

모바일 싱크 기반의 태양 에너지 수집형 무선 센서 네트워크에서 무선 전력 전송을 이용한 효율적인 클러스터 관리 기법

손영재*, 강민재**, 고정현***, 노동건*

*충실대학교 융합소프트웨어학과

**충실대학교 융합특성화자유전공학부

***충실대학교 스마트시스템소프트웨어학과

e-mail:karit@ssu.ac.kr

An Efficient Cluster Management Scheme Using Wireless Power Transfer for Solar-powered Wireless Sensor Networks with a Mobile Sink

Youngjae Son*, Minjae Kang**, Junghyun Go***, Dong Kun Noh*

*Dept. of Software Convergence, Soong-sil University

**School of Convergence Specialization, Soong-sil University

***Dept. of Smart Systems Software, Soon-sil University

요약

태양 에너지 수집형 무선 센서 네트워크는 지속해서 에너지를 수집할 수 있어 배터리 기반 센서 네트워크의 에너지 제약 문제를 완화할 수 있지만, 고정된 싱크의 사용으로 싱크 주변에 존재하는 노드들이 상대적으로 에너지 소비가 증가하는 문제, 즉 에너지 사용 불균형 문제는 해결하지 못한다. 최근의 연구에서는 클러스터링을 기반으로 한 모바일 싱크를 도입하여 이를 해결하고자 했지만, 클러스터 헤드 및 그 주변 노드들의 에너지 부담은 여전히 존재한다. 한편, 무선 전력 전송 기술 발전에 따라 무선 센서 네트워크에서 모바일 싱크를 이용한 무선 전력 전송의 연구가 활발히 이루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 무선 전력 전송이 가능한 모바일 싱크와 효율적인 클러스터링 기법(클러스터 헤드 선출 포함)을 이용하여 에너지 불균형 문제를 최소화하는 기법을 제안한다. 제안 기법은 클러스터 헤드 및 헤드 주변 노드의 에너지 핫 스팟이 완화됨으로, 전체 네트워크의 정전 노드들이 감소하고 수집된 데이터양이 증가한 것을 성능평가를 통해 확인할 수 있다.

1. 서론

무선 센서 네트워크(WSN)는 사람이 접근하기 힘든 지역이나 광범위한 지역의 환경을 모니터링하기 위해 센서 노드를 배치한 네트워크를 말한다. 이러한 WSN은 각 노드가 가진 배터리의 제약적인 에너지양으로 인해 장기간 동작할 수 없다는 문제를 가지고 있고, 이를 해결하기 위해 많은 연구가 수행되었다. 또한, WSN은 일반적으로 고정된 위치의 싱크 노드를 사용하는데, 이 경우 싱크 주변에 존재하는 노드들이 상대적으로 에너지를 많이 소모하게 되는 에너지 핫 스팟 문제(에너지 사용 불균형 문제)도 존재한다.

센서 노드의 제한된 에너지를 해결하기 위한 여러 연구가 진행되어 1) 환경 에너지를 이용한 에너지 수집형(Energy Harvesting) 센서 노드[1]를 사용하거나 2) 드론과 같은 모바일 싱크로부터 센서 노드들에 원거리로 무선 전력 전송(Wireless Power Transfer)[2]을 하여 충전해주는 방법들이 등장했다. 또한, 3) 모바일 싱크를 이용함으로써 싱크 주변 핫 스팟 문제를 완화 시켜주려는 연구도

진행되었는데, 이 경우 모바일 싱크의 에너지가 유한한 관계로 모든 센서 노드를 방문하여 데이터를 수집할 수 없는 문제가 발생하기 때문에 대부분의 경우 클러스터링 기법을 함께 제안하고 있다.

본 논문에서는 전술한 1), 2), 3)의 연구를 기반으로, 에너지 수집형 무선 센서 네트워크에서 무선 전력전송이 가능한 모바일 싱크를 지원하기 위한 효율적인 클러스터링(헤드 선출 포함) 기법을 제시한다.

2. 제안 기법

본 논문에서는 태양에너지 수집형 센서 네트워크에서 무선 전력 전송이 가능한 모바일 싱크를 효율적으로 활용하기 위한 기법을 제안한다.

2.1 노드의 에너지 중립적 동작

클러스터 헤드 또는 핫 스팟 지역이 아닌 위치에 존재하는 센서 노드는 사용하는 에너지양($\overline{E_{consume}}$)을 태양 에너지로부터 충전되는 양($\overline{E_{harvest}}$)보다 항상 덜 소비하도록

듀티 사이클, 센싱 속도 등을 컨트롤한다. 따라서 시간이 지날수록 노드의 잔여 에너지(E_{residual})는 일반적으로 단조 증가하게 된다. 이를 에너지 중립적인 동작(ENO)이라고 한다. 일반 노드가 아닌 클러스터 헤드는 헤드의 역할을 수행함으로써 추가적인 에너지($E_{\text{header}}^{\text{extra}}$)가 사용되지만, 모바일 싱크가 데이터 수집을 위해 방문하면서 이를 충전시켜 준다면 ENO를 보장할 수 있다. 그러나 클러스터 헤드 주변의 에너지 핫 스팟 지역에 있는 노드들은 이들과 달리 ENO의 보장이 되지 않기 때문에, 에너지를 충분히 회복할 수 있도록 시간을 주어야 한다.

