

# 유비쿼티스 센서 네트워크에서 효율적인 에너지 소모를 위한 MAC 프로토콜 분석

김동일  
동의대학교

MAC Protocol Analysis for Effective Energy Consumption in Ubiquitous Sensor network

Kim Dong Il  
Dong-Eui Univ.

## 요약

센서 네트워크 기술이 각광을 받으면서 다양한 종류의 센서 노드로 구성된 유비쿼티스 센서 네트워크에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 센서 네트워크에서는 각 센서 노드의 에너지 소모를 최소화하여 에너지 소모를 줄임으로써 네트워크의 지속시간을 늘이는 것이 무엇보다 중요하다 기존의 MAC(Medium Access Control) 프로토콜은 채널 폴링 기법을 이용하여 효율적인 에너지 관리에 대한 해결책을 제시 하였으나 각 노드의 Duty Cycle이 길어짐으로써 발생하는 에너지 소모에 대한 해결책은 제시하지 못하였다. 센서 네트워크에서 센서 노드를 디자인할 때 중요한 고려사항 중 하나가 제한된 자원을 가진 센서 네트워크에서 주어진 에너지 소모를 최소화 하여서 네트워크 수명을 연장하는 것이다. 본 논문에서는 센서 노드의 에너지 소모를 줄이기 위해 제안된 라우팅 프로토콜을 비교 에너지 소모를 줄이는 방안을 제시 한다

## Abstract

The sensor network technology for core technology of ubiquitous computing is in the spotlight recently, the research on ubiquitous sensor network is proceeding actively which is composed many different sensor node. One of the important condition for design of sensor node is to extend for network life which is to minimize power-consumption under the limited resources of sensor network. This study suggest routing protocol that was used second level cluster structure to reduce power-consumption of sensor node. the first level use the previous routing protocol under the LEACH, second level decide to transmit or not by comparison of data value for Effective Usage, reduce the unnecessary power-consumption.

## 키워드

유비쿼티스 센서 네트워크 효율적 에너지, MAC 프로토콜

## 1. 서론

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 스케줄링 기법을 이용한다

본 논문에서는 스케줄링 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 프로토콜 관련 연구를 3절에

서는 제시하는 프로토콜의 분석에 대해 4절에서는 실험 및 결과를 보이며 5절에서 결론을 맺는다

## 2. 관련 연구

### 2. 센서네트워크 프로토콜

지금까지 연구된 USN 프로토콜은 네트워크 구조에 따라 평면 프로토콜과 계층 프로토콜로 분류된다[1]. 평면 프로토콜은 네트워크 전체를 하나의 영역으로 간주하여 모든 센서노드들이 동일한 기능과 역할을 수행한다. 그러므로 네트워크로부터 데이터를 수집하고자 하는 경우 데이터 전송에 참여하는 센서노드 수가 많아 지게 되고 이는 많은 에너지 소비를 유발한다. 계층 프로토콜은 센서노드들을 멤버노드와 헤드노드로 구분하

여 서로 다른 역할을 수행한다. 멤버노드는 관찰대상이 되는 지역에서 감지한 이벤트를 헤드노드로 전송하는 역할을 수행하고, 헤드노드는 사용자의 요청질의를 멤버노드에게 전달하고 멤버노드들이 전송한 데이터를 조합하여 싱크노드로 전송하는 역할을 한다[4]. 계층 프로토콜에서 네트워크는 클러스터라고 하는 기본단위로 분할되는데 각 클러스터는 한 개의 헤드노드와 다수의 멤버노드로 구성된다. 이와 같은 구조를 통해 계층 프로토콜은 평면 프로토콜보다 메시지의 송수신 횟수를 줄일 수 있으므로 에너지 효율적인 장점이 있다.

## 2.1 MAC 프로토콜

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

S-MAC은 고정된 스케줄링 기법을 이용한다. 주기적으로 노드가 Sleep 모드로 들어가게 함으로써 Idle Listening 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 이웃노드들은 두 노드간의 통신이 완료될 때까지 Sleep 모드로 전환되어 Overhearing으로 인한 에너지 낭비 문제를 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 스케줄링 기법을 이용한 프로토콜들의 특징은 송신측이 수신측의 Wake-Up 시간을 알고 있어 Data 전송에 효율적이거나 전체 경쟁 기간 동안 Listening 해야 하기 때문에 비효율적이다[2].

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 과도한 트래픽에는 취약한 면을 보인다[3].

