

강건한 다중홉 클러스터 기반 백본 생성 알고리즘

신인영, 김문성, 추현승
성균관대학교 정보통신공학부
e-mail : yamaco3826@skku.edu

A Robust Backbone Formation for Wireless Sensor Networks

Inyoung Shin and Hyunseung Choo
School of Information and Communication Engineering
Sungkyunkwan University

요 약

본 논문에서는 무선 센서네트워크에 적합한 백본을 형성하여 특정 노드 집합들만 라우팅에 참여하게 함으로써 데이터를 전달하기 위한 오버헤드와 깨어있는 노드의 수를 최소화한다. 이때 백본을 형성하는 노드들은 일반 노드에 비해서 에너지 소모가 크므로 노드의 잔여에너지와 차수를 고려하여 강건한 백본을 형성하여 네트워크의 라이프타임을 증가시키는 것이 중요하다. 그러므로 본 논문에서는 에너지레벨이 높은 노드를 클러스터헤드로 선정해서 강건한 백본을 형성하고, 헤더 주변에 많은 노드들을 배치하여 패킷전달의 역할을 분산함으로써 네트워크 라이프타임을 늘린다. 시뮬레이션 결과에서 제안 알고리즘은 기존 연구에 비해 클러스터헤드의 잔여에너지측면에서 약 58.6%, 차수측면에서 약 79.42%의 성능 향상을 보인다.

1. 서론

센서네트워크 환경에서 노드의 한정된 에너지를 고려하여 네트워크 라이프타임을 최대화하기 위한 라우팅 연구가 중요해지고 있다. 센서노드들은 제한된 배터리 용량을 가지고 있으며 한번 배치되면 더 이상 에너지의 추가 공급이 어렵다. 또한 하나의 센서노드가 배터리 수명을 다하여 죽게 되었을 때 센서 네트워크의 분할을 가져와서 데이터 전송의 신뢰성을 보장받지 못할 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 백본을 활용하는 방법이 대두하였다[1].

백본을 이용한 라우팅 모델에서는 특정 노드들만 데이터전달 과정에 참여하게 함으로써 통신오버헤드를 제한하여 불필요한 에너지 소모를 줄인다. 즉, 루트 탐색 범위를 백본에 속한 노드들로 한정함으로써 플러딩되는 루트 탐색 메시지의 수를 줄일 수 있다. 또한 백본에 속하지 않는 다른 노드들은 루트 탐색에 참여하지 않으므로 송수신할 데이터가 없을 경우 유희상태에서 수면상태로 전환함으로써 전력 소모를 절감할 수 있다.

그러나 백본노드들은 비백본 노드의 트래픽을 모두 처리해야하므로 에너지 소모가 크다[2]. 백본노드는 일찍 에너지를 소모하는데, 이는 네트워크 단절현상과 함께 전체 네트워크라이프타임을 단축시키는 결과를 가져온다. 따라서 본 논문에서는 기존의 Max-Min D-클러스터 기법[3]에 잔여에너지와 차수를 고려하여 멀티홉 클러스터에 기반한 강건한 백본을 형성한다. 에너지레벨이 높은 노드를 클러스터헤드로 선정해서 강건한 백본을 형성하고, 헤더 주변에 많은 노드들을 배치하여 패킷전달의 역할을 분산함으로써 네트워크

라이프타임을 증가시킬 수 있는 방안을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장은 현재까지 제안된 에너지 효율적인 백본생성 알고리즘에 대해 알아본다. 이를 바탕으로 3 장에서는 강건한 백본형성을 위한 다중홉 클러스터링 알고리즘을 소개한다. 4 장은 이전기법들과 성능을 비교하고, 마지막으로 5 장에서 논문을 마무리한다.

