클러스터링 알고리즘인 EEUC와 크게 다르지 않아 제안하는 알고리즘이 적당한 수의 클러스터를 형성한다는 것을 알 수 있었다.

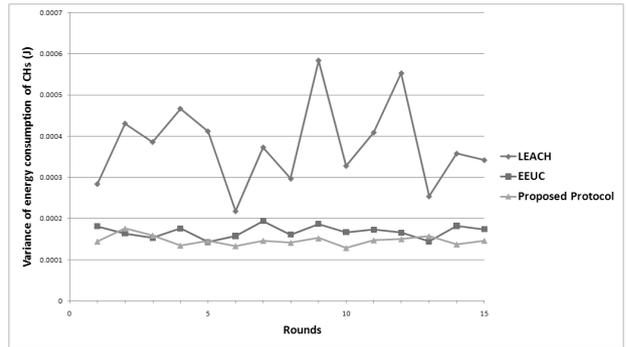
4.3 클러스터 헤드의 에너지 소모량

클러스터 헤드의 평균 에너지 소모량은 클러스터 헤드에 부여되는 로드량을 의미한다. 클러스터 헤드의 평균 에너지 소모량이 적을수록 클러스터 헤드가 오랜 시간동안 기능을 유지하며, 이는 전체 네트워크의 원활한 통신에도 영향을 미친다.

(그림 5)는 LEACH와 EEUC, 제안하는 알고리즘으로 각각 실험을 수행하였을 경우의 매 라운드 당 클러스터 헤드의 평균 에너지 소모량을 비교하여 나타낸다. 클러스터 헤드의 에너지 소모량이 작으면 작을수록 클러스터 헤드의 평균 수명이 길어지게 되는데 제안하는 알고리즘의 경우에는 주변 노드의 수나 에너지 잔여와 같은 점을 고려하여 클러스터링을 수행하기 때문에 클러스터 헤드의 평균 에너지 소모량이 가장 적을 뿐만 아니라 매 라운드 당 변동폭도 가장 작은 것을 볼 수 있다. 이는 제안하는 알고리즘이 다른 기법에 비해서 클러스터 헤드의 에너지 소모를 최소화한다는 것을 의미한다.



(그림 5) 클러스터 헤드의 평균 에너지 소모량



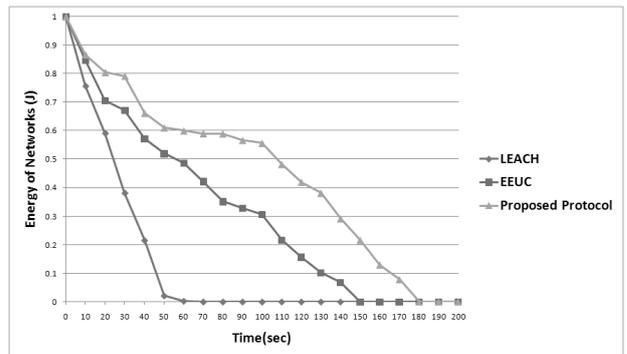
(그림 6) 클러스터 헤드의 에너지 소모 분산

(그림 6)은 클러스터 헤드 간의 에너지 소모량의 분산을 각 기법끼리 비교하여 나타낸다. 클러스터 헤드 간의 로드 밸런싱이 잘 되어 있을수록 에너지 소모량의 분산은 작게 나타난다. 제안하는 알고리즘과 EEUC의 경우에는 클러스터 헤드 간의 에너지 소모량의 분산 차가 크지 않는데, 이는 특정 클러스터 헤드의 빠른 기능 상실이 없어서 BS로의 데이터 전송이 원활하다는 장점을 가지기 때문이라고 볼 수 있다.

4.4 전체 네트워크의 평균 총 에너지 소모량

무선 센서 네트워크에서의 클러스터링 알고리즘은 전체 네트워크의 생존 시간을 증가시키는 것을 주요 이슈로 삼고 있다. (그림 13)에서 x 축은 시간을 나타내고, y 축은 전체 네트워크의 남은 에너지량을 나타낸다. 전체 네트워크의 평균 에너지가 20 % 이하로 남게 되는 경우에는 네트워크의 기능을 상실하고 작동되지 않지만, 노드가 수면모드로 바뀌지 않고 계속 켜져 있다고 가정하기 때문에 에너지 소모는 계속 된다.

(그림 7)이 보여주는 결과는 본 논문에서 제안하는 알고리즘이 LEACH보다 성능이 우수함을 보이는 것을 물론 EEUC에 비해서도 더 나은 성능을 보이고 있음을 의미한다. LEACH의 경우에는 클러스터가 잘 분산되지 않고, 모든 클러스터 헤드가 BS으로 데이터를 전송할 때에도 단일홉 전송하기 때문에 그로 인한 에너지 소모가 커져서 전체 네트워크의 평균 총 에너지가 급감한다.



(그림 7) 네트워크 총 에너지 소모량

EEUC의 경우에는 클러스터의 크기를 다르게 하여 BS 주변에서 발생하는 병목 현상 문제를 해결하지만 클러스터 헤드의 상태와 주변 상황을 무시하고 클러스터의 크기를 결정하기 때문에 클러스터 헤드의 에너지 소모가 증가하게 된다. 반면에 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 BS와의 거리 외에도 클러스터 헤드의 상태와 주변 상황을 고려하여 클러스터의 크기를 결정하고 클러스터 헤드의 기능을 보조하는 노드를 두어 클러스터 헤드의 에너지 소모를 최소화하였기 때문에 기존의 두 기법에 비해서 향상된 성능을 보인다.

