

MANET 연구를 위한 PSM 시뮬레이션 모듈 구현

서명환^o 윤현주 마중수
한국정보통신대학원대학교
(mhseo^o, juyoon, jsma)@icu.ac.kr

PSM Simulation Module Implementation for MANET Research

Myung-Hwan Seo^o Hyeon-Ju Yoon Joong-Soo Ma
School of Engineering, information and communications University

요 약

배터리를 주 전력원으로 사용하는 MANET(Mobile Ad hoc NETWORK)에서 전력 소비를 줄이는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있지만, 이의 실험을 지원하는 시뮬레이션 도구를 찾아보기는 어렵다. 본 논문에서는 IEEE 802.11의 DCF-PSM 시뮬레이션 환경을 제공하기 위해 ns-2에 PSM 모듈을 구현하였고, 특히 전력 소비와 관련된 결과 자료를 쉽게 생성하기 위해 여러 가지 편의성을 제공하는 에너지 모델을 제안하였다. 이러한 모듈의 개발로 PSM 환경에서의 상위 계층 프로토콜의 성능 평가나 PSM에 적합한 새로운 상위 계층 프로토콜의 개발이 가능해졌고, PSM을 개선하는 알고리즘의 구현과 그의 성능 평가도 훨씬 쉽게 이루어질 수 있게 되었다.

1. 서 론

MANET(Mobile Ad-hoc NETWORK)은 별도의 인프라 기반 망 지원 없이 사용자들이 보유한 이동정보통신기들이 서로 협력하여 즉석에서 형성하는 망이다. MANET을 구성하는 무선 노드들은 배터리를 전원으로 사용하는 경우가 많은데, 배터리는 한정된 양의 에너지만 공급하기 때문에 에너지를 절약하기 위한 연구가 중요하게 다루어지고 있다. 링크 계층의 전력 절감 표준으로는 IEEE 802.11의 PSM (Power Saving Mechanism) [1]이 제안되어 있으며, 다른 계층에서의 전력 절감 기법 연구도 활발하다.

PSM의 기본 개념은 패킷을 전송하거나 수신하지 않을 때는 네트워크 인터페이스를 오프시켜 전력이 낭비되는 것을 막는 것이다. 링크 계층에서 PSM을 사용하면 무선 노드의 수명뿐만 아니라 MANET 전체의 수명 연장에 기여하지만, 라우팅, TCP, UDP와 같은 상위 계층 프로토콜의 성능에 영향을 미치게 된다. 따라서, PSM 자체의 개발뿐만 아니라 계층간 성능 평가에 대한 연구가 필요하다.

MANET에서 새로운 알고리즘을 개발하여 성능을 평가하는 방법으로 시뮬레이션과 실험이 있다. 실험은 데이터를 수집하는 일이 어렵고 노드가 많은 경우 테스트가 쉽지 않다는 단점 때문에 시뮬레이션이 많이 사용된다. 많은 네트워크 시뮬레이터가 개발되어 사용되고 있지만, 현재 PSM을 지원하는 시뮬레이터가 없는 실정이다.

본 논문에서 우리는 무선랜 표준으로 제안된 IEEE 802.11 DCF-PSM을 지원하는 시뮬레이터를 개발했다. 또한 여러 가지 편의성을 제공하는 무선 인터페이스 에너지 모델을 제안해 다양한 환경에서 보다 정확한 시뮬레이션이 가능하도록 하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 IEEE 802.11 DCF의 PSM과 관련 연구들에 대해 살펴 보고, 3장에서는 ns-2의 DCF 모듈을 분석한다. 4장에서는 우리가 개발한 DCF-PSM 모듈에 대해 설명하고, 5장에서 결론과 앞으로의 연구 방향에 대해 설명하였다.

2. 관련 연구

IEEE 802.11 표준에서 MANET을 지원하는 MAC 프로토콜은 DCF(Distributed Coordination Function)이며, 전력 절감을 위한 PSM 표준도 지정하고 있다. PSM으로 동작하는 노드들은 awake나 doze중 하나의 상태에 있게 된다. Awake 상태에 있는 노드들은 전송, 수신, idle로 동작하며 각기 다른 양의 에너지를 소비한다. Doze 상태에 있는 노드들은 통신을 하지 않으며 가장 적은 에너지를 소비한다.

