

무선 센서 네트워크에서 클러스터 기반 구조의 신뢰도 향상 기법

최호영^o 최창열 김성수
아주대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학과
{funkyleo^o, clchoi, sskim}@ajou.ac.kr

Reliability Improvement Scheme of Cluster-based Architecture on Wireless Sensor Networks

Hoyoung Choi^o Changyoel Choi Sungsoo Kim
Graduate School of Information and Communication, Ajou University

요 약

무선 센서 네트워크에서 클러스터 헤드 결함으로 인해 발생하는 클러스터 재구성은 시간과 에너지를 낭비하고 시스템 전체 신뢰도를 저하시키는 결과를 초래한다. 본 논문에서는 클러스터링 구조에서 발생할 수 있는 결함을 모델링하고, 시스템 신뢰도와 에너지 관리 효율을 높이는 백업 기법을 제안한다. 또한 성능 평가를 통해 백업 기법을 사용하지 않는 일반 클러스터링 기법과 성능을 비교하였으며, 그 결과로 일반 기법 보다 더 높은 신뢰도를 얻을 수 있었다.

1. 서 론

최근 센서 기술과 통신 기술 발달로 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 센서 네트워크는 무선통신, 통신 프로토콜, 컴퓨터 네트워크, ASIC(Application Specific Integrated Circuit), 디지털전자공학, 로보틱스, MEMS(Micro Electro Mechanical Systems), 센서 등 여러 분야 접목으로 군사 환경, 의료, 재난 방재 등에 사용되는 다양한 응용 네트워크 기술을 말한다[1]. 각 센서 노드들은 주변 환경을 관찰하고 그 결과를 전체 노드로 구성된 네트워크를 통하여 사용자에게 전달한다. 클러스터링(Clustering) 구조를 가진 센서 네트워크에서 클러스터 헤드(Head) 노드는 센서로부터 수집된 정보를 사용자에게 전송해 주는 매우 중요한 역할을 맡고 있다. 그러므로 결함으로 인해 그 기능이 상실되지 않도록 주의해야 한다[2]. 본 연구는 클러스터 헤드에서 발생하는 결함을

허용할 수 있는 백업기법을 제안함으로써 재구성(Re-configuration)으로 인한 에너지 소모를 줄임과 동시에 센서 네트워크 구조의 신뢰도를 향상시키는 것을 목적으로 한다.

2. 관련 연구

센서 네트워크 구조 형성에 필요한 에너지를 최소화하기 위한 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 그 중에서 특히 클러스터링 구조가 에너지 효율 면에 뛰어난 성능을 가진 것으로 인정받고 있다[4]. 클러스터링 네트워크 구조에서는 센서들 중 게이트웨이 역할을 담당할 헤드노드를 선출하여 그 중심으로 클러스터를 형성하고 헤드노드를 통해 기지국(Base Station)까지 수집된 데이터를 전송하게 된다. 이렇듯 헤드노드는 센서 네트워크 시스템에서 중요한 역할을 맡고 있다. 하지만, 헤드노드 역시 다른 노드들과 마찬가지로 결함이 발생할 수 있으므로 그 대책이 마련되어야 한다. 기존 클러스터링 구조는 이 게이트웨이 역할을 하는 헤드노드에 결함이 발생할 경우 전체 시스템을 재구성하여 그 네트워크 구조를 유지하는 방법을 사용하고 있다[1]. 하지만, 재구성은 곧 네트워크 전반의 부트스트랩(Boot Strap)과 셋업(Setup) 초기화를 의미한다. 중요한 것은 이러한 초

This work is supported in the 21st Century Frontier Research and Development (R&D) Program "National Center of Excellence in Ubiquitous Computing and Network" from the Ministry of Science and Technology (MOST).

이 논문은 2004년도 두뇌한국21사업에 의하여 지원되었음.

기화 과정에서도 에너지와 시간낭비가 이뤄지며 그로 인해 시스템 신뢰도(Reliability) 역시 저하된다.

