

모바일 센서 노드 지원을 위한 자기구성 라우팅 프로토콜

김도성*, 정영지*

*원광대학교 컴퓨터공학과

e-mail : {gnoesod, yjchung}@wonkwang.ac.kr

A Self-Organization Routing Protocol for supporting Mobile Sensor Nodes

Do-Seong Kim*, Yeong-Jee Chung*

*Dept. of Computer Engineering, Wonkwang University

요 약

일반적인 센서 네트워크 환경과 달리 이동성을 증시하는 환경에서의 무선 센서 네트워크는 에너지 효율성, 동적 자기구성, 이동성에 적합하도록 개발되어야 한다. 이러한 환경에서의 센서 네트워크 응용은 고정 노드와 이동 노드가 혼재되어 있는 것이 일반적이다. 본 논문에서는 이러한 이동 노드 지원을 위한 'LEACH-Mobile' 프로토콜을 제안한다. LEACH-Mobile 프로토콜은 노드의 움직임에 따라 토폴로지가 변화할 때, 이동하는 노드가 TDMA 스케줄에 따른 시간 슬롯에서 특정 클러스터 헤드 노드와 통신이 가능한지의 여부로서 클러스터의 멤버가 될 노드를 결정하고 클러스터를 재구성한다. LEACH-Mobile 프로토콜의 시뮬레이션 결과는 이동 노드가 증가함에 따라 이동성을 지원하지 않는 기존의 LEACH 프로토콜에 비해 데이터 전송 성공률 면에서 명확한 성능 향상을 가져오는 것을 보여준다.

1. 서론

무선 센서 네트워크는 일반적으로 센서에 의해 감지될 수 있는 객체 혹은 그에 준하는 요소들이 존재하는 환경에 밀집 분포되어 있는 대량의 센서 노드들로 구성된다. 이 센서 노드들은 감지 기능과 데이터 처리 기능, 통신 컴포넌트 등을 포함하고 있으며 센서 네트워크의 전체 구성에 영향을 미친다. 초기의 센서 네트워크 개념은 군용 및 재해, 오지 등의 환경에서의 빠른 배치 및 랜덤 토폴로지 구성이 주축을 이루었으나, 현재는 센서 네트워크 개발의 증가로 인해 인간의 행동에 관련된 환경에서의 상업용 응용에까지 범위가 확장되었다. 이 같은 응용은 동적이고 이동성을 지닌 환경에서 대량의 정보 수집, 교환, 처리가 요구된다. 대표적인 예로 헬스케어 홈, 병원, 박물관, 대학 캠퍼스 등을 들 수 있다.

이와 같은 환경에서의 무선 센서 네트워크는 에너지 효율성, 동적 자기구성, 이동성에 적합하도록 개발되어야 한다. 이러한 환경에서의 무선 센서 네트워크

응용은 전원 공급장치를 갖고 특정 위치에 고정되어 있는 고정 노드와 그렇지 않은 이동 노드가 혼재되어 있는 것이 일반적이다. 이동 노드는 전원 가용성에 제약을 갖고 있으며 이로 인해 네트워크 수명과 QoS 는 제한을 받게 된다. 무선 통신은 배터리 전원양에 중대한 영향을 주기 때문에, 이동 노드는 가능한 한 데이터 전송에 드는 에너지를 적게 소모해야 한다. 또한, 이동 노드의 움직임으로 인해 네트워크 토폴로지는 빠르게 재구성 되어야 한다.

LEACH[1] 프로토콜은 자기구성과 제한된 전원 문제에 있어 유용한 해결 방안의 하나로, 일정한 수의 클러스터를 구성함으로써 자기 구성을 수행한다. LEACH 는 클러스터 헤드를 무작위로 순환하는 방법으로, Direct Transmission 방법에 비해 최고 8 배 이상의 성능 향상을 가져온다. 하지만 위와 같은 장점을 갖고 있음에도 LEACH 는 고정 노드에 대한 응용에만 제한된다. LEACH 는 클러스터를 재구성하는 'Set-up Phase'[1] 이후에 노드의 이동성에 대한 지원을 하지 못하므로, 이동성을 증시하는 환경에서는 심각한 데이