2. 관련연구

백본을 이용한 라우팅 모델에서는 특정 노드들만 데이터전달 과정에 참여하게 함으로써 통신오버헤드를 제한하여 불필요한 에너지 소모를 줄인다. 현재 백본을 형성하기 위한 다양한 방법들이 제시되었다. 한 가지 접근법은 연결된 지배집합을 이용하여 데이터 전달 경로를 형성하는 것이다. 일반적으로 센서네트워크의 노드들은 조밀하게 배치되어 있기 때문에 각 노드는 많은 이웃노드를 가진다. 그러므로 특정 노드 집합만 선발하면 주변 이웃노드들은 이 집합에 속한 노드를 이용하여 통신할 수 있다. 형성절차에 따라서 두 가지 방식으로 나뉠 수 있는데 첫째, 충분히 많은 수의 노드로 구성된 연결된 지배집합을 구한 다음 불필요한 노드를 제거하는 방식이 있다. 둘째, 적은수의 노드로 구성된 지배집합을 구한 다음 새로운 노드를 삽입하여 노드를 연결해가면서 백본을 형성한다. 비백본 노드는 전달하거나 수신할 데이터가 없으면 수면상태로 있을 수 있어서 에너지를 절약할 수 있으므로 이러한 모델에서는 깨어있는 노드의 수를 최소화하는 것은 중요한 문제이다.

BBR(BackBone Routing)[4]은 기존의 커버링문제(Covering

Problem)을 이용하는데, 노드들의 전과반경이 동일하다는 가정하에 모든 노드가 통신이 가능하도록 하는 최소한의 센서노드 집합을 구한다. 이때 백본 노드는 적어도 하나의 백본노드에 연결되어 있어 언제든지 데이터를 전달할 수 있다. 최소한의 백본노드는 항상 깨어있는 상태를 유지하고 나머지는 수면상태로 있다가 송수신할 데이터가 있으면 비수면상태로 전환하기 때문에 에너지 효율적이다. 또한 싱크가 주기적으로 백본을 재형성하는데, 이때 현재 백본네트워크와 중첩되지 않는 새로운 백본을 구한다. 주기적으로 백본노드를 교체하여 특정 노드의 에너지 손실을 막는다.

애드혹(Ad-hoc) 기반의 백본 생성 알고리즘인 Max-Min D-클러스터를 그대로 센서네트워크에 차용한 HCDD(Hierarchical Cluster-based Data Dissemination) [5]는 효율적인 데이터 전달을 위해 D 홉 클러스터를 생성한다. D 홉 클러스터에서는 모든 노드가 클러스터헤드로부터 최대 D 홉 떨어져 있으므로 규모가 큰 센서네트워크 환경에 효율적이다. 하지만 센서네트워크 환경에서 애드혹 네트워크 기술을 활용할 수 있지만 대부분은 센서네트워크의 특성과 응용분야의 요구사항에 적합하지 않다. 다음과 같은 특성으로 인해 애드혹 기반의 Max-Min D-클러스터 기법을 센서네트워크 환경에 그대로 적용하기 어렵다. 첫째, 센서는 배터리에 기반하여 동작하므로, 에너지 고갈은 해당 노드의 기능 상실을 의미한다. 둘째, 일반적으로 센서네트워크를 구성하는 모든 노드들은 동일한 컴퓨팅과 통신 자원을 갖는다고 가정한다. 셋째, 대부분 센서네트워크 환경에서는 노드는 움직이지 않는다고 가정한다.

Max-Min D-클러스터 알고리즘은 노드 ID 를 이웃노드에게 플러딩하고 그 ID 를 랜덤수로 활용해 각 노드들이 최대 D 홉 떨어진 클러스터헤드를 선정한다. 그러나 이 알고리즘은 애드혹기반의 백본트리 생성 기법이기에 에너지레벨에 민감한 센서네트워크 환경에는 부적합하다. 클러스터헤드 선출 시 센서노드의 잔여 에너지와 차수에 대한 고려가 없기 때문에 특정 센서노드의 에너지가 고갈되는 경우가 많다. 따라서 랜덤하게 할당된 노드 ID 를 기반으로 클러스터를 형성하기에 만약 클러스터헤드가 일반노드에 비해서 상대적으로 로드가 많음에도 불구하고 에너지레벨이 낮다면, 일찍 에너지를 소모하게 되고 그 결과 네트워크가 단절되거나 재클러스터링이 불가피하게 된다.

