

모바일 싱크로 정보 수집되는 센서네트워크에서의 전송 지연 감소를 위한 최소 정지 지점

문경진^o, 이승구

포항공과대학교 전자전기공학과 임베디드 시스템 연구실
rominal@postech.ac.kr, slee@postech.ac.kr

Minimum Stop Points for Delay Efficient Data Gathering in Sensor Networks Using Mobile Sinks

Kyoungjin Moon^o and Sunggu Lee
ESA Lab., Dept. of EE., POSTECH

무선 센서 네트워크 (WSN)는 주로 관찰할 영역에 배치된 수 많은 센서 노드가 발생하는 이벤트에 대한 정보를 수집하여 싱크 노드에게 보내주는 방식으로 사용된다. 최근에는 고정된 싱크가 아닌 모바일 싱크 (Mobile Sink: MS)를 이용한 WSN이 제안되었다. 예를 들어, MS가 관찰 할 영역에서 움직이면서 각 센서 노드로부터 정보를 수집한다. 각 센서 노드는 멀티 홉으로 정보를 전송할 필요가 없으므로 relay로 인한 에너지 소모는 줄어들게 된다.

MS를 이용한 정보 수집을 위한 WSN의 가장 큰 단점은 정보 전송 지연의 증가이다. 전형적인 모바일 센서 노드(예, NIMs[1], Packbot[2], Robomote[3], Amigobot[4])의 속력은 대략 0.1 - 2m/s 로 느리다. 이런 노드가 관찰 할 영역을 움직이면서 각 센서 노드로부터 정보를 받게 되면 전송 지연 시간이 늘어나게 된다. 추가적으로, MS가 정보 수집을 하려면 각 노드에게 자신이 온 것을 beacon 메시지 (예, s-beacon[5])를 이용해 알리고 링크를 설정한 후 정보를 받고 떠나는 것을 알려야 한다. 방문하는 노드의 수가 증가할수록 beacon 메시지가 증가하게 되고, 그로 인해 에너지소모가 증가하게 된다.

본 논문에서는 MS를 이용한 WSN에서의 효율적인 정보 수집을 위해서 MS의 최소 정지지점을 Integer Linear Programming(ILP) 모델을 이용하여 제시한다. 관찰하려는 영역에 다수의 센서 노드가 분포 되어 있을 때, MS를 이용한 효율적인 정보수집을 위해서는 Stop-and-Collect 알고리즘을 써야 더 많은 정보를 같은 시간 안에 얻을 수 있다[6]. MS가 정지하는 지점의 주변 노드는 회합 노드 [7,8,9]로 지정 되어 다른 노드로부터 멀티 홉으로 정보를 전송 받아 저장해 두고, MS가 정지지점에 정지하면 정보를 전송 한다. MS의 정지 빈도, 정지 지점의 위치에 따라서 각 노드의 에너지 소모율이 달라지고 그로 인하여 네트워크 지속시간도 달라진다. 따라서 네트워크 환경 변수를 고려한 최소 정지 지점을 찾는 최소 정지지점 문제를 제시하였다.

최소 정지지점을 찾기 위해서 MS가 가야 할 길을 모델링 하였다. 네트워크 모델은 [7]과 유사하게, 영역을 나누어 정해진 길을 만들었다. 네트워크 상황에 따라 k홉 안에 있는 네트워크 노드와 정보를 주고 받을 수 있도록 중심이 같은 사각 영역으로 나누어 길을 구성한다. 정해진 길의 총 길이를 구해보면 $L \approx 4 \prod_{i=1}^{W/2\sqrt{2kr}} [W - (\sqrt{2kr}(2i - 1))] + 2R_t$ 이 된다. MS가 네트워크 영역을 순회 하는데 걸리는 시간은 L/v 로써, v 는 MS의 속력, k 는 전송 가능한 멀티 홉 수를 의미 하고, r 은 전송거리, W 는 주어진 영역의 너비, R_t 값은 주어진 길을 돌고 시작점에 돌아올 때 걸리는 길의 길이이다. 원하는 네트워크 전송 시간을 맞추기 위해서 k 값을 증가시켜 길을 바꾸거나 v 값을 조절할 수도 있다

본 논문에서는 최소 정지 지점문제를 결정 문제화 하여 NP-Complete 문제임을 증명하였다. 최소 정지 지점 문제가 NP임을 증명하였다. Vertex Cover problem on graphs of degree bounded by 3(3dVC)[10,11]로 reduction 함으로써 NP-hard 임을 증명하여 최소 정지지점 문제가 NP-Complete 임을

증명하였다.

최소 정지지점 문제를 해결하기 위해서 Integer Linear Programming 모델을 제시하였다. WSN을 관찰하려는 영역에 분포된 센서와 MS가 움직이는 길의 정지지점으로 표현하고 주어진 제약조건을 만족하면서 정지지점 문제를 최소화하는 목표함수를 설정하였다. 제약조건은 relay 노드의 개수, 라우팅 방식, 노드 에너지소모, 정지지점에 따른 비용으로 설정하였다.

