

전송률에 기반한 IEEE 802.11b 에너지 모델

김태현[○] 차호정
연세대학교 컴퓨터과학과
{thkim,hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

An Energy Model for IEEE 802.11b based on Transmission Rate

Taehyun Kim[○] Hojung Cha
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

본 논문은 CAM(Constant Awake Mode), 및 PSM(Power Saving Mode)을 지원하는 IEEE 802.11b[1] Infrastructure 환경에서 전송 프로토콜이 이동기기의 WNIC(Wireless Network Interface Card) 에너지 소비에 미치는 영향을 분석하고 단위 시간 동안 전송되는 데이터 양에 기반한 IEEE 802.11b WNIC 에너지 모델을 제안한다. 제안하는 에너지 모델은 IEEE 802.11b 환경에서 CAM 및 PSM 모드를 사용할 때, 실제 측정된 값을 기반으로 설계되었다. 제안된 에너지 모델은 실험을 통하여 정확성을 검증하고, IEEE 802.11b를 기반으로 한 저전력 통신 관련 연구에서 시뮬레이션 시 사용 가능한 에너지 모델임을 밝힌다.

1. 서론

WNIC의 에너지 소비를 감소시키기 위한 기존의 많은 연구들은 제안한 저전력 통신 기법을 검증하기 위한 방법으로 시뮬레이션을 사용한다. 시뮬레이션은 WNIC의 에너지 소비를 측정하기 위한 방법으로 에너지 모델을 적용한다. 따라서 시뮬레이션 시 사용되는 에너지 모델은 제안된 저전력 기법의 성능 평가를 위해 WNIC의 에너지 소비 특성을 정확하게 반영할 수 있어야 한다.

저전력 통신 기법 개발을 위해 WNIC의 에너지 소비 특성을 분석한 다양한 연구들이 수행되었으며 각각을 살펴보면 다음과 같다. 패킷 크기가 WNIC의 미치는 영향을 분석한 후 WNIC의 에너지 소비는 패킷 크기에 의존적임을 밝혀냈다[2]. 이 연구에서는 다양한 종류의 IEEE 802.11b WNIC를 사용하여 전송 프로토콜에서 소비되는 에너지를 WNIC 종류 별로 분석하였다. 하지만, 이 연구에서는 전송 프로토콜과 WNIC의 관계를 시뮬레이션을 통해 분석하고 있으며, 제안된 에너지 모델 역시 실험으로 측정된 값이 아닌 수학적 이론에 근거한 이론적 에너지 모델이다. 연구[2]를 발전시켜 패킷 크기에 비례하여 소비되는 WNIC의 에너지를 분석하고 실험을 통해 측정 값을 기반으로 한 IEEE 802.11 WNIC 에너지 모델이 제시되었다[3]. 이 연구에서는 UDP 프로토콜을 사용하여 Ad-hoc 환경에서 WNIC의 에너지 소비를 분석하였다. UDP 프로토콜을 이용한 데이터 통신 시 WNIC의 에너지 소비는 패킷 크기에 영향을 받으며 이를 실험을 통해 증명하였고, 실험 데이터를 바탕으로 패킷 크기에 따라 소비되는 IEEE 802.11b WNIC 에너지 모델을 제안하였다. 제시된 모델은 패킷 한 개가 소비하는 에너지를 고려하여 에너지 모델을 제시했다는 장점을 가지나 데이터 전송 시 전송률이 항상됨에 따라 갖는 오버헤드를 고려하지 못하였을 뿐만 아니라 TCP에 관한 WNIC 에너지 모델은 제시하지 못하였다.