DCF에서 모든 노드는 BI(beacon interval)마다 beacon을 주고받으며 서로를 동기화시키고, 전송할 패킷이 있으면 RTS, CTS를 사용하여 채널을 예약한 후 패킷을 전송한다. DCF-PSM에서는 노드가 awake나 doze중 어느 상태에 있을지를 결정하기 위해 ATIM frame을 보낸다. ATIM frame은 ATIM window 동안에 보내지며, ATIM window는 BI와 같이 시작되어, BI보다 먼저 끝난다. ATIM window가 끝나면 ATIM frame을 보낸 노드와 받은 노드는 남은 BI동안 awake 상태에서 RTS, CTS를 사용하여 패킷을 전송하며, 나머지 노드들은 doze 상태에 있다.

표준 PSM과 별도로 IEEE 802.11 DCF-PSM의 성능을 개선하는 것과, 새로운 PSM을 개발하는 연구들이 발표된 바 있다. MIT의 Span 프로젝트[2]에서는 multi-hop MANET 환경에서의 전력 절감 기법을 제안했으며, Jung[3]은 무선 네트워크 트래픽 상황에 맞게 ATIM window 크기를 동적으로 조절할 수 있는 DPSM 알고리

증을 제안하였다. 두 연구 모두 IEEE 802.11 PSM과 성능을 비교하기 위해 ns-2 시뮬레이터 내에 802.11 PSM을 구현했으나, Span은 1997년에 공개된 ns-2.1b1에서 개발되었기 때문에 상당 부분이 바뀐 현재 ns-2.1b9에서 사용할 수 없고, DPSM은 시뮬레이션 모델상의 결합으로 현재 개선작업[4] 중이며 소스는 공개된 바가 없다.

한편, Feency[5]는 DCF 에너지 모델을 제안하여 대표적인 MANET 라우팅 프로토콜들의 에너지 소비를 비교했다. 그러나, PSM에 대한 에너지 모델을 제안하고 PSM에서 동작하는 라우팅 프로토콜을 분석하는 연구는 아직까지 이루어지지 않고 있다.

3. Ns-2 IEEE 802.11 DCF Module

Ns-2[6], OPNET[7], QualNet[8], GloMoSim[9] 시뮬레이터가 MAC 프로토콜로 IEEE 802.11 DCF를 지원하지만 아직까지 PSM은 지원하지 않고 있다. 우리는 여러 시뮬레이터 중 가장 많이 사용되며 코드 수정이 자유로운 ns-2를 사용하기로 했다.

Ns-2는 네트워크와 전송 계층 프로토콜의 동작을 시뮬레이션 하기 위해 개발되었으며, CMU Monarch Project[10]에 의해 무선 네트워크를 시뮬레이션 할 수 있도록 확장되었다. Multi-hop MANET 시뮬레이션을 위해서 물리계층에서 무선 전파 모델, 네트워크 인터페이스를 제공하며, MAC 프로토콜로 IEEE 802.11 DCF 표준을 지원하고, AODV와 DSR과 같은 MANET 라우팅 알고리즘을 제공한다.

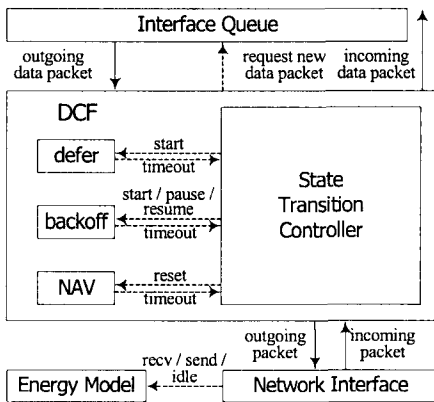


그림 3.1 IEEE 802.11 DCF Block diagram

그림 3.1은 ns-2에서 제공하는 DCF 모듈을 분석한 결과다. 그림에서 실선은 데이터의 흐름을, 점선은 이벤트의 전달을 나타낸다.

DCF 모듈은 크게 STC(State Transition Controller)와 타이머로 나눌 수 있다. STC는 defer 타이머, backoff 타이머와 NAV 타이머를 사용하여 하나의 데이터 패킷을 보내기 위해 RTS, CTS, data, ACK를 교환하는 과정을 제어한다. 인터페이스 큐로부터 DCF에 전달된 데이터 패킷은 네트워크 인터페이스를 통해 이웃 노드로 전송된다.

