

센서 네트워크의 지역적 재구성에 기반한

오류허용 클러스터링

김혜인^o 김성천

서강대학교 컴퓨터학과

gottheit@freechal.com^o, ksc@arqlab1.sogang.ac.kr

Fault tolerant clustering based on local reconfiguration in sensor network

Hueyin Kim^o Sungcheon Kim

Sogang University, Computer science dep.

요 약

센서들은 제한된 자원으로 구동되므로 오류가 나기 쉽다. 특히 구조적 라우팅의 경우 클러스터 헤드의 오류시 많은 수의 센서가 네트워크에서 분리되어 네트워크 성능에 악영향을 미친다. 따라서 오류 처리에 관한 연구들이 이루어져 왔으나 기존의 연구들은 망을 최적으로 유지하기 위해 재구성시 전체 네트워크를 재구성 하며 고정된 주기를 사용하여 전체적인 망이 최적의 상태임에도 불구하고 재구성 되거나, 클러스터에 오류가 생겨도 재구성되기까지 기다려야 한다는 단점이 있었다. 따라서 본 논문에서는 지역적인 재클러스터링을 통하여 네트워크를 최적으로 유지하며 클러스터들의 부하를 고려하여 망을 동적으로 재구성 하는 방법을 제안하였다. NS-2를 이용한 시뮬레이션을 통하여 기존의 방법에 비하여 본 논문에서 제안한 알고리즘이 네트워크 유지시간을 연장시켜 더 많은 양의 데이터가 수집됨을 확인 할 수 있었다.

1. 서 론

센서네트워크는 현장의 각종 정보를 모니터링 하는 작은 센서 노드들을 무선 네트워크로 연결하여 사용자가 원하는 정보를 수집, 관리할 수 있도록 해 준다. 센서 네트워크는 사용자에 의해 네트워크 구조가 설계되는 것이 아니라 감시하고자 하는 환경에 무작위로 센서들을 살포함으로써 구성된다. 임의로 설치된 센서들은 서로 무선으로 통신하며 외부의 간섭 없이 스스로 네트워크를 구성하게 된다. 따라서 무선 애드혹(ad-hoc) 네트워크와 유사한 특성을 가지게 되나, 네트워크의 구성 목적에 많은 차이점을 지니고 있기 때문에 기존의 무선 네트워크의 라우팅 알고리즘을 적용시키는 것은 많은 문제점이 있다.

기존연구에서는 네트워크의 품질을 관리하기 위해 고정된 주기(phase)를 사용한다. 그러나 고정된 주기를 이용한 방법은 센서 네트워크가 정상적으로 동작하고 있을 때라도 설정 주기에서는 데이터 수집을 중지하고 네트워크를 재구성해야 하거나, 통신주기 동안 네트워크의 품질이 저하 되어도 다음 설정 주기까지는 네트워크가 재구성 되지 않는 단점이 있다. 그리고 네트워크를 재구성 시 설정 주기에 전체적인 네트워크를 초기화 하여 모든 클러스터 헤드가 교체되어 네트워크에 오버헤드로 작용한다.

따라서 본 논문에서는 동적인 주기에 의한 네트워크 재구성과 클러스터 헤드가 오류가 예상될 경우 전체적으로

네트워크를 재구성 하지 않고 클러스터 내의 노드에게 자신의 권한을 넘겨줌으로써 다른 클러스터들에게 영향을 미치지 않으며 네트워크를 유지 하는 방법에 대하여 제안하도록 한다.

2. 본 론

2.1 센서네트워크에서 라우팅

무선 센서 네트워크의 라우팅 기법은 크게 데이터 중심(data centric) 라우팅과 계층적(hierarchical) 라우팅의 두 가지로 나눌 수 있다[1].

데이터 중심의 라우팅은 자신의 데이터를 주변의 노드들에 복사해 놓거나 주변의 노드들의 데이터를 수집해 요약해 놓음으로써 질의에 빠르게 응답할 수 있도록 하는 방식이다. 데이터중심 라우팅은 네트워크 전체를 하나의 영역으로 간주하여 모든 노드들이 동등하게 라우팅에 참여할 수 있고, 다중홉 라우팅을 특징으로 한다.

계층적 라우팅은 데이터 중심 라우팅에서의 인접한 노드의 유사한 정보의 중복 전달로 인한 자원의 낭비와 전력 관리의 어려움을 해결하기 위한 라우팅 방법으로, 노드들을 작은 지역적 단위인 로컬 클러스터를 형성함으로써 비효율적인 플러딩을 줄이고 데이터모음을 효율적으로 할 수 있게 해 준다.