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

## 2.2 LEACH 프로토콜

LEACH(Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy)

라우팅 알고리즘은 클러스터링 기반 라우팅 기법으로 클러스터 헤드가 클러스터의 멤버 노드들로부터 데이터를 수집하여 직접 싱크노드로 전달한다. 이 방식의 특징은 네트워크에 있는 모든 센서노드들에 에너지 소비를 공정하게 분산시키기 위해 에너지 집약적인 기능을 하는 클러스터 헤드를 무작위로 순환시키고 전체적인 통신비용을 줄이기 위해 클러스터 헤드에서 클러스터내의 데이터를 모아 지역적으로 연합하는 것이다[2]. 동작 과정은 아래와 같다.

(1) 각 노드는 라운드 시작 시점마다 아래 식에 따라서 스스로 클러스터 헤드로 선정 될 확률을 구한다.

$$P(t) = \begin{cases} \frac{k}{n - k(r \bmod \frac{n}{k})} & : c(t) = 1 \\ 0 & : c(t) = 0 \end{cases}$$

t : 시간, n : 존재 노드 수, k : 클러스터 수, r : 노드 수

여기서 c(t)는 지시함수로서 r mod(n/k) 라운드 동안 해당 노드가 클러스터 헤드였다면 0으로 아니면 1로 설정된다. 이는 한번이라도 헤드 역할을 했던 노드를 배제함으로써 모든 노드가 동일한 확률로 클러스터 헤드가 되는 것을 보장하기 위함이다.

(2) 클러스터 헤드로 결정된 노드들은 멤버노드들에게 헤드임을 알리는 메시지를 브로드캐스트한다. 이때 네트워크의 모든 노드들이 수신할 수 있는 전송강도로 발신한다.

(3) 모든 헤드로부터 메시지를 수신한 각 노드들은 메시지의 신호강도를 계산하여 자신에게 가장 가까운 헤드를 자신의 클러스터 헤드로 결정한다.

(4) 각 노드는 자신의 헤드에게 클러스터에 참여하겠다는 연결허락 메시지를 발신한다. 마찬가지로 각 노드는 헤드의 네트워크상의 위치를 모르므로 네트워크의 모든 노드들이 수신할 수 있는 전송강도로 발신한다.

(5) 각 헤드들은 일반노드들이 보낸 연결허락 메시지를 수신하여 클러스터를 완성한다.

## 3. 프로토콜 분석

### 3.1 채널 폴링 및 스케줄링 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.

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

### 3.2 Overhearing Avoidance

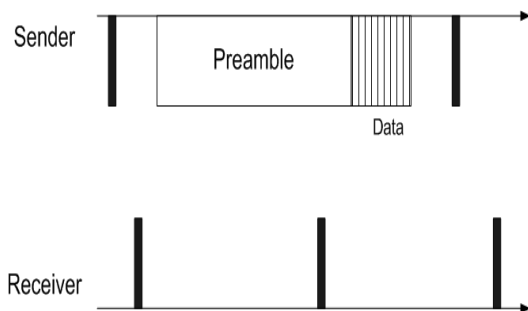
Overhearing 문제는 자신의 것이 아닌 패킷에 대해 불필요한 에너지를 소모하는 것이며 특히 밀집도가 높은 네트워크에서는 소모하는 에너지는 상당량을 차지한다. Overhearing 문제를 해결하기 위해 RTS/CTS 기법이 많이 이용되며 CPwS 프로토콜에서는 RTS/CTS 기법을 사용하는 경우와 사용하지 않는 경우 모두에 대해 Overhearing Avoidance를 제공한다.

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 [5].

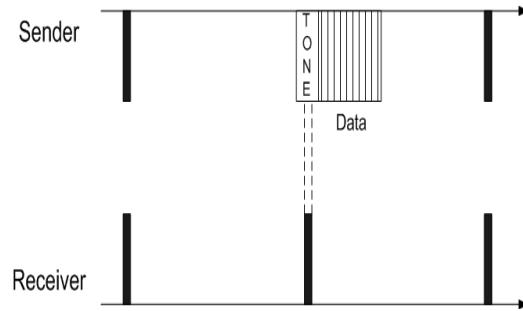
### 3.3 채널 폴링의 동기화

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.

전체 네트워크의 동기화를 위해 SYNC 패킷에 Piggy-Back 기법을 이용하여 스케줄을 포함시킴으로써 효율성을 높였다 실질적인 Data 전송은 전체 네트워크가 동기화 되어 스케줄을 따르고 난 뒤에 이루어진다.



