

# 무선 센서 네트워크에서 S-MAC 기반의 에너지 효율적인 스케줄 일원화 방안

이태석<sup>0</sup> 신기정 박명순

고려대학교 컴퓨터학과 인터넷컴퓨팅연구소실

tsyi@ilab.korea.ac.kr<sup>0</sup>, kjshin@kisti.re.kr, myongsp@ilab.korea.ac.kr

## An Energy Efficient Uni-Scheduling based on S-MAC in Wireless Sensor Network

Tae-seok Lee<sup>0</sup> Ki-jeong Shin Myong-Soon Park  
Internet Computing Lab.

Dept. of Computer Science and Engineering, Korea Univ

### 요 약

S-MAC은 전송 지연을 희생하고 전체 센서 노드의 동작 수명을 연장하기 위한 무선 센서 네트워크에 특화된 MAC(Medium Access Control) 프로토콜이다. IEEE 802.11을 수정하여 만들어진 S-MAC은 주기적인 Listen and Sleep 스케줄방식을 사용하여 무선 센서 네트워크에서 발생하는 에너지 소모를 줄였다. S-MAC을 사용하는 무선 센서 네트워크에서 초기에 수행하는 것이 자신의 동작 주기를 결정하고 알리는 것이다. 이 과정에서 무작위(randomization)로 선택된 시간을 사용하여 스케줄한 결과 다원화된 스케줄이 발생된다. 결국 서로 다른 스케줄 클러스터가 만들어지고 이 클러스터 경계에 있는 노드는 어긋난 Listen시간으로 인해 서로 통신을 하지 못한다. S-MAC에서는 서로 다른 스케줄을 수용하는 경계 노드(border node)를 두어 해결하고 있다. 하지만, 경계 노드는 다른 노드에 비해 에너지 소모가 높고 브로드캐스트 형식의 데이터 전송 효율이 떨어진다. 본 논문에서는 이러한 S-MAC의 다원화된 스케줄 방식의 문제점을 해결하는 H-SYNC(Heartbeat-SYNC) 스케줄 일원화 방안을 제안하고 시뮬레이션을 통해 성능비교 및 평가를 실시한 결과 낮은 에너지 소모를 달성하였다.

### 1. 서 론

최근 무선 센서 네트워크는 순수 연구 목적이나 군사 분야에서의 탐지 혹은 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 상황인지(context aware) 및 모니터링을 위해 많이 연구 되고 있다. 그러나 중앙관리시스템(infrastructure)이 없는 이러한 무선 센서 네트워크나 이동 적용망(mobile ad hoc network)에서 IEEE 802.11은 만족할 만한 성능을 보여주지 못하고 있다. 특히 노드들의 파워 소모가 큰 문제점으로 부각되는 무선 센서 네트워크 분야에 있어서 기존의 표준화된 MAC 프로토콜들은 기대 이하의 성능을 보여주는 것이 사실이다[1].

S-MAC은 기존의 IEEE 802.11에서 지적되었던 무선 센서 네트워크에서의 파워 소모 문제를 획기적으로 개선하였다. S-MAC에서는 기본적으로 Listen and Sleep 방식을 채택해 장시간 동안 노드를 Sleep 상태에 둬으로써 idle 상태에서 불필요하게 파워를 소모하지 않도록 한다. 또한 메시지 전송(message passing)이나 적응형 대기(adaptive listen)와 같은 센서 네트워크 환경에서 파워 소모를 최적화 하는 테크닉을 사용한다.

그러나 이러한 기법이 가지는 장점에도 불구하고 S-

MAC에서는 각 노드의 초기 Listen and Sleep 스케줄 설정 방식에서 실제 적용하기 어려운 문제가 있다.

센서 네트워크 노드는 초기에 랜덤하게 정해진 시간을 기준으로 각자의 Listen and Sleep 스케줄이 만들어지기 때문에 인접된 스케줄 주기가 완전히 어긋날 경우 서로 통신하지 못하는 현상이 발생한다. 그래서 노드사이에 주기적으로 SYNC패킷을 전송하여 스케줄을 알리고 일부 통합하지만, 완전하게 Listen and Sleep 주기를 일원화 하지 못한다. 실제 구현에 있어서도 독립된 스케줄노드를 발견하기 위해 2분마다 10초동안 모든 노드들이 Listen 상태로 동작하도록 되어있다.

