

무선 센서 네트워크에서의 적응적 노드 스케줄링 기법*

최정은^o 하 란

홍익대학교 컴퓨터공학과

{jechoi^o, rhanha}@cs.hongik.ac.kr

An Adaptable Node Scheduling Scheme in Wireless Sensor Networks

Jung-eun Choi^o Rhan Ha

Department of Computer Science, Hongik university

요 약

무선 센서 네트워크에서는 네트워크 크기가 한정되어 있기 때문에 모든 센서 노드들이 활성화되지 않아도 네트워크 서비스를 제공할 수 있다. 불필요한 전력 소모를 줄이기 위하여 최소수의 센서 노드들을 활성화 상태로 전환한다. 그러나 예상하지 못한 센서 노드의 오작동으로 인하여 감지 및 전송기능을 수행하지 못하는 경우, 네트워크 서비스를 안정적으로 제공해줄 수 없다. 따라서 감지수준을 일정하게 유지하는 것은 신뢰할 수 있는 감지환경을 제공하는데 있어 매우 중요하다. 본 논문에서는 기존의 센서 노드 스케줄링 방법보다 적은 오버헤드를 가지면서 센서 노드의 결함으로 인한 부작용을 극복하는 새로운 센서 노드 스케줄링을 제안하며, ANS(An Adaptable Node Scheduling scheme)로 명명한다. 성능평가를 통해 ANS의 신뢰성과 안정성에서의 개선점을 네트워크 감지영역과 제어 패킷 전송 개수 측면에서 확인한다.

1. 서 론

무선 센서 네트워크는 기존 MANET(Mobile Ad-hoc Network)의 일종으로 감지 기능, 컴퓨팅, 무선 통신 능력을 가지고 있는 센서 노드와 게이트웨이의 역할을 하는 베이스 스테이션으로 구성된 네트워크로 정의할 수 있다[1]. 센서 노드는 감지된 정보를 베이스 스테이션으로 전달하고, 베이스 스테이션은 인터넷과 같은 기존의 네트워크를 통하여 수집된 정보를 사용자나 응용 프로그램에게 제공한다. 따라서 무선 센서 네트워크상에서 사용자에게 서비스를 원활하게 제공하기 위해서는 센서 노드들이 정보를 감지하고 수집할 수 있는 신뢰할 수 있는 환경이 조성되어야 한다. 센서 노드들이 얼마나 물리적인 환경을 잘 관찰하는가를 알아보는 것이 센서 감지 문제(coverage problem)라고 한다[1]. 센서 감지 환경을 조성하기 위하여 특히, 감지영역(sensing coverage)과 감지수준(sensing level)을 고려할 수 있다. 감지영역은 센서 노드들이 이벤트를 감지할 수 있는 범위이다. 각각의 센서 노드가 감지할 수 있는 범위를 모두 포함하는 범위를 나타낸다. 감지수준은 센서 노드들이 이벤트를 감지하는 강도를 의미한다. 어떤 이벤트가 발생했을 때, 이를 감지할 수 있는 센서 노드가 많이 존재한다면 감지수준이 높다고 할 수 있다.

최근 센서 감지 분야에서는 네트워크 지역을 감지할 수 있는 센서 노드들의 집합을 결정하는 방법론들이 활발하게 연구되고 있다. 특히 한정된 에너지를 가진 센서 노드들이 네트워크를 오랜 시간 동안 유지하게 할 수 있도록 하기 위해서 감지수준을 최소로 유지하는 감지영역을 제공하고자 노력하였다[1-4]. 하지만 수많은 센서 노드들이 분포되어 있는 네트워크 지역 안에서 이벤트를 감

지할 수 있는 최소수의 센서 노드들의 집합을 선택하는 문제는 NP-hard문제이다[3]. 그리고 센서 노드들이 네트워크 시간동안 계속하여 일정 수준의 감지수준을 보장하지 못한다. 센서 노드들의 집합 중 일부가 오작동이 일어난 경우에는 네트워크 지역 중 감지되지 않는 지역이 발생할 수도 있다. 즉, 최소의 감지수준을 제공하는 센서 노드 스케줄링 방법은 센서 노드의 오작동에 대한 효과적인 대책이 없으므로 사용자 QoS를 보장할 수 없다. 기존의 센서 노드 스케줄링들은 노드의 활성·비활성 상태를 결정함에 있어서 이웃하는 센서 노드들의 감지영역은 고려하였으나, 활성 상태로 전환된 센서 노드의 감지영역에 대한 감지수준을 일정하게 유지하지 못하였다. 결국, 센서 감지 문제를 고려한 신뢰할 수 있는 환경은 네트워크 전 지역을 포함하는 감지영역을 제공해야 하고, 그 감지영역에 한하여 적어도 최소의 감지수준을 일정하게 보장할 수 있어야 한다.

