

무선 센서 네트워크에서 클러스터 기반 라우팅 프로토콜을 위한 노드 밀도에 따른 스케줄링 기법

홍상렬[○] 박형순 김시관
금오공과대학교 소프트웨어공학과
{hongkit[○], roora99, sgkim}@se.kumoh.ac.kr

A Node-Density Adaptive Scheduling Scheme for Cluster-based Routing Protocol in Wireless Sensor Networks

Sang-ryeol Hong[○] Hyeong-soon Park Si-Gwan Kim
Department of Software Engineering, Graduate School of
Kumoh National Institute of Technology

요약

무선 센서 네트워크에서는 다른 네트워크보다 전력 공급이 큰 제약으로 작용하고 있는데, 본 논문에서는 클러스터 기반으로 하는 프로토콜에서 클러스터를 구성하는 센서 노드의 밀도에 따라서 클러스터 헤더에게 데이터를 전송하는 노드 수를 조정하는 방법을 제안한다. 제안하는 스케줄링 개념은 노드 밀도가 큰 클러스터에서는 클러스터 멤버 노드들의 라운드 당 데이터 전송 회 수를 줄임으로써 전송 에너지 소모를 줄일 수 있으며 네트워크 전체의 라이프 타임을 증가 시킬 수 있다.

1. 서론

무선 센서 네트워크는 특정한 지역에서 관심 있는 현상을 감지하고자 무선 센서 노드들을 배포해서 감시하는 무선 센서 노드들의 네트워크이다. 센서 노드는 관심 있는 현상이 발생되면 현상을 감지하고, 그 값을 측정하여 무선 채널을 이용해서 싱크(sink)노드에게 전달하게 된다.

모든 무선 센서 노드들이 감지한 데이터를 싱크노드에게 전달하는데 있어서 여러 가지 방법이 제안되었지만 그 중에서 많은 연구가 되고 있는 데이터 전달 기법이 바로 무선 센서 노드들을 계층적으로 구분해서 클러스터 단위로 데이터를 전송하는 방법이다. 이러한 방식은 모든 무선 센서 노드들이 싱크노드로 직접적으로 데이터를 전송하면서 생기는 전송 에너지 부하를 가까이 있는 클러스터 헤더노드에게 전송함으로써 크게 줄일

수 있는 방식이다. 따라서 전체 네트워크의 수명은 싱크노드에게 직접 전송할 때보다 더 길게 연장 될 수 있다 [1].

에너지 소모를 줄이기 위한 무선 노드의 계층적인 클러스터를 기반으로 하는 대표적인 프로토콜로는 LEACH(Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks)[2], HEED(Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks: A hybrid, energy-efficient approach)[3] 등이 있다.

기존의 클러스터 기반 프로토콜에서 에너지 소모를 줄이는데 적용한 방법은 클러스터의 크기를 동적으로 조절하는 방법과 계층적인 클러스터를 구성하는 방법을 사용했는데, 본 논문에서는 클러스터 크기에 상관없이 클러스터 간의 클러스터를 구성하는 노드의 밀도 차이

를 고려한 클러스터 노드의 스케줄링 방식을 이용함으로써 높은 노드 밀도를 가진 클러스터에서의 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있고 클러스터 헤더 간의 고른 에너지 소모를 유도하여 전체적인 네트워크의 라이프타임을 증가시킬 수 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 관련연구에 대해서 기술하고 3장에서는 제안하는 노드 스케줄링 기법을 설명한다. 4장은 제안 기법을 적용한 LEACH-C 프로토콜의 성능을 평가하고, 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

네트워크 라이프타임을 연장시키기 위한 방법으로 클러스터를 기반으로 하는 대표적인 프로토콜로는 서론에서 언급한 LEACH, HEED 등이 있다.

LEACH와 HEED는 클러스터 헤더 노드와 단일 홉 거리에 있는 노드들로 클러스터를 구성하는 프로토콜로서 기본적으로 클러스터 헤더가 되기 위한 확률 $T(n)$ 에 기반 해서 클러스터를 구성한다.

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P \times (r \bmod \frac{1}{P})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

P 는 클러스터 헤더로 선출될 확률 값이며, r 은 현재 라운드(round) 값, G 는 $1/P$ 라운드 동안 클러스터 헤더로 선출되지 않은 노드들의 집합이다. 한번 클러스터로 선출되었던 노드는 다음 라운드에서는 0의 확률을 가지게 되고, 지난 라운드에서 클러스터 헤더로 선출되지 않았던 노드들의 확률은 점차 높아진다. 클러스터 헤더로 선출된 노드들은 advertisement 메시지를 broadcasting 해서 자신을 알리고 클러스터 멤버 노드들은 클러스터에 가입을 알리는 응답 메시지를 전송한다. 클러스터가 구성되면 멤버 노드들은 클러스터 헤더에게 데이터를 전송하고, 클러스터 헤더는 받은 데이터들을 aggregation 하여 싱크 노드에게 전송한다.