터 손실을 유발한다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크 응용에 적합한 'LEACH-Mobile' 프로토콜을 제안한다. LEACH-Mobile의 기본 개념은 이동하는 노드가 주어진 TDMA 스케줄에 따른 시간 슬롯에서 클러스터 헤드로부터 이동 노드에 데이터 요청 메시지를 전송하여, 특정 클러스터 헤드 노드와 통신이 가능한지의 여부로서 클러스터의 맴버가 될 노드를 결정하고 클러스터를 재구성하는 것이다. 이동 센서 노드는 주어진 시간 슬롯에서 클러스터 헤드로부터 요청 메시지를 받지 못하면, Join 요청 메시지를 송신한다. 그런 후 특정 클러스터 헤드로부터 수신한 응답 Join 메시지로써 현재 라운드에서 속하게 될 클러스터를 재결정하게 된다. LEACH-Mobile 프로토콜의 시뮬레이션 결과는 이동 노드가 증가함에 따라 기존 LEACH 프로토콜에 비해 데이터 전송 성공률 면에서 명확한 성능 향상을 가져오는 것을 보여준다.

2. 라디오 모델

본 논문에서는 시뮬레이션을 위해 [1]에서 논의된 First Order Radio Model을 사용하였다. 이 라디오 모델에서 라디오는 데이터 송수신에 $E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$, 전송 증폭에 $\epsilon_{amp} = 100 \text{ pJ/bit/m}^2$ 의 에너지를 소비한다. 라디오는 전력 제어가 가능하며 수신자에 도달하기까지 필요한 최소 에너지를 증가시킬 수 있다. 또한, 원하지 않는 전송의 수신을 피하기 위해 라디오를 turn-off 할 수 있다. 아래의 식은 $k \text{ bit}$ 의 메시지를 거리 d 에 전송할 때, 송수신에 필요한 비용을 표현한 식이다.

Transmitting:

$$E_{Tx}(k, d) = E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d)$$

$$E_{Tx}(k, d) = E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2$$

Receiving:

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx-elec}(k)$$

$$E_{Rx}(k) = E_{elec} * k$$

LEACH와 LEACH-Mobile은 에너지 비용 계산에 같은 상수(E_{elec} , ϵ_{amp} , and k)들을 사용한다. 위 라디오 모델에서 LEACH는 모든 노드가 Base Station에 메시지가 도달하기 위한 충분한 에너지를 소모한다고 가정하지만, 실제 상황에서 각 노드는 제한된 전력과 Base Station 사이의 거리에 의해 라디오 전송에 제약을 가질 수 있다.

이런 이유로 본 논문의 시뮬레이션에서는 수신 전력에 Threshold를 설정함으로써 LEACH와 LEACH-Mobile의 라디오 모델에서 전송 거리를 제한하였다. 노드가 데이터를 수신할 때 수신된 전력이 Detection Threshold ($P_{r-detect}$)를 넘지 못하면, 패킷을 수신하지 못했다고 가정하고 패킷을 버린다. 수신된 전력이 Detection Threshold를 넘지만 Successful Reception Threshold ($P_{r-thresh}$)를 넘지 못하면, 수신 실패로 간주한다. 수신 전력이 Successful Reception Threshold ($P_{r-thresh}$)

를 넘으면 패킷 수신에 성공한 것으로 한다. [2]

이 같은 경우에 LEACH와 LEACH-Mobile은 전송 거리에 제한을 갖기 때문에 멀티홉 라우팅이 필요하게 된다. 그러나 멀티홉 라우팅은 본 논문의 논의 범위를 벗어나므로 이에 대한 논의는 생략한다. LEACH 프로토콜에서 멀티홉 라우팅을 고려한 LEACH-M 혹은 M-LEACH 프로토콜은 [3]에서 논의되었다. 본 논문에서는 LEACH와 LEACH-Mobile은 Base Station에 도달하기 까지 멀티홉 라우팅을 사용한다고 가정하였다.

3. LEACH-Mobile 프로토콜

LEACH 프로토콜의 실행 단계는 라운드로 이루어져 있으며 클러스터를 구성하는 Set-Up Phase로 시작하여 Base Station에 데이터를 전송하는 Steady-State Phase가 이어진다. [1] LEACH-Mobile의 기본 개념은 실행 단계가 Steady-State Phase일 때, 각 클러스터의 TDMA 스케줄에 의해 주어진 특정 시간 슬롯에서 클러스터 헤드와 비 클러스터 헤드 노드가 특정 메시지를 수신했는지의 여부로서 클러스터를 재구성하는 것이다.