계층적 라우팅은 센서네트워크를 클러스터라는 작은 영역들로 네트워크를 분할하며 각 클러스터에는 클러스터 헤더가 존재하여 클러스터 멤버로부터 데이터를 수집하고 이를 모아 싱크로 전달하거나 상위계층 클러스터로 전달한다. 이러한 클러스터를 구성함으로써 좀 더 효율적이고 체계적으로 데이터를 요약, 가공할 수 있으며 지

역적인 정보도 쉽게 알 수 있게 된다. 또한 센서네트워크에서 중요한 에너지나 통신량이 특정 노드에 집중되는 것을 피할 수 있게 해 준다.

노드는 클러스터 헤드로 동작할 경우 다른 노드들의 데이터를 수집하여 요약하여 싱크에 전달하여야 한다. 데이터를 수신, 처리, 그리고 싱크에 전달하여야 하므로 클러스터 헤드는 일반 노드로 동작할 때에 비하여 2배 이상의 에너지를 소비된다. 그러므로 모든 노드들이 일정한 에너지를 가지고 있다고 가정할 때 특정 노드가 클러스터 헤드를 계속하게 되면 결국엔 더 이상 동작할 에너지가 남지 않게 된다.

클러스터 헤드는 클러스터 내의 모든 노드들의 통신을 책임지게 되므로 만일 헤드가 오류가 날 경우 클러스터의 멤버 노드 전부는 네트워크에서 분리되어 더 이상 데이터 수집을 할 수 없게 된다. 따라서 계층적 라우팅에서 클러스터 헤드의 오류에 대한 관리는 매우 중요하다.

2.2 지역적 클러스터링 기법

기존의 센서 네트워크에서의 라우팅은 고정된 주기를 사용한다. 즉 네트워크 설정주기와 통신주기를 나누어 설정주기에는 네트워크를 재구성 하며, 통신주기에는 데이터를 수집하는데 이러한 방법은 네트워크의 상황에 빠르게 대처할 수 없으며 네트워크가 최적화 되어 있는 경우에도 설정주기에는 재구성을 위해 데이터 수집을 중지한다. 또한 네트워크 내의 재구성시 전체적인 네트워크를 재구성함으로써 네트워크에 오버헤드를 가중시킨다. 지역의 정보를 수집하여 재구성 하는 방법 역시 주변 노드들의 정보를 저장해 놓아 대비책을 마련하는 것은 메모리나 전력이 극히 제한된 센서 네트워크에서 많은 제약이 따른다.

따라서 본 논문에서는 각 클러스터의 부하를 감독하여 부하가 불균등하게 분포되어 있을 경우에만 전체적인 네트워크를 재구성 하여 동적인 주기를 가지도록 하는 방법에 대하여 제안한다. 지역적으로 오류가 예측될 때는 오류가 발생하기 전에 다른 노드들이 클러스터 헤드의 권한을 넘겨받음으로써 전체적인 네트워크의 재구성 없이 네트워크를 최적의 상태로 유지하도록 한다.

기존의 알고리즘에서는 모든 노드들이 동등한 전력을 가지고 있다고 가정하고 하나의 노드만 계속 전력 소비를 하는 것을 방지하기 위해 클러스터 헤드를 임의적으로 선택하며 이전 주기에서 클러스터 헤드를 담당했던 노드는 다음 주기에서 클러스터 헤드를 하지 않도록 하여 전력 소비를 분산시킨다. 그러나 실제 센서 네트워크는 많은 종류들의 센서들이 복합적으로 구성되어 있으며 각각 노드들의 전력 상황도 다를 수밖에 없다. 따라서 무조건 임의의 노드를 선택하여 클러스터 헤드를 선출하는 것은 적합하지 않다.

현재 노드의 상태를 고려하여 클러스터 헤드를 선출하기 위하여 본 논문에서는 노드들의 RANK를 이용한다. 클러스터 헤드는 일반 노드에 비하여 많은 전력을 소모하므로 여유 전력이 많은 노드가 클러스터 헤드를 담당하는 것이 잦은 클러스터 헤드의 오류 발생을 방지할 수 있다. 또한 클러스터 헤드는 자신에게 속한 멤버 노드들

의 데이터를 수집해야 하므로 되도록 많은 노드에 접근 가능한 노드가 클러스터 헤드를 담당하는 것이 적합하다. 따라서 RANK는 노드의 남은 전력과 통신 가능한 이웃 노드들을 고려하여 계산되며 네트워크가 시작되면 각 노드는 자신의 RANK를 계산하여 브로드캐스트 한다.