3. 클러스터 모델과 결함복구 기법

3.1. 클러스터 모델

클러스터를 생성하는 첫 번째 단계에서는, CSMA(Carrier Sense Multiple Access) MAC 프로토콜을 이용하여 각 센서들이 클러스터 헤드노드 선출과정에 참여하게 되어 에너지 양과 특정 임계치 값을 고려하여 적당한 센서가 게이트웨이 역할을 하는 헤드노드가 선출된다. 또한 헤드노드 중심으로 인접노드들과 함께 클러스터를 생성하고 각 헤드노드들은 서로 정보를 주고받음으로써 인접 클러스터의 생성여부를 알 수 있는 것이다. 이로써 다중 게이트웨이(Multi-Gateway) 구조를 가지는 클러스터가 형성된다. 클러스터를 구성한 각각 헤드노드들은 TDMA(Time Division Multiple Access) 프로토콜을 이용하여 각 센서들의 정보를 파악하고, 기지국으로 데이터 전송을 위한 스케줄링(Scheduling) 작업을 진행한다. 또한, 브로드캐스팅(Broadcasting)을 통해 센서들과 인접 클러스터 헤드에게 이 정보를 같이 전송해 준다. 그러므로 클러스터 헤드 결함을 인접 헤드노드가 감지할 수 있는 것이다.

3.2. 헤드노드 결함

본 장에서는 클러스터 헤드노드에서 발생할 수 있는 결함을 모델링한다(그림 1 참조).

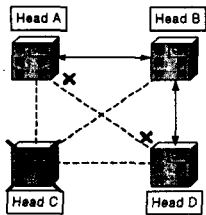


그림 1 발생할 수 있는 결함모델

결함모델은 두 가지로 생각할 수 있는데, 첫 번째는 결함이 발생하였을 때, 구조의 상태를 보여주고 있다. 라우팅 정보를 잃어버림으로 발생하는 헤드노드 A와 헤드노드 D의 링크(Link) 결함을 들 수 있고, 두 번째는

헤드노드 C와 같이 완전한 시스템 고장(Failure)으로 인해 고립된 상태를 들 수 있다[3].

3.3. 결함허용 및 복구기법

결함이 발생한 헤드노드 복구과정에서 백업기법을 사용하여 결함허용 클러스터링 구조를 이룬다면 결함으로 손상된 클러스터는 신속히 회복되어질 수 있으며 그 결과 시스템 신뢰도 역시 향상된다. 헤드노드가 클러스터를 구성하는 과정에서 신호 반경에는 속하나 클러스터에 포함되지 못하는 센서들이 발생할 수 있다. 클러스터에 포함되지 않지만, 헤드노드의 영향을 받는 이러한 센서들을 기본으로 하여 백업 집합을 형성한다. 이 노드들을 헤드노드 정보를 저장하는 기능뿐 아니라 중복(Redundancy) 기능까지 담당하는 집합으로 정의한다. 이 집합은 속해있는 헤드노드가 고장으로 작동하지 않거나, 결함으로 인해 정보를 잃어버렸을 경우, 백업을 통한 이전 헤드노드 데이터를 이용하여 정상적인 동작을 취할 수 있도록 돕는다. 본 연구의 기본적인 메커니즘은 다음과 같다.

```

IF (Backup set exist) {
    IF (Head_N lost only information)
        Recover by using Backup data
    ELSE
        Replace Head_N with new one
}
ELSE
    Re-clustering
    
```

클러스터 헤드에 결함이 발생하였을 경우에는 백업 집합의 존재유무를 확인한다. 만약, 백업 집합이 존재하지 않는다면 리클러스터링(Re-clustering)을 통한 재구성 작업에 들어간다. 그러나 존재하고 있다면, 먼저 헤드노드 상태가 단순한 정보손실 인지를 판단한다. 간단한 정보손실일 경우에는 백업으로 저장된 정보 이용만으로 오동작을 방지할 수 있지만, 고장으로 인해 헤드노드가 게이트웨이 역할을 더 이상 담당할 수 없을 때에는 다른 센서로 교체하여 클러스터가 유지되도록 해야 한다. 교체할 시, 그 백업집합 중에서 에너지가 가장 높은 센서에게 우선순위를 주는 것을 기본으로 한다.

