

무선 센서 네트워크에서 물체추적을 위한 효율적인 스케줄링 기법

김광요^o, 박성민, 이소연, 박명순
고려대학교 정보통신대학 컴퓨터학과
{king^o, nemo, syrhee22, myongsp}@ilab.korea.ac.kr

Efficient Scheduling Mechanism for Object Tracking in Wireless Sensor Networks

Guang-yao Jin^o, Seong-Min Park, So-Yeon Lee, Myong-Soon Park
Dept. of Computer Science & Engineering,
College of Information and Communications, Korea University

요 약

무선 센서 네트워크에서 이동하는 물체를 에너지 효율적으로 추적하기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 그 중 대표적인 것은 물체의 이동에 따라 동적으로 클러스터링을 구성해 나가는 방법이다. 물체의 이동에 따라 클러스터를 구성한 후 클러스터 내부에서는 모든 센서 노드들이 연속적으로 물체를 모니터링하거나 혹은 일반적인 스케줄링 기법을 사용하여 에너지 소모를 분산시킨다. 이런 스케줄링 기법들은 환경 모니터링 등 일반적인 센서 네트워크를 대상으로 개발되고 있기 때문에 이동하는 물체를 추적하는 응용에서는 적합하지 않다. 본 논문에서는 물체의 이동경로를 따른 동적 클러스터링 환경에서 물체의 이동 정보를 고려한 클러스터 내부에서의 스케줄링 기법을 제안함으로써 이동하는 물체에 대한 missing-rate를 최소화하는 동시에 에너지 소모를 최대한 줄임으로써 전체 센서 네트워크의 생명주기를 연장시키고자 한다. 시뮬레이션 결과가 증명하는 바와 같이 제안한 방안은 보다 낮은 에너지 소모와 missing-rate를 달성하였다.

1. 서 론

최근의 내장형 프로세서 및 RF 통신 모듈을 탑재한 저 전력 마이크로센서 개발기술은 무선 센서 네트워크에서의 가장 중요한 킬러 애플리케이션 중 하나인 물체추적 애플리케이션의 개발을 가능하게 한다. 센서의 저렴한 가격 및 언제 어디서나 감시 가능한 능력으로 인하여 물체 추적 센서 네트워크는 상업 및 군사 등 많은 영역에서 무한한 응용 잠재력을 갖고 있다. 하지만 배터리 전원 공급으로 인한 센서의 파워부족, 고도로 분산된 협동작업, 불안정한 무선 통신 및 응용의 특수한 요구는 센서 네트워크를 설계함에 있어서 많은 문제점으로 작용되고 있다.

무선 센서 네트워크에서 단순한 환경 모니터링을 위한 연구는 많이 진행되어 왔고 다양한 효율적인 방법들도 제안되었다. 하지만 무선 센서 네트워크에서의 물체추적은 애플리케이션의 특성상 기타 단순한 환경 모니터링 애플리케이션과는 전혀 다른 영역이기 때문에 전문적인 연구가 필요하다. 따라서 최근에 국외 선진국들에서는 대학과 연구소들을 중심으로 무선 센서 네트워크에서 전문적으로 물체추적을 지원하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이런 연구들을 살펴보면 주로 아래와 같은

세 가지 방식을 사용한다.

- 첫째, 물체에 근접한 하나의 노드만 사용하여 그 노드의 위치로 물체의 위치를 근사적으로 표시하는 방식[1];
- 둘째, 1 + 같이 물체에 근접한 여러 개의 노드들로 동적 클러스터를 구성하여 나가는 방식[2][3][4][5];
- 셋째, 물체의 다음 위치를 예측하고 물체의 이동경로 주변의 노드들을 이용하여 물체를 모니터링 하는 방식이다 [6][7][8].