3.1 LEACH에서의 Steady-State Phase

Steady-State Phase는 주어진 시간 슬롯 동안 클러스터의 모든 노드가 최소한 한 번은 클러스터 헤드에 데이터를 전송하도록 하기 위해 프레임 단위로 나누어져 있다. 그러므로 데이터 전송을 위한 각 프레임 시간은 클러스터의 노드 수에 기반한다. [1]에서 모든 노드는 시간 동기화 되어 있으며, 같은 시간에 Set-Up Phase를 시작한다고 가정한다.

클러스터가 구성되고 TDMA 스케줄이 정해지면 데이터 전송이 시작된다. 모든 노드는 주어진 시간에 클러스터 헤드에 데이터를 전송한다고 가정한다. 모든 비 클러스터 헤드 노드의 라디오는 에너지 소모를 최소화하기 위해 주어진 시간 단위까지 turn-off 된다. 모든 데이터가 수신되면 클러스터 헤드는 모든 수신 데이터를 하나의 신호에 적재하기 위한 신호 처리를 수행한다. 여기까지가 LEACH 프로토콜의 Steady-State Phase로서 다음 라운드 단계인 클러스터 헤드를 결정하고 광고 메시지를 전송하는 Set-Up Phase가 반복된다.

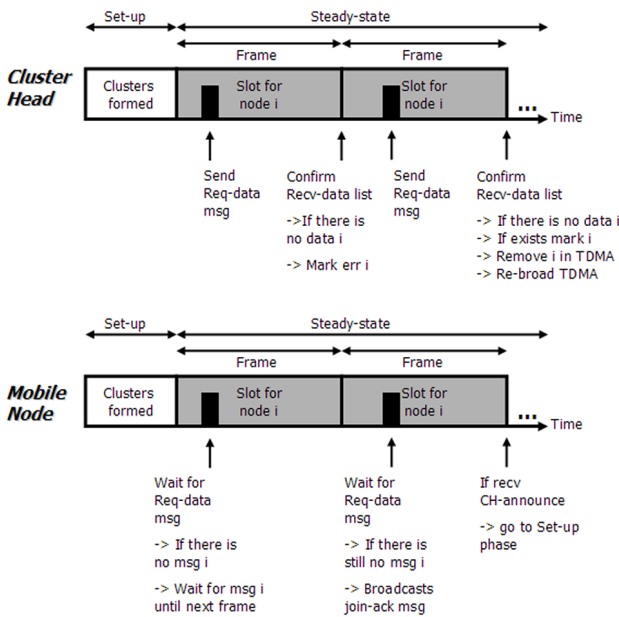
3.2 LEACH-Mobile

LEACH 프로토콜이 계층적 클러스터 알고리즘으로서 좋은 에너지 효율성과 동적 자기 구성이라는 장점을 갖지만, 일반적인 이동성 중심 환경에서의 데이터 전송 성공률 면에 대한 이득을 갖지 못한다. LEACH 프로토콜은 Set-Up Phase에서 클러스터가 재구성되고 클러스터 헤드가 선택된다. Steady-State Phase에서 Base Station으로 실제 데이터가 전송되기 위해 클러스터의 구성이 유지되므로, 이동 센서 노드에 의한 클러스터의 변화에 대응하지 못한다. 이 같은 문제점은

LEACH 프로토콜에 이동 노드의 현재 참가 여부에 대한 확인을 추가함으로써 해결 가능하다. 본 논문에서 제안하는 방법은 모든 비 클러스터 헤드 노드가 TDMA 스케줄에 의해 주어진 시간 슬롯에서 반드시 클러스터 헤드에 데이터를 전송한다고 가정한다.

