

무선 센서 네트워크에서 백업 클러스터 헤드를 이용한 라우팅 방법

이성호*, 배진수**, 조지우***, 정민아****, 김용근****, 정준영****, 김원주****, 김동진****, 이성로****

*목포대학교 정보산업연구소

**세종대학교 정보통신공학과

***목포대학교 IT+조선 융복합인력양성센터

****목포대학교 컴퓨터공학과

*****목포대학교 정보전자공학과

e-mail:wideview@mokpo.ac.kr

A Routing Method Using a Backup Cluster Head in Wireless Sensor Networks

Seong-Ho Lee*, Jinsoo Bae**, Ji-Woo Jo***, Min-A Jung****,

Seong-Ro Lee*****

*Research Institute of Information Science & Engineering, Mokpo National University

**Dept of Information & Communication Engineering, Sejong University

***IT&Ship-FEC, Mokpo National University

****Dept of Computer Engineering, Mokpo National University

*****Dept of Information & Electronics Engineering, Mokpo National University

요 약

무선 센서 네트워크를 구성하는 센서노드들이 클러스터를 구성하고 선출된 클러스터 헤드가 클러스터 내의 센서노드들로부터 데이터를 받아서 병합한 다음, 기지국으로 데이터를 전달하는 클러스터 기반 라우팅 방법이 연구되어 왔다. 이 클러스터 기반 라우팅 방법에서 클러스터 헤드가 고장이 발생한다면, 해당 클러스터의 데이터는 기지국으로 전달할 수 없어 데이터 신뢰성에 문제가 생긴다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 고장감내를 지원하는 클러스터 기반 라우팅 방법을 제안한다. 제안한 방법은 각 클러스터마다 백업 클러스터 헤드를 지정하여 원래의 클러스터 헤드가 고장이 발생한다면 백업 클러스터 헤드가 그 역할을 대신하도록 함으로써 데이터 전달의 신뢰성을 보장한다.

1. 서론

최근 센서 및 무선통신기술의 발전으로 저전력, 저비용, 초소형의 센서노드들이 개발되고, 이에 힘입어 애드-혹 통신에 기반을 둔 무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1]. 무선 센서 네트워크에서 센서노드들은 사전에 결정된 형태 없이 센싱영역 내에 무작위로 배치되며, 배치된 위치에 고정되어 있거나 이동하는 형태를 가질 수도 있다. 또한, 데이터 전송을 위해 무선통신을 사용하기 때문에, 전송속도 및 대역폭이 유선 통신에 비하여 제한적이고, 보안에 취약한 경향이 있다.

무선 센서 네트워크의 센서노드들은 에너지가 제한적이고, 초기 배치되면 에너지를 재충전하기 어렵기 때문에 에너지 효율성이 매우 중요하다. 센서 노드의 에너지 소비에서 가장 큰 비중을 차지하고 있는 것은 데이터 전송이다. Pottie와 Kaiser는 CPU 3000개 명령어를 수행할 때와

1비트를 100m 전송할 때 거의 같은 에너지 소모가 이루어짐을 밝혔다[2]. 그래서 센서노드의 효율적인 관리와 센서노드와 기지국간의 직접적인 통신으로 인한 트래픽 감소를 위해 클러스터 기반 라우팅 방법이 연구되어 왔다. 클러스터 기반 라우팅 방법은 무선 센서 네트워크를 구성하는 센서노드들이 클러스터를 구성하고 선출된 클러스터 헤드가 클러스터 내의 센서노드들로부터 데이터를 받아서 병합한 다음, 기지국으로 데이터를 전달하는 방법이다.

클러스터 기반 라우팅 방법에 대한 연구 중에서 대표적인 것이 LEACH (Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)이다[3,4,5]. LEACH는 확률적인 랜덤 방식으로 클러스터 헤드를 주기적으로 선정하는 클러스터 기반 라우팅 프로토콜이다. 확률적인 랜덤 방식으로 클러스터 헤드를 선출하다 보니, 클러스터 구성이 비효율적일 때가 있다. 이러한 점을 극복하기 위해, 기지국이 센서노드의 에너지 보유량을 고려하여 클러스터 헤드를 결정하는

LEACH-C(Centralized) 프로토콜이 제안되었다[3,4,5].

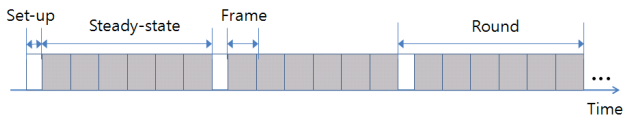
클러스터 기반 라우팅 방법에서 클러스터 헤드에 고장이 발생한다면, 해당 클러스터의 데이터는 기지국으로 전달할 수 없어 데이터 신뢰성에 문제가 생긴다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 LEACH-C 가반으로 고장감내를 지원하는 라우팅 방법을 제안한다. 제안한 방법은 각 클러스터마다 백업 클러스터 헤드를 지정하여 원래의 클러스터 헤드에 고장이 발생한다면 백업 클러스터 헤드가 그 역할을 대신하도록 함으로써 데이터 전달의 신뢰성을 보장한다.

