

무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율과 데이터 신뢰성 향상을 위한
동적 모니터링 주기 설정 기법

이정아⁰, 이동욱, 김재훈
아주대학교 정보통신전문대학원
jalee@dmc.ajou.ac.kr⁰, dwlee@ajou.ac.kr, jaikim@ajou.ac.kr

A Dynamic Monitoring Cycle Decision Scheme
For Energy Efficiency and Data Reliability in Wireless Sensor Networks

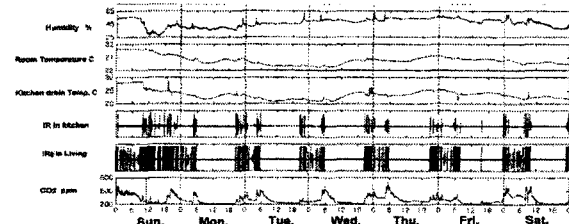
Jeong-Ah Lee⁰, Dong-Wook Lee, Jai-Hoon Kim
Graduate School of Information and Communication, Ajou University

요 약

무선 센서 네트워크의 수명을 증가시키기 위한 연구가 데이터 송·수신 과정의 에너지 소비를 최소화하는 측면에서 활발히 진행되어 에너지 효율성을 증가시키고 있으나, 데이터 수집과정에서 발생하는 비효율적 에너지 소비는 해결하지 못하고 있다. 이러한 데이터 수집과정에서 발생하는 비효율적 에너지 소비를 개선하기 위해, 감지 대상 지역에 일정시간 동안 이벤트가 감지되지 않을 경우, 모니터링 주기를 증가시키는 기법 등이 제안되었으나, 데이터 신뢰도가 낮아지는 문제점이 있다. 본 논문에서는 에너지 효율성과 함께 데이터 신뢰도를 증가시킬 수 있도록 이웃 노드간 관계를 고려하여 모니터링 주기를 조절하는 기법은 제안한다.

1. 서론

무선 센서 네트워크는 통신, 센싱, 처리를 담당하는 모듈이 결합된 센서 노드들의 집합으로서, 각 노드는 센서를 통하여 데이터를 수집하고 처리 모듈에서 데이터를 처리한 후, 무선 통신을 이용하여 처리된 데이터를 사용자에게 전달한다. 이러한 센서 네트워크는 노드끼리 협력을 통해 인간이 쉽게 조사하지 못하는 장소에서 자가적으로 데이터를 수집 할 수 있기 때문에 지리적으로 위험할 뿐만 아니라 많은 시간과 노력을 들여야 접근 가능한 자연환경의 조사에 활용된다. 최근에는 센서노드, 통신기법, 센서 기술 등의 발전과 함께 센서 네트워크에 대한 연구가 더욱 활발히 진행되고 있다. 센서 네트워크에서 중요한 연구주제 중 하나가 센서 노드의 에너지 소비를 최소화해 네트워크 수명을 최대화 하는 것이다. 이를 위해 통신 측면에서의 에너지 소비를 줄이는 연구가 활발히 진행되어 에너지 효율성을 증가시키고 있으나 센싱에서의 비효율적 에너지 소비는 해결하지 못하고 있다.



<그림 1> 방 내부의 습기, 온도, 이산화탄소 농도 변화 [1]

<그림 1>은 일주일간 습기, 온도, 이산화탄소와 같은 실내 환경의 변화를 일주일간 측정 한 값의 그래프로써, 측정값의 변화가 일정한 구간이 많이 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같이 조사시간이 길고 데이터 값의 변화가 적은 환경에서는 데이터 수집에서의 에너지 소비가 데이터 송·수신에서의 에너지 소비보다 센서 노드의 생존시간에 중요하게 작용할 수 있다. MICA2 [2]의 경우, 한번 송·수신을 할 때 약 20mA, 센싱에는 약 5mA가 사용되지만 일반적으로 전송에 비해 센싱횟수가 더 많다는 점을 고려할 때, 데이터 수집에서의 에너지 효율성이 중요함을 확인할 수 있다. 예를 들어,

1분동안 전송을 1회(1x20 = 20mA), 센싱을 5회(5x5 = 25mA) 하는 경우에는 센싱에 드는 에너지 소비가 통신에서의 소비보다 25%가 크다. 그러므로 불필요한 센싱횟수를 줄이면 노드의 에너지소비를 크게 줄일 수 있다. 따라서 데이터 수집에서의 에너지효율성을 증가시키기 위한 연구가 필요하다.