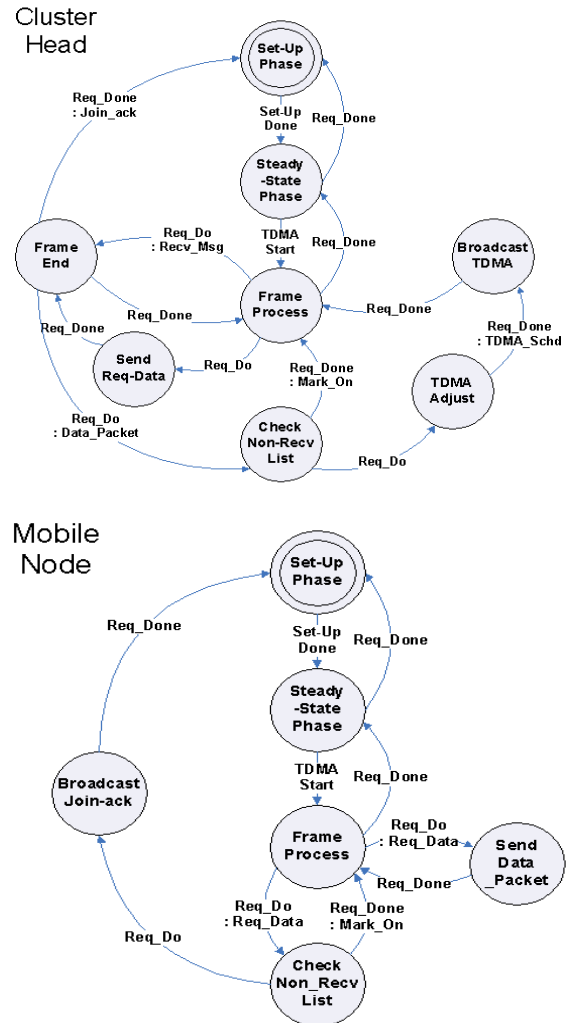
LEACH 프로토콜에서 클러스터 헤드가 Steady-State Phase 인 동안 TDMA 스케줄에 의한 데이터 수신을 기다리는데 반해, LEACH-Mobile 의 클러스터 헤드 노드는 데이터 수집을 위한 데이터 전송 요청 메시지를 각 시간 슬롯에서 비 클러스터 헤드 노드에 전송한다. 요청을 받은 노드는 데이터를 전송하고, 클러스터 헤드는 프레임이 끝날 때 마다 수신된 데이터 리스트를 검사하여 데이터를 수신하지 못한 노드를 비수신 노드 리스트에 추가한다. 다음 프레임이 끝났을 때까지 비수신 노드 리스트의 노드로부터 데이터를 전송 받지 못했으면 해당 노드를 클러스터 멤버에서 제거하고 새로 참여하는 노드에 이 시간 슬롯을 할당한다. 이후 새로 생성된 TDMA 스케줄은 모든 클러스터의 멤버 노드에 전송된다. 이 방법은 데이터 요청 메시지에 응답하지 않는 노드는 이동하여 현재 클러스터 영역을 벗어났다고 가정한 것이다.

Set-Up Phase 와 같이 광고 메시지를 전송한다. 그림 1 과 2 는 각각 LEACH-Mobile 프로토콜의 시간 순 진행 과정과 메시지 교환 과정을 보인 것이다.



(그림 1) 프로토콜의 시간 진행 과정

클러스터 헤드 노드가 데이터 요청 메시지로 자신의 클러스터에 속한 노드의 참여 여부를 검사하는 동안, 각 이동 노드들은 자신이 속할 클러스터를 결정한다. 클러스터가 구성되고 클러스터 헤드가 결정되면, 비 클러스터 헤드 노드는 데이터 요청 메시지에 대한 응답으로 데이터를 전송한다. 프레임이 끝날 때까지 데이터 요청 메시지를 TDMA 스케줄에 의해 할당된 시간 슬롯에서 수신하지 못하면, 프로토콜 수행 과정을 다음 프레임으로 진행시킨다. 다음 프레임이 끝날 때까지 이동 노드가 데이터 요청 메시지를 수신하지 못하면, 클러스터 참여 요청 메시지를 Broadcast 한다. 참여 요청 메시지를 수신한 클러스터 헤드 노드는



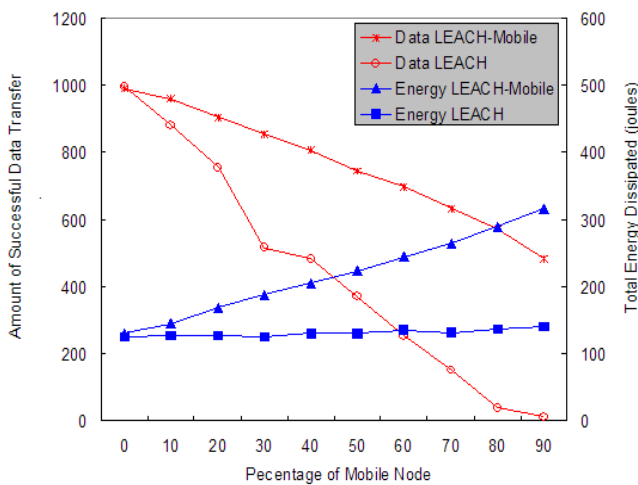
(그림 2) 프로토콜의 메시지 교환 과정

위 과정이 완료되면 이동 노드는 현재 라운드에서 속하게 될 클러스터를 결정하게 된다. 이 결정 과정은 수신된 광고 메시지의 수신 세기에 기반한다. 이동 노드가 자신이 속할 클러스터를 결정하게 되면 반드시 해당 클러스터 헤드 노드에 클러스터에 참여하였음을 공지해야 한다. 이동 노드가 새로 참여하게 된 해당 클러스터의 헤드 노드는 클러스터 멤버 리스트와 TDMA 스케줄을 갱신하고, 자신에 속한 모든 멤버 노드에 TDMA 스케줄을 전송한다. 새로 참여한 이동 노드를 비롯한 모든 멤버 노드들은 다음 프레임부터 TDMA 스케줄을 갱신한다.