또한 Max-Min D-Cluster 는 센서노드들이 전혀 움직이지 않는 네트워크 환경에서 노드에 미리 할당된 ID 를 기반으로 클러스터를 형성하기 때문에 클러스터헤드 재선발시 동일한 노드가 선택될 확률이 매우 높다. 이러한 특징은 새로운 클러스터헤드 생성에 따른 라우팅정보 전달비용을 감소시키지만, 동일한 노드가 재선발되어 특정한 노드의 에너지소비가 높아지는 단점이 있다. 또한 빈번하게 패킷포워딩을 하는 헤드 주변 노드의 수가 적으면 에너지 불균형으로 인해 헤드 주변의 노드들이 일찍 에너지를 소모한다. 따라서 본 알고리즘은 노드의 에너지가 많은 애드혹 환경에 적합할지 모르나 센서네트워크 환경에 적용할 때는 노

드 ID 가 아닌 적절한 인자를 고려해서 백본트리를 구성해야 한다. 따라서 본 논문에서는 기존의 Max-Min D-클러스터 기법에 잔여에너지와 차수를 고려하여 멀티홉 클러스터에 기반한 강건한 백본을 형성한다.

3. 제안기법

백본 형성을 위한 일반적인 방법은 전체 네트워크를 클러스터로 분리하고 클러스터헤드와 게이트웨이를 연결하여 데이터 전달 경로를 만드는 것이다. 이때 백본을 형성하는 노드들은 일반 노드에 비해서 에너지 소모가 크므로 노드의 잔여에너지와 차수를 고려하여 강건한 백본을 형성하여 네트워크의 라이프타임을 증가시키는 것이 중요하다. 그러므로 본 논문에서는 에너지레벨이 높은 노드를 클러스터헤드로 선정해서 강건한 백본을 형성하고, 헤드 주변에 많은 노드들을 배치하여 패킷전달의 역할을 분산함으로써 네트워크 라이프타임을 늘린다.

모든 일반 노드들이 클러스터헤드로부터 최대 D 홉 떨어진 멀티홉 클러스터를 형성하기 위해 2D 라운드 동안 D 홉 내의 이웃노드에게 자신의 플러딩값을 전달한다. 노드들은 각 라운드마다 선택한 플러딩값을 기반으로 클러스터헤드와 게이트웨이를 선정하고, 이들을 연결하여 백본을 형성한다. 각 노드는 클러스터 형성 초기에 자신의 잔여에너지와 차수를 기반으로 자신의 초기 플러딩값을 계산하는데 수식은 다음과 같다.

$$f(Node_ID, \omega) = \omega \left(\frac{E_{residual}}{E_{initial}} \right) + (1 - \omega) \left(\frac{Degree}{\max\{Degree\ in\ neighborset\}} \right)$$

$E_{residual}$ 과 $E_{initial}$ 은 각 노드의 에너지 잔여량과 초기량을 나타내며, $\frac{E_{residual}}{E_{initial}} \in [0,1]$ 이다. $Degree$ 는 주변 노드와

통신이 가능한 노드의 수이고, $\max\{Degree\ in\ neighborset\}$ 는 이웃노드의 차수 중 가장 큰 값을 나타낸다. 이때 $\max\{Degree\ in\ neighborset\} \in [0,1]$ 이다.

3 단계를 거쳐서 D-클러스터를 생성하는데 첫째, 각 노드는 잔여에너지와 차수를 기반으로 자신의 초기 플러딩값을 계산하고, D 값이 정해지면 각 노드는 2D 크기의 플러딩 배열을 만들어서 라운드마다 선택되는 플러딩값을 저장한다. 둘째, FloodMax 와 FloodMin 과정을 각 D 라운드만큼 수행하는데, FloodMax 과정에서는 각 노드가 한 홉 이웃노드로부터 전달받은 플러딩값과 자신의 플러딩값을 비교하여 가장 큰 값을 현재의 플러딩 배열값으로 저장한다. FloodMin 과정은 FloodMax 와 동일한 방법으로 진행되지만 비교한 값 중 가장 작은 값을 선택하여 현재의 플러딩 배열값으로 저장하는 것이 차이점이다. 셋째, 2D 라운드 동안 저장한 플러딩 배열값을 기반으로 클러스터헤드 선정 법칙에 따라 헤드를 선정한다.