이러한 필요성에 의하여 중복되는 센싱범위를 조절하는 기법, 모니터링 주기를 조절하는 기법 등이 제안되어 에너지 효율성을 증가시켰지만, 동시에 센서 네트워크가 반드시 갖춰야 할 데이터의 신뢰도, 고장감래 등의 측면에서는 문제점을 지니고 있다.

본 논문에서는 센서 노드들이 개별의 모니터링 주기를 사용되 이웃 노드간에는 서로의 모니터링 정보를 교환해 모니터링 시각을 분산시킴으로써, 에너지 효율성과 데이터 신뢰도를 함께 증가시킬 수 있는 동적 모니터링 주기 설정 기법을 제안한다.

2. 관련 연구

데이터 수집 분야에서의 에너지 효율성을 높이기 위한 연구는 중복되는 센싱범위를 조절하는 기법 [3,4]과 모니터링 주기를 조절하는 기법 [5,6,7]으로 나눌 수 있다.

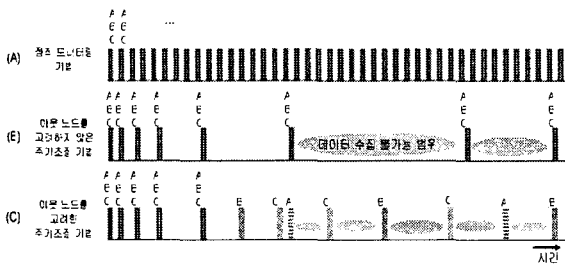
PEAS [3]는 노드의 센싱 범위를 조절하는 기법으로서, 이웃 노드가 모니터링하지 않을 경우, 해당노드가 모니터링을 하고, 그렇지 않을 경우 센서를 끄으로써 소비에너지를 감소시킬 수 있지만, 해당노드가 이웃 노드의 모니터링 범위를 완벽하게 포함하지 못한다는 단점이 있다. [4]는 이웃 노드들의 센싱 범위가 해당노드의 센싱 범위를 모두 포함하면 해당노드는 센싱하지 않음으로써, 에너지 소비를 줄이는 기법이지만, 실제로 이웃 노드가 해당노드의 센싱범위를 확실하게 포함한다고 보장할 수 없다는 문제점을 지니고 있다.

모니터링 주기를 조절하는 기법은 주기 조절 기준을 서버가 제공하는지 여부에 따라 분류한다. Kalman-Filter 예측 기법을 사용해 서버가 모니터링 주기를 노드에게 알려주어 주기를 조절하는 방법 [5]은 주기 예측을 서버에서 하므로 노드가 주기를 계산하지 않는다. 따라서 프로세싱에 드는 에너지 소모가 적고 주기 설정의 신뢰도가 높은 반면, 서버에 문제가 생기면 노드들이 주기 설정을 할 수 없는 문제와 모든 노드가 주기 정보를 서버에 전달해야 하는 문제가 있다. [6]은 수집한 데이터와 사용자가 만든 모델을 기반으로 어려움을 설정하고, 이를 기준으로 모니터링 주기를 결정한다. 이는

기존의 데이터를 이용하므로 실제 물리량의 변화에 적합하게 주기를 설정할 수 있지만, 실제와 근접한 모델을 만들기 위해 노드가 복잡한 계산을 수행하기 때문에 많은 처리 부하가 발생한다. 데이터 중심 모델링방법 [7]에서는 노드가 측정된 물리량이 전에 모니터링 했던 물리량과 큰 차이가 있으면 모니터링 주기를 1/2로 줄이고, 차이가 없으면 주기를 2배로 늘리는 방법을 사용하여 모니터링 주기를 조절하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 에너지 소비를 크게 감소시켜 에너지 효율성을 높였으나 모니터링 주기가 급격하게 늘어나 데이터 수집량이 크게 줄어, 수집한 데이터의 신뢰성이 떨어지는 단점이 있다.

