

센서 네트워크의 에너지 홀 문제를 위한 동적 샘플링 간격을 이용한 비동기식 MAC 프로토콜*

신동훈^o 최성희

한국과학기술원 전산학과

dhshin@tclab.kaist.ac.kr, sunghee@kaist.edu

Asynchronous Mac Protocol Using Dynamic Sampling Interval for the Energy Hole Problem in Wireless Sensor Networks

Donghoon Shin^o Sunghee Choi

Department of Computer Science, Korea Advanced Institute of Science and Technology

1. 서론

센서 네트워크에서 에너지 효율을 높이는 문제는 네트워크의 수명과 관련하여 중요하게 다루어지는 문제 중 하나이다. 센서 네트워크는 주로 넓은 지역에 대다수의 센서를 무작위로 배치하여 동작하므로 배터리 교체가 어렵다는 단점을 지닌다. 이를 해결하기 위해서 효율적인 MAC 프로토콜에 대한 연구가 지속적으로 이루어졌다[1]. 이중 비동기식 MAC 프로토콜은 동기화 과정이 필요하지 않아 효율적으로 동작한다. 본 논문에서는 대표적인 비동기식 MAC 프로토콜인 B-MAC[2]을 응용하여 에너지 홀(energy hole) 문제를 효과적으로 해결하는 방법을 제시한다. 에너지 홀 문제는 센서 노드가 데이터를 기지국(base station 또는 sink node)으로 전달하는 네트워크에서 데이터 전달량이 많은 기지국 근처 노드가 멀리 떨어진 노드에 비해 수명이 짧아져서 발생하는 전체 네트워크의 수명 단축 문제이다[3].

우리가 본 논문을 통해서 제안하고자 하는 MAC 프로토콜은 네트워크 상황에 따라 각 노드의 샘플링 간격을 설정함으로써 에너지 홀 문제를 해결하고 전체 네트워크의 수명을 늘리는데 목적이 있다. 에너지 홀 문제는 배치방법[4]이나 이중 센서를 활용하여 해결하는 방법이 주로 연구되었으나 우리는 B-MAC을 분석하여 얻은 결과를 토대로 네트워크의 환경에 따른 최적의 샘플링 간격(sampling interval)을 동적으로 설정함으로써 해결하고자 한다. 즉, 각 노드는 기지국과의 거리에 따라서 최적의 샘플링 간격을 적용하여 효율적인 에너지 사용을 꾀한다. 또한 초기화 과정에서 균형 라우팅 트리(balanced routing tree)를 구성하여 노드간 에너지 소비의 균형을 꾀하고 네트워크의 최대 전송 지연시간(maximum transmission latency)을 사용자의 요구에 따라 설정하여 동작하는 MAC 프로토콜을 고안하였다.

2. 본론

제안하고자 하는 MAC 프로토콜은 기지국으로 정보가 수집되는 네트워크 환경에서 전체 네트워크의 수명을 최대화하고 이로 인해 발생하는 네트워크의 최대 전송 지연시간을 네트워크 관리자가 설정할 수 있도록 한다. 이를 위해 균형 라우팅 트리를 설계하여 에너지 소모를 분산시키고 센서 네트워크의 또 다른 문제인 전송 지연문제를 해결한다. 대표적인 비동기식 MAC 프로토콜인 B-MAC의 동작을 모델링하고 분석하여 데이터 전송량에 따른 최적의 샘플링 간격을 도출하고 이를 바탕으로 각 노드는 기지국까지의 거리에 따라서 샘플링 간격을 조정함으로써 전체 네트워크의 수명을 증가시킨다. 제안된 방법의 성능 검증을 위해서 모의 실험을 통해 B-MAC과의 성능을 비교 분석하였다.