제안된 최소 정지지점의 효율성을 비교하기 위해서 ILP의 구현은 Xpress-mp[12]를 이용했다. 첫 번째 실험에서는 120mX120m에 36개의 노드를 배치할 때 주어진 길이 있을 때 정지하여 정보를 모으는 센서 네트워크 실험을 하였다. MS를 이용한 데이터 수집을 하는 네트워크에서 사용하는 SCD[6] 방식과 본 논문에서 제안하는 최소정지 지점의 효율성을 비교할 때 hop수에 따라서 정보수집 오버헤드는 1.7~3.4배, 추가 에너지 소모는 4~36배 줄어드는 것을 살펴볼 수 있었다. SCD의 경우에는 노드가 나타날 때마다 beacon 메시지를 전달한 후 정지하여 링크를 새롭게 형성하여 정보 수집을 하기 때문에 시간 및 에너지 소모가 크지만, 최소 정지지점을 이용하면 그에 따른 오버헤드를 줄여준다. 멀티 홉으로 전송 가능한 거리가 커질수록 라우팅으로 인한 오버헤드는 줄지만 회합 노드에서 저장해 놓은 정보를 MS로 전송하는 시간이 많이 걸리게 된다. 많은 hop 수를 이용하여 길을 만들수록 움직이는데 드는 시간과 라우팅을 위한 beacon 메시지로 인한 에너지 소모는 줄어들지만, 멀티 홉을 많이 이용하기 때문에 통신에 드는 에너지는 증가한다. 두 번째 실험에서는 81개의 노드를 분포했을 때 neighbors in nominal range area(NINRA[13]) vs 최소 정지지점의 수를 살펴보았다. 전송 가능한 멀티 홉 수가 커질수록 최소 정지지점의 수는 줄어들고 NINRA의 수가 증가할수록 ILP실행시간이 증가하였다. 계산해야 할 행렬이 커지기 때문에 실행시간이 증가한다. 세 번째 실험은 네트워크 지속시간 실험으로써 최소 정지지점을 사용할 경우 정지 싱크노드를 사용한 경우에 비해 2배, 에너지를 고려하지 않은 정지 지점을 사용하는 MS를 이용한 WSN에 비해서 1.5배 증가하였다. 따라서 MS의 정지지점을 위한 전략으로써 이 논문에서 취한 최소 정지지점을 찾는 알고리즘이 효과적이라고 할 수 있다.

Reference

- [1] R. Pon, M. A. Batalin, J. Gordon, A. Kansal, D. Liu, M. Rahimi, L. Shirachi, Y. Yu, M. Hansen, W. J. Kaiser, M. Srivastava, G. Sukhatme and D. Estrin, "Networked infomechanical systems: a mobile embedded networked sensor platform," in *Proc. 4th Int. Symposium on Information processing in sensor networks*, 2005.
- [2] Packbot, www.packbot.com.
- [3] K. Dantu, M. Rahimi, H. Shah, S. Babel, A. Dhariwal and G. S. Sukhatme. "Robomote: enabling mobility in sensor networks," in *Proc. 4th Int. Symposium on Information processing in sensor networks*, 2005.
- [4] ActivMedia Robotics. www.amigobot.com
- [5] J.Luo, J.Panchard, M.Piorkowski, M. Grossglauser and J.P.Hubaux, "MobiRoute: Routing towards a mobile sink for improving lifetime in sensor networks," in *Proc. DCOSS*, 2006, pp. 480-497.
- [6] A. Kansal, A. Somasundara, D. Jea, M. Srivastava and D. Estrin, "Intelligent fluid infrastructure for embedded networks," in *Proc. Int. Conference on Computer Networks*, 2004, pp.111-124.
- [7] J. Rao and S. Biswas, "Network-assisted sink navigation for distributed data gathering: Stability and delay-energy trade-offs," *Computer Communications*, vol. 33, 2010.
- [8] G. Xing, T. Wang, Z. Xie and W. Jia, "Rendezvous planning in mobility-assisted wireless sensor networks," in *Proc. 28th IEEE International Real-Time Systems Symposium*, 2007
- [9] G. Xing, T. Wang, W. Jia and M. Li, "Rendezvous design algorithms for wireless sensor networks with a mobile base station," in *Proc. Int. Symposium on Mobile Ad Hoc Networking & Computing*, 2008, pp. 231-240.
- [10] J.Chen, I.A. Kanj and W. Jia, "Vertex Cover: Further observations and further improvements," *Journal of Algorithm*, 2001.
- [11] J. Chen, L.Liu and W. Jia, "Improvement on vertex cover for low-degree graph," *Journal of Networks*, 2000.
- [12] Xpressmp, www.dash.co.uk
- [13] N. Bulusu, J. Heidemann, D. Estrin, and T. Tran, "Self-configuring localization systems: Design and experimental evaluation," *ACM Transactions on Embedded Computing Systems (ACM TECS), Special issue on networked embedded systems*, 2003.