

스마트 그리드를 위한 NS-3 기반 IEEE 802.15.4 시뮬레이션 시험 연구

한지나*, 고영배**, 이상재***
*아주대학교 컴퓨터공학과
**아주대학교 소프트웨어융합학과
***ETRI WPAN Application Research Team
e-mail : *hangn0808@ajou.ac.kr,
**youngko@ajou.ac.kr
***leestrike@etri.re.kr

Ns-3 based Simulation Study of IEEE 802.15.4 for Smart Grids

Jina Han*, Young-Bae Ko**, Sangjae Lee***
*Dept. of Computer Engineering, Ajou University
**Dept. of Software Convergence Technology, Ajou University
***WPAN Application Research Team, ETRI

요 약

본 논문에서는 ns-3 기반의 IEEE 802.15.4 모의 성능 평가에 대해 기술한다. IT 기술의 발달과 함께 차세대 전력망인 ‘스마트 그리드’가 대두되고 있다. 이에 따라 무선 센서들 간의 통신을 위해 IEEE 802.15.4 표준 기술이 채택되고 있다. IEEE 802.15.4 표준에는 beacon-enabled mode와 non beacon-enabled mode 두 가지 채널 접근 기법이 존재하지만 특정 기법의 용도와 목적에 대해서는 구체적으로 명시되지 않는다. 따라서 본 논문에서는 스마트 그리드 환경에서 IEEE 802.15.4의 두 채널 접근 기법의 성능을 시험하고 beacon-enabled mode와 non beacon-enabled mode 간의 성능 분석을 통해 beacon-enabled mode의 효용성에 대하여 연구한다.

1. 서론

IT 기술의 발달과 에너지 및 환경문제에 대응하여 기존의 전력망에 IT 기술을 접목한 ‘스마트 그리드’가 차세대 전력망으로 각광받고 있다. 스마트 그리드 환경에서는 다수의 무선 기기가 미터링 데이터를 송수신하기 때문에 배터리 소비 문제와 기기의 단가 문제 등을 고려해야 한다. IEEE 802.15.4 표준은 저속, 저전력, 저가의 칩셋을 특징으로 근거리 무선 통신에 대한 기술을 명세하고 있다. 무선 센서 네트워크에서는 IEEE 802.15.4 표준 기술의 특징들이 무선 센서 기기의 요구사항과 적합하여 해당 기술을 많이 적용하고 있다. 스마트 그리드 또한 다수의 무선 센서 기기들이 서로 정보를 공유하기 위해 통신을 하므로 IEEE 802.15.4 표준 기술에 적합한 환경이다. 해당 표준 기술에는 beacon-enabled mode, non beacon-enabled mode로 두 가지의 채널 접근 기법이 기술되어있다. 표준에서는 두 채널 접근 기법의 특징에 대해서만 설명할 뿐 한가지 채널 접근 기법을 선택하는 기준에 대해서는 구체적으로 언급하지 않고 있다. IEEE 802.15.4 기술을 적용하기에 앞서 두 채널 접근 기법이 효과적으로 동작할 수 있는 환경에 대해서 분석 할 필요가 있다.

본 논문은 다양한 스마트 그리드 어플리케이션에 따라 두 채널 접근 기법의 성능을 평가하기 위해 NS-3 시뮬레이터 상에 beacon-enabled mode와 non beacon-enabled mode를 구현 후 성능을 평가한다. 또한 스마트 그리드 환경에서 beacon-enabled mode의 적용 적절성에 관하여 연구를 진행한다.

2. 관련 연구

IEEE 802.15.4의 두 가지 채널 접근 기법은 beacon-enabled mode와 non beacon-enabled mode이다. Beacon-enabled mode에서는 slotted CSMA/CA를 사용하고 non beacon-enabled mode에서는 unslotted CSMA/CA를 사용한다. 두 가지 채널 접근 기법의 가장 큰 차이점은 팬 코디네이터가 보내는 beacon을 통한 네트워크 동기화의 유무이다.

