
브로드캐스트와 Point-to-Point 환경에서 무선 네트워크 인터페이스의 에너지 소비 측정 분석

최지훈* · 김광덕 · 김동일

*동의대학교

Analysis the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in broadcast and point-to-point Environment

Ji-hoon Choi* · Kwang-deok Kim · Dong-il Kim

Dong-eui University

cjh@deu.ac.kr

요 약

본 논문은 Ad hoc 망에서 Wireless network interface의 broadcast와 point-to-point의 다양한 크기의 데이터 패킷을 송신, 수신, 폐기 시 나타나는 에너지 소비를 측정을 분석한다. IEEE 802.11 wireless network interface를 사용하여 각 상황에 따라 측정하였고, 그것을 선형 식으로 나타내므로 프로토콜 디자이너나 개발자들에게 좀 더 유용한 정보를 제공한다. 그리고 Energy-aware 디자인과 네트워크 프로토콜들의 평가를 위한 실질적인 무선 환경에서의 에너지 소비 동작의 정보를 분석하고자 한다.

ABSTRACT

This paper describes measurement of energy consumption when various size of data packets, on the both broadcast and point-to-point of Wireless network interface, are transmitted, received and discarded in the environment of Ad-hoc network. This experiment measures energy consumption using IEEE 802.11 wireless network interface with each condition. Since the measurements induces linear equation, it can provide useful information for protocol designer and developer. And this paper analyzes the information of behavior of energy consumption for the energy-aware design and the evaluation of network protocol on the practical wireless environment.

키워드

Energy consumption, Ad-hoc network, IEEE 802.11

1. 서 론

네트워크 인터페이스의 에너지 소비 방법에 관한 연구는 크기와 이동성에 대해 제한이 없는 station 기반과 server 중심의 무선 네트워크 구조에 주목되어져 있다. 에드 혹은 네트워크에서 multi-hop routing problem은 대역폭 사용의 범위 안에서 넓게 연구되어졌다. 그러나 에너지 소비는 보다 적은 주목을 받았었다. 최근 들어, Energy-aware ad hoc routing 프로토콜에 관한 연구가 진행 되어왔다. Lucent WaveLAN IEEE

802.11 무선 네트워크 인터페이스의 에너지 소비 동작의 실험 측정을 통해서 얻은 데이터들은 point-to-point 데이터 패킷과 브로드캐스트 데이터 패킷을 수신, 송신할 때의 에너지 소비를 계산하기 위한 선형방적식의 집합으로 제공된다. 그 결과 에드 혹은 네트워크 프로토콜 설계의 새로운 기법을 제안한다. 첫째로, 에너지 소비와 대역폭의 사용은 같은 맥락이 아니다. 이는 패킷의 전송 뿐만 아니라, 수신비용을 고려하기 위해 필요하다. 그러므로 프로토콜 설계자들은 반드시 패킷에 의 해 사용되는 브로드캐스트 그리고 point-to-point

트래픽의 비율을 고려해야한다. 채널 획득 오버헤드가 크기 때문에, 작은 패킷들은 작은 채널 획득 메시지의 송, 수신으로 인해 불균형하게 높은 에너지 비용을 가진다. 둘째, 전송 속도와 에너지 소비의 전체적인 관계는 복잡하다. 감소된 데이터 전송과 수신 시간은 높은 고정된 오버헤드 때문에 패킷 당 에너지 소비 상에서 제한된 영향을 끼친다. 셋째로, 에드 혹은 모드 동작은 BSS과 연동된 동작과 비교해서 빈번한 대기상태의 연속으로 인해 극도로 높은 휴면 비용을 초래한다.

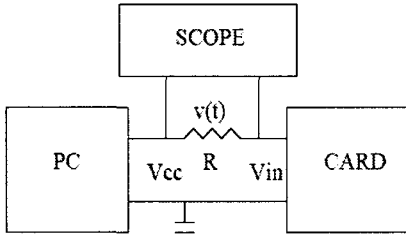


그림 1. 테스트 회로

II. 에너지 소비 측정 실험

실험에서 사용된 인터페이스는 2.4GHz DSSS Lucent IEEE 802.11 WaveLAN PC "Bronze"(2Mbps) 그리고 "Silver"(11Mbps) card를 사용하였다. 테스트 호스트는 IBM ThinkPad 560, FreeBSD 4.0(OS)과 Bill Paul에 의해 쓰여진 WaveLAN IEEE 802.11을 사용한다. 에너지 소비는 입력 전압과 전류의 직접적인 측정을 통해 알 수 있다. 회로 상에 장치와 직렬로 작은 저항을 삽입함으로 전류를 측정할 수 있다. 테스트 회로는 Sycard PCCextend 140A CardBUS Extender를 사용하여 만들었다. Extender는 breakout box와 유사하다. 그것은 pc 카드 슬롯에 삽입되고, 테스트되기 위한 카드는 extender의 카드 커넥터에 삽입된다. Vcc line은 고정될 수 있다. :그림 1은 테스트 회로를 나타내며, 데이터 측정은 Tektronix 100MHz 디지털 오실로스코프와 15MHz 1X 프로브를 사용했다. 입력 전류 $i_{in}(t)$ 은 저항 R을 지나는 $v_r(t)$ 를 측정함으로 결정되어졌다.