LEACH-Mobile 프로토콜에서 멤버 여부 결정과 동적 클러스터 구성을 위한 메시지 전송 오버헤드는 LEACH 프로토콜에 비해 증가한다. 그러나, 이동 노드에서의 데이터 수집에 대한 데이터 전송 성공률은 증가한다.

4. 시뮬레이션 결과

LEACH-Mobile의 성능을 검증하기 위해 본 논문에서는 50m x 50m의 네트워크 영역에 100개의 노드를 랜덤 배치하여 시뮬레이션을 수행하였다. Base Station은 전체 50m x 50m 필드에서 (25, 25) 지점에 위치하게 했다. 시뮬레이션은 각 노드로부터 Base Station에 도달하는데 성공한 데이터 패킷의 수와 데이터 패킷 전송에 소모된 에너지 양을 LEACH와 LEACH-Mobile에 이동 노드의 수를 증가 시키면서 수행하였다. 여기서 이동 노드는 적은 에너지 레벨을 갖고, 고정 노드는 지속적이고 높은 에너지 레벨을 갖도록 설정하였다.



(그림 3) 시뮬레이션 결과

그림 3은 이동 노드가 증가함에 따른 데이터 전송 성공률과 에너지 소모량의 변화를 보여준다. 그래프에서 보이듯이 LEACH-Mobile 프로토콜은 데이터 전송 성공률 면에서 LEACH에 비해 명확한 향상을 가져온다. 그러나, 전체 전송 데이터 패킷 수가 증가함에 따라 LEACH와 비교하여 에너지 소모량 또한 증가함을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서의 일반적인 응용 환경에서 이동 노드 지원을 위한 LEACH-Mobile 프로토콜을 제안하였다. LEACH-Mobile 프로토콜은 TDMA 스케줄에 의해 주어진 시간 슬롯에서 데이터 전송 요청 메시지를 전송하는 것으로써 LEACH 프로토콜에 비해 이동 노드의 데이터 패킷 손실을 감소시킨다.

클러스터 헤드 노드와 비 클러스터 헤드 노드에서 TDMA 스케줄에 의해 주어진 같은 시간 슬롯 동안 이동 노드의 특정 클러스터 참여 여부를 검사하는 것으로써 이동성을 지원하지 않는 LEACH 프로토콜에 비해 네트워크의 QoS를 향상시킨다. 그러나, LEACH-

Mobile 프로토콜은 LEACH와 비교하여 에너지 소모량 면에서 Trade-Off를 가져온다.

본 논문의 시뮬레이션 결과는 서로 다른 에너지 레벨을 갖는 네트워크에서 LEACH-Mobile이 LEACH에 비해 데이터 전송 성공률 면에서 성능 향상을 가져옴을 보인다.

본 논문에서 제안한 프로토콜의 성능 검증을 위해 이동성을 지원하는 LEACH-Mobile 프로토콜과 LEACH 프로토콜을 네트워크 시뮬레이터 NS-2[4]에 구현하였다. 시뮬레이션 결과는 네트워크의 QoS 면에서 데이터 전송 성공률에 대한 성능 향상을 가져온다고 기대된다.

감사의 글

본 연구는 학술진흥재단 기초과학연구사업 중 지방 연구 중심대학 육성사업인 헬스케어 기술개발사업단의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan: Energy-efficient routing protocols for wireless microsensor networks. In Proc. 33rd Hawaii Int. Conf. System Sciences (HICSS), Maui, HI (2000)
- [2] W. Heinzelman: Application-specific protocol architectures for wireless networks. Ph.D. dissertation, Mass. Inst. Technol., Cambridge (2000)
- [3] V. Mhatre and C. Rosenberg: Homogeneous vs. Heterogeneous Clustered Sensor Networks: A Comparative Study, 2004 IEEE International Conference on Communications (ICC 2004), Paris France (2004)
- [4] UCB/LBNL/VINT: Network Simulator - ns ver.2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/> (1998)