3. 제안 방법

센서 네트워크는 수천~수만 개의 센서 노드들이 대상지역에 배치되기 때문에 이웃 노드들이 근거리에서 밀집해 있다. 그에 비해 온도 및 공기와 같은 자연환경의 물리량은 구역간에 급격한 차이가 없기 때문에 한 노드가 모니터링한 물리량은 이웃 노드와 동일한 값을 얻을 확률이 매우 높다. 이러한 특징을 고려해 이웃 노드들이 동일한 모니터링 시각을 피하고, 이웃 노드가 모니터링하고 있지 않은 시각에 모니터링을 하면 중복되는 센싱으로 인한 비효율적 에너지 소비를 개선시킬 수 있을 뿐만 아니라, 센싱 시각을 분산시킴으로써 데이터 신뢰도 또한 향상시킬 수 있다.



<그림 2> 기존기법과 제안기법의 모니터링 시점 분포도

<그림 2-(A)>는 센서 노드들이 주기적인 간격으로 모니터링 하는 정적 모니터링 기법의 모니터링 시점 분포도이다. 서로 이웃 센서노드인 A, B, C가 동일한 주기로 환경을 모니터링 하는 것을 확인할 수 있다. 정적 모니터링 기법은 변화가 없는 환경을 반복적으로 모니터링 하기 때문에 에너지 소비의 효율성이 떨어진다. <그림 2-(B)>는 환경에 변화가 없을 때, 이웃 노드와의 정보 교환 없이 모니터링 주기를 증가시키는 기법 [7]의 모니터링 시점 분포도이다. 데이터 변화가 없을 경우 모니터링을 하지 않음으로써, 에너지 소비를 줄일 수 있다. 그러나 센싱하지 않는 시간이 기하급수적으로 늘어나면서 데이터의 수집이 불가능한 시간이 증가되어 데이터의 신뢰도가 떨어질 수 있다. <그림 2-(C)>는 이웃 노드간 정보 교환을 통하여 세 노드가 같은 시점에서 모니터링 하지 않고, 증가된 주기 사이로 분산되어 모니터링 함으로써 데이터 신뢰도를 높이고 있다. 또한, 모니터링 시점만 분산시켰을 뿐, 모니터링 횟수는 증가하지 않기 때문에 에너지 효율성도 확보하고 있다. <그림 2-(C)>와 같은 동작을 위해 이웃 노드간 모니터링 주기정보를 교환하여 이웃 노드간에 모니터링 시각이 고르게 분산될 수 있도록 하는 기법을 제안한다.

3.1. 기본 주기 설정

센서 노드의 기본적 모니터링 주기는 측정된 데이터의 변화량에 따라 결정된다. 현재 측정된 데이터가 이전까지의 측정값과 비교하여 변화가 큰 경우, 모니터링 주기를 1/2로 감소시킨다. 반대로 변화가 작은 경우, 모니터링 주기를 2배로 증가시킨다. 이때, 변화의 값과 작음을 결정하는 기준은 '인지 경계값'으로서 <수식 1>과 같다.

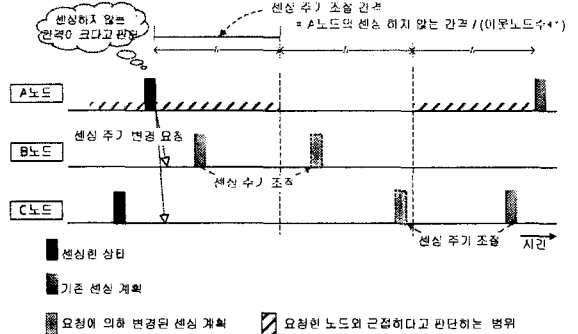
$$\text{인지경계값 (\%)} = \frac{|\text{현재측정물리량} - \text{이전측정물리량}|}{\text{이전측정물리량}} \times 100 \quad (1)$$