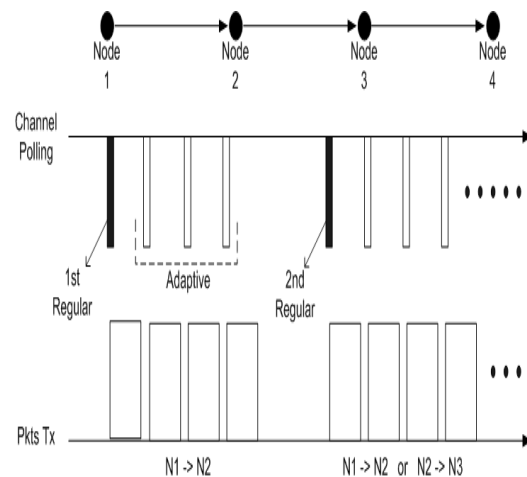
<그림 1> Low Power Listening 기법



<그림 2> Channel Polling with Scheduling 기법

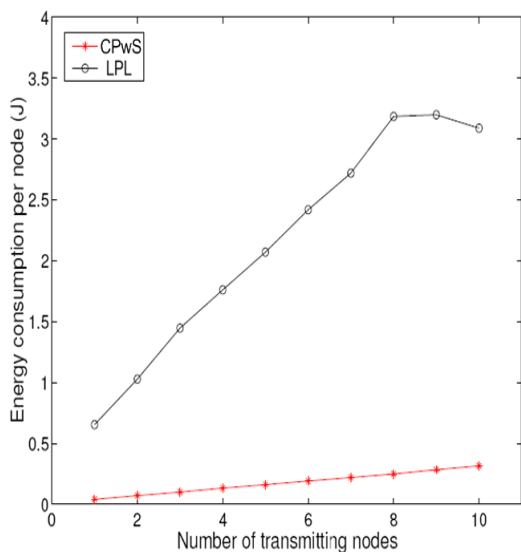
### 3.4 적응형 채널 폴링

CPwS 프로토콜은 과도한 트래픽에 대한 해결 방안으로 적응형 채널 폴링 기법을 사용한다. 전체 네트워크가 공통의 스케줄을 따르며 동기화 되어 있기 때문에 그에 따른 Latency와 Throughput 감소를 야기할 수 있다[7].

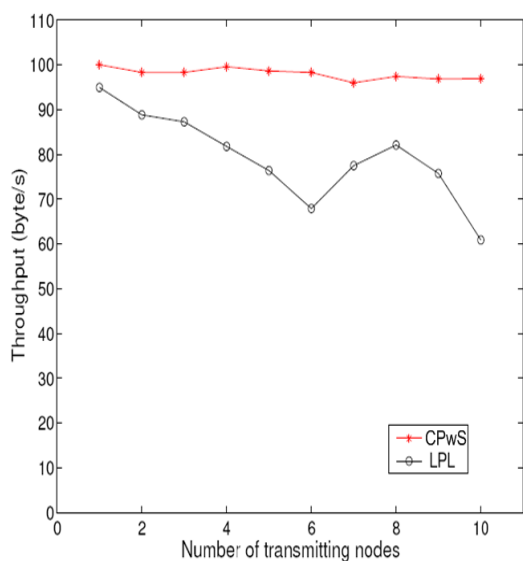


<그림 3> 멀티홉을 위한 적응형 채널 폴링

#### 4. 실험 및 결과



<그림 4> 과다한 트래픽에 대한 에너지 소모



<그림 5> 과다한 트래픽에 대한 Throughput

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[6].

#### 5. 결론 및 향후 연구 계획

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

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

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

#### 참고 문헌

- [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, February.
- [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] R. S. Changn and C. J. Kuo, "An Energy Efficient Routing Mechanism for wireless Sensor Networks," Proceedings of the International Conference on Advanced Information Networking and Applications(AINA06), Vol2, pp.308-216, 2006.
- [6] J. Ibriq and I. Mahgoub, "Cluster-based Routing in wireless Sensor Networks: Issue and Challenge," Parallel and Distributed Processing Symposium, Apr. 2004.
- [7] R. Min, M. Bhardwaj, S. Cho, E. Shin, A. Shina, A. Wang, and A. Chandrakasan, "Low Power Wireless Sensor Network", Proceeding of International Conference on VLSI Design, pp.205-210, 2001.