본 논문에서 제안하는 적응적 센서 노드 스케줄링은 기존의 센서 노드 스케줄링 방법들에서 고려되지 않았던 감지수준을 고려한 센서 노드 스케줄링 과정을 제안하며, ANS(An Adaptable Node Scheduling scheme)으로 명명한다. ANS는 센서 노드의 감지영역에 일정한 감지수준을 보장할 수 있도록 센서 노드의 기능을 대신 담당할 수 있는 새로운 센서 노드들을 추가로 선택하고, 이런 새로운 센서 노드들을 백업노드(backup node)라고 지칭한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 ANS의 센서 노드 스케줄링 과정에서 사용되는 백업노드 선택 전략과 적응적 센서 노드 스케줄링 알고리즘을 기술한다. 3장에서는 ANS의 성능평가를 기술하며, 4장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10073-0) 지원으로 수행되었습니다.

2. 제안하는 센서 노드 스케줄링

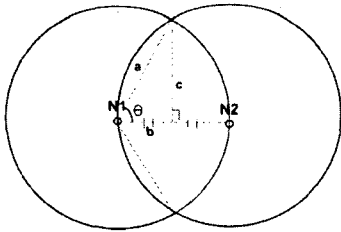
본 논문에서 제안하는 센서 노드 스케줄링 ANS는 Self-scheduling[3]과 같은 감지영역을 고려한 센서 노드 스케줄링이다. 감지영역을 고려한 센서 노드 스케줄링은 이웃하는 노드들과의 후원영역을 통하여 활성·비활성 상태를 결정한다. 이 장에서는 먼저 제안하는 백업 노드 선택 전략을 소개하고 적응적 센서 노드 스케줄링 알고리즘을 기술한다.

2.1 백업노드 선택 전략

최소수의 백업 노드의 집합을 선택하기 위해서는 센서 노드와 후원영역이 최대한 넓도록 하고, 센서 노드의 감지영역을 모두 포함하도록 해야 한다. 따라서 다음의 2가지 조건을 만족해야 한다.

우선, 센서 노드의 감지영역을 살펴보기 위하여 이웃 노드들과의 후원영역을 결정하는 방법을 살펴본다. 노드의 후원영역은 두 노드들의 감지영역이 중복되는 중심각(2θ)으로 나타내며, 각도 θ를 제 2 코사인 법칙에 의하여 식(1)과 같이 계산한다[3]. a, b, c는 각각 노드의 감지반경, 두 노드 사이의 거리로부터 알 수 있다.

$$\cos \theta = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab}, \theta = \arccos \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \quad (1)$$



(그림1) 후원영역 결정방법

정리1) 센서 노드와의 중심각은 후원영역을 나타내고, 거리가 짧을수록 센서 노드와의 중심각은 넓다. 따라서 센서 노드의 감지영역 내에 존재하는 노드들 중에서 센서 노드 사이의 간격이 짧을수록 센서 노드와의 후원영역이 더 넓다.

정리2) 센서 노드의 360° 감지영역을 k개의 영역으로 나누어 $\alpha = \frac{360^\circ}{k}$ 의 영역마다 최소한 하나의 노드가 활성화되면, 센서 노드의 감지영역은 k개의 이웃노드의 후원영역에 의해 모두 포함할 수 있다.

위의 두 정리를 기반으로 거리와 각도 기반의 백업노드 선택 전략을 수립하였다.

2.2 적응적 센서 노드 스케줄링 알고리즘

이 절에서는 앞서 살펴본 백업노드 선택 전략이 어떻게 센서 노드 스케줄링 알고리즘에 적용되어 감지수준을 일정하게 유지할 수 있는지 알아본다. 센서 노드의 활성

상태와 비활성 상태에 따른 기능 및 전력 소모량이 각기 다르며[5], 본 논문에서의 비활성 상태는 수신이 가능한 비활성 상태를 의미한다.