4. 성능 평가

본 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안한 백업 클러스터링 기법과 일반 클러스터링 기법의 시스템 신뢰도와 에너지 소모를 비교한다. 먼저 비교할 전체 센서들의 노드 개수는 100개, 한 개 노드 에너지는 100J(줄)로 정의하였고 그러므로 전체 총 에너지는 10000 J이다. 총 라운드(Round)는 100으로 하였으며, 고장으로 인해 전체 에너지에서 소모되는 에너지는 10J로 정의했다. 지수분포를 따라 결함이 발생하며 결함발생율은 평균 0.15로 하여 성능 평가하였다.

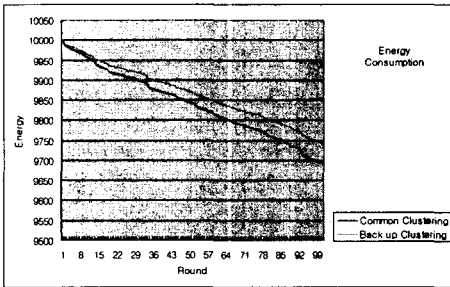


그림 2 라운드에 따른 전체 에너지 변화

그림 2는 라운드에 따른 전체 에너지 손실을 보여준다. 동일한 결함발생율에 대해 일반 클러스터링 기법보다 제안한 백업 클러스터링 기법의 전체 에너지가 보다 적게 소모됨을 알 수 있다. 이것은 백업을 이용하여 결함과 재구조화로 의한 에너지 손실을 최소화했기 때문이다.

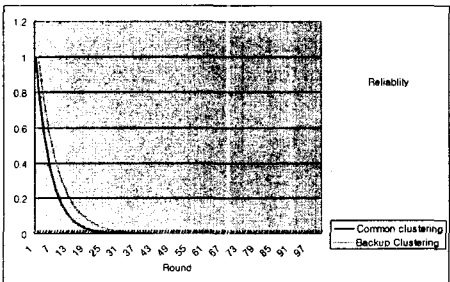


그림 3 신뢰도 측정

마지막으로 그림 3을 통해 제안된 기법의 향상된 신뢰도를 볼 수 있다. 고장으로 인해 전송되어지는 자료손실과 재구성 시간을 줄

일 수 있었기 때문에 전체 시스템 신뢰도는 높아진다.

5. 결론

센서 네트워크에서 헤드노드 기능을 가진 백업 집합을 이용함으로써 클러스터 헤드의 결함 허용 클러스터링 기법을 제안하였다. 그 결과 헤드노드 정보를 보호하며 결함 발생시 재구조화로 인해 발생하는 에너지 소모를 줄이고 클러스터링 구조의 신뢰도를 높일 수 있었다. 성능 평가 부분에서 결함으로 인한 에너지 손실 양을 임의로 정한 것이기에 다소 부족한 부분도 있었지만, 예상한 결과를 정확히 확인할 수 있었다. 향후 제안한 기법에 중복 비용(Cost) 부분도 함께 주목시켜 연구할 것이며 리클러스터링 통하여 헤드노드 결함문제를 해결하는 대표적 알고리즘인 LEACH(Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy)[1]를 개선할 예정이다.

참고문헌

- [1] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," Proceedings of the 33rd Annual Hawaii International Conference on System Sciences, pp. 3005-3014, Jan. 2000.
- [2] G. Gupta and M. Younis, "Fault-Tolerant Clustering of Wireless Sensor Networks," IEEE Wireless Communications and Networking, Vol. 3, pp. 1579-1584, Mar. 2003.
- [3] J. Dugan and K. Trivedi, "Coverage Modeling for Dependability Analysis of Fault-Tolerant Systems," IEEE Transactions on Computers, Vol. 38, No. 6, pp. 775-787, June 1989.
- [4] M. Khan, B. Bhargava, and L. Lilien, "Self-Configuring Clusters, Data Aggregation, and Authentication in Microsensor Networks," CSD TR 03-003, Purdue University Technical Report, Mar. 2003.