

# 센서 네트워크에서의 Sleep-Time 제어를 이용한

## 효과적 추적 기법

이성민<sup>o</sup>      차호정  
 연세대학교 컴퓨터과학과  
 {sulee<sup>o</sup>, hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

### An Efficient Tracking Method with Sleep-Time Control in Wireless Sensor Networks

Sung-Min Lee<sup>o</sup>      Hojung Cha  
 Department of Computer Science, Yonsei University

#### 요 약

본 논문은 센서 노드들을 grid 방식의 클러스터링을 통하여 그룹화하고 이벤트의 유무에 따라서 노드들의 sleep-time을 조절하여 에너지 절감 효과를 얻으며, 또한 하위 클러스터링을 통신망 중심으로 구성함으로써 QoS를 보장하는 이동노드 추적 기법을 제안한다. 기존의 sleep-time을 관리하는 이동노드 추적 기법들은 에너지 절감의 극대화에는 성공했지만 QoS 문제를 간과하는 경향을 보여주었다. 제시하는 기법은 두 개의 계층으로 이루어지는 grid를 이용해서 두 메트릭을 동시에 충족시킨다. 또한 본 논문은 이 기법을 바탕으로 설계된 이동노드 추적 framework를 제안한다. 시뮬레이션 결과로 이 방식이 기존의 sleep-time 관리 기법들보다 에너지 절감 효과가 뛰어나지 않았지만 QoS의 보장률이 높았고, sleep-time관리가 없는 기존의 기법과 비교하여 많은 에너지를 절감했다.

#### 1. 서론

최근 센서네트워크 기술의 발전에 따라서 많은 응용분야에 관한 연구가 진행되고 있고, 그 중 위치 추적 응용은 연구가 활발히 진행되고 있는 연구 중 하나이다. 에너지 사용문제는 대부분의 센서 네트워크 기술이 에너지를 재충전 할 수 없음을 가정하기 때문에 센서네트워크 응용에서 중요하게 여기는 메트릭이고, 또한 위치 추적 응용에서도 동일하게 중요시 되고 있다.

현재까지 몇 가지 에너지 절감을 위한 위치 추적 연구가 진행 되었다. PEAS[1] 와 Mobicast[2]는 잘 알려진 위치 추적 연구로서 노드들의 sleep-time을 조정해서 에너지 절감 효과를 극대화 시키려는 방법들이다. PECAS[3]는 PEAS의 약점을 보완하기 위해 제안된 방법으로서 sleep-time의 주기가 짧은 활동노드의 역할을 주변의 노드들과 돌아가면서 수행하고 이로 인해 노드의 수명을 연장시킨다. 그 밖에 IDSQ[4], DTM-OTC[5] 등의 sleep-time 제어 기법들도 모두 에너지 소비를 극소화하는데 성공했다. 하지만 데이터가 발생된 지점에서 멀리 떨어져 있는 싱크노드까지 전송할 때의 QoS문제를 간과했다. 이벤트가 발생하지 않은 지역의 노드들은 sleep-time을 오랫동안 유지하게 되고 그동안 노드들은 라디오를 끄기 때문에 데이터를 싱크까지 보낼 때 네트워크 트래픽 문제가 발생하게 되는 것이다. 결국 많은 양의 에너지를 절감하더라도 움직이는 물체의 위치 정보를 제대로 전달하지 못한다면 에너지 절감은 의미가 없게

되는 것이다. 따라서 에너지 절감과 QoS를 동시에 보장하는 기법이 요구된다.

본 논문에서는 두 계층을 가지는 grid를 이용하여 에너지 절감과 QoS를 동시에 만족하는 sleep-time 관리 기법과 이것을 바탕으로 이동노드 추적 기법의 프레임워크를 제안한다. 이 기법은 sleep-time을 제어하는 상위 grid와 grid의 구성원인 셀들 간의 통신을 가능하게 하는 하위 grid를 구성하는 방법이다.

#### 2. 두 계층의 Grid를 이용한 Sleep-Time 제어 기법

두 계층의 grid를 이용한 sleep-time 제어 기법은 3단계의 프레임워크로 동작한다. 첫 번째 단계는 grid를 구성하는 초기 단계이고, 이 후로 이벤트의 유무에 따라서 감지와 추적단계를 거치게 된다. 이 3단계 기법은 기존의 연구들과 흡사하지만, 두 계층의 grid를 사용하기 때문에 각 단계에서 처리하는 일들이 다소 차이가 있고, 위치 추적이 셀 안에서 이루어지기 때문에 추적 알고리즘이 간소화될 수 있다. 또한 grid를 사용할 경우 sleep-time 제어가 쉬워지고 그와 동시에 헤드들을 통한 원활한 통신이 가능해 진다.