3.2. 모니터링 주기 조절 요청

모니터링 주기를 2배씩 증가시키다가 센서를 끄고 있는 간격이 커서 이웃 노드와 모니터링 시각을 조정해야 한다고 판단되면 이웃 노드와 통신을 할 때 모니터링 주기 정보를 함께 전달해 이웃 노드의 모니터링 주기 조절을 요청한다. 이때 모니터링 주기가 커졌다고 판단하는 기준은 센서노드를 끄고 있는 시간이 '모니터링 주기 간격 조절 경계값'보다 큰 경우로, 이 값은 사용자가 설정 할 수 있다.

3.3. 요청에 대한 이웃 노드의 반응

3.3.1 모니터링 주기 조절 요청에 대해 수락



<그림 3> 모니터링 주기 조절 요청과 수락

모니터링 주기 조절 요청에 대해 이웃 노드의 수락은 <그림 3>과 같다. 주기 조절을 요청한 이웃 노드와 근접한 시각에 모니터링 할 계획이 있으면 이웃 노드간에 모니터링 시각이 고르게 분포되어 있지 않다고 판단해 모니터링 주기 조절 요청을 수락하고 모니터링 주기 계획을 변경한다. 이때 근접한 시각은 모니터링 주기변경을 요청한 노드가 모니터링 하지 않는 시간을 이웃 노드수로 나눈 시간의 맨 앞부분과 맨 뒷부분이다. 이때 이웃 노드가 모니터링을 하지 않는 간격을 이웃 노드의 수로 나누는 이유는 이웃 노드가 많은 경우 발생할 수 있는 불필요한 주기로조절을 방지하기 위해서이다. 이웃 노드의 수가 많을 경우, 이웃 노드의 수와 관계없이 근접한 시각을 정하면 이미 고르게 분포되어 있는 주기가 오히려 집중될 수 있기 때문이다.

모니터링 주기 조절을 수락한 노드는 주기 조절을 요청한 노드와 근접한 센싱 시각을 피하고, 다른 이웃노드들과 센싱 시각이 고르게 분포되도록 모니터링 시각을 설정해야 한다. 이때 주기 조절을 위해 사용되는 값은 '센싱주기 조절 간격'으로 <그림 3>에 표시된 것과 같다. 요청을 수락한 노드는 계획했던 센싱시각이 주기 조절을 요청한 노드의 센싱했던 시각과 근접한 경우, 센싱주기 조절간격만큼 더하고, 모니터링 주기 조절을 요청받은 노드의 센싱 시각이 요청한 노드가 다시 깨어나 센싱할 시각과 근접하면 센싱주기 조절간격만큼 빼 시각으로 센싱 시각계획을 변경한다.

3.3.2 모니터링 주기 조절 요청에 대해 거부

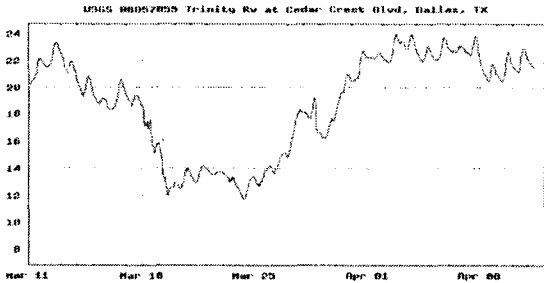
만약 모니터링 주기조절 요청을 받은 노드의 다음 모니터링 시각이 주기조절 요청을 한 이웃 노드와 근접한 시각에 있지 않을 경우 이웃 노드와 모니터링 시각이 고르게 분포되어 있다고 판단해 이웃 노드의 주기조절 요청을 거부하고 기존의 모니터링 계획을 수행한다.