또한 노드가 대량으로 존재할 경우 기존의 S-MAC에서 적용한 방식을 사용하면 독자적인 스케줄을 가지는 노드가 넓고 다양하게 분포될 것이고, 이로 인해 이종의 스케줄을 중간에서 매개하는 경계 노드(border node)를 대량으로 양산하게 됨에 따라 특정 노드의 파워 소모가 심해져 결국 이종의 스케줄을 채택하는 두 네트워크 클러스터 사이에 통신이 초기에 두절된다[1][4].

이러한 문제점을 해결하기 위한 단일-스케줄로 단순화하고 초기 센서네트워크의 동작 제어를 명확하기 위한 간

단하면서도 확장성 있는 알고리즘이 요구된다.

따라서 본 논문에서는 경계 노드의 다중 스케줄을 대체할 수 있는 일원화된 동기신호를 사용하는 방식을 제시하고 신뢰성 및 성능을 시뮬레이션으로 검증하였다.

2. 다원화 스케줄 방식의 문제점 분석

S-MAC은 다원화된 스케줄 방식을 사용한다. 다원화된 스케줄이 만들어지는 이유는 각 노드에서 산발적으로 스케줄이 만들어지기 때문이다. 각 노드에서 자신의 스케줄을 결정하는 절차는 우선 일정한 시간동안 대기한 후, SYNC 패킷을 받지 못하면 자신의 스케줄을 설정하고 다른 이웃 노드에게 SYNC 패킷을 브로드캐스트한다. 가능한 많은 노드들이 SYNC 패킷을 받아서 동일한 주기의 Listen and Sleep 을 하는 정책을 사용하지만 하나의 스케줄로 전체 노드가 단일화 되지 않는다. 그래서 독립적인 스케줄을 가지는 독립 스케줄 클러스터가 만들어진다. 또 이종의 스케줄 사이에 있는 노드는 서로 다른 주기의 SYNC 패킷을 받게 되고 경계 노드로 동작하게 된다 [1][4].

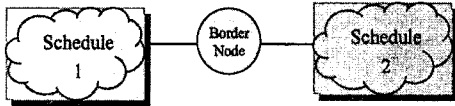


Fig-1 다른 스케줄을 채택하는 클러스터와 경계노드

Fig-1에서와 같이 두 스케줄을 모두 채택하는 경계 노드의 시간에 따른 Listen 타임과 Sleep 타임 구간의 배치는 다음과 같다.

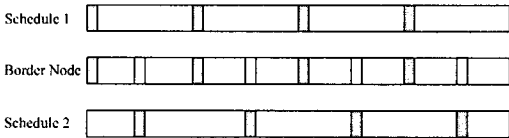


Fig-2 클러스터와 경계 노드에서의 스케줄

Fig-2에서와 같이 경계 노드는 두 종류의 스케줄을 모두 채용하므로 Listen 구간이 다른 노드들에 비해 2배로 늘어나게 된다. 이것은 곧 경계 노드의 파워 소모가 일반 노드의 2배에 도달한다는 의미가 된다. 만일 이와 같은 극심한 파워 소모로 경계 노드가 죽게 된다면, 이종의 스케줄 사이의 통신은 더 이상 불가능하게 될 것이다. 그리고 경계 노드가 채택하고 있는 이종 스케줄의 수에 비례하여 파워 소모가 될 것이므로 결국 네트워크 사이의 연결 실패(link connectivity failure) 문제가 발생한다.

3. H-SYNC 방식의 스케줄 일원화 방안

S-MAC스케줄링 방식은 각 노드에서 지역적으로 다원화된 스케줄이 생성되는 것이 문제점이기 때문에 일원화된 스케줄 방식을 사용하여 상이한 스케줄 주기로 인해 발생하는 경계노드 생성, 고립된 스케줄 클러스터 생성 문제의 해결이 가능하다.

일원화된 스케줄을 적용하기 위해 노드는 일정한 Listen and Sleep 주기로 단일화된 동기신호(Heartbeat-SYNC)에 따라 모든 노드가 동작하는 것과 단일화된 동기신호(Heartbeat-SYNC)는 Sink 노드에서 브로드캐스트를 사용하는 것과 Sink 노드는 다른 노드들 보다 많은 에너지를 가지고 있는 것을 가정하고 있다.