이와 같이 WNIC 에너지 소비를 분석한 기존의 연구들은

WNIC의 소비 경향을 분석하고 모델화 하였으나 실제 WNIC의 에너지 소비를 정확하게 반영할 수 있는 에너지 모델은 제시하지 못하고 있다. 본 논문은 IEEE 802.11b Infrastructure 환경에서 단위 시간 동안 전송 되는 데이터 양을 기반으로 하여 IEEE 802.11b WNIC 에너지 모델을 제안한다. 제안하는 WNIC 에너지 모델은 TCP 및 UDP를 이용한 데이터 통신 시 WNIC에서 소비되는 에너지를 나타낸다. 이는 WNIC의 CAM 및 PSM 모드에서 Cisco Aironet PCM 352 802.11b WNIC를 사용하여 실제 측정된 값을 기반으로 설계 되었다. 제시된 WNIC 에너지 모델은 실제 측정된 WNIC의 소비 에너지와 TCP CAM에서 오차 2.5%, PSM에서 8% 미만을 나타내며 UDP CAM에서 오차 1.5%, PSM에서 6% 미만을 실험을 통하여 검증한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 WNIC 에너지 모델에 대해 기술하고, 3장에서 제안된 에너지 모델을 검증한다. 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 전송률에 기반한 WNIC 에너지 모델

다음은 IEEE 802.11b Infrastructure 네트워크 환경에서 단위 시간 동안 평균 소비되는 WNIC 에너지 모델에 대해 기술한다. 이를 위하여 통신 시 단위 시간 동안 처리되는 데이터 양이 이동기기 WNIC의 에너지 소비에 미치는 영향을 살펴보고, 전송률에 비례하여 평균적으로 소비되는 TCP 및 UDP IEEE 802.11b WNIC 에너지 모델을 기술한다.

본 논문은 실험을 통하여 IEEE 802.11b WNIC 에너지 소비는 단위 시간(1 Sec) 동안 전송되는 데이터 양인 전송률에 비례함을 밝히고 WNIC가 소비하는 에너지를 분석하여 단위 시간 동안 평균적으로 WNIC가 소비하는 TCP 및 UDP 에너지 모델을 제시한다. 그림 1은 5Mbytes의 데이터를 FTP를 이용하여 전송할 때 이동기기의 전송률 및 WNIC의 전압 변화를 측정할 예제이다. 실험은 IBM Thinkpad T22 Laptop을 이용하여 리눅스 커널 2.4.22을 기반으로 Cisco Aironet PCM 352 802.11b WNIC를 사용하였고, PCExtend 100 16-bit extender Card와 Fluke 123 Industrial Scope

• 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었습 (KRF-2003-041-D00475)

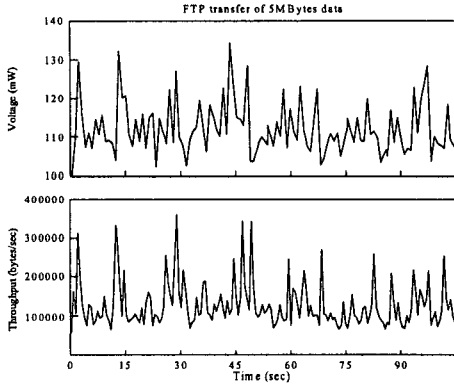


그림 1 : 전송률과 WNIC 소비 에너지 관계

을 이용하여 에너지를 측정하였다. 전송률은 Tcpdump와 Tcptrace를 사용하여 측정한 결과이다. 그림 1에서 이동기기의 WNIC 에너지 소비는 이동기에서 단위 시간 동안 전송되는 데이터 양이 증가하게 되면 전송 중 WNIC의 Idle 상태는 감소하게 되고 Active 상태가 증가하게 되어 에너지 소비 또한 비례적으로 증가하게 된다. 위 실험을 통하여 본 연구는 WNIC의 에너지 소비는 전송률과 관계가 있으며 전송률에 관한 식으로 표현가능 함을 확인하였다. 본 논문은 이동기기의 WNIC 에너지 소비는 전송률에 비례한다는 가정하에 다음과 같이 전송률에 관한 기본 식으로 WNIC 에너지 모델을 제시한다.

$$E(mW) = (C_m * throughput + C_{base_energy}) * sec \quad (1)$$

E는 데이터를 전송하는 동안 소비되는 WNIC의 에너지를 의미한다. 에너지는 1초 동안 전송되는 평균 바이트 수에 비례하여 전송률 throughput에 관한 식으로 나타낼 수 있다. 이에 관한 파라미터로 C_m 은 WNIC 상수, 그리고 throughput은 1초 동안 처리되는 평균 Kbytes 수를 의미한다. 마지막으로 C_{base_energy} 는 throughput과 상관없이 항상 WNIC에서 소비되는 기본 에너지를 나타내는 상수이다.