초기화 과정에서는 노드와 기지국사이의 데이터 전달 경로를 설정하기 위해서 라우팅 트리를 생성한다. 사용자의 요구에 따른 최대 전송 지연시간을 설정하기 위해서 홉 거리(hop distance)가 최소화 되는 라우팅 트리를 설계한다. 센서 노드의 위치를 알 수 없다는 가정하에 라우팅 트리를 만들기 위해서 각 노드들은 제어 정보를 데이터 패킷(packet)에 담아 플러딩(flooding)을 수행하고 기지국에서는 각 노드로부터 받은 데이터를 기반으로 최소 홉 거리의 라우팅 트리를 만들어 각 노드에 배포한다. 최소 홉 거리만 고려한 라우팅 트리의 경우 심각한 불균형이 초래될 수 있으므로 중간 노드(intermediate node)의 에너지 소비 불균형이 유발될 수 있다. 이를 극복하기 위해서 균형 라우팅 트리(balanced routing tree)를 만드는 과정을 수행한다. 센서 노드의 위치정보 없이 기지국에서 완전 균형 트리(complete balanced tree)를 만드는 것은 쉽지 않으므로 지역적인 가지 교환(branch exchange) 과정을 이용하는 휴리스틱 방법을 제시한다. 각 중간 노드는 라우팅 트리 정보가 배포되는 과정에서 저장한 하위 노드의 수를 이용하여 자신을 근원(root)으로 하는 부분 트리(subtree)가 균형을 이루도록 가지 교환 정보를 하위 노드로 전달한다. 각 층의 노드 균형화 작업이

* 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-008364)

완료되면 다음 층의 노드들이 이와 같은 작업을 반복하여 수행한다.

다음 과정은 우리가 제안하고자 하는 비동기식 MAC 프로토콜의 샘플링 간격을 주어진 네트워크 환경에 적합하도록 설정하는 과정이다. 초기화 과정에서 얻어진 트리 정보를 토대로 에너지 소모를 최소화하는 샘플링 간격을 설정한다. 이를 위해서 비동기식 MAC 프로토콜의 기본 모델인 B-MAC을 모델링함으로써 샘플링 간격의 최적값을 도출하고 타당성을 보인다. B-MAC에서 에너지 소비에 대한 수식은 다음과 같다. $E = E_{rx} + E_{tx} + E_{listen} + E_d + E_{sleep}$ (E_{rx} :수신 소비에너지, E_{tx} :발신 소비에너지, E_{listen} :샘플링 소비에너지, E_d :데이터 처리 소비에너지, E_{sleep} :슬립모드 소비에너지) 이 수식으로부터 통신에 따른 에너지의 소비의 최적값을 도출하기 위해서 E_d 는 생략하여 일반화 하고 채널 샘플링 간격과 프리앰블의 길이가 동일하다고 설정하고 초기화 과정에서 설정된 트리의 정보를 이용하여 최적의 샘플링 간격을 구할 수 있다. 여기서 분석된 수식으로부터 데이터의 발생확률이 커짐에 따라 샘플링 간격이 줄어야 함을 알 수 있다. 네트워크 환경에 따라 데이터의 발생확률이 변하므로 효율적인 운용을 위해서 각 노드는 이전의 데이터의 발생확률을 기준으로 일정 시간마다 데이터의 발생확률을 새롭게 예측하여 적용하도록 한다.

세 번째 과정에서는 최대 전송 지연시간을 제한하기 위해서 각 노드의 최대 샘플링 간격을 설정하고 프리앰블의 길이를 설정한다. 위의 과정에서 도출된 최적의 샘플링 간격을 구하는 수식으로부터 데이터 발생확률이 고정되어 있을 때, 샘플링 간격은 하위 노드수에 비례함을 도출할 수 있다. 즉, 기지국에 가까울수록 하위노드의 수가 증가하므로 효율적인 샘플링 간격은 줄어들게 된다. 이를 바탕으로 각 노드의 프리앰블의 길이는 자신의 샘플링 간격과 동일하게 설정하여 상위 노드의 프리앰블 수신을 보장할 수 있다. 또한 기지국에서는 초기화 과정에서 라우팅 트리의 높이(h)를 보관하여 이를 바탕으로 트리의 각 층(level) 별 최대 샘플링 간격을 설정하여 최대 전송 지연시간을 유지하기 위해 각 노드가 설정된 간격 이상의 샘플링 간격을 갖지 못하도록 한다. 관리자가 설정한 최대 전송 지연시간을 MAX_L 이라고 하면, $T_s = (MAX_L / h - data_{length})$ 를 기본 최대 샘플링 간격으로 설정한다. 각 노드의 층을 $k(1 \leq k \leq h)$ 라고 할 때, 간단한 구현을 위해서 층 별 최대 샘플링 간격을 $T_s + (k-h/2) * \delta$ 로 설정한다. $\delta=0$ 이면, 모든 노드의 최대 샘플링 간격이 같은 경우이다. δ 값은 체인 토폴로지를 가정하여 중간 노드를 기준으로 계산하고 최대 샘플링 간격을 상위 방향은 δ 씩 줄이고 하위 방향은 δ 씩 늘어나게 설정하여 최대 전송 지연시간은 MAX_L 로 유지하도록 한다. 층 별 노드의 샘플링 간격이 달라지므로 기지국에서 각 노드로 데이터를 전달할 때에는 마지막 노드 h 의 최대 샘플링 간격으로 프리앰블의 크기를 설정한다.