H-SYNC로 일원화된 스케줄에 따르는 것은 우리 몸의 심장이 일정하게 박동하는 것과 같다. 무선 센서 네트워크는 각 센서 노드에서 센싱된 정보를 수집하여 Sink 노드로 전송하는 특성에 착안하여 Sink 노드의 요청이 없는 경우 센서들은 동작할 필요가 없다. 그래서 Sink 노드에서 H-SYNC 신호를 전송하는 방식을 제안하였다[2][3].

이것을 상태 다이어그램으로 도식화하면 다음과 같다.

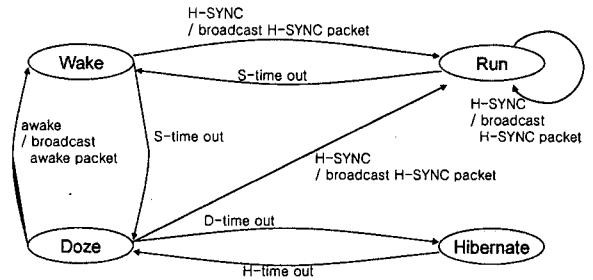


Fig-3 State Transitions

Fig-3과 같이 센서 노드는 4가지 동작모드를 가지고 Awake 패킷과 H-SYNC 패킷을 통해 센서 노드의 동작모드가 전환되며, 3가지 타이머를 사용하여 동작한다.

- Hiberate 모드는 초기 노드상태로서 Sleep 모드로 동작하고 에너지소모를 최대한 줄인다. H-timer에 따라 주기적으로 Doze 모드로 전환된다.
- Doze 모드는 Awake 패킷과 H-SYNC 패킷을 감지하기 위한 모드로 D-time 동안 무선 신호를 Listen 한다.
- Wake 모드는 이웃 노드에게 Awake 패킷을 브로드캐스트하기 위한 모드로서 빠르게 이웃노드를 Wake 모드로 전환되도록 유도한다. H-time 주기로 D-time 동안 Awake 패킷을 주기적으로 전송한다.
- Run 모드는 S-MAC과 동일하게 주기적인 Listen and Sleep 방식으로 동작하며, H-SYNC 패킷을 자신의 타이머를 조정하고 다시 이웃 노드로 브로드캐스트 한다.
- Awake 패킷은 Doze 모드에서 Wake 모드로 전환하도록 하는 메시지로써 이웃노드를 Wake 모드로 빠르게 전환하도록 유도하는 신호 패킷이다.
- H-SYNC 패킷은 Sink 노드로 부터 전송된 전체 센서 노드에게 브로드캐스트하는 신호로서 전체노드 이 신호에 따라 타이머가 재 설정되며 노드의 Listen and Sleep 시간이 동기화된다.
- H-timer 는 Hiberate 모드에서 주기적으로 Doze 모드로 전환시키기 위한 시간 설정이다.

- D-timer는 Doze 모드에서 Awake 패킷이나 H-SYNC 패킷을 받기까지 대기하는 시간 설정이다.
- S-timer는 다음 H-SYNC 패킷을 받을 때까지 기다리는 시간 설정이다.

각 노드는 초기에 Hibernate 모드로 시작하고 주기적으로 Doze 모드로 전환되며 Awake 패킷이나 H-SYNC 패킷을 수신하면 Wake 모드 또는 Run 모드로 전환된다. Wake 모드는 주변에 있는 Doze 상태의 이웃노드를 Wake 모드로 전환하여 모든 센서 노드들이 동작 상태로 빠르게 바뀌도록 한다. Wake 와 Doze 모드는 Listen 상태에서 데이터의 수신이 가능하지만 송신을 하기 위해서는 H-SYNC 패킷을 받고 Run 모드로 전환되어야 가능하다. Hibernate 모드는 Sleep 상태이기 때문에 데이터 수신이 되지 않을 뿐 아니라 데이터송신을 하지 못한다. Run 모드에서는 H-SYNC 패킷을 받아 타이머 동기화가 되어있는 상태이기 때문에 정해진 Listen and Sleep 주기에 따라 데이터를 송수신한다.

상기 제안한 방식으로 전체 센서 네트워크에서 다원화된 스케줄을 사용하지 않고 일원화된 H-SYNC를 통한 동기화를 통해 기존 S-MAC에서 발생하는 경계노드를 제거하고 센서 네트워크의 장시간 연결성을 보장 받는다.

4. 시뮬레이션

NS-2에서 적응형 대기(Adaptive Listening) 기능을 적용하지 않은 상태에서 모든 노드는 움직이지 않는 것으로 시뮬레이션 환경을 설정하였다.