FloodMin, FloodMax 과정이 끝나면 4 가지 법칙에 따라서 클러스터헤드를 선정한다. 첫째, FloodMin 과정에서 자신의 초기 플러딩값과 동일한 값이 나왔다면, 그 노드는 자기 자신이 클러스터헤드라고 선언한다. FloodMin 과정에 존재하는 플러딩값은 다른 플러딩값

보다 높다. 즉, 첫 번째 법칙에 의하면 플러딩값이 높은 노드 순서로 헤드를 선발할 수 있다. 둘째, 첫 번째 법칙에 적용되지 않으면 각 노드는 FloodMax 과정의 플러딩값들과 FloodMin 과정의 플러딩값들을 비교한다. 두 과정에서 동일한 값이 나왔다면, 해당 플러딩값을 초기 값으로 가지는 노드를 자신의 클러스터헤드라고 지정한다. 만약 같은 값이 2 개 이상 나오면 작은 값을 선택한다. 두 번째 법칙에도 적용되지 않는다면 세 번째 법칙을 적용한다. 셋째, FloodMax의 플러딩값 중에서 가장 큰 값을 선택하고, 그것을 초기 값으로 가지는 노드를 자신의 클러스터헤드로 지정한다. 위에 언급한 3 개의 법칙으로 헤드선정이 끝나면 각 노드는 자신의 클러스터헤드 ID 를 이웃노드에게 알린다. 만약 이웃노드에서 전송받은 ID 가 다르다면 그 노드는 게이트웨이가 된다. 마지막으로 클러스터헤드가 어떤 일반노드와 그것의 클러스터헤드 사이에 놓여있다면 그 일반노드는 자신과 가까운 클러스터헤드를 자신의 클러스터헤드로 지정한다.

4. 성능평가

시뮬레이션은 C로 구현되었으며, 전체 노드의 개수, 전송반경, 밀도, 센서필드 면적을 가지는 센서 네트워크를 다루기 위해서 다음과 같은 변수를 설정한다.

- N = 전체 노드의 개수
- r = 노드의 전송반경
- d = 네트워크 필드 L² 내의 평균 노드 수
- a = 네트워크 필드 한 변의 길이

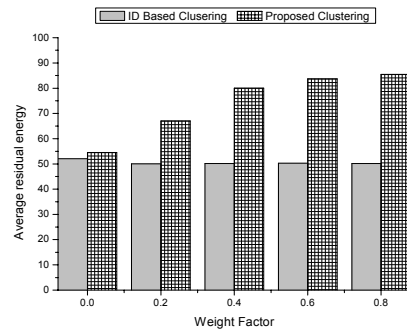
이때, $N \approx \frac{a}{r^2} \times d$ 와 같은 수식이 성립된다. 본 시뮬레이션에서는 약 300 x 300m 무선 네트워크에 전송반경이 30m 인 500 개의 노드를 랜덤하게 생성한다. 클러스터헤드 평균 잔여에너지와 차수, 클러스터헤드 잔여에너지 및 차수의 표준편차, 클러스터 크기의 표준편차에 대해 500 번 시뮬레이션을 수행하였다. 세 가지 성능평가 요소인 클러스터헤드 평균 잔여에너지와 차수, 잔여에너지와 차수의 표준편차, 클러스터 크기의 표준편차가 의미하는 바는 아래와 같다.

