저 전력 MAC 프로토콜 에서의 채널 폴링 스케쥴링 기법

김동일
동의대학교

Channel Polling scheduling method Based MAC protocol for Low Energy Consumption

Kim Dong Il
Dong-Eui Univ.

dikim@deu.ac.kr

요 약

센서 네트워크에서 각 센서 노드의 에너지 소모를 최소화하여 에너지 소모를 줄임으로써 망의 지속시간을 늘이는 것이 중요하다. 기존의 MAC(Medium Access Control) 프로토콜은 채널 폴링 기법을 이용하여 효율적인 에너지 관리에 대한 해결책을 제시 하였으나, 그러한 방식에 따른 각 노드의 Duty Cycle이 길어짐으로써 발생하는 에너지 소모에 대한 해결책은 제시하지 못하였다. 본 논문에서는 기존의 채널 폴링과 함께 스케쥴링 알고리즘을 적용하여 Duty Cycle의 주기를 줄임으로써 에너지 소모를 줄인다. 특히 이 방식을 이용하여 멀티홉과 과다한 트래픽에 대한 성능의 평가를 위해 실험을 통해 제안하는 프로토콜의 우수한 성능을 보인다.

Ⅰ. 서 론

센서 네트워크에서 핵심 이슈는 에너지를 효율적으로 관리하여 망을 오랜 시간동안 지속시키는 것이다. 에너지 소모에 가장 영향을 끼치는 요소로는 Idle Listening, Collision, Overhearing, Control Overhead 등이 있다[1]. 이 중에서 Idle Listening 이 가장 큰 부분을 차지한다. Idle Listening 으로 소모되는 에너지를 최소화 하기위해 라디오의 Duty Cycle을 낮추는 방법으로 폴링 기법에 스케쥴링 기법을 이용한다.

본 논문에서는 스케쥴링 기법과 폴링 기법을 동시에 사용하며 Duty Cycle을 최소화 하여 에너지 소모를 줄이는 MAC(Medium Access Control)프로토콜을 제안하고 실험과 분석을 통하여 효율성을 측정하고자 한다.

본 논문의 2절에서는 관련 연구를, 3절에서는 제시하는 프로토콜의 개념에 대해, 4절에서는 실험 및 결과를 보이며 5절에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 관련 연구

기존의 MAC 프로토콜은 에너지 소모를 줄이고 효율적으로 사용하기 위해 여러 방법을 이용하였다.

S-MAC[1]은 고정된 스케쥴링 기법을 이용한다. 주기적으로 노드가 Sleep 모드로 들어가게 함으로써 Idle Listeing 시간을 줄인다. 그리고 Overhearing 문제를 해결하기 위해서 Overhearing Avoidance 기법을 적용하고 있다. 두 노드간의 통신은 주변의 모든 노드에게까지 전파되므로 인해 이웃노드는 불필요한 Overhearing으로 인해 에너지를 낭비하게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 S-MAC에서는 두 노드간의 통신을 하기 위해 사용되는 RTS(Request To Send)와 CTS(Clear To Send) 제어 신호를 듣는 이웃 노드들은 두 노드간의 통신이 완료될 때까지 Sleep 모드로 전환되어 Overhearing으로 인한 에너지 낭비문제를 해결하게 된다.

S-MAC처럼 고정된 Duty Cycle을 적용함에 따른 불필요한 에너지 소모를 줄이기 위하여 적응형 Duty Cycle 기법을 이용한 T-MAC[2]이 등장한다. T-MAC은 타이머를 이용하여 S-MAC보다 일찍 Sleep 모드가 가능하게 한다.

이처럼 스케쥴링 기법을 이용한 프로토콜들의 특징은 송신측이 수신측의 Wake-Up 시간을 알고 있어 Data 전송에 효율적이나 전체 경쟁 기간 동안 Listening 해야 하기 때문에 비효율적이다.

이러한 프로토콜들의 대안으로 제안된 기법은 LPL(Low Power Listening)이다. 이는 폴링 기법을

이용한 방식으로 대표적인 프로토콜로는 WiseMAC[3], B-MAC[4]이 있다. 이 기법은 채널의 사용여부를 비동기적으로 long preamble을 이용하여 체크한다. S-MAC 이나 T-MAC보다 에너지 소모측면에서 보다 효율적임을 보이나 과다한 트래픽에는 취약한 면을 보인다.

