

거리 기반의 센서 네트워크 토폴로지 구성 방법

이호승^o 하남구 한기준

경북대학교 컴퓨터공학과

{leeho678^o, adama2}@netopia.knu.ac.kr, kjhan@bh.knu.ac.kr

Distance-based Self-Configuring Sensor Network Topology

Hoseung Lee^o, Namkoo Ha, Kijun Han

Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University, Korea

요 약

센서 네트워크의 응용 분야 중에서 센서가 밀집되게 분포 되어야 하는 경우 적절한 개수의 노드만 활성화시켜 이 노드들만으로 전송 경로를 구성하여 센서가 수집한 데이터를 데이터 수집 노드에 전달되도록 한다. 휴지 상태에 있는 노드를 활성화하는 기존의 모델들은 활성 노드의 개수와 전송 손실률을 이용하거나 지리 정보를 이용하여 센서 네트워크 토폴로지를 구성하였다. 이 논문에서는 활성 노드 간의 거리 정보를 이용하여 센서 네트워크 토폴로지를 구성하는 방법을 제안한다. 이 방법을 사용한 결과 지역적으로 활성 노드가 균일하게 분포되었으며 센서 밀집도가 높을수록 더 좋은 에너지 효율을 얻을 수 있었다.

1. 서론

마이크로-센서와 저전력 무선 통신 기술이 발전함에 따라 센서 네트워크의 다양한 응용에서 센서를 밀집되게 분포시킬 수 있게 되었다. 항공기에 의한 센서 분포 시 아주 밀집도 높게 센서를 분포시킨다. 센서 네트워크에서 센서는 주로 신호 처리, 계산, 네트워크 구성 등의 일을 하는데 배터리의 용량이 제한되므로 네트워크가 견고하면서도 오래도록 동작하도록 하기 위해서 에너지 효율을 중요하게 고려한다.

에너지를 고려한 센서 네트워크 구성에서 무선 데이터 전송이 특히 중요한 논점이 되는데 에너지 효율을 높이려면 데이터 통신이 필요하지 않는 노드는 무선 채널을 휴지 상태로 두고 필요한 노드만 무선 채널이 활성화 되도록 하여 데이터 통신을 담당하게 하는 방법을 사용한다[1][2]. 또한 데이터 전송 손실이 발생하면 재전송을 위한 추가 전력이 필요하므로 전송 손실률(Loss)도 중요하게 고려 한다[3]. 본 논문에서 활성화(Active)란 용어는 노드의 무선 채널을 동작하게 한다(Radio On)는 의미로, 휴지(Sleep)는 무선 채널을 동작하지 않게 한다(Radio Off)는 의미로 사용한다.

우리는 이 논문에서 두 개의 주파수 채널을 사용하는 센서 네트워크에서 노드 간의 거리 정보를 이용한 활성 노드 생성

과 센서 네트워크 토폴로지 구성 방법을 제안한다.

본 논문의 2장에서는 밀집 분포한 센서 네트워크에서의 토폴로지 구성과 관련된 연구에 대해 서술하고, 3장에서 우리의 방법을 제안하고 4장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

많은 연구자들은 밀집 분포한 센서 네트워크에서 휴지 상태에 있는 센서 노드를 어떻게 활성화 시키는지에 대해 여러 가지 방안들을 제시 하였다.

ASCENT[3]에서는 활성화된 이웃 노드의 개수와 전송 손실률을 이용하여 노드를 활성화시키는 기법을 사용 하였다. 여기에서 각 노드는 휴지(Sleep) 상태와 수동(Passive) 상태를 일정한 주기로 반복한다. 수동 상태에서는 이웃 노드의 개수와 전송 손실률을 구하여 이웃 노드의 개수 기준보다 적거나 손실률이 기준보다 크면 테스트 상태로 전환된다. 테스트 단계에서는 그 노드를 활성화시켜 메시지 전달에 참여하면서 일정 시간 동안 주변 이웃 노드의 수와 전송 손실률 변화를 관찰하여 활성화 기준에 합치하면 영구 활성화 단계로 전환하고 합치하지 않으면 수동 상태로 전환한다.

GAF[4]에서는 네트워크 전체 영역을 가상의 그리드(Grid)

로 분할한 후, 각 노드는 자신의 지리적 위치 정보를 알고 있어서 각각의 그리드에서 하나의 노드만이 활성화 되게 하는 기법을 사용하였다. 노드는 활성화 되기 위해 자신의 잔여 에너지 양과 노드 Id 등을 포함하는 활성화 노드 발견 메시지를 통해 서로 경쟁하여 한 그리드에 하나의 활성 노드만 생성되도록 조정한다.

3. 토폴로지 구성 방법 제안

우리는 충분히 밀집되게 분포된 센서 네트워크에서 각 노드는 수집한 주변 활성 노드의 거리 정보만으로 자신이 활성화 될지를 결정하는 센서 네트워크 토폴로지를 제안하고자 한다. 이 방법은 새로운 노드가 활성화될 때 기존의 활성화된 노드와 일정 이상의 거리가 유지되도록 하여 특정 구역에 활성 노드가 중첩되지 않게 한다.