Beacon-enabled mode에서는 팬 코디네이터의 beacon을 수신한 노드들이 beacon 정보를 통해 팬 코디네이터와 동기를 맞춘다. 그 후, 동기화가 맞게

<표 1> 스마트 그리드 트래픽 타입 목록

트래픽 타입	패킷크기	발생주기
SCADA	64 Bytes	1 초
Power Quality Data	35 Bytes	1 초
Office Substation	64 Bytes	10 초
AMI	5 Bytes	18 초

<표 2> 시뮬레이션 환경 설정

구분	내용
시뮬레이션 넓이	80 m × 80 m
노드 수	101 개 (1 개 PAN 코디네이터 포함)
Topology	Star topology
시뮬레이션 횟수	각 트래픽 당 10 번
시뮬레이션 시간	300 초

되면 슬롯을 점유하기 위해 각 슬롯 시작시점에서 slotted CSMA/CA 를 수행한다.

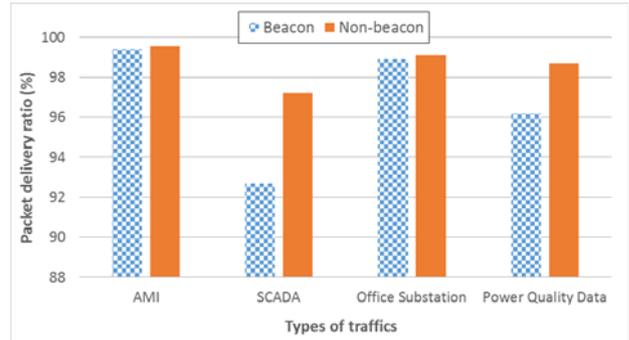
Non beacon-enabled mode 는 팬 코디네이터와의 동기화를 필요로 하지 않는다. Unslotted CSMA/CA 로 동작하기 때문에 CSMA/CA 를 다음 슬롯의 시작시점까지 기다리지 않고 바로 수행하게 된다.

IEEE 802.15.4 표준에 기술된 두 채널 접근 기법의 충돌에 대한 분석을 진행한 선행 연구[1] 가 있다. 선행 연구에서는 코디네이터 하나와 연결되는 기기 수를 1~5 개로 증가시키며 data rate 와 delivery ratio 를 metric 으로 두 채널 접근 기법에서의 성능을 분석하였다. 결과로는 beacon-enabled mode 에서의 data rate 가 non beacon-enabled mode 에서보다 낮게 나옴을 확인할 수 있었다. 그 이유는 beacon-enabled mode 에서 slotted CSMA/CA 를 수행하기 때문에 데이터 전송에 있어서 non beacon-enabled mode 보다 지연이 길기 때문이다. 그러나, slotted CSMA/CA 로 인해 상호간의 데이터 전송 충돌이 생길 확률이 감소하기 때문에 delivery ratio 측면에서는 beacon-enabled mode 가 좋은 성능을 보였다.

선행 연구에서는 IEEE 802.15.4 의 두 채널 접근 기법에 대한 성능 비교를 보여주었으나 하나의 코디네이터에 연결된 디바이스의 수가 최대 5 으로 비교적 적다. 또한 IEEE 802.15.4 를 스마트 그리드 환경에 적용할 때, [1]에서 50kbps, 100kbps, 150kbps 트래픽은 적합하지 않다. 스마트 그리드 어플리케이션에서 발생하는 트래픽은 표 1 과 같다[2][3]. 이러한 이유로 본 논문은 스마트 그리드 환경을 위한 IEEE 802.15.4 의 두 채널 접근 기법의 성능 분석을 하고자 한다.