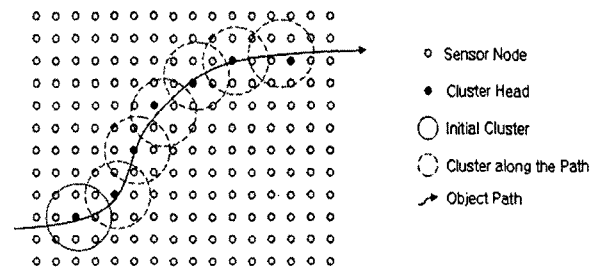


그림 1. 물체 이동에 따른 동적 클러스터링

무선 센서 네트워크에서 이동성을 가지고 있는 물체를 추적하기 위해서는 센서 네트워크를 구성하고 있는 많은 노드들이 지속적으로 서로 협동하여 작업해야만 한다. 센서 네트워크의 특징이라고 할 수 있는 배터리에 의존

하는 저 전력소비특성으로 인해 센서 네트워크를 이용한 물체 위치 추적 기술을 개발함에 있어 가장 중요한 이슈는 최소한의 missing-rate 를 유지 하면서 최소한의 에너지로 물체를 추적하고 더불어 어느 특정 노드의 과도한 에너지 소비를 억제함으로써 전체 센서 네트워크의 생명 주기를 늘리는 것이다.

일반적인 센서 노드의 에너지 효율성 보장을 위한 방법은 여러 가지가 있는데 스케줄링도 그 중 하나이다. 기존의 스케줄링 기법들은 환경 모니터링 등 일반적인 센서 네트워크를 대상으로 개발되었기에 이동하는 물체를 추적하는 응용에서는 적합하지 않다. 다시 말하면 기존의 이러한 스케줄링 방식들은 스케줄링을 함에 있어서 물체의 이동정보를 고려하지 않기에 타임 슬롯을 배정함에 있어서 임의성을 가진다. 하지만 이동하는 물체를 추적하는 애플리케이션에서 특히 물체의 이동속도나 방향 등이 자주 변화는 환경에서는 기존의 이런 스케줄링 방식들은 목표물체에 대한 missing-rate가 높으며 따라서 전반 네트워크의 생명주기의 최적화 문제를 해결하지 못하고 있다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 물체를 추적함에 있어서 물체의 이동정보를 고려한 클러스터 내부에서의 효율적인 스케줄링 기법을 연구 및 제안하여 이동하는 물체에 대한 missing-rate 를 최소화 하는 동시에 물체 추적에 사용되는 센서들의 에너지 소모를 분산시킴으로써 전반적인 센서 네트워크의 생명주기를 연장시키고자 한다.

2. 물체의 이동정보를 고려한 스케줄링 기법

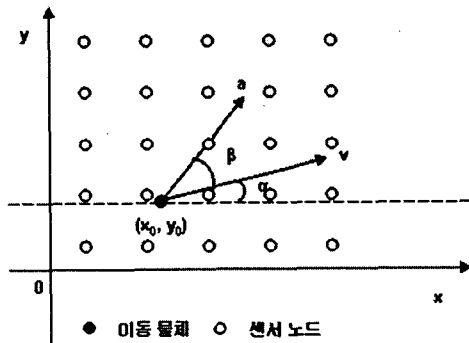


그림 2. 물체의 이동정보

본 논문에서 제안하고자 하는 스케줄링 기법은 물체추적을 위한 동적클러스터링[3][4] 환경에서 물체의 이동정보를 충분히 고려하여 클러스터내부에서 스케줄링을 함으로써 물체가 클러스터내부에 있는 동안 헤드 주변의 모든 작은 센서 노드들을 활성화 상태에 두는 것이 아니

라 짧은 시간을 주기로 필요한 센서 노드들만 활성화시킨다. 또한 이동경로에 따라 노드들의 활성화 순서를 정함으로써 물체를 놓치는 확률을 최소화한다.

그림 2와 같이 물체의 처음 위치를 (x_0, y_0) 라고 하고 물체의 이동속도를 v_0 이라고 하며 속도의 방향각을 α 라고 한다. 또한 물체의 가속도를 a 라고 하고 가속도의 방향각을 β 라고 하며 일정한 시간 t 내에 동일한 가속도를 유지한다고 가정한다면 시간 t 내에 물체의 x 축 방향으로의 가속도와 y 축 방향으로의 가속도는 각각 $a_x = a \cos \beta$ 와 $a_y = a \sin \beta$ 이고 시간 t 후의 물체의 x 축 방향으로의 속도와 y 축 방향으로의 속도는 각각 $v_x = v_0 \cos \alpha + at \sin \beta$ 와 $v_y = v_0 \sin \alpha + at \cos \beta$ 이며 물체의 위