HEED는 LEACH에서 클러스터 헤더 선출에 이용한 확률 값 $T(n)$ 에 노드 자신이 가진 에너지 상황을 추가

로 고려해서 클러스터 헤더를 선출한다.

$$CH_{prob} = CH_{prob} \times \frac{E_{residual}}{E_{max}}$$

$E_{residual}$ 은 현재 노드가 사용 가능한 에너지, E_{max} 는 노드의 초기 에너지이다.

3. 제안하는 스케줄링 기법

본 논문에서는 클러스터링 방식의 대표적인 프로토콜인 LEACH 프로토콜을 바탕으로 클러스터링 방식에 따른 단일 홉 모드와 다중 홉 모드 클러스터링 프로토콜에 상관없이 구성된 클러스터의 노드 밀도에 따라서 클러스터의 노드 스케줄을 변경하여 높은 노드 밀도를 가진 클러스터의 전송 노드 수를 줄이는 기법이다. 비교하는 LEACH-C 프로토콜과 구분하기 위해서 제안하는 기법을 적용한 LEACH-C 프로토콜을 D-LEACH-C라고 하겠다.

3.1 제안하는 스케줄링 알고리즘

클러스터를 설정 단계에서 네트워크를 구성하고 있는 모든 노드는 싱크노드에게 자신의 위치 정보와 에너지 상태를 전송한다. 싱크노드는 노드들로부터 받은 에너지 상태 정보를 이용해서 네트워크 전체 노드의 평균 에너지 값을 계산하고, 이를 바탕으로 클러스터 헤더가 될 수 있는 노드를 선출해낸다. 클러스터 헤더 노드는 에너지 상태가 평균 에너지 값 이상인 노드들 중에서 임의로 선출된다. 클러스터 구성은 클러스터 헤더로 선출된 노드와 그 외의 노드들의 위치 정보를 이용해서 최적의 클러스터를 구성한다. 각 클러스터 헤더가 담당하는 클러스터 멤버 노드들이 결정되면 각 클러스터들이 담당하는 클러스터 멤버 노드들의 평균값을 계산한다. 이 정보를 이용해서 클러스터 멤버들은 다른 클러스터보다 자신의 클러스터에 멤버노드가 많을 경우 자신의 전송 스케줄을 다음 프레임으로 변경할 것인지 결정하게 된다. 클러스터 구성 정보와 클러스터들의 평균 노드 밀도 값이 결정되면 싱크노드는 네트워크의 모든 노드들에게 이 정보를 전송한다.

싱크노드로부터 클러스터 구성 정보를 받은 모든 노드들은 자신의 클러스터 헤더 정보를 알아내고 이 정보를 바탕으로 자신의 클러스터의 TDMA 스케줄링 정보를 알아낸다. 자신의 클러스터 헤더 정보와 자신의 ID를 비교해서 동일하다면 해당 노드는 해당 클러스터의 클러스터 헤더가 되고 멤버노드들이 전송한 데이터를 aggregation 하여 싱크로 전송한다.

```

Sensor Node
  advertise node_info to BS()
  if ( received BS_CH_INFO ) {
    find ID_myCH from BS_CH_INFO
    find TDMAschedule from ID_myCH

    if (ID_node == ID_myCH) {
      S_node = CH
      if ( length(TDMAschedule) >
          num_AVG_CM_nodes * 1.3 ) {
        receive Data from half amount of CMs
      } else {
        receive Data from all CMs
      }

      send Data to BS
    } else {
      S_node = CM
      if ( length(TDMAschedule) >
          num_AVG_CM_nodes * 1.3 ) {
        if ( (idx of ID_node in TDMAschedule)
            mod 2 == 0 ) {
          send Data in current frame
        } else { send Data in next frame }
      } else {
        send Data in current frame
      }
    }
  }
}

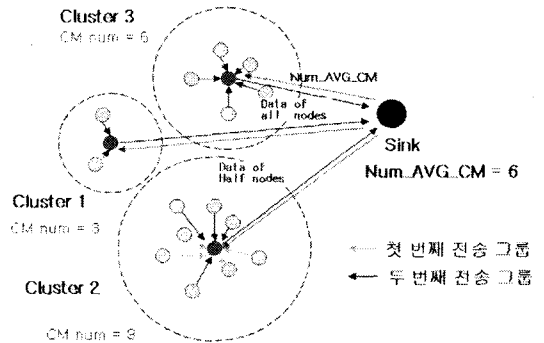
Sink Node
if ( receive adv from all the nodes ) {
  elect CHs
  construct CM of each CH
  calculate num_AVG_CM_nodes of clusters

  broadcast cluster_info and num_AVG_CM_nodes
}
    
```

(그림 1) 노드 스케줄링 기법

클러스터 멤버 노드는 자신의 클러스터 멤버 노드 수의 비율이 클러스터 평균 노드 밀도 값의 1.3 배 이상이 될 경우, 자신의 클러스터 TDMA 스케줄 정보에서 자신이 홀수 번째 전송 노드인지 짝수 번째 전송 노드인지 구분한다. 만약 홀수 번째 전송 노드인 경우이면 현재 프레임에서 전송을 하고, 짝수 번째 전송 노드인 경우에는 다음 프레임에서 전송을 하게 된다.