$$P(t) = V_{in} \frac{v_r(t)}{R} \quad \text{----- (1)}$$

$t_0 \sim t_1$ 인터벌 사이의 전체적인 에너지 소비는 시간상의 파워 소비의 적분 값으로 표시할 수 있다.

$$E_{t_0 \sim t_1} = \frac{V_{in}}{R} \int_{t_0}^{t_1} v_r(t) dt \quad \text{----- (2)}$$

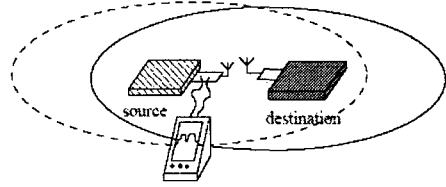


그림 2. 패킷 송신

에드 혹은 모드 동작할 때, 네트워크 인터페이스의 휴면 파워 소비와 인터벌 시간 동안에 소비된 전체 에너지의 측정은 식 (3), (4)로 표현할 수 있다.

$$P_{idle} = \frac{V_{in}}{R} v_{r idle} \quad \text{----- (3)}$$

$$\frac{V_{in}}{R} v_r(t_1 - t_0) - P_{idle}(t_1 - t_0) \quad \text{----- (4)}$$

위의 선형 식에 의해 정의된 방정식의 계수는 다양한 크기의 패킷의 측정과 파형의 변화를 적용함으로써 결정되어 질수 있다.

III. IEEE 802.11 프로토콜의 시각적 분석

IEEE 802.11 프로토콜의 부분을 설명한 각 색상은 선형 식 사용을 위한 계수들을 정의 한다. 밑축과 오른 축은 각각 시간과 전압 $V_r(t)$ 를 보여준다. 왼쪽 축은 순간적인 파워 소비를 보여준다.

3.1 브로드캐스트 트래픽

브로드캐스트 트래픽을 보내기 전에, 송신자는 간단히 채널을 sensing한다. 만약 아무런 신호가 감지되지 않는다면, 메시지는 전송될 것이다. 그렇지 않다면, 송신자는 Backoff 해야 하고, 후에 재 전송을 한다. 이 경우를 위한 네트워크 구성은 그림 2에서 보여진다. 선형 방정식의 사용에 있어, m은 증가 값을, b는 고정 값을 나타낸다.

$$E_{broadcast-send} = m_{send} \times size + b_{send}(beast) \quad \text{----- (5)}$$

$$E_{broadcast-recv} = m_{recv} \times size + b_{recv}(beast) \quad \text{----- (6)}$$

이 동작은 그림 3과 4의 오실로스코프 파형검출로 표시 할 수 있으며, 뚜렷한 특징은 에드 혹은 모드에서 명확히 높은 휴면 파워 소비를 가진다는 것이다. 실질적으로 수신 데이터는 휴면상태 보다 좀 더 적은 요구치를 가진다. Payload는 256[228(data)+8(UDP)+20(IP)]byte이다. MAC 오버헤드는 24byte PLCP 헤더(1Mbps로 전송)와 20byte의 MAC 프레임 헤더를 포함한다. 이것은 1.3ms 데이터 전송시간을 나타낸다. 호스트가 송