또한 모니터링 주기 조절 요청을 받은 모니터링 주기가 주기 조절을 요청한 노드의 모니터링 주기보다 1/4 이상 작으면 이웃 노드가 모니터링 하지 않는 사이에 해당 노드는 2번 이상 모니터링을 할 수 있게 된다. 그러므로 이 경우, 모니터링 주기를 변화시키지 않는다.

마지막으로 노드의 모니터링 간격이 주기조절을 요청한 이웃 노드의 모니터링 간격보다 큰 경우에는 주기 조절을 요청 받은 노드가 다른 이웃 노드에게 모니터링 주기 조절 요청을 했을 확률이 높으므로 주기 조절을 하지 않는다.

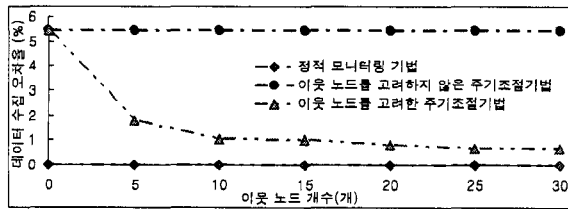
4. 성능 분석

실험 환경은 [8]에서 제공하는 Cedar Crest Blvd, Dallas, Texas에서 한달 동안 측정된 Trinity River의 온도 <그림4>를 사용하였다. 성능 평가를 위해 정적 모니터링 기법, 노드가 수집한 데이터를 바탕으로 이웃노드를 고려하지 않고 주기를 조절하는 기법, 제안 기법을 데이터 오차율과 에너지 소비량 측면에서 비교·평가 하였다.



<그림 4> 15분마다 측정된 강의 온도 [8]

성능 분석을 위한 환경 설정으로 동일한 이벤트 감지범위에 있는 이웃 노드의 수를 0~30개로 변화시키고, 인지 경계값은 5%로 설정하였다.



<그림 5> 노드 개수 변화에 따른 데이터 수집 오차율

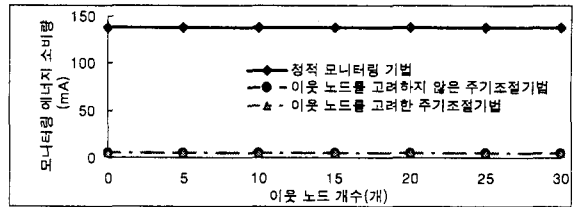
<그림 5>는 노드 개수 변화에 따른 데이터 수집 오차율을 보여주고 있다. 수집오차율이란 실제 물리량과 측정값의 오차로 수집 오차율이 10%이면 10개의 측정 데이터 중 9개의 데이터가 실제 물리량과 같다. 이때 오차를 계산은 <수식 2>와 같다.

$$\text{데이터 수집 오차율 (\%)} = \frac{\text{실제 물리량} - \text{측정값}}{\text{실제 물리량}} \times 100 \quad (2)$$

<그림 5>에서 이웃 노드가 5개인 경우, 제안 기법의 오차율은 1.5%로, 이웃 노드를 고려하지 않은 주기 조절 기법에 비해 4배가 개선되었다. 또한 이웃 노드의 수가 증가할수록 데이터 오차율이 0%에 근접함을 확인할 수 있다. 이는 제안 기법의 성능이 이웃 노드 수의 증가와 비례하여 개선됨을 보여준다. 이웃 노드의 수가 증가할수록 모니터링 시간이 분산되기 때문이다. 이에 비해 이웃 노드를 고려하지 않은 주기 조절 기법의 경우 이웃 노드의 증가와 관계없이 오차율이 줄어들지 않음을 확인할 수 있다.

<그림 6>는 에너지 소비량의 변화를 보여주고 있다. 이때 에너지 소비량의 계산은 <수식 3>과 같다.

$$\text{에너지 소비량 (\mu A)} = \text{모니터링기간} \times I_1 + \text{비모니터링기간} \times I_2 \quad (3)$$



<그림 6> 노드 개수 변화에 따른 에너지 소비량

정적 모니터링 경우, 데이터 수집 오차율이 0%로 데이터 신뢰도는 높았지만, 환경의 변화가 없는 경우에도 같은 값을 지속적으로 측정하는 비효율성 때문에 주기를 조절하는 기법에 비해 에너지 소비가 매우 높음을 볼 수 있다. 한달 동안 센싱에 소비하는 에너지가 약 140μA로, 제안방법 및 이웃 노드를 고려하지 않은 주기조절 기법의 센싱에너지 소비량에 비해 25~30배 가량 높았다.

