

무선 센서 네트워크에서 병렬 처리를 위한 태스크 스케줄링

박충명, 정인범*
강원대학교 컴퓨터정보통신공학과
e-mail:cmpark@snslab.kangwon.ac.kr

Task Scheduling Algorithm for Parallel Processing in Wireless Sensor Network

Chong-Myung Park, In-Bum Jung
Dept of Computer Information and Communications Engineering,
Kangwon National University

요 약

무선 통신, 제한된 자원 (전력, 프로세서, 메모리 등), 신뢰성, 동적인 토폴로지 등의 특성을 갖는 센서 네트워크는 기존의 실시간 시스템과는 많은 차이가 있다. 이러한 센서 네트워크에서 멀티미디어 데이터 처리와 같은 많은 계산을 필요로 하는 어플리케이션이나 실시간 어플리케이션을 개발하기 위해서는 센서 노드들의 데이터 병렬 처리가 필요하다. 비선점형 스케줄러를 갖는 센서 노드에서 데이터 전송량이 많을 경우 통신을 위한 태스크 생성이 증가하므로 일반 태스크의 실행에도 지연이 발생하게 된다. 자원 제한적인 센서 네트워크에서 에너지 소모나 지연과 같은 성능은 각 센서 노드들에 태스크를 할당하는 방법에 영향을 받는다. 본 연구에서는 병렬 처리에 참여하는 센서 노드들의 에너지 소모량과 지연을 고려한 노드 스케줄링 기법을 제안한다.

1. 서론

센서 네트워크는 기존의 실시간 시스템과는 많은 차이가 있다[1]. 센서 네트워크에서 멀티미디어 데이터 처리나 복잡한 계산을 필요로 하는 어플리케이션이나 실시간 어플리케이션을 개발하기 위해서는 센서 노드들의 데이터 병렬 처리가 필요하다. 센서 노드는 데이터의 생산 및 처리와 함께 라우터의 역할을 동시에 수행한다. 라우팅 트리 상에서 많은 자식 노드들을 가지고 있다면 RF사용이 증가하게 된다. 또한, 비선점형 스케줄러를 갖는 센서 노드에서 데이터 전송량이 많을 경우 통신을 위한 태스크 생성이 증가하므로 일반 태스크의 실행에도 지연이 발생하게 된다[2].

센서 네트워크의 가용 시간을 최적화하고 어플리케이션에서 필요한 실시간성을 확보하기 위해서는 센서 네트워크 또는 센서 노드의 스케줄링을 통해 네트워크 자원을 효율적으로 사용하는 연구가 필요하다.

본 논문에서는 센서 노드가 주변 노드들에 태스

크를 할당할 때의 스케줄링 기법인 ELT (Energy-Latency Trade-off based Task Scheduling)를 제안한다. ELT는 센서 노드들의 에너지와 지연 수준으로 가중치를 설정하고 이를 이용하여 태스크를 할당할 센서 노드를 선택한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 센서 네트워크에서의 스케줄링 문제에 관하여 알아보고, 3장에서는 데이터 전송에 따른 태스크 지연에 관하여 설명한다. 4장에서는 본 논문에서 제안하는 스케줄링 기법에 관하여 설명하고, 5장에서는 모의 실험을 통해 다른 스케줄링 기법과의 비교를 통해 제안 기법의 성능을 평가한다. 마지막으로 6장에서 결론 및 향후 연구에 관하여 논한다.

2. 센서 네트워크에서의 스케줄링 문제

센서 노드들은 자원 제약성을 극복하고 가용 시간을 연장하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 일반적인 방법으로는 센서 노드의 duty cycle을 동적으로 스케줄링하여 저전력의 sleep 상태를 오래 유지하는 방법이 있다[3]. 또한 클러스터 기반의 네트워크에서는 에너지 소모가 큰 클러스터 헤드를 선택하는 스케줄링 기법이 있다[4]. 그리고 쿼리 기반

- 본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

* 교신저자

의 센서 네트워크에서 쿼리를 스케줄링하여 네트워크의 에너지 소모를 줄이는 방법에 관한 연구도 진행되었다[5].

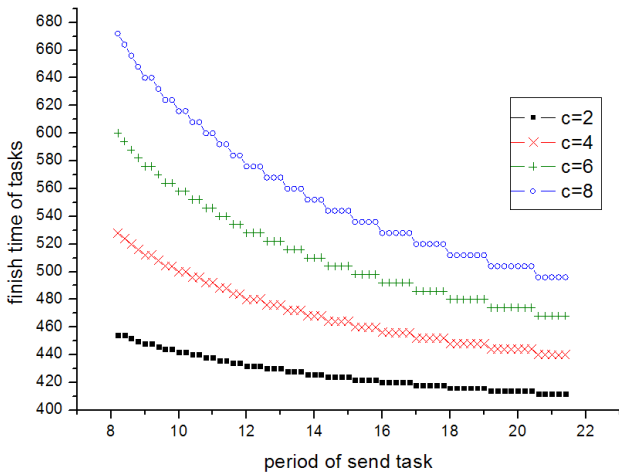
본 논문에서는 센서 노드들에 태스크를 할당하는 스케줄링 기법을 제안한다. 센서 네트워크는 시간이 지남에 따라서 센서 노드들의 남아있는 에너지에 차이가 발생한다. 또한 센서 노드들은 데이터의 수집, 가공 뿐만 아니라 전송, 중계의 역할도 수행해야 하기 때문에 많은 무선 통신을 사용하게 된다. 많은 무선 통신의 사용은 패킷 전송을 위한 태스크를 발생시키므로 주기적으로 실행되는 태스크에 영향을 주게 된다.