결과적으로 클러스터 멤버노드의 밀도가 다른 클러스터에 비해 1.3 배 이상으로 높은 클러스터에서는 한 프레임 당 전송하는 노드의 수가 절반으로 줄고, 2 개의 프레임에 걸쳐 클러스터의 모든 노드가 1회 전송을 함으로써 다른 클러스터 멤버 노드에 비해 한 라운드 당 클러스터 헤더로 데이터를 전송하는 회 수가 절반으로 줄어들게 된다. 만약, 자신의 클러스터 멤버 노드의 밀도가 평균값의 1.3 배 이하 일 경우, 해당 클러스터를 구성하는 모든 노드는 정해진 TDMA 스케줄에 따라 클러스터 헤더 노드에게 데이터를 전송한다.



(그림 2) 노드 밀도 스케줄링 동작

4. 성능 비교

4.1 실험 환경

제안하는 노드 스케줄링 방법을 평가하기 위해서 NS-2[4] 시뮬레이션을 수행하였다. 평가하기 위한 영역은 1,000m x 1,000m으로 설정하고 100개의 센서노드 위치를 임의의 값으로 설정하였다. 전파 모델은 two-ray ground 모델을 사용하였고, MAC은 802.11을 사용하였다. 시뮬레이션 시간은 3600초로 설정하였다. 비교할 라우팅 프로토콜은 클러스터 기반의 대표적인

라우팅 프로토콜인 LEACH의 중앙 집중화된 형태인 LEACH-C로 정하고 이를 수정해서 제안하는 노드 밀도에 따른 전송 스케줄링 기법을 구현하였다.

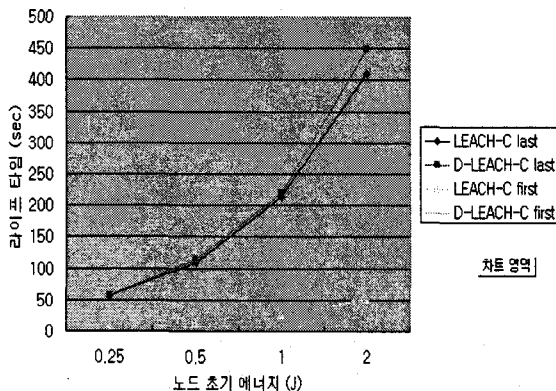
4.2 성능 평가

표 1은 비교하기 위한 LEACH-C 라우팅 프로토콜과 제안하는 노드 밀도에 기반한 전송 스케줄링 기법을 적용한 D-LEACH-C의 시뮬레이션 결과이다.

E(J)	LEACH-C (Fst / Lst sec.)	D-LEACH-C (Fst / Lst sec.)
0.25	8 / 57	10 / 58
0.5	14 / 108	14 / 115
1	27 / 213	27 / 220
2	52 / 411	54 / 449

(표 1) 초기 에너지에 따른 노드 라이프 타임

초기 에너지에 따른 노드 라이프 타임



(그림 3) 노드 초기 에너지에 따른 라이프 타임

제안하는 기법으로 인한 에너지 소모의 차이를 확인하기 위해서 각각의 환경에서 첫 번째로 동작을 하지 않는 노드의 라이프 타임과 마지막으로 동작을

하지 않는 노드의 라이프 타임을 서로 비교하였다.

그리고 노드가 가지는 에너지의 량에 따른 에너지 소모 차이를 확인하기 위해서 노드의 초기 에너지 값을 0.25 J, 0.5 J, 1 J, 2 J로 변경하여 시뮬레이션 하였다.

최초로 동작하지 않는 노드의 라이프 타임은 제안하는 노드 스케줄링 기법을 적용하지 않은 결과와 적용한 결과가 크게 차이는 나지 않지만 마지막으로 동작하지 않는 노드의 라이프 타임을 비교해보면 노드가 가지는 에너지의 크기가 증가할수록 그 차이가 점차 커지는 것을 알 수 있다.

그래서 제안하는 노드 밀도에 따른 전송 스케줄링 기법을 적용한 경우가, 적용하지 않은 경우에 비해 약 5% ~ 10% 정도의 라이프 타임이 증가를 되는 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 클러스터 기반의 라우팅 프로토콜에서 클러스터를 구성하는 클러스터 멤버 노드의 밀도가 평균 노드 밀도보다 1.3배 보다 클 경우, 한 프레임 당 전송하는 노드의 수를 절반으로 나누어 전송하였다. 다른 클러스터와 비슷한 전송 노드 밀도를 유지여 데이터 전달에 필요한 에너지를 줄임으로써 전체 네트워크의 라이프 타임을 약 5% ~ 10% 증가 시켰다.

참고 문헌

- [1] I. F. Akyildiz et al., "Wireless sensor networks: a survey", Computer Networks, Vol. 38, pp.393-422, March 2002.
- [2] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks", IEEE Hawaii international conference on system science, January, 2000.
- [3] O. Younis and S. Fahmy, "Distributed Clustering in Ad-hoc Sensor Networks : A hybrid, energy-efficient approach", IEEE Infocom, pp.629-640, March, 2004
- [4] The network simulator, NS-2, <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>