이에 비해 제안방법은 노드들이 서로 모니터링을 하지 않는 시간 사이로 모니터링 시각을 옮기기 때문에 노드가 많이질수록 노드 각각의 모니터링 간격을 넓어져 에너지 소비가 4.4μA로 감소되었으며, 이웃 노드를 고려하지 않고 주기 조절 기법의 에너지 소비(5.5μA)와 비교하여도 18%의 에너지 절약 효과를 보였다.

MICA2의 센싱, 통신, 처리모듈의 에너지 모델에 제안 기법을 통한 데이터 수집에서의 에너지 효율성 증가 효과를 적용할 경우, 2300mA 배터리를 사용한 센서 노드의 수명이 약 17개월으로, 정적 모니터링의 13개월에 비해 25% 증가함을 계산을 통해 확인할 수 있었다. 데이터 수집에서의 에너지 소비 개선이 97%에 비해 수명 증가가 25%인 이유는 통신, 처리에서의 에너지 소비를 모두 고려했기 때문이며, 이는 제안 기법과 함께 에너지 효율적인 통신·처리 기법이 활용되면 네트워크 수명을 더욱 증가시킬 수 있음을 보여준다.

5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 모니터링 주기 정보 교환을 통한 에너지 효율적이며 데이터 신뢰성이 높은 동적 모니터링 주기 조절 기법을 제안하였다. 제안 기법은 이웃 노드간 불필요한 중복 센싱을 줄이고 모니터링 시각을 분산시킴으로써 에너지 효율성과 함께 데이터의 신뢰도를 높일 수 있었다. 데이터 수집에서의 에너지 효율성과 데이터 신뢰성을 증가시킨 제안 기법은 데이터 송·수신에서의 에너지 효율성 기법과 함께 네트워크 수명 증가에도 기여할 것이다.

단, 제안 기법에서 모니터링 간격 조절이 서로 다른 이웃 노드 그룹간에서 충돌하는 경우, 모니터링 시각이 고르게 분포되지 못할 가능성이 있으므로, 향후에는 이에 대한 연구를 진행할 계획이다.

6. 참고 문헌

- [1] M. Ogawa and T. Togawa, "Monitoring daily activities and behaviors at home by using brief sensors", in *Proc. 1st Annu. Int. IEEE-EMBS Special Topic Conf. Microtechnol. Med. Biol. Lyon, France*, pp. 611-614, 2000.
- [2] www.xbow.com
- [3] F. Ye et al., "PEAS: A Robust Energy Conserving Protocol for Long-Lived Sensor Networks", in *Proc. IEEE, Int'l Conf. Network Protocols (ICNP 2002)*, IEEE, CS Press, pp. 200-201, 2002.
- [4] D. Tian and N. D. Georganas, "A Node Scheduling Scheme for Energy Conservation in Large Wireless Sensor Networks.", in *Wireless Communications and Mobile Computing Journal*, 2003.
- [5] Ankur Jain and Edward Y. Chang, "adaptive sampling for sensor networks", in *Proceedings of the 1st international workshop on Data management for sensor networks (DMSN '04)*, 2004.
- [6] A. D. Marbini and L. E. Sacks, "Adaptive Sampling Mechanisms in Sensor Networks.", in *London Communications Symposium, London, UK*, 2003.
- [7] Dantli, R., Abbas, K., O'Neill, M., II and Mikler, A., "Data centric modeling of environmental sensor networks", *Global Telecommunications Conference Workshops, GlobeCom Workshops*, 2004.
- [8] <http://www.ecoplex.unt.edu>