3. 데이터 전송에 따른 태스크 지연

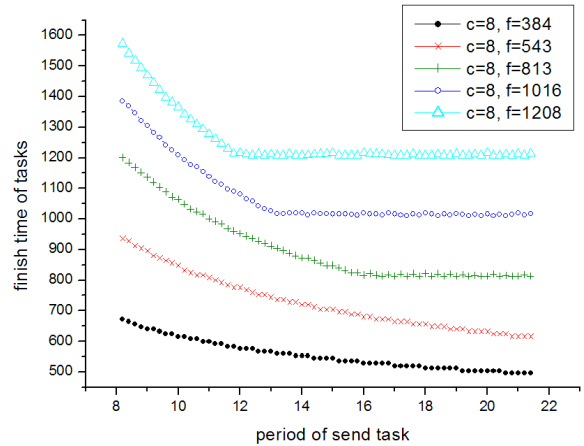
SHM(Structural Health Monitoring)과 같은 감시 어플리케이션에서는 진동이나 가속도를 감지하고 전송하기 위한 주기적인 태스크들이 발생한다. 이와 함께 라우터로써 데이터를 중계하기 위한 태스크(send 태스크)가 발생한다. 하지만 send 태스크가 많이 발생할 경우 일반 태스크에 지연이 발생하게 된다. send 태스크의 period와 capacity가 일반 태스크의 수행에 어떠한 영향을 주는지 알아보기 위한 실험을 수행하였다.

실험은 주기적인 2개의 태스크와 1개의 send 태스크로 send 태스크의 period와 capacity를 변화시키면서 100개의 태스크 실행이 완료되는 시간을 측정하였다. 그림 1에서 c는 capacity를 나타내며 x축은 send 태스크의 period, y축은 100개의 태스크 실행이 완료되는 시간이다. 그림 1의 결과에서 send 태스크의 capacity가 클 수록, period가 작을수록 지연 시간이 증가하는 것을 볼 수 있다.

그림 2는 send 태스크의 capacity는 고정하고 period만 변화시켰을 때의 그래프이다. 그림에서 f



(그림 1) send 태스크의 period와 capacity에 따른 지연



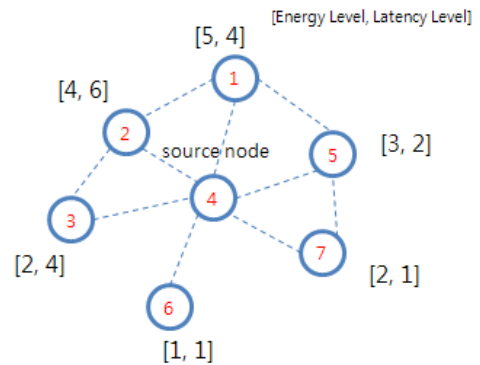
(그림 2) send 태스크의 period에 따른 지연

는 send 태스크가 없을 경우, 일반 태스크들의 완료 시간을 나타낸다. 태스크 실행이 빨리 끝나는 경우 (f=384)에 비해 태스크 실행이 느린(f=1,028) 경우는 send 태스크의 발생 빈도에 영향을 받지 않다가 send 태스크의 period가 작아지다가 12 근처에서 지연이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

4. 에너지 효율성을 고려한 스케줄링 알고리즘

본 논문에서는 센서 노드들의 에너지와 지연 수준을 고려하여 태스크를 센서 노드들에 할당하는 스케줄링 기법(ELT)을 제안한다. ELT에서는 에너지와 지연에 관한 가중치를 설정하여 이들간의 trade-off를 조절할 수 있다.

그림 3에서 4번 노드는 태스크를 할당하는 노드이고, 주위의 6개 노드들은 태스크를 받아 수행하게 되는 노드들이다. [n1, n2]에서 n1은 에너지 레벨, n2는 지연 레벨이다. source node는 각 센서 노드들의 에너지 레벨과 지연 레벨을 알고 있다고 가정하고 n1, n2 값을 이용하여 이웃 노드들 중 우선순위가 높은 노드를 선별하여 태스크를 할당한다.