이후의 논문 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문과 관련된 연구를 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 제안하고자 하는 고장감내를 지원하는 클러스터 기반 라우팅 방법에 대해 서술한다. 마지막으로, 4장에서는 본 논문의 결론 및 향후 연구방향을 제시한다.

2. 관련 연구

2.1 LEACH

LEACH는 무선 센서 네트워크에서 노드들 사이에 에너지 부하를 균등하게 분배하는 자동 재구성 클러스터 기반의 프로토콜이다. LEACH에서는 클러스터를 구성하고 이를 기반으로 데이터 통신이 이루어지는 시간 구간을 라운드로 정의한다. 다음 그림 1은 LEACH 작동과 관련된 타임라인을 보여준다.



(그림 1) LEACH 작동을 보여주는 타임라인

각 라운드는 클러스터를 구성하는 Set-up 단계와 실제 통신이 이루어지는 Steady-state 단계로 구성된다. 다시 Set-up 단계는 새로 선출된 클러스터 헤드가 자신이 클러스터 헤드임을 알리는 Advertisement 단계, 이 헤드를 기반으로 클러스터가 구성되는 Cluster Set-up 단계, 그리고 클러스터 헤드가 클러스터에 속하는 노드들이 데이터를 보낼 순서를 결정하는 Sceduling Creation 단계로 구성된다.

또한, 클러스터 헤드 선정은 각 라운드의 초기시점에 이루어진다. 클러스터 헤드를 선정할 때 각 노드들은 0~1 사이에서 임의의 한 수를 선택한다. n번째 노드가 임의로 선택한 수가 임계값 $T(n)$ 보다 작다면 그 노드는 해당 라운드에서 클러스터 헤드로 선출된다. 임계값 $T(n)$ 을 정하는 식은 다음과 같다.

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

위 식 (1)에서 P는 전체 노드들 중에서 선출되는 클러스터 헤드의 비율, r은 현재 라운드, 그리고 G는 이전 1/P 번의 라운드 동안 클러스터 헤드로 선출되지 않는 노드들의 집합을 의미한다. LEACH는 1/P라운드 동안에 모든 노들이 한 번씩 클러스터 헤드가 되는 것을 보장한다.

하지만, LEACH는 클러스터의 구성 형태를 고려하지 않고, 확률적인 방법에 의하여 모든 노드들을 공평하게 클러스터 헤드로 선출하므로, 클러스터 헤드와 먼 거리에 있는 노드들은 데이터 전송을 위하여 더 많은 에너지를 소모하게 된다. 이로 인해 에너지 효율이 떨어지게 될 뿐만 아니라, 무선 센서 네트워크 내 노드들 간의 통신 시 충돌 발생 확률이 높아지게 된다. 또한, 클러스터 헤드에 고장이 발생하였을 때, 이에 대한 대처방안은 존재하지 않고 있다.

2.2 LEACH-C

LEACH에서 발생하는 클러스터 불균형 문제를 해결하기 위해 LEACH-C에서 클러스터 구성은 기지국 주도 이루어진다. 즉, 각 노드는 자신의 위치정보와 잔여 에너지 정보를 기지국에 알리고, 기지국은 이 정보를 다른 모든 노드들에게 알려줌으로써 최적의 클러스터를 구성하는 것이 가능하도록 제안하였다.

하지만, LEACH-C는 클러스터 헤드를 선정할 때 식 (2)와 같이 클러스터 내의 멤버 노드들 간의 최소거리 합만 고려하였다.

$$dist = \sum_{i=1}^{C_k(m)} d(i)_{toCH} \quad (2)$$

식 (2)에서 기지국까지의 데이터 전송 거리(dist)는 클러스터 안에 있는 노드간의 거리의 합($\sum_{i=1}^{C_k(m)} d(i)_{toCH}$)이다.

LEACH-C에서 클러스터 헤드 선정방법은 클러스터 헤드와 각 노드간의 거리의 합이 최소가 되는 노드를 클러스터 헤드로 선정하는 것이다. LEACH-C 역시, 클러스터 헤드에 고장이 발생하였을 때, 이에 대한 대처방안이 없다.

3. 백업 클러스터 헤드를 이용한 라우팅 방법

3.1 백업 클러스터 헤드 선출

LEACH-C의 Set-up 단계에서 클러스터 헤드를 선출한다. 남은 센서노드들을 가지고 기지국은 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 이용하여 k개의 최적 클러스터를 찾아낸다. 이는 클러스터 헤드가 아닌 노드들과 클러스터 헤드 사이의 제공 거리의 합이 최소가 되도록 하여 클러스터 헤드가 아닌 노드들이 데이터를 전달하는데 소모하는 에너지의 양을 최소화시킨다. 이 때, 결정된 클러스터 내의