3. NS-3 기반의 IEEE 802.15.4 성능 평가

표 1 의 트래픽 종류에 따라 시뮬레이션을 동작하고 각 채널 접근 기법의 성능을 확인한다. 시뮬레이



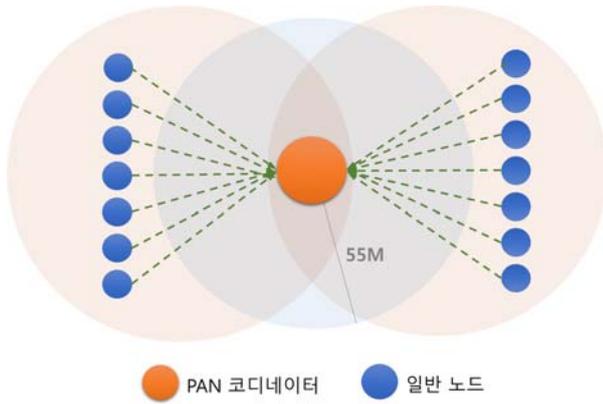
(그림 1) 두 채널 접근 기법의 패킷 전송률 비교

션 환경은 표 2 와 같다. 시뮬레이션 시간은 300 초이며 하나의 코디네이터에 연결된 노드의 수는 100 개이다. 모든 노드들은 1 홉 거리에 있으며 코디네이터에 연결된 각 노드들은 표 1 의 트래픽 발생 주기에 따라 데이터를 코디네이터로 전송한다.

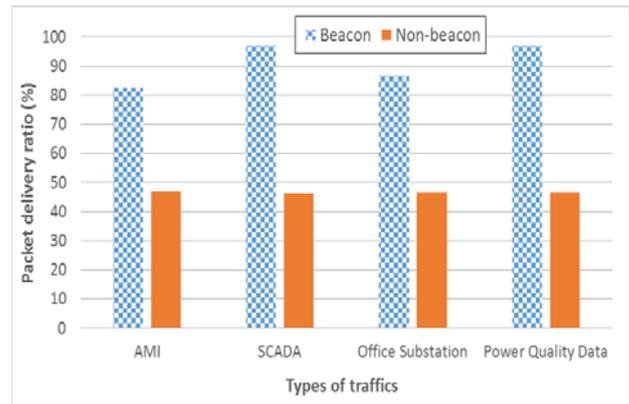
그림 1 의 결과를 보면 두 채널 접근 기법의 PDR 은 유사하거나 non beacon-enabled mode 가 높게 나옴을 확인할 수 있다. 표 1 과 같은 스마트 그리드 트래픽의 발생 주기는 1 초 ~ 18 초로 짧은 편이 아니고 크기도 스트리밍 트래픽처럼 크지 않아 기기들 간의 데이터 전송에 있어 충돌 확률이 적다고 볼 수 있다. 그러므로 두 채널 접근 기법 모두 90% 이상의 PDR 결과를 보인다. 또한 non beacon-enabled mode 에서는 매 슬롯 시작시간에 맞춰 데이터를 보내지 않고 전송할 데이터가 생기면 바로 CSMA/CA 수행 후 전송하기 때문에 delay 가 적다. 결과적으로 표 1 의 스마트 그리드 트래픽에 대해서는 non beacon-enabled mode 의 사용이 효과적임을 확인할 수 있다. 특별한 제약사항이나 가정이 없으면 non beacon-enabled mode 의 delay 가 적은 것은 사실이다. 그러나 이 결과를 바탕으로 모든 스마트 그리드 환경에서 beacon enabled mode 가 비효과적이라는 결론을 내릴 수는 없다.

4. Beacon-enabled mode 의 CFP 통신

스마트 그리드 환경에서 다수의 센서 노드들은 대부분 넓은 범위에 랜덤한 위치로 놓이기 때문에 무선 환경에서의 hidden terminal problem 이 중요한 문제점으로 작용할 것이다. 두 센서 노드가 서로의 sensing 범위에 도달하지 않아 동시에 데이터를 보내게 되면 충돌이 나서 PAN 코디네이터가 어떤 데이터도 수신할 수 없는 상황이 생기게 된다. 이런 문제점이 실제로 성능에 영향을 미치는지 확인하기 위해 시뮬레이션을 통한 추가 성능 평가를 진행하였다. Hidden terminal problem 을 만들기 위해 노드의 위치를 그림 2 처럼 배치하였다. 각 양쪽 7 개 기기의 sensing 범위는 중앙의 PAN 코디네이터를 포함하지만 반대 방향의 7 개 노드와는 약 110m 이상 떨어져 있어 sensing 범위에 포함되지 않는다. 그래서 양 방향의 7 개 노드는 반대 방향 노드의 존재를 알지 못해 동시에 PAN 코디네이터로 데이터 전송을 하고 충돌이 날 확률이 매우 크다. 이러한 환경에서 IEEE 802.15.4 두 채널 접근 기법의 성능을 비교하였는데