- A. 클러스터헤드 평균 잔여에너지 (차수)** - 클러스터헤드의 잔여에너지와 차수는 백본의 강건함을 나타내는 척도이다. 클러스터헤드는 클러스터 내의 로컬 컨트롤러로 클러스터 내의 전송을 조정하고, 클러스터 간 트래픽을 처리하고, 자신의 클러스터를 목적지로 하는 패킷을 전달하는 역할을 한다. 그러므로 클러스터헤드의 처리량은 일반 노드에 비해서 크며, 헤드 주변노드 또한 패킷포워딩을 위해 많은 에너지를 소모하게 된다. 그러므로 잔여에너지와 차수가 높은 노드를 클러스터헤드로 선정하면 전체 네트워크 라이프타임을 늘릴 수 있다.
- B. 클러스터헤드 잔여에너지(차수)의 표준편차** - 전체노드의 개수를 N, 각 클러스터헤드의 잔여에너지(차수)를 x, 이것의 평균이 \bar{x} 이면 편차

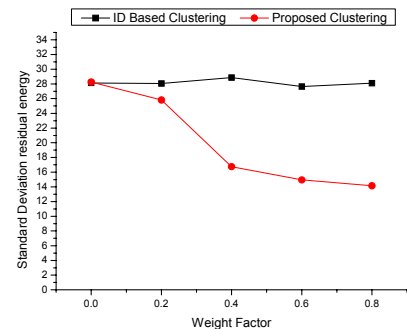
는 $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^N (x - \bar{x})^2}{N}}$ 이다. 클러스터헤드 표준

편차는 헤드들의 잔여에너지나 차수의 분포정도를 나타낸다. 즉, 편차가 작다는 것은 평균값과 각 노드가 유사한 값을 가지고 있다는 것을 의미하며, 각 노드의 잔여에너지(차수)가 균일하다는 것을 의미한다. 평균값이 높고, 편차가 작다면 잔여에너지(차수)가 높은 노드들이 헤드로 선발된 것이다. 또한 백본을 형성하는 노드들의 특성이 균일하여 불균형으로 인한 빠른 네트워크의 단절이나 네트워크 라이프타임의 감소를 완화시킨다.

- C. 클러스터 크기의 표준편차** - 클러스터 크기는 클러스터내의 노드들의 개수이며, 그것의 표준편차는 클러스터간의 노드개수 분포정도를 나타낸다. 편차가 작다는 것은 클러스터간 크기가 균일하며, 전체 네트워크를 고르게 클러스터로 나누어서 클러스터헤드간 부하는 거의 일정하다는 것을 의미한다. 반면 클러스터 크기가 불균형을 이루면 특정 클러스터헤드가 일찍 잔여에너지를 소모하여 네트워크 단절현상을 일으키거나 재클러스터링으로 인한 오버헤드를 증가시킬 수 있다.