본 논문은 전송률에 따라 소비되는 WNIC 에너지 소비를 측정하기 위해 다음과 같은 환경에서 실험을 수행하였다. compaq prezario 1700과 일반 데스크탑을 이용하였으며 두 호스트 사이에 AP를 사용하여 유선 링크(100Mbit)와 무선 링크(11Mbit)를 분리하였다. 이동기기는 리눅스 커널 2.4.22를 기반으로 Cisco Aironet PCM 352 802.11b WNIC를 사용하였다. TCP의 경우 FTP를 사용하였으며 전송률 50~650(KBytes/sec)로 나누어 수신단에서 최대 전송률을 조절하였고, UDP의 경우 Mgen[5]을 사용하여 전송률을 조절하여 측정하였다. 송신단 및 수신단에서 5MBytes의 데이터 통신 시 1초 동안 소비되는 WNIC의 평균 에너지를 측정하였다.

그림 2는 각 전송률에 따라 TCP의 CAM, PSM 모드일 때 소비되는 WNIC 에너지를 측정한 것이다. TCP PSM 모드에서는 데이터를 전송하고 ACK를 기다리는 동안 WNIC는 Sleep 모드로 전환되어 IEEE 802.11b에서 기본 값으로 설정된 100(ms) listen Interval 동안 Sleep 상태에서 대기한 후 ACK를 수신하게 된다. 이는 CAM보다 전송률을 감소시키는 원인이 될 뿐만 아니라 WNIC의 에너지 소비에도 영향을 미치게 된다. 따라서 PSM은 CAM보다는 단위 시간 동안 낮은 에너지를 소비하지만 통신 지연이 발생하는 것을 알

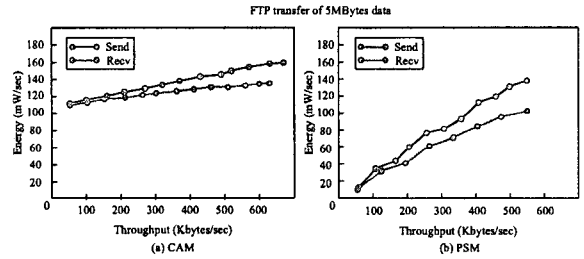


그림 2 : TCP에서 WNIC의 에너지 소비 변화

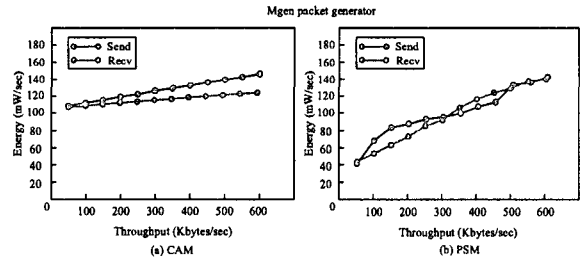


그림 3 : UDP에서 WNIC의 에너지 소비 변화

수 있다.

그림 3은 UDP의 CAM 및 PSM 모드에서 전송률에 따른 WNIC 에너지 소비를 측정한 것이다. UDP PSM 모드에서는 단위 시간 동안 데이터를 전송하는 양에 따라 WNIC가 Sleep 모드로 전환되지 않는 구간과 Sleep 모드에서 대기하는 구간으로 나누어 에너지 소비 경향이 나타나게 된다. 즉 전송률이 높은 구간에서는 빠른 속도로 데이터를 전송하기 때문에 항상 전송할 데이터가 존재하게 되어 WNIC는 Sleep 모드로 전환 되지 않는다. 하지만 낮은 전송률에서 WNIC는 다음 전송할 데이터가 발생할 때까지 Sleep 모드로 전환하게 된다. 이 두 임계점을 사이에 위치한 전송률 범위에서는 WNIC가 Sleep으로 전환 되는 중간에 전송할 데이터가 발생하기 때문에 WNIC는 완전하게 Sleep 모드로 전환되지 못하는 상황이 발생하게 된다. UDP PSM 모드에서 데이터를 수신할 때는 전송할 때와 다르게 Sleep으로 전환하지 못하는 구간과 Sleep으로 전환하는 구간 2가지의 소비 경향을 나타내게 된다. 전송률이 높은 상황에서는 전송과 마찬가지로 WNIC는 Sleep으로 전환하지 못하게 된다. 하지만 일단 Sleep으로 전환하게 되면 전송할 데이터는 존재하지 않기 때문에 기본 값으로 설정된 100ms Listen Interval로 인해 WNIC는 Sleep에서 최소한 100ms는 대기해야 한다. 또한, 수신은 전송할 때처럼 Sleep 모드로 전환하는 중간에 다시 Wake up 하는 구간은 전송할 데이터를 가지고 있지 않기 때문에 발생하지 않게 된다. 따라서, UDP PSM 모드에서 데이터를 수신할 때는 2가지 에너지 소비 경향을 나타내게 된다.