3.1 시스템 설정

노드 간의 거리 측정을 위하여 그림 1과 같은 전송 범위가 다른 2개의 주파수 채널을 사용한다. 전송 거리가 짧은 주파수 채널은 활성화 알림 채널(Advertisement Channel)로 사용하며 R_{ADV} 로 표기하고 r_1 의 전송 범위를 가진다. 전송 거리가 상대적으로 긴 주파수 채널은 데이터 메시지 송수신 채널(Data Channel)로 사용하며 R_{DAT} 로 표기하고 r_2 의 전송 범위를 가진다.

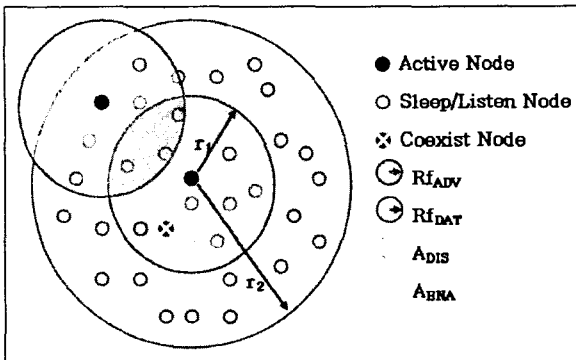


그림 1. 두 개의 무선 주파수 설정

그림 1의 가운데에 있는 활성화 노드에서 R_{ADV} 가 미치는 영역은 새로운 노드 활성화가 금지되는 영역으로 A_{DIS} 로 표기하고, 그 바깥의 R_{DAT} 가 미치는 영역은 노드 활성화 가능 영

역으로 A_{ENA} 로 표기한다. 즉 활성화된 노드의 일정 영역 안에는 새로운 활성 노드가 발생하지 않도록 하고 그 바깥의 영역에만 활성 노드가 발생되게 한다.

3.2 상태 천이

우리가 제안한 기법은 수신(Listening), 활성(Active), 장기 휴지(Long-term Sleeping)와 단기휴지(Short-term Sleeping)의 네 가지 상태를 가지며 그림 2와 같은 상태 천이는 가진다.

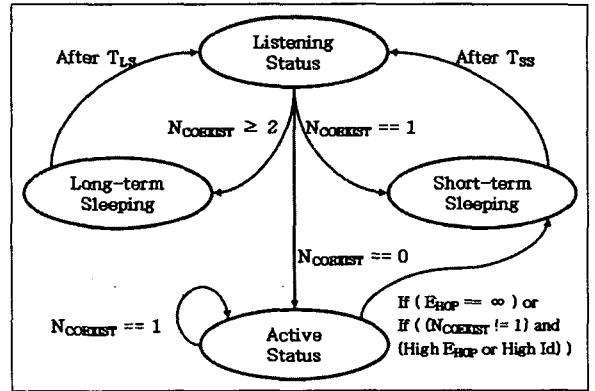


그림 2. 상태 천이도

각 상태 별 동작은 다음과 같다.

① 수신 상태 (Listening Status)

이 상태에서는 Ch_{ADV} 는 On시키고 Ch_{DAT} 는 Off시킨 후 수신 상태 타임 아웃(T_L) 시간 동안 주변 활성 노드의 알림 메시지를 수신한다. 이 메시지 수신 후 A_{DIS} 영역 내의 활성 노드의 개수($N_{COEXIST}$)를 구하여 다음 상태로 전환하게 된다. $N_{COEXIST}$ 가 0이면 활성 상태로, 1이면 단기 휴지 상태로 전환하고 $N_{COEXIST}$ 가 2이상이면 장기 휴지 상태로 전환한다.

② 활성 상태 (Active Status)

Ch_{ADV} , Ch_{DAT} 둘 다 On시키고 자신의 노드가 활성화 되어있음을 주변에 알리기 위해 알림 전송 주기(T_{ADV})마다 활성 알림 메시지를 Ch_{ADV} 를 통해 전송한다. 활성 알림 메시지는 1)동기 SYNC, 2)싱크 홉 수, 3)노드 Id, 4)잔여 생존 예상 시간 등이 포함하고 있다.

또한 활성 노드는 Ch_{DAT} 를 통해 싱크 노드로 전달되고 있는 데이터 메시지 전송에도 참여하게 된다. 싱크 노드는 주기적으로 Ch_{DAT} 를 통해 싱크 메시지를 방송(Broadcast)하는데 이를 수신한 활성 노드는 싱크 홉(E_{HOP}) 수와 데이터 전송 시에 다음 노드 정보를 얻는다.

활성 상태에 있는 노드는 일정한 주기(T_A) 마다 자신의 상태 변경 여부를 체크한다. T_A 시간 내에 싱크 메시지를 수신하지 못한다면 자신은 싱크 노드에서 도달할 수 없는 노드이기 때문에 단기 휴지 상태로 전환한다. 만약 어떤 활성화된 노드가 활성화와 알람 메시지를 수신하면 그 영역에 두 개의 활성화된 노드가 존재하는 것이므로 적절한 절차를 거쳐 하나만 활성화된 상태로 두고 다른 하나는 단기 휴지 상태로 전환하게 한다.