(그림 3) 센서 노드들의 스케줄링을 위한 노드 배치 예

$$P_i = w_P * E_{Li} + w_L * L_{Li} \quad (1)$$

- P_i : priority of node i
- E_{Li} : energy level of node i
- L_{Li} : latency level of node i
- w_P : weight of power consumption
- w_L : weight of latency

식(1)은 스케줄링을 위한 우선순위를 계산하는 방법이다. 에너지와 지연에 대한 가중치 값을 w_P , w_L 이라고 하고 각 가중치 값을 에너지, 지연 레벨에 적용하여 우선 순위를 설정한다. 응용에 따라서 요구되는 QoS가 다르므로 응용에 맞게 w_P , w_L 값을 설정하여 QoS에 대한 적응성을 향상 시킬 수 있다.

5. 실험 및 결과 분석

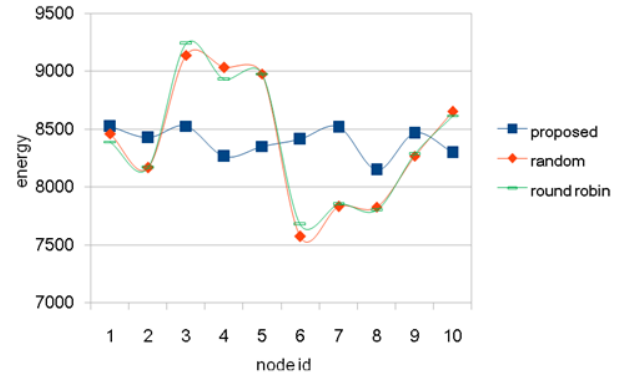
ELT의 성능을 평가하기 위해서 ELT와 Round-Robin(RR), Random 스케줄링을 비교하였다. 시뮬레이션은 smp[6] 을 이용하였고 1개의 source node와 10개의 센서 노드들로 실험하였다. 각 센서 노드들에 임의로 에너지와 지연 레벨을 설정하고 10,000 시뮬레이션 시간 후 남은 에너지를 측정하였다.

source node에서 $\lambda=10$ 인 포아송분포로 태스크가 발생하고, source node에서 태스크가 release 되면 스케줄링 방법에 따라 노드를 선택하여 태스크를 request하고, 지연 모델에 따라 실행 노드의 capacity를 할당하는 방법으로 실험을 수행하였다. 센서 노드들의 에너지 소모는 TinyOS의 power profile에서 Tx 시 소모되는 에너지량을 적용하였다.

그림 4의 x축은 노드 아이디, y축은 시뮬레이션 종료 후 남은 에너지량을 나타낸다. Random 과 RR 은 비슷한 수치를 나타내었고, ELT는 8,200~8,500으로 두 방법에 비해 높은 수치를 나타내었다. 실험 결과의 표준 편차는 ELT는 126.72, Random과 RR 은 각각 553.17, 538.40으로 약 4배의 차이를 나타내었다.

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 센서 노드들의 에너지와 지연 수준을 고려하여 태스크를 센서 노드들에 할당하는 스케줄링 기법을 제안하였다. 또한 send 태스크의 period와 capacity에 따른 태스크 지연에 관한 실험을 하였고, 모의 실험을 통해 다른 스케줄링과 비교 평가 하였다.



(그림 4) 노드별 에너지 분포

실험을 통해 Random, RR, ELT로 태스크를 할당했을 경우, 에너지 소모의 편차를 확인하였다. ELT의 표준편차가 4배정도로 높게 에너지 소모를 하는 것을 확인하였다.

향후에는 태스크 지연에 관한 수학적 모델을 확립하고 이를 제안 스케줄링에 적용할 것이다. 개선된 스케줄링 기법은 현재 연구중인 센서 네트워크에서의 병렬 처리 플랫폼에 적용할 계획이다.

참고문헌

- [1] J. A. Stankovic, T. F. Abdelzaher, C. Lu, L. Sha, and J. Hou, "Real-time communication and coordination in embedded sensor networks," Proceedings of the IEEE, vol. 91, pp. 1002-1022, 2003.
- [2] Z. D. Purvis and A. G. Dean, "TOSSTI: Saving Time and Energy in TinyOS with Software Thread Integration," 2008.
- [3] Deng, J., Han, Y. S., Heinzelman, W. B., & Varshney, P. K., "Scheduling sleeping nodes in high density cluster-based sensor networks," In ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications, vol. 10, no. 6, pp 825-835, Springer Netherlands, December, 2005.
- [4] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. "Energy-Efficient Communication Protocols for Wireless Microsensor Networks (LEACH)," Proc. of the 33rd Hawaii International Conference on Systems Science, vol. 8, pp. 3005-3014, January, 2000.
- [5] O. Chipara, C. Lu, and G. C. Roman, "Real-Time Query Scheduling for Wireless Sensor Networks," 2007.
- [6] M. H. MacDougall, "Simulating Computer Systems : Techniques and Tools", MIT Press, July 1987.