본 논문에서 제안하는 센서 노드 스케줄링 기법의 기본적인 동작은 기존의 Self-scheduling[3]과 유사한 단계를 갖으며, 각 주기마다 모든 센서 노드가 활성화되어 센서 노드의 감지영역이 이웃하는 노드들과의 후원영역에 포함되는지 알아본다. 센서 노드의 감지영역이 이웃하는 노드들과의 후원영역에 포함되는 경우, 센서 노드는 비활성-준비 상태(ready-to-inactive mode)로 전환된다. 만약 포함되지 못하는 경우, 활성 상태(active mode)로 전환된다.

활성 상태로 동작하는 센서 노드가 오작동이 발생한 경우, 센서 노드의 감지영역에서 발생한 이벤트는 감지되지 못한다. 이러한 결함의 부작용을 극복하기 위하여 활성 상태인 센서 노드는 자신의 ID와 heartbeat 주기가 담겨있는 BREQ(backpack request)를 브로드캐스트하고, 감지단계에서는 주기적으로 heartbeat 메시지를 보낸다. 비활성-준비 상태인 노드의 테이블에는 이웃하는 활성 센서 노드의 ID, 위치, heartbeat 주기와 함께 활성 센서 노드의 백업 기능을 위한 필드도 포함된다. BREQ를 받은 비활성-준비 상태의 노드들은 BREQ를 보낸 센서 노드와의 후원영역을 계산하여 임의의 back-off 시간 이후에 BREP(backup reply)를 브로드캐스트한다. BREP을 보낸 센서 노드로부터 같은 거리에 있는 노드가 존재하여 같은 시간에 BREP을 보낼 수 있으므로 차이를 두기 위하여 임의의 back-off 시간 이후에 보내도록 한다. BREP에는 BREQ를 보낸 노드의 ID와 위치, BREP을 보내는 노드의 ID와 위치 그리고 후원각(a)에 대한 정보가 담겨있다. 만약 BREQ를 받고 임의의 back-off 시간 이전에 다른 노드로부터 BREP을 받으면, BREP에 있는 정보와 자신의 위치를 고려하여 각도(θ)를 계산한다. 이렇게 계산한 각도 θ가 BREP에 있는 a에 포함되면 백업노드로 선택될 기회를 잃고 비활성 상태로 전환한다. 만약 각도 θ가 BREP에 있는 a에 포함되지 않는다면, BREP 메시지를 무시한다. 이러한 과정을 반복하면, 활성 상태의 센서 노드에 대한 백업노드들이 선택되어진다. 백업노드가 결함이 발생한 경우에도 위와 동일한 방법으로 새로운 백업노드가 선택되도록 한다.

3. 성능 평가

3.1 실험 환경 및 실험 기준

성능 평가는 결함이 발생한 노드의 개수에 따른 감지영역, 제어 패킷의 전송개수로 다른 센서 노드 스케줄링에 비해 얼마나 효과적으로 결함에 대처하고 있는지를 기준으로 수행되었다.

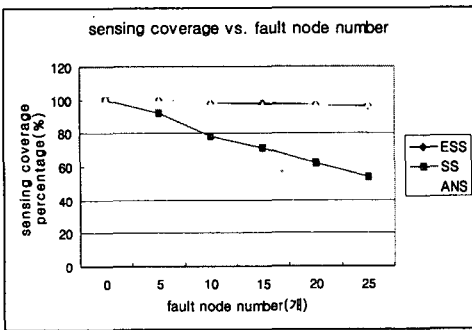
실험은 감지영역을 고려한 센서 노드 스케줄링인 Self-scheduling[5](이하 SS로 표기함)과 결함 극복을 위해 재스케줄링을 도입하여 확장된 Self-scheduling(이하 ESS로 표기함)과도 비교하여 수행하였다. 총 300개의 센서 노드가 50m X 50m의 평면 공간에 임의로 밀집하게 분포되어 있으며 노드들의 감지범위와 전송범위는 10m로 모두 동일하다고 가정하였다. 감지영역과 감지수

준을 측정하기 위하여 10cm의 격자를 사용하였다.