③ 단기와 장기 휴지 상태 (Short-term and Long-term Sleeping Status)

휴지 상태에서는 Ch_{ADV} , Ch_{DAT} 무선 채널 둘 다 Off시킨다. 단기 휴지 상태는 짧은 휴지 타임 아웃(T_{SS}) 시간을 동안, 장기 휴지 상태는 상대적으로 긴 타임 아웃(T_{LS}) 시간 동안 휴지 상태에 머문 후 다시 수신 상태로 전환한다. 단기 휴지 시간(T_{SS})은 30~60초 정도의 상대적으로 적은 값을 가지고 장기 휴지 시간(T_{LS})은 60초 이상의 상대적으로 큰 값을 가지는데 주변 활성 노드의 잔여 생존 예상 시간만큼 휴지해도 된다. 따라서 장기 휴지 상태는 단기 휴지 상태에 비하여 상대적으로 작은 듀티비(Radio ON / Off 비율)를 가지게 되고 따라서 에너지 소모도 적다.

3.3 수학적 분석

Rf_{DAT} 무선 채널 반경 r_2 와 Rf_{ADV} 무선 채널 반경 r_1 의 관계를 $r_2 = \alpha \cdot r_1$ ($\alpha > 1.0$)으로 두면, 하나의 활성 노드 주위에 발생하는 최대 이웃 노드 개수는 수식(1)로 나타내어진다. 여기서 이웃 노드 개수를 제한하지 않아도 특정 개수 이상의 이웃 노드가 생성되지 않음을 알 수 있다.

$$NeighborMax \leq \pi \cdot \lfloor \alpha \rfloor \cdot (2\alpha - \lfloor \alpha \rfloor + 1) \quad (1)$$

전체 영역(S)에서의 최대 활성 노드 개수는 수식(2)로 나타내어지고 센서 노드 밀집도를 높이더라도 일정 개수 이상의 활성 노드가 생성되지 않는다.

$$TotalActive \leq \lfloor \alpha \rfloor \cdot (2\alpha - \lfloor \alpha \rfloor + 1) \frac{S}{r_2^2} \quad (2)$$

무선 채널 On 상태에서 순간 전원 소모를 $P_{Rf}(\delta)$ 라 두면, 센서 네트워크 전체의 순간 에너지 소모는 수식(3)으로 구할 수 있다.

$$P_{Total}(\delta) = P_{Rf}(\delta) \cdot (2 \cdot N_{Act} + Duty_{ST} \cdot N_{ST} + Duty_{LT} \cdot N_{LT}) \quad (3)$$

네트워크 전체에서 활성 노드의 개수(N_{Act})가 증가하면 노드 간 평균 거리는 줄어들게 되므로 단기 휴지 노드의 개수(N_{ST})

는 줄어들고 장기 휴지 노드의 개수(N_{LT})는 늘어난다. 네트워크 센서의 밀집도가 커지면 활성 노드는 별로 증가하지 않지만 휴지 상태의 노드는 밀집도에 비례하여 증가하여 에너지 효율이 높아 진다.

4. 결론 및 향후 연구 과제

우리는 위에서 충분히 밀집되게 분포된 센서 네트워크에서 활성 노드 사이의 거리를 일정 이상 유지할 수 있는 기법을 제안하였다. 이는 밀집되어 있는 노드 중 대부분은 휴지시키고 일부만 주변 활성 노드의 거리 정보로 활성화하는 방법이다. 휴지 상태도 주변 활성 노드의 개수에 따라 긴 휴지기를 갖는 노드와 짧은 휴지기를 갖는 노드로 구분된다. 센서 분포의 밀집도가 높을수록 긴 휴지기를 갖는 노드의 개수가 증가하여 더 높은 에너지 효율을 얻을 수 있었고 더 오래 동작하는 네트워크가 될 수 있었다.

현재 이 기법을 시뮬레이션 시험을 통하여 검증하고 있으며 기존의 방법인 ASCENT, GAF와 에너지 효율을 비교하는 실험을 진행하고 있다. 향후 이 모델에 적합한 MAC 프로토콜과 라우팅 프로토콜에 대한 연구를 진행할 예정이다.

참고 문헌

[1] C. Schurgers, V. Tsitsis, S. Ganeriwal and M. Srivastava, "Topology Management for Sensor Networks: Exploiting Latency and Density," In *MobiHoc'02*, 2002.

[2] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, R. Morris, "Span: an energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks," *MobiCom 2001*, Rome, Italy, pp. 70-84, July 2001.

[3] A. Cerpa and D. Estrin, ASCENT: Adaptive self-configuring sensor network topologies. In *Twenty First International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM)*, June 2002.

[4] Y. Xu, J. Heidemann, D. Estrin, "Geography-informed energy conservation for ad hoc routing," *MobiCom 2001*, Rome, Italy, pp. 70-84, July 2001.