모의 실험에서 B-MAC과의 비교를 통해 제안된 MAC 프로토콜의 성능을 측정하였다. 10개의 센서 노드를 체인 토폴로지로 구성하였고 각 노드에서 데이터 발생비율을 10초당 1개일 때와 100초당 1개일 때로 나누어 진행하였다. B-MAC의 샘플링 간격을 100ms, 150ms, 200ms로 변경하며 노드 별 평균 최대 전송 지연시간과 에너지 소모량을 비교하였다. 데이터 발생비율이 1/10sec일 때의 에너지 소모량은 제안된 방법이 모든 경우에 적게 나타났으며 약 1.5배에서 2.5배정도 적게 소모하였다. 전송 지연시간의 경우 기지국까지의 지연시간이 모든 노드에서 짧게 나타났으며 특히 제안된 프로토콜의 경우 에너지 최적화 샘플링 간격이 설정된 최대 간격보다 좁아서 모두 동일하게 빠른 전송 시간을 보였다. 1/100sec일 때 역시 에너지 소모량과 최대 전송 지연시간이 B-MAC에 비해 항상 좋은 결과를 나타냈다.

3. 결론

우리는 본 논문에서 대표적인 비동기식 MAC 프로토콜인 B-MAC을 모델링하고 분석함으로써 각 센서 노드가 주어진 환경에서 최적의 샘플링 간격(프리앰블의 길이)을 설정하는 MAC 프로토콜을 제시하였다. 이는 센서 네트워크에서 발생하는 에너지 홀 문제를 배치방법이 아닌 MAC 프로토콜을 통해 해결하는 방법으로써 각 노드의 에너지 효율뿐 아니라 전체 네트워크의 수명 향상을 꾀하였다. 초기화 과정에서 균형 라우팅 트리를 설계함으로써 데이터 양을 분산하고, 센서 노드의 위치 별 최대 샘플링 간격을 설정함으로써 샘플링 간격으로 인해 발생하는 데이터 전송 지연 문제의 해결 방안을 제시하였다.

우리가 제시한 동적 샘플링 간격을 이용하는 방법은 다른 비동기식 MAC 프로토콜에도 적용 가능하다. 우리는 다른 비동기식 MAC 프로토콜을 이용하여 에너지 홀 문제를 해결하고 동시에 최대 전송 지연시간을 유지하는 방법을 적용해 보려 한다. 또한 다양한 네트워크 토폴로지에서 효율적으로 동작하는 비동기식 MAC 프로토콜에 관한 연구와 고정된 센서 이외에 움직이는 센서가 추가된 네트워크에서 에너지 균형 소비 문제에 대한 연구를 향후 과제로 삼고 있다.

참고문헌

- [1] I. Demirkol, C. Ersoy, and F. Alagöz, "MAC Protocols for Wireless Sensor Networks: A Survey", IEEE Communications Magazine, pp.115-121, April 2006
- [2] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler. "Versatile low power media access for wireless sensor networks. In The Second", in Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems, pp. 95-107, November 2004
- [3] J. Li and P.Mohapatra. "An analytical model for the energy hole problem in many-to-one sensor networks", IEEE Vehicular Technology Conference;CONF 62; VOL 4;pp2721-2725, 2005
- [4] X. Wu, G. Chen, and S. K. Das. "On the Energy Hole Problem of Nonuniform Node Distribution in Wireless Sensor Networks", in Proceedings of The IEEE International Conference on Mobile Adhoc and Sensor Systems, pp.180-187, 2006