치는 $x = v_0 t \cos \alpha + \frac{1}{2} at^2 \cos \alpha$, $y = v_0 t \sin \alpha + \frac{1}{2} at^2 \sin \alpha$ 이다. 클러스터 내부의 작은 센서 노드들의 집합을 N 이라하고 각각의 노드들의 위치의 집합을 P_n 이라고 하고 물체가 클러스터에 들어온 시각을 t_0 라고 한다. Δt 을 주기로 시간 구간의 시작점을 t_i 라고 한다면 위의 위치계산 공식에 의해 임의의 시각 t_i 에서의 물체의 위치는

$$x_i = v_0 t_i \cos \alpha + \frac{1}{2} at_i^2 \cos \alpha, \quad y_i = v_0 t_i \sin \alpha + \frac{1}{2} at_i^2 \sin \alpha$$

그러므로 클러스터 내부의 작은 센서 노드들의 집합 N 에서 시각 $t_i (i = 1, 2, \dots, m)$ 에 물체의 위치까지의 거리가 가장 짧은 노드를 선택하여 그 시각에 활성화 될 노드로 정한다.

클러스터 헤드는 어느 시각에 어떤 노드가 활성화 되어야 한다는 스케줄링 정보를 클러스터 내부의 각 노드에 브로드캐스트 한다. 스케줄링 메시지를 받은 각 노드들은 자신이 활성화 되어야 할 시간이 되면 바로 활성화 되어 물체를 감지하고 나머지 시간에는 수면상태에 들어간다. 만약 물체를 감지하지 못했다면 물체의 이동정보가 변경되었음을 의미하며 노드는 바로 클러스터 헤드에 UNDETECTABLE 메시지를 날려 에러 복구 과정을 실행할 것을 요청한다. 에러 복구 요청을 받은 클러스터 헤드는 클러스터 내부의 노드들을 이용하여 물체의 현 위치를 파악하고 이동정보를 분석한 다음 다시 스케줄링을 한다.

상기의 제안한 방식을 통하여 물체의 이동정보를 충분히 고려하여 클러스터 내부에서 스케줄링을 함으로써 클러스터 내부 각 노드들의 에너지 소모를 줄이는 동시에 이동물체에 대한 missing-rate를 최소화하여 에러 복구 차수를 줄일 수 있다.

3. 시뮬레이션 및 결과분석

NS-2에서 시뮬레이션 환경을 그림 3과 같이 구성한다. 센싱 반경이 10m인 25개의 센서 노드들을 5m거리를 사이 두고 균일하게 분포하고 중심에 클러스터 헤드를 설치하여 하나의 클러스터를 형성하였다. 일반성을 잃지 않는 전제하에서 실험과정을 간단히 하기 위하여 물체가 시작 속률 1m/s, 방향각 15°로 원점(0,0)으로부터 클러스터 내부로 이동하도록 설정하고 시간 Δt 을 주기로 물체의 가속도 a 을 임의로 변화시킨다.

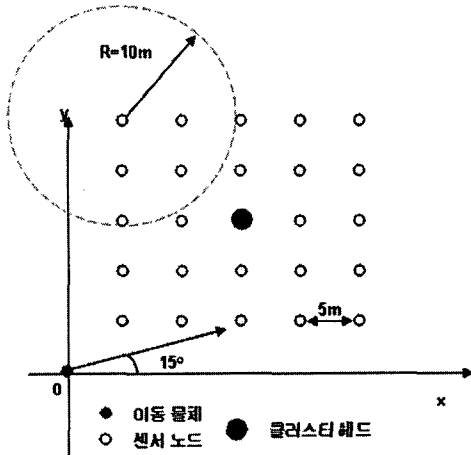


그림 3. 시뮬레이션 환경 설정

클러스터 내부에서의 전반적인 에너지 소모는 스케줄링을 하는 것이 스케줄링을 하지 않는 것보다 더욱 효율적이며 일반적인 스케줄링 기법을 사용했을 때와 물체 이동정보를 고려한 스케줄링 기법을 사용했을 때의 에너지 소모의 차이는 missing-rate의 차이에 정비례한다. 즉 missing-rate가 높을수록 에러 복구 하는 차수가 많아지므로 그만큼 에너지 소모가 많아지게 된다.