3.2 실험 결과

3.2.1 결함 노드수에 따른 감지영역

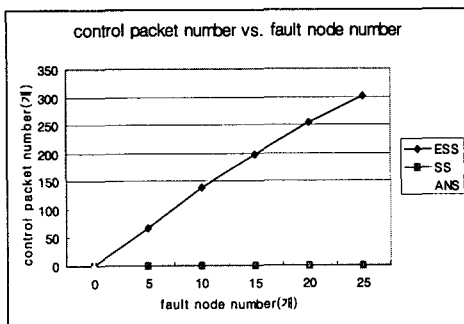
ANS는 결함 개수에 따른 감지영역의 변화가 SS에 비해 적응을 확인할 수 있다. ESS와 비슷한 경향을 보이고 있으나 이는 ESS의 재스케줄링 시간동안에 모든 노드가 활성화되어 다시 스케줄링이 일어나기 때문이다. ESS보다 적은 개수의 백업노드로 비슷한 효과를 나타내고 있다. 100%를 모두 보장하지 못하는 것은 네트워크 경계지역에서 발생하는 결함으로 인하여 이웃하는 노드들이 이런 감지영역을 보장하지 못하기 때문이다.



(그림2) 결함 노드수에 따른 감지영역의 변화

3.2.2 결함 노드수에 따른 제어 패킷의 전송 개수

결함을 극복하기 위한 제어 패킷의 전송 개수가 ANS는 ESS보다 현격하게 적다. ESS에서는 이웃 노드들의 정보를 얻기 위한 오버헤드가 발생하지만, ANS에서는 백업노드로 선택된 노드에 의해서만 패킷을 전송한다. 따라서 ESS보다 효율적이다. SS는 결함에 대해 어떤 대처도 하지 않기 때문에 이에 소용되는 제어 패킷의 수도 없다. 하지만 ESS는 결함이 발생하면, 이웃하는 모든 노드들이 활성화되어 재스케줄링이 일어난다. 따라서 이에 따른 제어패킷의 수는 이웃하는 노드의 개수에 따라 현격한 차이를 보일 수 있다.



(그림3) 결함 노드수에 따른 제어 패킷의 개수

4. 결 론

본 논문에서는 기존의 감지영역을 고려한 센서 노드 스케줄링 기법에서 고려하지 않았던 일정한 감지수준을 유지하는 방법을 고려함으로써 기존의 센서 노드 스케줄링 기법에 비해 결함에 효과적으로 대처하여 신뢰성있는 감지환경을 제공하도록 하였다. 무선 센서 네트워크에서의 기존의 센서 노드 스케줄링 방법에서는 감지영역의 결함에 대처하는 고려가 부족했었다. 본 논문에서 제안하는 거리와 각도를 기반으로 하는 백업노드 선택전략을 사용하여 적응적 센서 노드 스케줄링인 ANS를 제안한다. ANS는 감지영역뿐만 아니라 제어패킷의 전송 개수를 고려함으로써 더욱 효율적으로 결함 극복을 가능케 한다. 성능 평가에서 우리는 결함에 따른 신뢰성 측면과 효율성 측면에서 제안하는 센서 노드 스케줄링의 개선된 성능을 확인할 수 있었다.

5. 참고 문헌

- [1] M. Ilyas and I. Mahgoub, "Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems", CRC Press, 2005.
- [2] H. Chen, Hongyi Wu, and N.-F. Tzeng, "Grid-based Approach for Working Node Selection in Wireless Sensor Networks," to be presented in IEEE International Conference on Communication (ICC'04), Paris, France, June 20-24, 2004.
- [3] Di Tian, Nicolas D. Georganas, "A Coverage-Preserving Node Scheduling Scheme for Large Wireless Sensor Networks", Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Wireless Sensor Networks and Applications, September 2002.
- [4] Fan Ye, Gary Zhong, Jesse Cheng, Songwu Lu, Lixia Zhang, "PEAS: A Robust Energy Conserving Protocol for Long-lived Sensor Networks", in ICDCS'03, 2003.
- [5] Amit Sinha, Anantha Chandrakasan, "Dynamic Power Management in Wireless Sensor Networks", IEEE Design and Test of Computers, vol. 18, no. 2, pp. 62-74, March/April, 2001.