$$RANK = (E_{rest} / E_{ave}) * NUM_{comm} \dots\dots\dots 식(1)$$

식 (1)에서 E_{rest} 는 노드에 남아 있는 에너지를 뜻하며 E_{ave} 는 노드의 평균 전력 소비량을 의미한다. 또한 클러스터 헤드는 멤버 노드들의 데이터를 수집하여 싱크에 전달하므로 되도록 많은 노드들과 통신 가능한 것이 유리하다. 따라서 통신 가능한 노드의 수 인 NUM_{comm} 이 큰 노드를 선택한다. 각 노드는 받은 메시지 중에 자신의 RANK가 제일 높을 경우 자신을 클러스터 헤드로 결정하고 클러스터 헤드임을 선언하는 메시지를 브로드캐스트를 한다. 이 메시지를 받은 노드들은 통신 가능한 클러스터 헤드들 중 통신비용이 가장 적은 것을 자신의 클러스터 헤드로 결정하고 참여 메시지를 전송한다.

센서 노드는 데이터를 수집, 처리하고 통신하는 일에 전력을 소비하게 된다. 특히 클러스터 헤드는 자신의 클러스터 멤버 노드들의 데이터를 수집하여 사용자에게 전달하므로 전력의 대부분을 데이터를 수집하여 처리하고 싱크에 전달함으로 소비한다. 따라서 클러스터의 부하는 그 클러스터 헤드에 속한 멤버 노드의 개수라 할 수 있다. 센서 네트워크에서 클러스터의 부하가 균등하게 분배되지 하지 않을 경우 부하가 많이 걸린 클러스터의 헤드는 전력을 빨리 소모하게 되어 동작 시간이 짧아진다. 앞서 언급한바와 같이 클러스터 헤드에 오류가 발생하면 클러스터 내 멤버 노드들이 네트워크에서 분리 되므로 이러한 상황은 되도록 피해야 한다. 따라서 클러스터들은 되도록 균등한 부하를 가지고 있어야 하며 부하의 불균등 정도를 센서네트워크의 혼잡도라고 한다.

네트워크의 혼잡도 Con은 클러스터 부하의 편차에 관한 함수이며 다음 식 (2)와 같다.

$$Con = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (load_i - AVE)^2} \dots\dots\dots 식(2)$$

혼잡도가 임계값 이상이면 네트워크를 전체적으로 재구성하게 된다.

센서 네트워크의 클러스터 들은 각각 분산적으로 동작하며 스스로 네트워크를 구성한다. 각각의 클러스터들은 독립적으로 운용되며 서로의 상태가 다른 클러스터에게 영향을 주지 않는다. 따라서 하나의 클러스터의 상태가 나빠졌다고 해서 전체 네트워크를 재구성 하는 것은 비효율적이다. 또한 여러 개의 클러스터 헤드가 변경될 경우 모든 노드들에 있는 정보들이 업데이트 되어야 한다. 이는 네트워크에 많은 오버헤드를 발생 시킨다. 그러므로 오류가 발생할 경우 클러스터 내에서 해결할 수 있다면 다른 클러스터에 영향을 주지 않고 해당 클러스터만 재구성하는 것이 효율적이라 할 수 있다. 그리고 오류가 발생하는 것이 예측 가능하다면 미리 클러스터 헤드를

교체하여 혼잡을 감소시킬 수 있다.

클러스터 헤드가 오류가 날 경우 클러스터 전체가 네트워크에서 분리되며, 이는 네트워크 품질에 악영향을 미친다. 그러므로 오류 발생 시 전체 네트워크를 재구성하지 않고 해당 클러스터 헤드만을 클러스터 내에서 상태가 좋은 노드로 교체함으로써 네트워크를 최적의 상태를 유지할 수 있다.

클러스터 헤드 권한을 넘겨주는 것은 클러스터 헤드가 자신이 오류가 날 것을 예측하여 미리 권한을 넘겨주는 경우와 예측하지 못한 오류로 인해 클러스터 헤드가 기능을 하지 못할 경우 클러스터 멤버에 의해 클러스터 헤드가 교체되는 경우의 두 가지로 나눌 수 있다.

자발적으로 클러스터 헤드권한 넘겨주는 것은 더 이상 클러스터 헤드로서 동작할만한 전력이 남아 있지 않아 오류가 발생할 것이 예측 된거나 소프트웨어, 하드웨어적으로 불안정하여 더 이상 동작할 수 클러스터 헤드의 오류로 해당 클러스터 전체가 네트워크에서 분리되는 상황을 미연에 방지하기 위하여 상태가 양호한 멤버노드를 새로운 클러스터 헤드로 선출하는 것이다.