Ns-2는 기본적인 기능을 가진 에너지 모델을 제공하는데, 전송, 수신, Idle 상태에서 에너지 소비를 실시간으로 계산하며, 로그파일에 노드의 동작 상태를 기록할 때 현재 남은 에너지도 함께 기록한다. 사용자는 시뮬레이션 중에 노드의 수명이 다한 것을 체크할 수 있고, 시뮬레이션 후에 로그파일을 통해 노드의 동작이 일어나는 시간에 남아있던 에너지를 볼 수 있다.

4. PSM 시뮬레이션 모듈

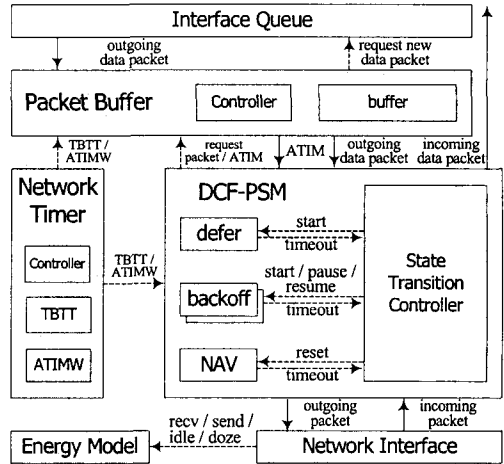


그림 4.1 PSM 시뮬레이션 모듈 디자인

우리는 PSM 시뮬레이션 모듈을 만들기 위해 ns-2의 DCF, 에너지 모델, 네트워크 인터페이스를 수정했다. 그림 4.1은 우리가 구현한 PSM 시뮬레이션 모듈의 구조를 나타내는 그림이다.

4.1 DCF-PSM

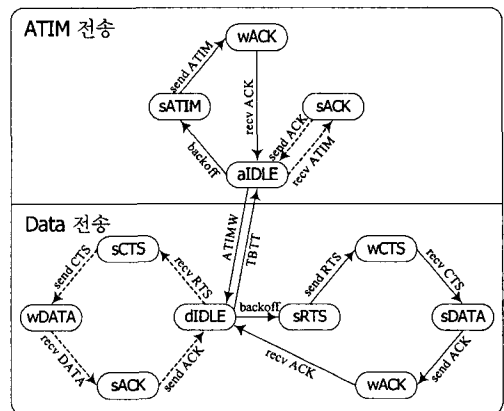


그림 4.2 DCF-PSM State Transition Diagram

DCF-PSM은 defer 타이머, backoff 타이머, NAV 타이머, STC로 구성된다. Defer 타이머와 NAV 타이머는 DCF와 동일하게 사용되며, backoff 타이머는 ATIM 프레임과 데

이더 프레임을 분리해서 관리하기 위해 두 개가 사용된다.

STC는 그림 4.2와 같이 총 12개 MAC 상태 변화를 관리한다. 그림에서 실선은 패킷을 전송할 때, 점선은 패킷을 수신할 때 MAC의 상태가 변하는 과정을 나타낸다. DCF의 STC는 데이터 프레임 전송에 관련된 상태만 관리했지만 PSM에서는 ATIM 프레임 전송을 관리하기 위한 상태가 추가되었다. 그림 4.2는 contention이나 collision이 일어나지 않은 이상적인 전송이 이루어질 때의 그림이다.

4.2 네트워크 타이머

네트워크 타이머는 무선 노드를 동기화시킨다. IEEE 802.11에서는 BI가 시작되면 beacon 프레임울 주고 받으며 노드 간에 동기를 맞추는 것으로 규정되어 있으나, ns-2에서는 노드 간에 동기가 되었다고 가정하고 DCF 구현에서 beacon 프레임울 생략했다. 우리의 PSM 모듈 구현에서도 노드가 동기가 되었다는 가정 하에 beacon 프레임울 사용하지 않고, 대신 네트워크 타이머를 사용하여 동기를 맞췄다.

그림 4.1에서처럼 네트워크 타이머는 controller, TBTT 타이머, ATIM window 타이머로 구성되어 있다. Controller는 TBTT 타이머와 ATIM window 타이머를 제어하며 타이머가 timeout되었을 때 DCF-PSM와 패킷 버퍼에 알리는 역할을 한다.

그리고, 표준 사양 외에 다양한 알고리즘의 시뮬레이션이 가능하도록 BI와 ATIM window의 크기를 조절할 수 있는 기능을 추가하였다.