그림 1은 제안하는 기술의 개관으로서 두 계층의 grid의 구성과 이벤트의 유무에 따른 노드들의 sleep-time 변화를 보여주고 있다. Sleep-time 제어를 위한 상위 grid의 셀은 네 개의 통신을 위한 하위 grid의 셀들로 구성되어 있고 각각의 통신 셀들은 하나의 헤드노드를 가지고 있다. 이벤트가 발생될 경우에 발생 지역 상위 셀 안에 있는 노드들의 sleep-time을 줄여서 정확한 이벤트 감지를 돕고, 이벤트가 없는 셀은 헤드 노드들을 제외한 모든 노드들의 sleep-time을 늘려서 에너지를 절감하고

본 연구는 과학기술부에서 지원하는 국가지정연구실사업으로 수행하였음 (과제번호 : 2005-01352)

네트워크 트래픽을 감소시킨다. 또한 움직이는 이벤트의 경로를 예측하여 미래에 이벤트가 도착할 셀에 컨트롤 메시지를 보내서 sleep-time을 제어한다. 통신 셀이 필요한 이유는 sleep-time이 길 경우 그 시간만큼 통신이 불가능해지는 문제를 해결하기 위해서이다.

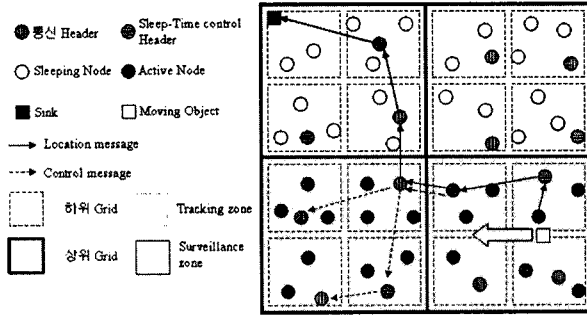


그림 1 제안한 기술의 개관

### 2.1 두 계층의 Grid 구성

Grid 구조는 제안하는 기법 중에서 가장 핵심적인 부분이다. 그 이유는 grid의 셀 크기에 따라서 에너지의 절감율이 결정되기 때문이다. Grid의 셀 크기를 결정하는 요소는 이벤트의 최대 속도  $v$ , 데이터 지연 시간  $d$ , 전체 센서 필드의 크기  $xy$ , 그리고 한 셀 안에서 몇 번이나 위치 정보를 수집할지를 나타내는 정보 수집 카운터  $f$  등이다. 이 요소들 중  $f$ 를 제외한 나머지 요소들은 대부분 사용자에게 주어지는 정보이다. 이 사용자 정보를 통해서  $f$ 의 범위를 찾아내는 방법을 수식 1에서 보여주고 있다.

$$1 < f \leq \left\lfloor \frac{\sqrt{xy}}{2 \times d \times v} \right\rfloor \quad (1)$$

위 수식의 범위 안에서 사용자는 정보 수집의 빈도를 결정하게 되고, 그 결과로 다음과 같은 식으로 임시 sleep-time 제어 셀의 크기  $l$ 을 결정하게 된다.

$$l = f \times d \times v \quad (2)$$

셀의 크기를 단순히 위의 요소들만으로 결정한다면 통신의 문제가 생길 것이고, 결국 QoS를 보장 할 수 없다. 따라서 하위 grid인 통신 셀을 만들고 그 통신 셀을 기본으로  $l$  값을 재정의 한다. 통신 셀은 기존의 GAF[6]와 같은 방법으로 구성하게 된다. GAF는 두 셀들을 합한 직사각형의 대각선 길이로 두 센서 노드의 최대 또는 최적 통신 거리  $b$ 를 결정한다.  $a$ 를 셀의 한 변의 길이라고 할 때 다음과 같은 수식으로 통신 셀의 크기를 결정 할 수 있다.

$$a = \left\lfloor \frac{b}{\sqrt{5}} \right\rfloor \quad (3)$$

마지막으로  $a$ 와  $l$ 을 비교하여 sleep-time 제어 셀의 크기  $l_f$

를 재정의 한다. 만약에 통신 셀의 크기가 상위 셀의 크기보다 크거나 같으면 통신에 문제가 없으므로 기존의  $l$ 을 사용한다. 하지만 만약 통신 셀의 크기가 상위 셀보다 작다면 다수의 통신 셀로 이루어지는 sleep-time 제어 셀을 만든다. 수식 4는 이러한 과정을 보여준다.

$$l_f = \begin{cases} l & l \leq a \\ \left\lceil \frac{l}{a} \right\rceil \times a & l > a \end{cases} \quad (4)$$

이와 같은 grid의 구성이 끝난 후에는 감시와 추적 단계가 이벤트의 유무에 따라서 실행된다.

