홉 수에 기반한 센서 MAC 프로토콜

김주완[O1], 문성훈[1], 김훈[2], 이상근[1]
[1]고려대학교 컴퓨터학과 분산시스템 연구실
jwkim98@disys.korea.ac.kr
[2]고려대학교 컴퓨터학과 고속통신 연구실
Hoon@hcl.korea.ac.kr

Hop Based Media Access Control For Sensor Networks

Ju-Wan Kim[O1], Sung-Hoon Moon1, Hoon Kim2, and Sang-Keun Lee[1]
[1]Distributed Systems Lab, Department of Computer Sci. & Eng., Korea Univercity
[2]High Speed Communication Lab, Department of Computer Sci. & Eng., Korea Univercity

센서 네트워크에 맞게 디자인된 기존의 MAC(Media Access Control)프로토콜들은 노드들이 필요 시에만 매개체에 접근하도록 하기 위해서 주기적인 listen과 sleep 스케줄을 선택했다[1]. 하지만, 센서 네트워크 전체를 하나의 스케줄로 동기화 시키는 문제는 고려하기 어렵고 멀티홉(Multi-hop)에 의해 전달되어진다 하더라도 전달되는 과정에서 시간적인 격차가 발생할 수 있다. 기존 SMAC(Sensor Medium Access Control)[2]은 이러한 문제를 해결하기 위해 주기적인 listen과 sleep 스케줄을 분배하고 그 과정에서 싱크 패킷에 의한 자동적인 클러스터링을 보장한다. 그러나, SMAC에서의 스케줄 분배도 클러스터간의 틀어진 스케줄로 인해 전송 지연이 발생하는 문제점을 갖는다. 고정적인 listen/sleep 스케줄로 인한 에너지 낭비를 줄이고 MAC 프로토콜에 유연성을 확보하기 위해 DSMAC(Dynamic Sensor MAC)[3]과 PMAC(Pattern MAC)[4]이 제안되었으나 센서 네트워크 전반에 걸쳐 동기화 문제가 발생한다. 또한, sleep 스케줄로 인한 지연 시간을 줄이기 위해 DMAC[5]과 TMAC(Timeout MAC)[6]이 제안되었으나 여전히 센서 네트워크의 동기화 문제는 해결되지 않는다. 따라서, 본 논문은 동기화 문제를 홉 수에 의한 스케줄 분배로 접근하고 센서 네트워크의 스케줄을 트래픽 방향에 맞게 조절함으로써 패킷 지연 시간을 완화시키고자 한다.

HSMAC(Hop-based Sensor MAC)의 싱크 분배자는 최초 싱크(Sink) 노드로 지정된다. 그리고, 싱크(SYNC) 분배 방법은 홉 수에 의한 연속적인 분배 방식에 기반을 둔다. 싱크 노드는 차량이나 헬기와 같은 운송 수단에 의해서, 배포된 센서들과 통신하기에 적합한 장소에 위치할 수 있다. 여기서 가정하는 싱크 노드는 유선이든 무선이든 자원에 대한 제약이 없다고 가정한다. 이러한 조건하에서 싱크 노드는 센서 네트워크를 활성화 시키기 위해 센서들이 지켜야 할 적절한 스케줄(listen/sleep)을 분배해야 한다. 그리고 싱크 노드는 싱크 패킷에 홉 수와 홉 제한 값을 포함하여 전송하기 시작한다. 싱크 패킷에 포함되는 홉 수는 노드가 받을 때 마다 하나씩 증가하고, 싱크 패킷은 다시 브로드 캐스트 된다. 그리고, 함께 포함되는 홉 제한 값은 싱크 분배자에 대한 인식 및 클러스터 구분을 위해서 포함된다. 즉, 홉 제한 값에 해당하는 노드는 그 이후 홉에 해당하는 노드에 대해서는 자신이 싱크 분배자 임을 인식하고 홉 수를 다시 0으로 설정한다. 이 노드는 싱크 패킷에 포함된 시간 값을 기준으로 자신의 스케줄을 설정한다. 따라서, 이 노드부터 새로운 가상 클러스터가 생기게 되고 이 노드가 그 클러스터의 싱크 분배자중 하나가 되는 것이다. 이렇게 하면 홉 제한 값에는 변함이 없고 홉 수만 증가했다가 초기화되는 작업을 반복하므로 홉 제한값 만큼 반복되면서 클러스터가 생성된다. 이러한 순차적인 브로드 캐스트에 의해 전체 센서 네트워크가 활성화 되어지고 센서는 주어진 스케줄을 따르게 된다. 이러한 스케줄 분배방식은 기존의 랜덤한 스케줄 분배에 비해 기준 점이 명확하고 순차적으로 싱크 패킷을 분배함으로써 싱크 패킷의 충돌 가능성을 줄이며, 가상 클러스터에 의해 발생되는 지연 시간을 최소화 하는데 기여한다. 본 논문에서 새롭게 제안한 싱크 분배 방법은 싱크 노드로 부터 발생되는 싱크 패킷과 브로드 캐스트에 의한 패킷 전달에 기반하여 전체 네트워크에 싱크 노드가 의도하는 스케줄을 분배하는데 그 목적이 있다. 이 말은 싱크 노드가 스케줄을 트래픽 방향에 따라 다르게 분배함으로써 전체 네트워크의 스케줄을 변화시킬 수 있다는 의미이다. 근래의 대부분의 센서 네트워크는 이벤트 기반으로 이루어지고 센서들이 수집한 정보를 싱크 노드에게 전송하기 때문에 소스에서부터 싱크로 향하는 업스트림 데이터가 많은 것이 현실이다. 또한, 초기 네트워크 설정 시에는 싱크 노드가 자신이 필요한 데이터를 소스에게 알려야