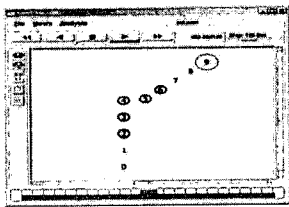


Fig-4 이중 스케줄이 2개인 시나리오

이중 스케줄이 2개인 시나리오에서 실험하였다. 노드가 10개일 때, 스케줄 1을 노드0~노드4노드가 채택하고 스케줄 2를 노드5~노드9번 노드가 채택하고 있다. 경계노드인 노드4와 노드5가 서로의 스케줄을 채용하고 있다.

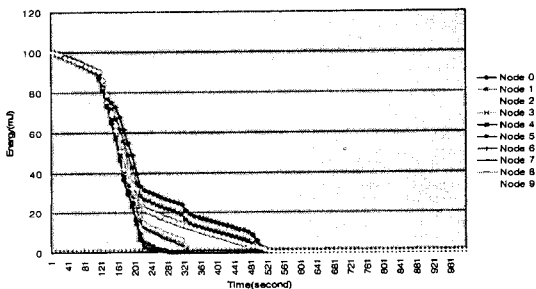


Fig-5 시나리오1에서 싱크가 어긋난 상황 일 때

노드4와 노드5가 이웃노드 탐색과정을 통해 이중의 스케줄을 채택해 경계노드가 된 경우, 급속하게 에너지가 감소하는 것을 볼 수가 있다. 약 281초 근처에서 경계 노드가 죽어 두 이중 스케줄 네트워크 간에 연결이 끊어짐을 알 수 있다.

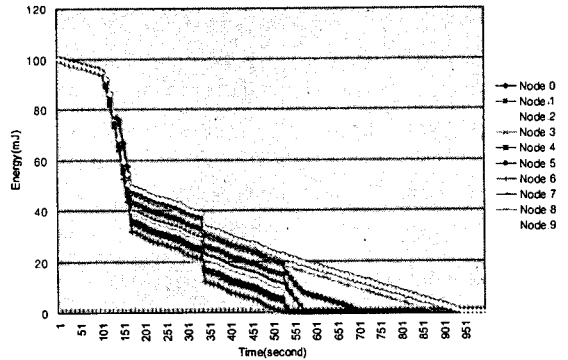


Fig-6 시나리오1에서 H-SYNC를 적용하였을 때

노드에 H-SYNC를 적용시킬 경우 보는 바와 같이 일원화된 스케줄로 동작하여 네트워크 수명이 약 481초까지 연장됨을 볼 수 있다. 이것은 H-SYNC를 적용시키지 않을 경우보다 약 1.71배 증가한 수치이다.

5. 결론

S-MAC의 Listen and Sleep 방식은 각 노드들 사이의 동기화(Synchronization)문제를 발생시킨다. 즉 네트워크 노드들 사이의 싱크가 맞지 않아 서로 통신을 하지 못하는 상황이 생길 수 있는 것이다. 이것을 S-MAC에서는 서로 다른 이중의 스케줄링 정책을 쓰는 클러스터(cluster)에서 경계 노드들이 서로 다른 스케줄을 모두 수용함으로써 이 문제를 해결하고 있다. 그러나 이것은 경계 노드의 파워 소모량을 크게 늘려 파워가 빨리 소진되게 되어 결국 양 클러스터(cluster)간의 통신이 불가능하게 된다.

경계 노드를 제거하고 스케줄을 일원화하는 방식으로 H-SYNC방식을 제시하였고, 시뮬레이션 상으로는 약 171%까지 전체 네트워크 수명을 연장하는 효과가 있었다.

트래픽이 높게 발생하는 상황에 대한 에너지 상태 분석, 노드의 움직임이 존재할 경우, 적응형 대기(Adaptive Listening) 메커니즘이 있을 경우에 대한 시뮬레이션도 더 필요하다고 생각한다.

Reference

- [1] Wei Ye and John Heidemann, "Medium Access Control in Wireless Sensor Networks," USC/ISI Technical Report, Oct. 2003.
- [2] Cedric Florens, Robert McElice, "Scheduling Algorithms for Wireless Ad Hoc Sensor Networks," IEEE GLOBECOM 2002
- [3] Kay Romer, Eth Zurich "Time Synchronization in Ad Hoc Networks," Mobihoc, 2001
- [4] Wei Ye, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," IEEE/ACM Transactions on Networking, VOL. 12, No. 3, June 2004, pp. 493-506.