본 논문에서는 스케쥴링 기법의 장점을 가지며, LPL 기법이 만족시키지 못한 과다한 트래픽에도 뛰어난 성능을 보이는 CPwS(Channel Polling with Scheduling)이라는 프로토콜에 대해 연구한다. 3장에서 CPwS 프로토콜의 특징에 대해 살펴보기로 한다.

Ⅲ. 채널 폴링 및 스케쥴링 기법

CPwS(Channel Polling with Scheduling) 프로토콜의 주안점은 최소의 Duty Cycle을 가지며, heavy traffic에도 뛰어난 성능을 보이는 것이다. 이를 위해 2단계 CW(Contention Window), Overhearing Avoidance, 채널 폴링의 동기화, 그리고 적응형 채널 폴링 기법 등을 갖추고 있다.

CPwS 프로토콜에서 충돌 방지를 위해 경쟁 윈도우를 2단계로 설정하고 먼저 송신측은 짧은 Wake-Up Tone을 이용하여 수신측의 채널을 폴링한다. 수신측을 깨우고 난 후에 송신측은 Data를 전송하게 된다. CW1에서는 다른 노드들과 경쟁을 한다. 이 경쟁에서 이겨 채널이 Idle 상태임을 알게 된 노드만이 CW2에서 다시 경쟁하게 된다. 이로써 충돌의 확률을 줄일 수 있다. CW1에서 Busy 상태이면 노드는 송수신을 모두 중단하고 다음 프레임까지 Sleep 상태로 대기한다.

3.1 Overhearing Avoidance

Overhearing 문제는 자신의 것이 아닌 패킷에 대해 불필요한 에너지를 소모하는 것이며, 특히 밀집도가 높은 네트워크에서는 소모하는 에너지는 상당량을 차지한다. Overhearing 문제를 해결하기 위해 RTS/CTS 기법이 많이 이용되며, CPwS 프로토콜에서는 RTS/CTS 기법을 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우 모두에 대해 Overhearing Avoidance를 제공한다.

RTS/CTS 기법을 사용하는 경우에는 S-MAC에서와 같이 동일하게 사용된다. 사용하지 않을 경우에는 MAC 헤더 부분의 목적지 주소를 파악하여 자신의 것이 아니면 폐기하여 Overhearing 문제를 해결한다.

3.2 채널 폴링의 동기화

LPL 기법은 비동기적으로 long preamble을 이용하여 채널을 폴링한다. 비동기화에 따라 preamble의 길이가 길어질 수밖에 없어 큰 overhead를 차지하지만, CPwS 프로토콜에서는 전체 네트워크의 동기화를 이루면서 preamble의 길이를 최소화 하여 overhead를 감소하였다. 이렇게 함으로써 Overhearing에 대한 비용도 줄어들게 할 수 있다.

3.3 적응형 채널 폴링

CPwS 프로토콜은 과다한 트래픽에 대한 해결방안으로 적응형 채널 폴링 기법을 사용한다. 전체 네트워크가 공통의 스케쥴을 따르며 동기화되어 있기 때문에 그에 따른 Latency와 Throughput 감소를 야기할 수 있다.

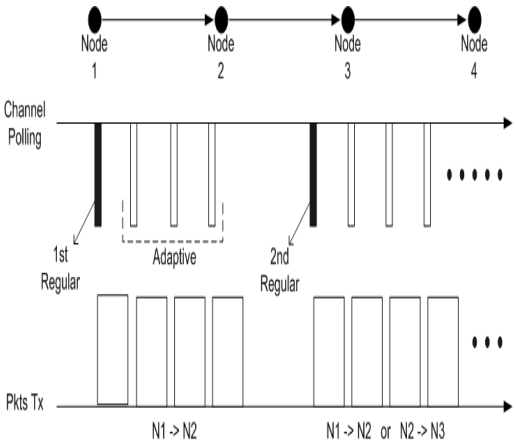

그림 1. 멀티홉을 위한 적응형 채널 폴링

Ⅳ. 실험 및 결과

CPwS 프로토콜의 성능 평가를 위해 Crossbow 사의 Mica2[5]를 이용하였다. 다음 <표 1>은 실험에 이용된 파라미터 값이다.