### 2.2 감시와 추적

시스템이 감시 모드로 동작 할 때에는 헤드노드를 제외한 모든 노드들이 긴 sleep-time을 가지고 동작하게 된다. 헤드노드는 주기적 방법이나 남은 에너지양을 비교하는 방법으로 헤드의 교체가 필요할 경우 셀 안의 다른 한 노드를 새로운 헤드로 지정한다. 노드들 중 하나가 이벤트를 감지하면 이벤트가 발생한 셀은 추적 모드로 들어가게 된다. 이 셀의 헤드노드는 다른 노드들에게 컨트롤 메시지를 보내게 되고, 메시지를 받은 노드들은 자신의 sleep-time을 감소시킨다. 여기서 위치 추적은 각 셀 안에서 이루어지고, 그 위치 정보는 센싱한 노드의 위치로 알게 된다. 헤드노드는 위치 정보를 싱크로 보내고, 그와 동시에 exponentially weighed moving average를 이용해서 이벤트의 다음 목적지를 예측하고, 컨트롤 메시지를 목적지 셀 헤드에게 보낸다. 추적모드에서는 헤드노드의 역할을 바꾸는 작업이 일시 중지된다. 본 논문에서는 이러한 프레임워크만을 제시하고, 추적모드의 더욱 상세한 알고리즘 개발과 문제점 해결은 향후 연구 과제로 남아 있다.

### 3. 성능평가

성능평가는 sleep-time 제어가 없는 기존의 기법, Mobicast, 그리고 제안하는 기법의 에너지 사용량과 QoS를 다양한 환경에서 비교 분석했다. 또한 정보 수집 카운터의 증가에 따른 에너지 소모율을 비교하였다. 모든 실험은 TOSSIM[7] 시뮬레이터에서 진행했고, 에너지 사용량 측정을 위해 Crossbow사의 MICA2 명세를 사용하였다. 그래프를 명시적으로 표현하기 위해 제안하는 기술을 SCM2G (a sleep-time control mechanism based on two-tier grid)라고 명명한다.

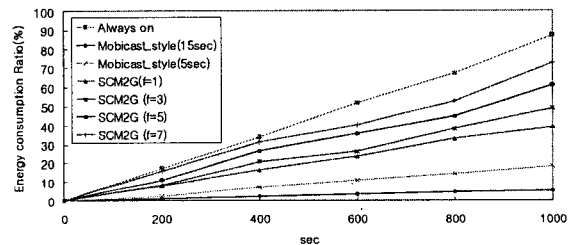


그림 2 시간에 따른 에너지 사용량의 비교

그림 2는 다른 기존 기술들과 제안하는 기술의 에너지 사용량을 비교한 결과로서 주어진 값  $d=2\text{sec}$ ,  $v=7\text{m/s}$  과  $200\text{m} \times 200\text{m}$  의 센서 필드에서 실험이 이루어졌다. 데이터를 flooding 할 때 시간에 따른 에너지의 사용량을 주기적으로 비교하였고, 또한 정보 수집 카운터를 증가시키면서 셀 크기를 조정하여 그에 따른 에너지 사용량을 비교했다. 이 실험 환경에서 정보 수집 카운트의 최대 수치는 7이었고, sleep-time이 없는 기존의 방법보다 에너지를 적게 사용함을 볼 수 있었다. 물론 Mobicast에 비해서 에너지 절감효과는 좋지 않지만 QoS면에서 더 우수했다. QoS에 관한 실험 결과는 그림 3에서 보여준다.

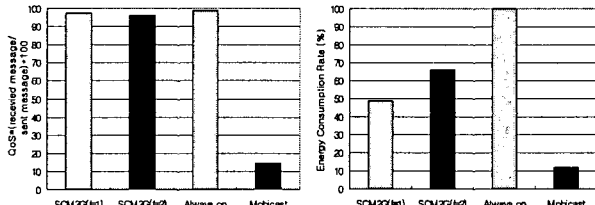


그림 3 QoS와 에너지 사용량 비교

위 실험은 센서 필드의 크기를  $80\text{m} \times 80\text{m}$  환경에서 이루어졌고, 주어진 값은 첫 실험과 동일하게 사용하였다. 보다 작은 센서 필드를 사용한 이유는 실험의 횟수를 늘리고 동시에 실험 시간을 단축하기 위해서였다. 작은 센서 필드를 사용하기 때문에 최대  $f$  값도 2로 지정되었다. 그래프에서 보여주는 결과로 Mobicast의 QoS 보장율은 대단히 낮은 것으로 나타났으며 이와 반대로 제안하는 방법은 QoS를 거의 90% 이상 보장하는 것을 볼 수 있었다. 모든 노드들이 sleep mode로 가지 않는 "Always on"방법과 거의 같은 QoS를 보장하고 있다. 이와 같은 결과는 통신 셀들 안에 있는 통신 헤드 노드들이 싱크까지의 통신을 원활하게 연결해 주기 때문이다.