4.3 패킷 버퍼

ATIM window 동안의 전송이 추가되었기 때문에 별도의 패킷버퍼를 두어 서로 다른 형태의 패킷 전송을 관리한다. 패킷 버퍼는 버퍼 controller와 버퍼로 구성되어 있다(그림 4.1). 인터페이스 큐로부터 전달된 새로운 패킷은 패킷의 목적지, ATIM 프레임 전송 여부를 필드로 가지는 PSM 패킷의 형태로 변환되어 버퍼에 저장된다. 버퍼 controller는 ATIM window 동안에는 ATIM 프레임울, ATIM window가 끝나면 BI가 시작되기 전까지 ATIM 프레임 전송에 성공한 패킷을 DCF-PSM에 전달한다. 또한 BI가 새로 시작할 때마다 버퍼에 저장된 PSM 패킷의 ATIM 프레임 필드를 초기화한다.

4.4 에너지 모델

우리는 네트워크 인터페이스가 PSM모드로 동작할 때 에너지 계산이 가능하도록 doze 상태에서 에너지 소비를 계산하는 기능을 추가하였다. 에너지 계산식은 표 4.1과 같다. 그밖에 다음과 같은 옵션을 설정할 수 있는 추가 기능을 구현했다.

- 전송, 수신, idle, doze 상태 각각의 에너지 소비 계산 가능하도록 설정
- 일정 시간마다 노드의 현재 에너지 값 출력
- 에너지가 일정 비율 이하로 떨어지거나, 정해진 양의 에너지가 남았을 때 알려 줌

- 각 상태에서 소비하는 에너지를 파일로 저장
위와 같은 에너지 모델의 기능을 이용하면 단순히 로그 파일을 통해 노드의 에너지 값을 얻는 것보다 더 정확한 통계를 얻을 수 있다.

표 4.1 에너지 소비 계산식

전송:	$(L_{plcp} / R_{plcp} + L_{data} / R_{data}) * P_{tx}$
수신:	$(L_{plcp} / R_{plcp} + L_{data} / R_{data}) * P_{rx}$
Idle:	$T_{idle} * P_{idle}$
Doze:	$T_{doze} * P_{doze}$
L_{plcp} :	PLCP헤더 길이, R_{plcp} : PLCP헤더 전송 속도
L_{data} :	데이터 길이, R_{data} : 데이터 전송 속도
P_x :	x 상태에서 소비하는 에너지
T_x :	x 상태에 머무는 시간

5. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11의 DCF-PSM 시뮬레이션 환경을 제공하기 위해 ns-2에 PSM 모듈을 구현하였고, 특히 전력 소비와 관련된 결과 자료를 쉽게 생성하기 위해 여러 가지 편의성을 제공하는 에너지 모델을 제안하였다. 이러한 모듈의 개발로 PSM 환경에서의 상위 계층 프로토콜의 성능 평가나 PSM에 적합한 새로운 상위 계층 프로토콜의 개발이 가능해졌고, PSM을 개선하는 알고리즘의 구현과 그의 성능 평가도 훨씬 쉽게 이루어질 수 있게 되었다.

앞으로 실험을 통해 여러 종류의 무선랜 카드가 소모하는 에너지를 측정하여 정확한 에너지 모델을 만들고, MANET 라우팅 알고리즘이 PSM 위에서 사용될 때 라우팅 알고리즘의 성능을 분석할 것이다. 나아가 IEEE 802.11 DCF-PSM의 성능을 개선하기 위해 새로운 PSM 알고리즘을 개발할 것이다.

참고 문헌

- [1] LAN MAN Standards Committee of the IEEE Computer Society, "IEEE Std 802.11-1999, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications", IEEE, 1999.
- [2] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, and R. Morris, "Span: An Energy-Efficient Coordination Algorithm for Topology Maintenance in Ad Hoc Wireless Networks", MOBICOM 2001, Jul 2001.
- [3] E.-S. Jung and N. H. Vaidya, "An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless LANs", INFOCOM 2002, June 2002
- [4] <http://www.crhc.uiuc.edu/~nhv>
- [5] L. M. Feeney, "An Energy-consumption Model for Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks", MONET 2001, June 2001.
- [6] <http://www.isi.edu/nsnam/ns/index.html>
- [7] <http://www.opnet.com/>
- [8] <http://pcl.cs.ucla.edu/projects/gლოსिम/>
- [9] <http://www.qualnet.com/>
- [10] The CMU Monarch Project., "The CMU monarch project's Wireless and Mobility extensions to NS", <http://www.monarch.cs.cmu.edu/cmu-ns.html>