의 개수에 의해 RANK를 계산하고 그에 근거하여 클러스터 헤드를 선출하도록 하였다.

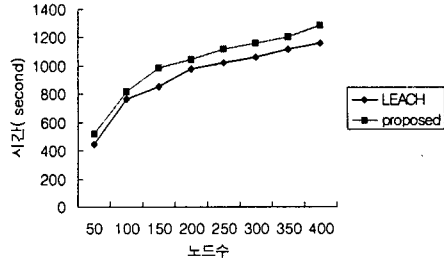


그림 3 노드수에 따른 네트워크 유지시간

네트워크의 유지 시간을 '50%이상의 노드가 동작하고 있는 시간'으로 정의 하였을 때 노드 개수에 따른 네트워크 유지 시간을 살펴보면 그림 3와 같다. LEACH는 전력에 대한 고려 없이 클러스터 헤드를 선출한다. 이러한 경우 다양한 초기 에너지 레벨을 가진 노드들로 이루어진 네트워크라면 초기 에너지 레벨이 작은 노드가 클러스터 헤드로 선출될 수 있다. 그렇게 되면 클러스터 헤드가 쉽게 저전력이 되어 동작 할 수 없게 된다. 이러한 이유에서 기존의 알고리즘의 네트워크 유지 시간이 제안된 알고리즘에 비하여 상대적으로 평균 9.8%정도 짧은 것으로 나타났다.

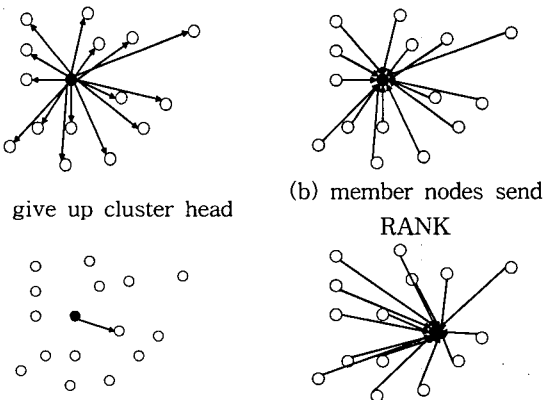


그림 1. 지역적 클러스터 재구성

그림 1은 본 논문이 제안하는 자발적 클러스터 헤드 권한포기의 알고리즘이다. 만약 클러스터 헤드가 자신의 오류가 예측된다면 클러스터 헤드의 권한을 포기하는 메시지를 자신의 멤버들에게 브로드캐스트 한다. 메시지를 받은 노드들은 자신의 RANK를 계산하여 클러스터 헤드에게 보내면 클러스터 헤드는 그 중 하나의 노드를 선택하여 클러스터 헤드 권한을 넘겨준다. 선택된 클러스터는 자신이 클러스터 헤드임을 다른 노드들에게 광고함으로써 클러스터는 재구성 된다.

2.3 성능분석

LEACH 알고리즘의 경우 모든 노드가 같은 에너지를 가지고 있다고 가정하고 균일하게 전력을 소비하도록 하기 위하여 임의로 클러스터 헤드를 선출한다. 그러나 다양한 전력 상황을 가진 노드들이 모여 있는 센서 네트워크에서 이러한 방법은 적합하지 않다. 따라서 제안된 알고리즘에서는 각 노드의 전력 상태와 통신 가능한 노드

3. 결론

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 지역적 재구성을 통해 네트워크 유지시간을 연장시켰으며 결과적으로 사용자에게 더 장시간 많은 양의 정보를 수집할 수 있도록 해 준다. 그러나 센서의 이동성에 대한 고려를 하지 않았으며 제어메시지의 증가로 초기의 네트워크 품질이 기대만큼 좋지 않음을 알 수 있었다. 따라서 향후에는 제어메시지를 최소화 하며 센서 노드의 이동시 네트워크를 최적화 할 수 있도록 연구를 확장시키려고 한다.

4. 참고문헌

- [1] Akyildiz, I.F., Weilian Su, Sankarasubramaniam, Y. and Cayirci, E., "A Survey on Sensor Networks", Communications Magazine, IEEE
- [2] Judd, G. and Steenkiste, P., "Providing contextual information to pervasive computing applications", Pervasive Computing and Communications 2003 on, March 2003
- [3] Carlos de Moraes et al., "Mobile Ad-hoc Networking," In 20th Brazilian Symposium on Computer Networks., Short Course, 2002. pp.125-186.