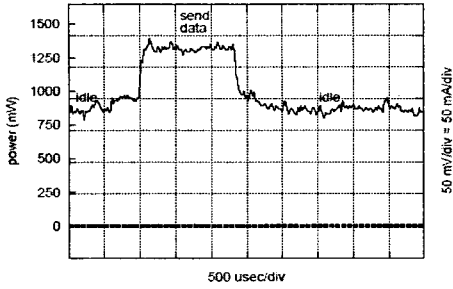


그림 3. 2Mbps 브로드캐스트 UDP/IP 트래픽(256byte)의 송신

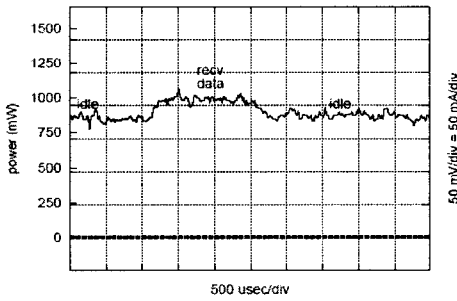


그림 4. 2Mbps 브로드캐스트 UDP/IP 트래픽(256byte)의 수신

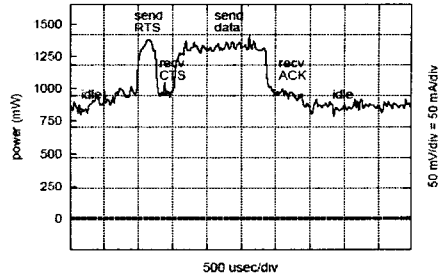


그림 5. 2Mbps point-to-point UDP/IP 트래픽(256byte)의 송신

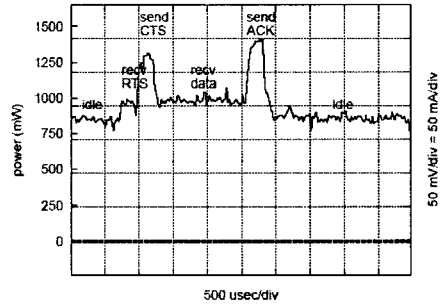


그림 6. 2Mbps point-to-point UDP/IP 트래픽(256byte)의 수신

신축의 전송범위 내에 있지 않으면 자신이 소유한 데이터를 처리 할 수 없다. 두 송신축의 전송범위 내에 있는 한 호스트에 두 신호가 수신되어진다. 각 수신축에서 신호의 세기에 의존하는 것은 하나 혹은 두 패킷이 충돌로 일어나는 손실 때문이다. 이것이 잘 알려진 히든 터미널 문제이다.

3.2 Point-To-Point 트래픽

IEEE 802.11 프로토콜이 미디어 예약을 지원하지 않는 동안 point-to-point는 히든 터미널 문제를 줄이기 위해 충돌 회피 기술을 사용할 수 있다. Point-to-point 전송을 하기 전에 발신지는 목적지와 데이터 크기가 기록된 RTS를 브로드캐스트 한다. 목적지는 CTS 메시지로써 응답을 한다. 만약에 발신지가 응답을 받지 못한다면, 발신지는 아마 RTS 메시지를 재전송 할 것이다. CTS를 받으면, 발신지는 데이터를 전송하고 ACK를 기다리게 될 것이다. RTS/CTS의 교환을 듣는 호스트는 다른 호스트들의 통신을 방해하지 않도록 통신을 중단한다. 이런 실험들을 위한 네트워크 구성과 실험방정식의 사용은 브로드캐스트 트래픽에서의 사용과 유사하다.

$$E_{point-to-point-send} = m_{send} \times size + b_{send(p2p)} \text{-----}(7)$$

$$E_{point-to-point-recv} = m_{recv} \times size + b_{recv(p2p)} \text{-----}(8)$$

브로드캐스트와 point-to-point 트래픽에서 b_{send} 와 b_{recv} 두 값의 차이는 두 종류의 채널 액세스의 차이를 나타낸다. 한 채널에 송신 혹은 수신되는 증가 요구치는 브로드캐스트나 point-to-point 나 모두 비슷할 것으로 예상된다. 그림 5와 6에서 미디어 예약 프로토콜의 다양한 구성요소들을 오실로스코프 파형검출로 쉽게 확인할 수 있다. 작은 패킷들 때문에 이 미디어 예약 메시지교환은 오버헤드를 나타낸다. 그러므로 송신 측은 데이터 메시지를 보내기 전에 간단히 채널을 sensing한다. 수신 측 역시 ACK를 보내기 전에 채널을 sensing한다.; ACK는 그들의 짧은 sensing 인터벌 때문에 전체 트래픽보다 우선권을 가진다(SIFS). 브로드캐스트 트래픽에서처럼 이 기술은 메시지 크기의 증가에 따른 위험의 증가와 함께 히든 터미널 문제에 취약하다.

$$E_{point-to-point-send} = m_{send} \times size + b_{send(<thresh)} \text{-----}(9)$$

$$E_{point-to-point-recv} = m_{recv} \times size + b_{recv(<thresh)} \text{-----}(10)$$

IV. 실험결과

4.1 상수 값

측정은 v_{in} 값을 결정하는데 사용되어졌다. 그리고 P_{idle} 은 표 1에 나타나있다. 에너지 소비 계산에 사용되지는 않았지만, 데이터의 수신과 전송

2Mbps		
	measured	spec
Sleep mode	14 mA	9mA
Idle mode	178 mA	n/a
Receive mode	204 mA	280 mA
Transmit mode	280 mA	330 mA
11Mbps		
Sleep mode	10 mA	10 mA
Idle mode	156 mA	n/a
Receive mode	190 mA	180 mA
Transmit mode	284 mA	280 mA
Power Supply	4.74V	5V

표 1. LUCENT IEEE 802.11 WaveLAN PC카드의 특성

동안의 평균전류는 특성과 비교하기위해 측정되어졌다. 11Mbps card는 실험 측정값이 스펙과 거의 일치했다. 반면, 2Mbps 카드는 평균치 보다 낮게 측정되었다. 스펙과 측정값 불일치의 원인은 분명하지 않았고, 제품특성이 자세하지 않았기 때문이다.