하므로 다운 스트림 데이터가 빈번하다. 이러한 조건들을 반영하여 싱크 노드는 다운 스트림과 업 스트림에 맞게 스케줄을 조절해내야 한다. SMAC으로 인해 생성된 스케줄은 한번 생성되면 재분배가 불가능하기 때문에 다운 스트림이 빨라지면 업스트림이 느려지고 업스트림이 빨라지면 다운 스트림이 느려질 수 있는 관계를 가지고 있다. 반면에, HSMAC 싱크 분배 방식은 다운 스트림과 업 스트림 시에 맞게 싱크 노드가 스케줄을 분배한다. 전체 네트워크가 하나의 스케줄을 따르도록 분배할 수도 있으나 데이터 전송을 위해 할당된 데이터 구간이 짧기 때문에 sleep에 의한 지연 시간이 커질 수 있으므로, 각각의 스케줄을 데이터 구간이 연속되도록 설정해 줌으로써 데이터 전송 중에 발생할 수 있는 지연 시간을 최소화 한다. HSMAC의 성능을 평가하기 위해 NS2에 의해 시뮬레이션을 수행했으며, 문제의 단순화를 위해 유사한 기능을 가진 SMAC과 비교평가한다. 시뮬레이션에서 중점적으로 분석한 부분은 달라진 스케줄에 의한 지연 시간의 비교이다. 따라서, 주어진 노드가 MAC 프로토콜에 따라 몇 개의 클러스터로 구분 되게 한다. SMAC 프로토콜은 일정시간(초기 설정 시간)이 지난 후 각 노드가 스케줄을 분배하기 시작하고, HSMAC 프로토콜은 최초 싱크 분배자(싱크 노드)를 기준으로 순차적으로 싱크 패킷이 분배되어 홉 수가 홉 제한 값에 해당될 때마다 가상 클러스터가 된다. 이 실험에서는 SMAC 과 HSMAC 프로토콜의 정확한 비교분석을 위해서 클러스터 수를 동일하게 하고, 홉 제한 값은 3으로 설정한다. 시뮬레이션은 기존 SMAC 프로토콜에서의 패킷 전달 지연 시간이 HSMAC 프로토콜에서의 패킷 전달 지연 시간보다 크다는 것을 보여준다. 이 결과 값의 주된 요인은 달라진 패킷 분배 방식과 스트림의 방향에 맞는 스케줄을 분배함으로써 데이터 패킷의 전송 기회가 많아지고 싱크 패킷의 충돌 횟 수가 줄어 들었기 때문이다. 업 스트림 시에도 마찬가지로 HSMAC 프로토콜이 더 적은 지연 시간을 보여주는데, 이 또한 업 스트림에 맞춰진 스케줄로 인해 발생된 효과이다. 지금까지 설명한 분석결과는 HSMAC이 SMAC에 비해 패킷 전달 지연 시간에 있어서 더 나은 성능을 낼 수 있음을 보여준다. 그러나, 이러한 결과가 센서 네트워크에서 중요시 하는 에너지 자원을 많이 소모한다면 오히려 비용 대비 성능은 떨어진다고 할 수 있다. 따라서, 각 노드가 SMAC과 HSMAC을 사용했을 때 소모되는 에너지의 양을 측정함으로써 두 프로토콜의 성능을 비교했고 결과 값은 비슷한 에너지 소모량을 보여주었다.

본 논문에서는 홉 수와 홉 제한 값에 의해 싱크 패킷을 분배하는 새로운 HSMAC 프로토콜을 제안했다. 센서 네트워크에서 MAC 프로토콜의 주요 목표 중에 제한된 에너지 자원 절약과 패킷 전달에 드는 지연 시간 최적화는 중요한 문제이다. 이러한 점에서 본 논문에서 제안한 새로운 싱크 분배 방법은 MAC 프로토콜을 더욱 유연하게 만들고, 각 스트림의 방향에 따라 스케줄을 조절해 줌으로써 데이터 패킷의 전달 지연 시간을 완화시킨다. 더불어, SMAC과 비슷한 에너지 소비량을 보여줌으로써 제한된 에너지 자원을 낭비하지 않고 센서 네트워크의 성능을 향상시켰다.

참 고 문 헌

[1] I. Demirkol, C. Ersoy, and F. Alagoz, "MAC protocols for wireless sensor networks: a survey," IEEE Communications Magazine, vol. 44, Issue 4, Apr. 2006.

[2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," IEEE/ACM Trans. Net., vol. 12, no. 3, pp. 493-506, June 2004.

[3] P. Lin, C. Qiao, and X. Wang, "Medium Access Control with a Dynamic Duty Cycle for Sensor Networks," IEEE WCNC, vol. 3, pp. 1534-1539, Mar. 2004.

[4] T. Zheng, S. Radhakrishnan, and V. Sarangan, "PMAC: an adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," Proc. 19th Int'l. Parallel and Distrib. Processing Symp., page. 8, Apr. 2005.

[5] G. Lu, B. Krishnamachari, and C. S. Raghavendra, "An Adaptive Energy-Efficient and Low-Latency MAC for Data Gathering in Wireless Sensor Networks," Proc. 18th Int'l. Parallel and Distrib. Processing Symp., p. 224., Apr. 2004.

[6] T. V. Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," 1st ACM Conf. Embedded Networked Sensor Sys., Los Angeles, page. 171-180, Nov. 2003.