(그림 2) Hidden terminal problem 발생하도록 노드 배치



(그림 3) Hidden terminal problem 환경에서 두 채널 접근 기법의 패킷 전송률 비교

beacon-enabled mode에서는 CFP (Contention free period) 통신을 하였다. CFP 통신은 IEEE 802.15.4 슈퍼프레임에서 경쟁 없이 자신의 전용 슬롯 GTS(Guaranteed time slot)을 할당 받아 CSMA/CA 없이 곧바로 데이터 전송이 가능하다. CFP 통신을 가능하게 하기 위해서는 우선 슈퍼프레임이 존재해야 하므로 beacon-enabled mode는 필수적이다. PAN 코디네이터로부터 GTS를 할당 받기 위해 추가적인 컨트롤 프레임 송수신의 오버헤드가 데이터 프레임을 전송하는데 있어 영향을 줄 수 있지만 non beacon-enabled mode에서 해결할 수 없는 hidden terminal problem을 완화시킬 수 있다는 장점이 있다. 또한 beacon-enabled mode는 beacon을 통한 PAN 코디네이터와의 동기화로 인해 PAN 코디네이터의 생존 유무를 알 수 있어 신뢰성 있는 통신이 가능하다.

그림 3을 보면 4가지 스마트 그리드 트래픽에 대해 beacon-enabled mode를 적용했을 때의 PDR이 non beacon-enabled mode보다 월등히 높게 나왔다. Hidden terminal problem으로 인해 non beacon-enabled mode를 적용하면 동시에 데이터를 전송하여 충돌이 많이 난다는 것을 알 수 있다. 그러나 beacon-enabled mode를 적용하고 CFP 통신을 한다면 자신의 전용 슬롯을 사용하여 데이터를 전송하기 때문에 다른 기기의 존재를 알지 못해도 동시에 데이터를 전송해 충돌이 일어날 확률이 없다. 한가지 고려해야 할 사항은 IEEE 802.15.4 표준에 GTS의 최대 개수는 7개로 제한되어 있어 많은 수의 노드가 존재할 경우에는 CFP 스케줄링을 효율적으로 해야 한다.

본 논문의 결과를 고려했을 때, 노드가 넓은 범위에 완전히 랜덤하게 놓일 때는, hidden terminal problem 영향으로 인해 beacon-enabled mode가 효과적이라고 볼 수 있다. 그런데 노드가 소규모 범위에 고정된 위치로 놓인다면 스마트 그리드 트래픽의 크기가 작고 발생 주기가 비교적 길다는 특징을 고려하여 non beacon-enabled mode가 빠르고 높은 데이터 전송률을 지원한다는 점에서 효과적이다.

5. 결론

본 논문은 스마트 그리드 환경에서 IEEE 802.15.4

의 beacon-enabled mode와 non beacon-enabled mode의 성능을 시험하고 beacon-enabled mode가 효율적으로 동작할 수 있는 환경에 대해 연구하였다. NS-3 기반의 시뮬레이션을 통해 데이터 크기가 100byte 미만이고 발생 주기가 1초 미만인 스마트 그리드 트래픽을 전송하는데 non beacon-enabled mode가 효과적인 결과를 보였다. 하지만 스마트 그리드 환경에서의 노드 배치, 무선 통신의 문제점 등을 고려했을 때, beacon-enabled mode가 보다 효과적으로 동작할 수 있음을 주장한다. 향후 연구로는 실제로 테스트 베드에 구현하여 실제로 hidden terminal problem이 발생하는 환경에서 beacon-enabled mode가 효과적인지 입증하고자 한다.

Acknowledgment

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. [No. 20131010501720]

참고문헌

- [1] 이유진, 남홍우, 안순신. "IEEE 802.15.4 무선 네트워크의 non-beacon 모드와 beacon 모드에서의 collision에 관한 성능 연구" 한국정보과학회 vol.33, no.2, 2006
- [2] 정지선, 김재범, 고영배, 이사엽. "스마트 그리드를 위한 IEEE 802.11s 기반 무선 메쉬 네트워크" 한국통신학회 vol.35, no.9, pp.1390-1398, 2010
- [3] Kenneth Hopkinson, Gregory Roberts, Xiaoru Wang, James Thorp. "Quality-of-Service Considerations in Utility Communication Networks" vol.24, no.3, 2009