본 논문은 패킷 크기만으로 WNIC 소비 에너지를 나타내는 것은 불가능하며 시간과 단위 시간 동안 처리되는 데이터 양을 함께 고려하여야만 정확한 WNIC 에너지 소비 경향을 나타낼 수 있는 것을 확인하였다. 또한, 위 실험 결과에서 알 수 있듯이 WNIC의 에너지 소비는 전송률에 비례함이 확인되었다. 위 실험 결과를 이용하여 2장에서 제시한 에너지 모델의 각 파라미터 C_m 그리고 C_{base_energy} 의 값을 산출하여 표 1과 2에 제시한다.

Protocol	Mode	State	Model(mW) (tp = throughput(MBytes/sec))
TCP	CAM	Send	$(0.85 * tp) + 1.064$
		Recv	$(0.45 * tp) + 1.075$
	PSM	Send	$(2 * tp) + 0.44$
		Recv	$(2.3 * tp) + 0.4$
UDP	CAM	Send	$(0.68 * tp) + 1.053$
		Recv	$(0.3 * tp) + 1.06$
	PSM	Send	Table 2
		Recv	

표 1 : Energy Model

Protocol	State	Threshold	Model(mW) (tp = throughput(MBytes/sec))
UDP (PSM)	Send	tp<100	$(0.54 * tp) + 0.114$
		100<tp<500	$(0.9 * tp) + 0.671$
		tp<500	$(0.94 * tp) + 0.839$
	Recv	tp<500	$(2 * tp) + 0.311$
		500<tp	$(1.04 * tp) + 1.064$

표 2 : Energy Model(UDP PSM)

3. 실험 및 분석

본 논문은 제안하는 에너지 모델이 실제 응용 프로그램을 수행할 시 이동기기의 WNIC 에너지 소비 특성을 반영할 수 있는 지 여부를 확인하기 위해 다음과 같은 실험을 수행하였다. TCP의 경우 HTTP와 FTP 프로토콜을 사용하여 5Mbytes(Packet size : 1448bytes)의 데이터를 전송하고 수신하였다. UDP의 경우 Quicktime Player를 사용하여 스트리밍 서비스를 이용할 때 소비되는 이동기기의 WNIC 에너지를 측정하였다. 데이터 전송 비율은 각각 125Kbit/sec, 500Kbit/sec, 1Mbit/sec 그리고 5Mbit/sec으로 나누어 설정 하였다. 10초 동안 서비스를 받은 후 이동기기 WNIC에서 1초 동안 평균 소비되는 에너지를 측정하여 본 논문에서 제시하는 에너지 모델을 사용한 결과 값과 비교 평가 하였다.

그림 4 TCP CAM의 경우 에너지 모델은 측정치와 오차 2.5% 미만으로 WNIC의 에너지 소비 결과를 계산할 수 있었다. 이는 비교적 Idle 상태와 Active 상태의 전압 변화 폭이 작아 WNIC의 상태비율을 비교적 정확하게 반영할 수 있음을 의미한다. PSM의 경우는 WNIC의 Sleep 상태와 Active 상태의 전압 변화의 폭이 커서 상태 변화 오버헤드와 측정 장치의 오차로 인해 8%의 오차범위를 가졌다. 하지만, 기존에 이론적으로 에너지 모델을 제시한 연구들에 비해서 TCP PSM에서도 실제 WNIC의 에너지 소비 변화 경향을 반영할 수 있다는 점에서 본 논문에서 제안된 에너지 모델을 사용하는 것이 저전력 통신의 성능 평가를 위해서는 바람직하다고 할 수 있다.