5. 결 론

본 논문에서는 다중 홉 라우팅 네트워크를 가정하며, BS와의 거리에 따라 클러스터의 크기를 다르게 하면서, 동시에 클러스터 헤드의 에너지 소모도 고려할 수 있는 에너지 효율적인 불균형 클러스터링 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘의 기본 아이디어는 적절한 클러스터 헤드를 선출한 후, BS와의 거리 외에도 클러스터 헤드가 될 노드의 에너지 상태와 주변 이웃 노드들의 수를 고려하여 클러스터의 크기를 결정하고, 클러스터 헤드의 전송 기능 중 에너지 소모가 큰 부분인 인터 커뮤니케이션을 보조하는 노드를 두는 것이다. 이는 다시 말해서, 클러스터 헤드의 에너지 소모를 최소화하고자 함을 의미하며, 더 나아가 전체 네트워크의 에너지 소모를 최소화하여 네트워크의 총 생존시간을 증가시키고자 함을 의미한다.

기존 클러스터링 알고리즘인 LEACH와 불균형 클러스터링 알고리즘인 EEUC를 비교 대상으로 하여 제안하는 알고리즘의 성능을 NS-2 시뮬레이션을 통해 분석을 한 결과, 클러스터 헤드의 평균 에너지 소모량과 클러스터 헤드 간의 에너지 소모량 분산 정도에 대해 모두 좋은 성능을 보이는 것을 확인하였다. 또한 전체 네트워크의 생존 시간으로 볼 때, 제안하는 알고리즘이 기존의 LEACH와 EEUC에 비해 각각 3.6배, 1.3배가량 성능이 향상되었음을 확인할 수 있었다.

이처럼 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 적절한 클러스터 헤드를 선출한 후, BS와의 거리 외에 클러스터 헤드의 상태와 주변 상황을 고려하여 클러스터의 크기를 결정하고, 동시에 클러스터 헤드의 기능을 보조하는 노드를 둬으로써 클러스터 헤드의 에너지 소모를 최소화하고 클러스터 헤드 간의 에너지 소모 분산도 고르게 할 수 있었다. 또한 전체 네트워크의 에너지 소모를 감소시켜 네트워크의 생존 시간을 기존 기법에 비해 보다 증가시켜 오랫동안 네트워크가 동작하도록 하였다. 하지만, 모든 실험에서의 네트워크의 크기와 노드의 수가 고정되어 있었다. 그래서 향후에는 다양한 크기의 네트워크도 고려하면서, 동시에 노드의 수가 변화하는 네트워크 환경에 적용 가능하도록 연구를 확장시킬 필요가 있다.

참 고 문 헌

- [1] C. Y. Chong and S. P. Kumar, "Sensor Networks: Evolution, Opportunities, and Challenges," In Proceedings of the IEEE, vol. 91, issue. 8, pp.1247-1256, Aug., 2003.
- [2] W. Heinzelman, J. Kulik, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, vol.2, pp.10-19, Jan., 2000.
- [3] C. Li, M. Ye, G. Chen, and J. Wu, "An Energy-Efficient Unequal Clustering Mechanism for Wireless Sensor Networks," IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems, pp.7-10, Nov., 2005.
- [4] M. Ye, C. Li, G. Chen, and J. Wu, "EECS: An Energy Efficient Clustering Scheme in Wireless Sensor Networks," IEEE International Performance Computing and Communications Conference, pp.535-540, Apr., 2005.
- [5] F. Tashtarian, A. T. Haghghat, M. T. Honary, and H. Shokrzadeh, "A New Energy-Efficient Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," IEEE International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks, pp.1-6, Sep., 2007.
- [6] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "TEEN: A Routing Protocol for Enhanced Efficiency in Wireless Sensor Networks," Proceedings of the 15th International Parallel and Distributed Processing Symposium, pp.2009-2015, Apr., 2001.
- [7] A. Manjeshwar and D. P. Agrawal, "APTEEN: A Hybrid Protocol for Efficient Routing and Comprehensive Information Retrievals in Wireless Sensor Networks," Proceedings of the International Parallel and Distributed Processing Symposium, pp.195-202, Apr., 2002.



이 성 주

e-mail : golgona@hotmail.com

2007년 서강대학교 컴퓨터학과(학사)

2009년 서강대학교 컴퓨터공학과(공학석사)

관심분야: 무선통신망, 센서네트워크 등



김 성 천

e-mail : ksc@sogang.ac.kr

1975년 서울대학교 공과대학 공업교육학
(학사)

1979년 Wayne State Univ. 컴퓨터공학
(공학석사)

1982년 Wayne State Univ. 컴퓨터공학
(공학박사)

1982년~1984년 캘리포니아주립대 조교수

1984년~1985년 금성반도체(주) 책임연구원

1985년~현 재 서강대학교 컴퓨터학과 교수

관심분야: 병렬처리시스템(Parallel Computer Architecture, Inter-connection Network), WDM technology를 이용한 cluster system, 유비쿼터스 컴퓨팅, Pervasive Computing