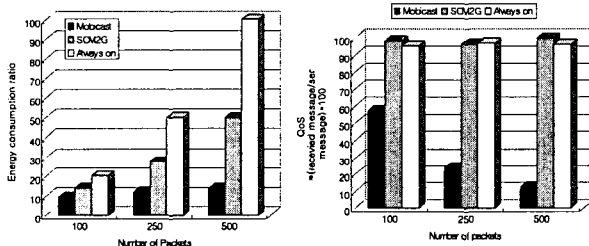


그림 4 패킷 수에 따른 QoS와 에너지 사용량 비교

그림 4는 앞선 실험을 확장해서 얻은 결과로서 위치 정보 패킷의 수를 증가시키면서 QoS와 에너지 사용량을 비교했다. 정확한 위치를 찾기 위해 많은 패킷을 전송할수록 제안하는 기법의 에너지 절감율이 sleep-time 제어가 없는 기법보다 높아지는 것을 볼 수 있다. 에너지 감소율이 월등히 좋았던 Mobicast의 QoS는 전송되는 패킷이 증가할수록 현저하게 감소되는 것을 볼 수 있다. 따라서 Mobicast의 에너지 효율성은 인정되지만 멀리 떨어져 있는 싱크에게 데이터를 보낼 때는 치명적인 문제

점을 보여주고 있다. 특히 위치 정보의 높은 정확도가 요구되는 환경일 경우 그 문제점이 더욱 커지는 모습을 보여 주고 있다. 결국 이벤트 발생 지역 안에 있는 센서 노드들만의 sleep-time을 제어하는 방법으로는 데이터를 싱크 뿐 아니라 센서 필드 안에 어느 곳으로든지 자유롭게 전송 할 수 없다.

#### 4. 결론

두 계층의 grid를 사용한 sleep-time 제어 기법과 이것을 바탕으로 설계된 위치 추적 기법을 이용할 경우 에너지 절감과 QoS 보장을 동시에 만족 시킬 수 있었다. 센서 네트워크 응용은 에너지 절감이 중요하게 여겨지기 때문에 에너지 사용량을 중요한 메트릭으로 정해야 하지만, 데이터를 싱크에게 확실하게 전송할 수 없다면 에너지 절감 기법은 의미가 없다. 따라서 본 논문은 QoS를 완벽하게 보장하면서 sleep-time 제어기법이 없는 기존 방법보다 에너지를 40-50% 절감할 수 있음을 보여줬다. 또한 노드의 sleep-time을 이벤트의 유무에 따라서 변화시켜주는 위치 추적 프레임워크를 제안했다. 향후, 제안된 프레임워크를 발전시켜 정확한 위치 예측 방법을 개발한다면 더 큰 에너지 절감 효과를 기대할 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

- [1] F. Ye, G. Zhong, S. Lu, and L. Zhang, "Peas: A robust energy conserving protocol for long-lived sensor networks", in *Proc. The 23rd International Conference on Distributed Computing Systems*, pp. 169-177, 2003.
- [2] C. L. Tan and S. Pink, "Mobicast: a multicast scheme for wireless networks", *ACM Mobile Networks and Applications*, p. 259-271, 2000.
- [3] C. Gui, P. Mohapatra, "Power conservation and quality of surveillance in target tracking sensor networks", in *Proc. 10th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 129-143, 2004.
- [4] M. Chu, H. Haussecker, and F. Zhao, "Scalable information-driven sensor querying and routing for ad hoc heterogeneous sensor networks", *International Journal of High Performance Computing Applications*, Vol. 16, pp. 90-110, 2002.
- [5] S. Bhattacharya, G. Xing, C. Lu, G. Roman, O. Chipara, B. Harris, "Dynamic Wake-up and Topology Maintenance Protocols with Spatiotemporal Guarantees", in *Proc. Information Processing in Sensor Networks*, pp. 28-34, 2005.
- [6] Xu, S. Bien, Y. Mori, J. Heidemann and D. Estrin, "Topology Control Protocols to Conserve Energy in Wireless Ad Hoc Networks", *Technical Report 6, Center for Embedded Networked Computing*, 2003.
- [7] P. Levis, N. Lee, M. Welch, and D. Culler, "TOSSIM: Accurate and Scalable Simulation of Entire TinyOS Applications," *In Proc. ACM SenSys'03*, pp. 126-137, November 2003.