표 1. CPwS 프로토콜의 파라미터

Power in Tx	31.2mW
Power in Rx	22.2mW
Power in Listening	22.2mW
Power in Sleeping	3μW
Power in Channel Polling	7.4mW
Avg. Time to poll channel	3ms
Avg. Carrier Sense Time	7ms
Time to Tx/Rx a Byte	416μs
Data Packet Length	50B
Number of Neighbors	10
SYNC Packet length	18B
SYNC Byts piggybacked to Data	2B
Min. Duration of Wake-Up Tone	2ms

과다한 트래픽에 대한 성능을 분석하고자 각 노드에서 Broadcast 패킷을 전송하게 하여 LPL 기법과 CPwS를 에너지 소모 측면과, Throughput 측면으로 나누어 비교하였다.

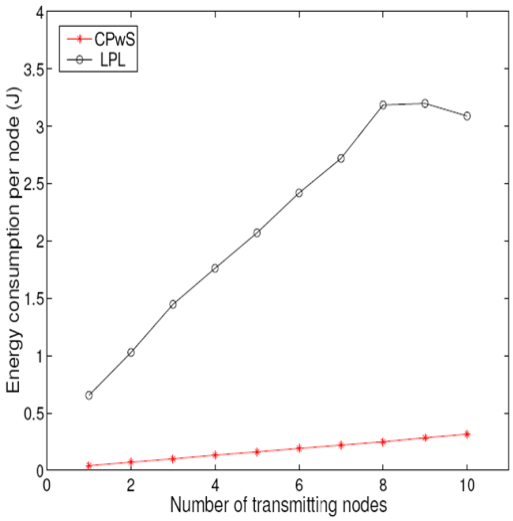

그림 2. 과다한 트래픽에 대한 에너지 소모

실험에서 모든 노드들을 Busy 상태로 하였으며, 전송을 마치고 지연 시간 없이 바로 또 Data를 전송하도록 하였다. 그리고 노드별 Load를 다르게 하도록 Data 전송 시작을 1번 노드에서부터 10번 노드 순으로 하였다.

실험 결과, CPwS 프로토콜이 LPL 기법보다 에너지 소모 측면이나 Throughput 측면에서 우수한 성능을 가짐을 알 수 있다.

Ⅴ. 결론 및 향후 연구 계획

스케쥴링 기법과 폴링 기법의 적절한 조화로 이루어진 CPwS 프로토콜은 기존에 제안된 에너지 효율적인 프로토콜들과 비교하여 에너지 소모를 크게 감소시킴으로써 뛰어난 성능을 보였다.

이는 전체 네트워크의 동기화와 그에 따른 공통된 스케쥴, 그리고 채널 폴링을 위한 preamble의 간소화를 통해 Duty Cycle을 최소화함으로써 이루었다.

그리고 제한된 노드수로 라우팅 알고리즘을 제외하였으나, 향후 라우팅 알고리즘에 대해서도 추가적으로 연구하고 CPwS와의 호환성을 시험할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] Wei Ye, John Heidemann, and Deborah Estrin. An energy-efficient mac protocol for wireless sensor network. In Proceedings of the IEEE Infocom, pages 1567-1576, New York, NY, June 2002.

[2] Tijs van Dam and Koen Langendoen. An adaptive energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks. In Proceedings of the First ACM SenSys Conference, pages 171-180, Los Angeles, California, USA, November 2003.

[3] A. El-Hoiydi, J.-D. Decotignie, J. Hernandez. Low power MAC protocols for infrastructure wireless sensor networks. In Proceedings of the First European Wireless Conference, pages 563-569, Barcelona, Spain, Februay.

[4] Joseph Polastre, Jason Hill, and David Culler. Versatile low power media access for wireless sensor networks. In Proceedings of the 2nd ACM SenSys Conference, pages 95-107, Baltimore, MD, USA, November 2004

[5] Z. Zhou, S. Zhou, J. Gong, and Z. Niu, "Energy-Efficient Antenna Selection and Power Allocation for Large-Scale Multiple Antenna Systems with Hybrid Energy Supply," Proc. of IEEE GLOBECOM 2014, Dec. 2014.

[6] Cisco White Paper, Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2013-2018, Feb. 2014.