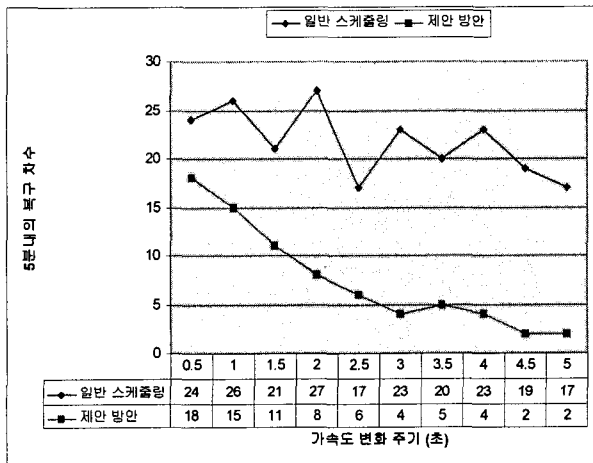


그림 4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 위에서 설정한 환경 속에서 일반적인 스케줄링 기법과 물체의 이동정보를 고려한 스케줄링 기법을 각각 적용하였을 때 에러 복구 차수를 구하여 제안 방안의 효율성을 검증하였다.

그림 4에서 나타난 바와 같이 가속도의 변화가 빠르면 빠를수록 두 가지 스케줄링 기법의 차이가 줄어들고 반대로 느리면 느릴수록 제안 방안이 더욱더 효과적이라는 것을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 물체를 추적함에 있어서 물체의 이동정보를 고려한 클러스터 내부에서의 효율적인 스케줄링 기법을 연구 및 제안하였다. 시뮬레이션에서 나타난 결과와 같이 물체의 이동정보를 고려한 스케줄링 기법은 기존의 스케줄링 기법들에 비해 목표물체에 대한 missing-rate를 줄였고 따라서 missing으로 인한 에러 복구 차수를 줄임으로써 에너지 소모를 줄였으며, 각각의 센서 노드가 균등하게 에너지를 소모하게 함으로써 전반 센서 네트워크의 생명주기를 연장시켰다.

참고문헌

- [1] Balasubramanian, S.; Elangovan, I.; Jayaweera, S.K.; Namuduri, K.R.; "Distributed and collaborative tracking for energy-constrained ad-hoc wireless sensor networks". Proceedings of WCNC 2004. Page(s):1732 - 1737 Vol.3
- [2] Xiang ji; Hongyuan Zha; Metzner, J.J.; Kesidis, G.; "Dynamic cluster structure for object detection and tracking in wireless ad-hoc sensor networks". Proceedings of Communications, 2004 Page(s):3807 - 3811 Vol.7
- [3] Wei-Peng Chen; Hou, J.C.; Lui Sha; "Dynamic clustering for acoustic target tracking in wireless sensor networks". Proceedings of Mobile Computing, IEEE Transactions 2004 Page(s):258 - 271
- [4] Wei-Peng Chen; Hou, J.C.; Lui Sha; "Dynamic clustering for acoustic target tracking in wireless sensor networks". Proceedings of Network Protocols 2003 Page(s):284 - 294
- [5] Vercauteren, T.; Dong Guo; Xiaodong Wang; "Joint multiple target tracking and classification in collaborative sensor networks". Proceedings of Selected Areas in Communications, IEEE Journal on Volume 23, Issue 4, 2005 Page(s):714 - 723
- [6] Yingqi Xu; Winter, J.; Wang-Chien Lee; "Prediction-based strategies for energy saving in object tracking sensor networks". Proceedings of Mobile Data Management, 2004 Page(s):346 - 357
- [7] Yang, H.; Sikdar, B.; "A protocol for tracking mobile targets using sensor networks". Proceedings of the First IEEE, 2003 Page(s):71 - 81
- [8] Xu, Y.; Winter, J.; Lee, W.-C.; "Dual prediction-based reporting for object tracking sensor networks". Proceedings of MOBIQUITOUS 2004. Page(s):154 - 163