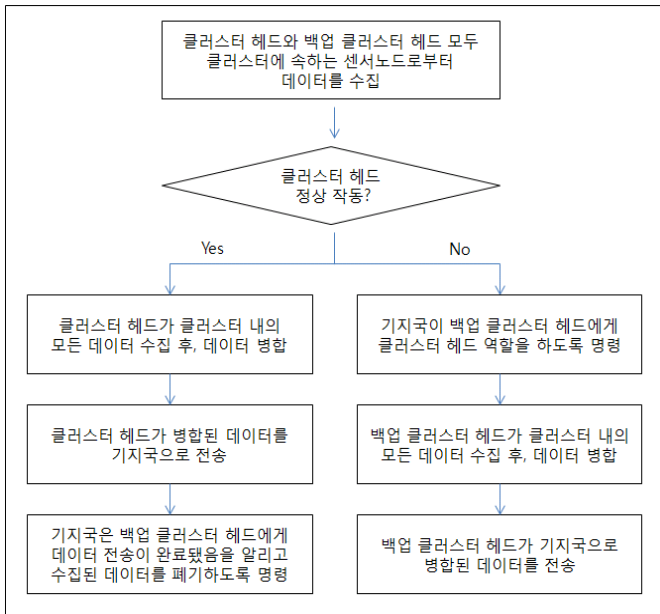
클러스터 헤드가 아닌 노드들 중에서 클러스터 헤드를 선출할 때처럼 거리의 합이 최소가 되는 노드를 백업 클러스터 헤드로 선출한다.

클러스터 헤드, 백업 클러스터 헤드, 그리고 연관된 클러스터가 모두 결정되면, 기지국은 센서 네트워크의 각 노드에게 클러스터 ID, 백업 클러스터 ID가 포함된 메시지를 브로드캐스팅한다. 메시지를 받았을 때, 클러스터 헤드 ID가 자신의 ID와 일치한다면, 자신은 클러스터 헤드가 된다. 백업 클러스터 헤드도 마찬가지가 된다. 그렇지 않은 나머지 노드들은 데이터를 전송하기 위한 TDMA 슬롯을 통보받고 데이터를 전송할 시간이 될 때까지 잠든 상태가 된다.

3.2 백업 클러스터 헤드를 이용한 고장감내 지원

LEACH-C의 Steady-state 단계에서 실질적인 센서노드의 데이터 전송이 이루어진다. 클러스터 헤드와 백업 클러스터 헤드는 클러스터 내의 나머지 노드로부터 데이터를 수집한다. 모든 노드로부터 데이터가 도착하면, 클러스터 헤드는 데이터를 병합하여 기지국으로 전송한다. 백업 클러스터 헤드는 클러스터 헤드가 병합된 데이터를 기지국으로 전송한 직후, 수집한 데이터를 폐기한다.

기지국은 일정한 시간까지 병합된 데이터가 도착하지 않는다면, 클러스터 헤드에 고장이 발생했다고 판단한다. 기지국은 백업 클러스터 헤드에게 클러스터 헤드 역할을 하도록 명령한다. 백업 클러스터 헤드는 수집된 데이터를 병합하여 기지국으로 전송한다. 이에 대한 알고리즘은 다음 그림 2와 같다.



(그림 2) 백업 클러스터 헤드를 이용한 데이터전달 알고리즘

4. 결론 및 향후 연구방향

본 논문에서는 고장감내를 지원하는 클러스터 기반 라우팅 방법을 제안하였다. 백업 클러스터 헤드를 지정하여 원래의 클러스터 헤드에 고장이 발생하였을 때, 백업 클러스터 헤드가 그 역할을 대신하여 데이터 전달의 신뢰성을 보장하도록 하였다. 이를 위해, 클러스터 헤드 선출 단계에서 백업 클러스터 헤드도 선출되도록 하였다. 클러스터 헤드와 백업 클러스터 헤드 모두 데이터를 수집하지만, 정상적인 상황에서는 클러스터 헤드만 데이터를 병합하여 전송하고 백업 클러스터 헤드는 데이터를 폐기한다. 클러스터 헤드에 고장이 발생했을 때는 백업 클러스터가 기지국의 명령을 받아 클러스터 헤드의 역할을 수행하도록 하였다. 향후에는 제안한 방법에 대한 시뮬레이션을 통해 실험결과를 분석한다.

ACKNOWLEDGEMENT

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2011-C1090-1121-0007), 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2011-0022980)

참고문헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam and E. Cayirci, “A Survey on Sensor Networks,” IEEE Communications Magazine, Vol. 40, No. 8, pp.102-114, Aug. 2002.
- [2] G. J. Pottie and W. J. Kaiser, “Wireless Integrated Network Sensors,” Communications of the ACM, Vol. 43, No. 5, pp.51-58, May 2000.
- [3] Wendi Beth Heinzelman, “Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks,” PhD thesis, Jun. 2000, MIT.
- [4] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, H. Balakrishnan, “An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks,” IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 1, No. 4, pp.660-670, Oct. 2002.
- [5] J. N. Al-Karaki, A. E. Kamal, “Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey,” IEEE Wireless Communications, Vol. 11, Issue 6, pp.6-28, Dec. 2004.