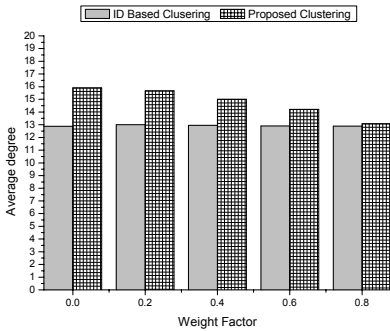
(그림 1) 클러스터헤드의 잔여에너지 평균



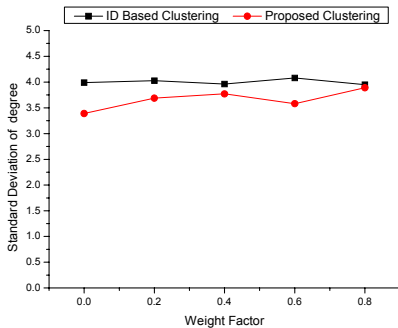
(그림 2) 클러스터헤드의 잔여에너지 편차

그림 1, 2 와 같이 가중치 변화시키면서 클러스터헤드 잔여에너지의 평균과 편차를 측정하였다. 가중치가 1

에 가까울수록, 즉 노드의 잔여에너지에 가중치를 높게 할당할수록 헤드의 평균 잔여에너지는 증가한다. 클러스터헤드가 일반노드에 비해서 패킷 처리량이 많은 것을 감안한다면 잔여에너지가 높은 노드를 헤드로 선정함으로써 강건한 백본을 형성할 수 있다. 또한 가중치가 1에 가까울수록 잔여에너지가 높은 노드를 순차적으로 선정하기 때문에 헤더간 잔여에너지가 균일하다. 반면 ID 기반의 클러스터링 기법은 잔여에너지 평균이 50.54 이고, 편차가 28.16 이므로 제안하는 알고리즘에 비해 클러스터헤드 잔여에너지 평균이 낮을 뿐만 아니라 분포가 고르지 않아서 백본이 강건하지 못하다.



(그림 3) 클러스터헤드의 평균 차수



(그림 4) 클러스터헤드의 차수 편차

그림 3, 4 은 가중치 변화에 따른 클러스터헤드 차수의 평균과 편차를 나타낸다. 가중치가 0에 가까울수록, 즉 노드의 차수에 가중치를 높게 할당할수록 헤드의 평균차수는 증가한다. 헤더주변의 노드들은 헤더측으로 빈번하게 패킷을 전달하기 때문에 헤더와 멀리 떨어진 노드에 비해서 에너지 소모가 크다. 그러므로 헤더주변에 많은 노드들을 배치시켜 포킷포워딩의 역할을 분산함으로써 네트워크 라이프타임을 늘릴 수 있다. 가중치가 0에 가까울수록 차수가 높은 노드가 순차적으로 선정되기 때문에 헤더간 잔여에너지가 균일하다. 반면 ID 기반의 클러스터링 기법은 차수가 평균 12.93 이고, 편차가 4.0 이므로 제안하는 알고리즘에 비해 클러스터헤드 차수의 평균이 낮고, 편차는 크다.

5. 결론

본 논문에서는 클러스터헤드가 일반노드로부터 모든 데이터를 전달받고, 헤더주변 노드들이 패킷포워딩을 위해 많은 에너지를 소모한다는 것을 감안하여 강건한 다중홉 클러스터를 이용한 백본트리생성 알고리즘을 제시하였다. 기존의 MaxMin D-Cluster 알고리즘은 ID 를 기반으로 클러스터를 형성하였지만, 제안하는 알고리즘은 잔여에너지와 차수를 고려하여 클러스터를 형성한다. 그러므로 제안 알고리즘을 이용하면 에너지레벨이 높은 노드를 클러스터헤드로 선정해서 강건한 백본을 형성하고, 헤더 주변에 많은 노드들을 배치하여 패킷포워딩의 역할을 분산함으로써 네트워크 라이프타임을 늘릴 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-(C1090-0801-0046)).
책임저자 : 추현승.

참고문헌

- [1] D. England, B. Veeravalli, and J. B. Weissman, "A Robust Spanning Tree Topology for Data Collection and Dissemination in Distributed Environments," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, vol. 18, pp. 608-620, May 2007.
- [2] C. Chang, K. Shih, H. Chang, and H. Liu, "Energy-Balanced Deployment and Topology Control for Wireless Sensor Networks," In Proceedings of IEEE GLOBECOM 2006, pp.1-5, November 2006.
- [3] A. D. Amis, R. Prakash, D. Huynh, and T. Vuong, "Max-Min D-Cluster Formation in Wireless Ad Hoc Networks," In Proceedings of IEEE INFOCOM 2000, pp. 32-41, March 2000.
- [4] V. Paruchuri, A. Durresi, M. Durresi, and L. Barolli, "Routing through backbone structures in sensor networks," In Proceedings of IEEE International Conference on Parallel and Distributed Systems 05, vol. 2, pp. 397-401, July 2005.
- [5] C.-J. Lin, P.-L. Chou, and C.-F. Chou, "HCDD: Hierarchical Cluster-based Data Dissemination in Wireless Sensor Networks with Mobile Sink," In Proceedings of ACM International Conference on Wireless communications and mobile computing, pp. 1189-1194, 2006