그림 5는 UDP의 CAM 및 PSM 모드에서 에너지 소비 측정결과와 제안된 모델의 계산 결과를 나타내고 있다. TCP와는 다르게 규칙적으로 트래픽이 발생됨으로 WNIC 소비 경향이 TCP보다 정확하게 나타난다. 따라서, 그림 7 CAM 경우 오차 1.5(%) 미만으로 계산결과와 측정 결과가 일치하였다. PSM 경우 TCP와 마찬가지로 전압 변화의 폭이 크고 측정 장비의 오차로 CAM 보다 많은 오차 6(%) 미만의 범위를 가짐을 알 수 있었다. 하지만, UDP의 규칙적인 트래픽 발생으로 제안된 UDP 에너지 모델이 TCP보다는 작은 오차 범위 내에서 WNIC의 에너지 소비 경향을 반영함을 알 수 있다.

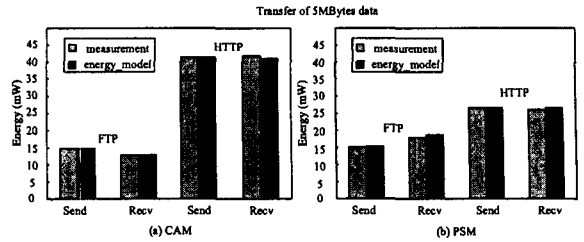


그림 4 : TCP Results

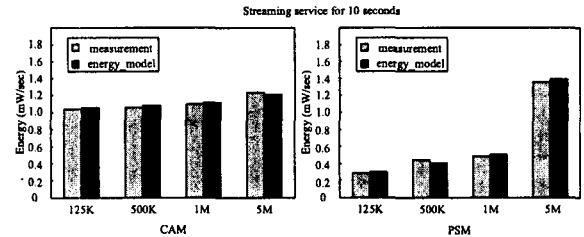


그림 5 : UDP Results

4. 결론

본 논문은 TCP 및 UDP 전송 프로토콜의 특성과 이동기기의 WNIC의 에너지 소비를 분석하고, 전송률에 따라 단위 시간 동안 평균적으로 소비되는 WNIC 에너지 모델을 제시하였다. 본 논문에서 제안한 에너지 모델은 기존에 이론적인 접근 방법에 의해 수학적으로 제시된 모델 및 일률적으로 정해진 값만을 사용한 모델들에서 벗어나 IEEE 802.11b WNIC의 에너지 소비를 실제 측정하고 분석하여 저전력 통신 관련 연구들이 성능 평가를 위해 정확한 성능 분석을 할 수 있는 환경을 마련하였다. 제안된 에너지 모델은 저전력 통신 프로토콜을 위한 연구 시 에너지 모델로 시뮬레이션에 적용할 수 있으며 실제 측정되는 WNIC의 측정치와 근사 값을 제시함으로써 비교적 정확한 WNIC 에너지 소비 경향을 반영한다. 따라서, 본 논문에서 제안한 에너지 모델을 사용함으로써 실제 WNIC 에너지 소비를 반영할 수 있는 정확한 성능 평가가 가능하다.

향후 과제로는 Infrastructure 환경뿐만 아니라 Ad-hoc 환경에서도 적용 가능한 에너지 모델을 개발할 예정이며 802.11b가 아닌 센서 네트워크와 같은 다른 환경에서도 적용 가능한 에너지 모델을 개발할 예정이다.

참고문헌

- [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] P. Gauthier, D. Harada, M. Stemm, "Reducing Power Consumption for the Next Generation of PDAs: It is in the Network Interface," *Proceedings of MoMuC*, September 1996.
- [3] L. Freeny and M. Nilsson, "Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad-hoc Networking Environment," *Proceedings of IEEE INFOCOM*, Anchorage, Alaska, April 2001.
- [4] R. Kravets and P. Krishnan, "Power Management Techniques for Mobile Communications," *Proceedings of MobiCom*, Dallas, Texas, October 1998.