4.1 High Transmission

11Mbps 카드의 실험결과는 표 2에 잘 나와 있다. 1.전송 속도가 느린 카드들의 존재 속에서 11Mbps 카드들이 동작할 수 있도록 하기위해서 RTS/CTS 제어 메시지는 느린 카드들에 의해 적당하게 수신되어진다. 이것은 채널 액세스 오버헤드에 의해 고정된 오버헤드는 확연히 감소시키지 못한다는 것을 의미한다. 2. 11Mbps 카드들은 2Mbps 카드들과 같은 네트워크에서 상호작용을 유지하기 위해서 브로드캐스트 메시지들을 낮은 데이터 전송률로 전송한다. 3. Point-to-point 트래픽은 11Mbps 카드들 사이에서 보다 높은 데이터 율을 가질 수 있다.

V. 결론

실험의 결과들은 네트워크 계층 프로토콜들의 디자인과 관련된 동작의 복잡한 범위를 가지는 IEEE 802.11 무선 인터페이스의 에너지 소비를 보여준다. 에너지 소비는 대역폭 활용과 같은 맥락이 아니다. 에너지에 민감한 프로토콜의 디자인과 평가는 브로드캐스트와 point-to-point 트래픽, 패킷 크기들의 관계적 비율을 고려해야 한다. 한 가지 흥미로운 가능성은 패킷을 수신하기 위해 필요한 처리의 총량은 수신된 신호의 세기와 간섭의 영향을 받는다. 만약 이것이 중요한 계산에서 요구되어진다면, 이것은 더 많은 에너지를 요구할 것이다. 이런 결과들은 더 이상의 특수화된

장비 없이는, 그리고 좀 더 제어된 무선 환경이 아니고서는 정량화하기 어려울 것이다. 무선 환경은 많은 변수가 존재하는 네트워크인 만큼 차후 Promiscuous mode와 트래픽 폐기와 같은 환경에서의 연구를 좀 더 하고자 한다.

	$\mu W \cdot sec / byte^8$	$\mu W \cdot sec$
point-to-point send (a)	.48 $\times size + 431$	
broadcast send (b)	2.1 $\times size + 272$	
point-to-point rcv (c)	0.12 $\times size + 316$	
broadcast rcv (d)	0.26 $\times size + 50$	
promiscuous rcv (e)	non-destination $n \in S, D$	
discard (f)	0.14 $\times size + 97$	
	.11 $\times size + 66$	
promiscuous rcv (g)	non-destination $n \in S, n \notin D$	
discard (h)	0.10 $\times size + 70$	
	0.11 $\times size + 42$	
promiscuous "rcv" (i)	non-destination $n \notin S, n \in D$	
discard (j)	0.0 $\times size + 32$	
	0 $\times size + 38$	
idle (ad hoc) (k)	741 mW	
idle (BSS)	48 mW	

표 2. LUCENT IEEE 802.11 11Mbps WaveLAN PC 카드 2.4GHz Direct Sequence Spread Spectrum 선형 모델 파워 소비 측정

참고 문헌

- [1] Jae-Hawn Chang and Leandros Tassioulas. "Energy Conserving Routing in Wireless Ad-hoc Networks." Proceedings of IEEE Infocom 2000. Tel Aviv, Israel, March 2000.
- [2] Jun-Cheng Chen, Krishna M. Sivalingam, Prathima Agrawal and Shalinee Kishore. "A Comparison of MAC Protocols for Wireless Local Networks Based on Battery Power Consumption." Proceedings of IEEE Infocom 1998. San Francisco, CA, March, 1998.
- [3] Laura Marie Feeney. "An Energy-consumption Model for Performance Analysis of Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks." To appear in *Journal of Mobile Networks and Applications*, 2001.
- [4] Laura Marie Feeney. "Investigating the Energy Consumption of an IEEE 802.11 Network Interface." SICS Technical Report T99:11.
- [5] Paul Gauthier, Daishi Harada and Mark Stemm. "Reducing Power Consumption for the Next Generation of PDAs: It's in the Network Interface." Proceedings of MoMuC'96, September, 1996.