본 연구에서는 클러스터 헤드 노드의 ENO의 보장과 에너지 핫 스팟 지역 노드들의 에너지 부족 문제를 완화하기 위해 에너지 효율적인 클러스터를 구성하는 방법과 클러스터 헤드의 선출문제, 그리고 클러스터 헤드에 충전해 주어야 하는 에너지의 양을 결정하는 기법을 제안한다.

2.2 WSN 노드 배치 후 초기 클러스터링 단계

무작위로 배치된 센서 네트워크에서 클러스터링을 위해 베이스 스테이션은 센서 노드의 위치 정보를 바탕으로 하모니 서치 알고리즘[3]을 이용한다. 여기서 베이스 스테이션은 네트워크에 최적의 클러스터 수, 클러스터 헤드와 그 멤버 노드들을 구하게 된다. 이 알고리즘으로 구한 헤드의 위치 정보를 가지고 모바일 싱크의 최단 거리 이동 경로와 싱크의 여분 에너지를 계산한다. 모바일 싱크는 베이스 스테이션에서 구한 정보를 가지고 클러스터 헤드를 방문하면서 헤드에 해당 클러스터 멤버가 누구인지 알려주고, 클러스터 수만큼 균등하게 나눈 여분 에너지를 헤드에 충전시켜준다. 클러스터 헤드는 모바일 싱크로부터 받은 정보를 가지고 플러딩 방식을 이용하여 클러스터링하게 된다. 그리고 나서 클러스터 내에 한 번 더 플러딩 방식을 이용하여 먼저 도착한 패킷을 보낸 노드가 해당 노드의 부모로 선정하면서 트리를 구성한다. 트리 구성이 완료되면 노드들이 데이터 수집을 시작하게 된다.

2.3 다음 라운드의 클러스터 헤드 선출

라운드가 끝나기 직전에 각 노드는 자신의 여분 에너지와 이웃 노드 번호를 클러스터 헤드에 전송한다. 수식 (1)을 만족하는 노드는 헤드 후보가 된다. 이 헤드 후보 중 자신과 이웃 노드들 간의 에너지 분산 값이 최소인 노드를 다음 헤드로 선출하는데, 이 경우 현재 핫 스팟 지역과 거리가 멀 가능성이 커, 현재 핫 스팟 지역의 노드들이 트리의 말단 노드에 가깝게 되어 에너지양을 회복할 시간을 확보할 수 있기 때문이다.

$$\overline{E_{\text{header}}^{\text{extra}}} + \overline{E_{\text{consume}}} > E_{\text{residual}} \quad (1)$$

현재 클러스터 헤드는 다음 헤드로 선출된 노드에, 다음 라운드의 헤드로 선출되었음을 알려준다. 선출된 헤드가 이 패킷을 받으면 플러딩 방식을 이용하여 트리를 재구성한다.

2.4 데이터 수집 및 재충전

모바일 싱크는 최단 거리 알고리즘을 통하여 계산된 경로를 따라 현재 클러스터 헤드를 방문하면서 두 가지 동작을 하게 된다. 첫 번째는 센서 노드가 헤드에 보낸 데이터를 수집하고 다음 헤드 노드를 확인한다. 두 번째는 싱크의 여분 에너지를 각 클러스터 헤드가 사용한 에너지 비율에 맞게 분배해주어 헤드 노드가 정전 상태에 빠지지 않게 한다.

3. 실험 결과

본 연구에서 제안한 기법의 성능 분석을 시뮬레이션으로 진행했다. $200 \times 200 \text{ m}^2$ 필드에서 노드 750개를 사용하여 50일간 실험하였다.

모바일 싱크가 수집한 데이터양을 살펴보면, 제안된 기법에서는 하루 평균 2210KB를 수집하는 반면, 헤드 노드를 랜덤하게 선택한 기법에서는 평균 710KB를 수집하는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 논문에서는 하모니 서치 알고리즘을 활용하여 최적의 클러스터링을 한다. 그 후에, 무선 전력 전송이 가능한 모바일 싱크를 이용하여 데이터를 수집하는 동시에 여분 에너지를 클러스터 헤드에 충전시켜줌으로 특정 노드의 에너지 부족 현상을 완화한다. 또한, 클러스터 헤드를 바꿔줌으로 헤드 주변 핫 스팟 문제를 해소해주는 기법을 제안했다. 제안 기법에서, 클러스터 헤드를 다음 헤드로 선정 시 후보 헤드의 주변 노드와 잔여 에너지의 관계를 비교하여 최대한 멀리 떨어진 노드를 헤드로 바꾼다. 이렇게 함으로 핫 스팟 지역이 변경되어 기존 핫 스팟 노드의 에너지가 충분히 수집된다. 결과적으로 본 기법은 다른 기법에 비해 네트워크의 정전 노드의 수가 감소하고 수집된 데이터양이 증가한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구결과로 수행되었음(2018-0-00209)

참고문헌

- [1] S. Sudevalayam and P. Kulkarni, "Energy harvesting sensor nodes: Survey and implications," IEEE Communications Surveys and Tutorials, Vol.13, No.3, pp.443-461, 2011.
- [2] L. Xie, Y. Shi, Y. T. Hou and A. Lou, "Wireless power transfer and applications to sensor networks," IEEE Wireless Communications, Vol. 20, No. 4, pp. 140-145, August 2013.
- [3] Osama Moh'd Alia, "Dynamic relocation of mobile base station in wireless sensor networks using a cluster-based harmony search algorithm," Information Sciences, Vol. 385-386, pp.76-95, 2017.