

IEEE 802.11에서 NAV에 기반한 전력 관리 기법

윤상식^o 차호정
연세대학교 컴퓨터학과
(ssyoon, hjcha)@cs.yonsei.ac.kr

A NAV-based Power Management in IEEE 802.11 Networks

Sangsik Yoon^o Hojung Cha
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

무선 단말은 제한된 배터리로 동작하는 특성을 가지기 때문에 에너지 효율성은 중요한 과제로 남아있다. 본 논문에서는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 Network Allocation Vector(NAV)에 기반한 전력관리기법을 제안한다. NAV는 매체접유시간에 대한 정보를 제공하기 때문에 WNIC가 저전력 모드로 동작할 수 있는 지표가 된다. 또한 Throughput과 WNIC의 상태전이에 요구되는 오버헤드를 정량적으로 고려함으로써 에너지 효율성을 극대화 한다. 제안된 기법은 ns-2를 이용하여 성능 분석하였고, 일정한 전송률을 보이는 응용에서 성능향상을 보임을 알 수 있다.

1. 서론

최근 무선 네트워크 기술은 휴대폰과 PDA를 중심으로 한 이동기기의 증가로 증대한 전기를 맞고 있다. 기존 데스크탑 중심의 시스템과는 달리 이동기기는 배터리를 사용하며, 데스크탑에 비해 적은 리소스를 사용하는 등 기존 시스템과는 요구 사항이 다르다. 또한 이동기기에서 사용되는 애플리케이션은 무선 네트워크의 많은 대역폭을 요구하고 있고 무선 네트워크 기술이 발전함에 따라 WNIC에 의해 소비되는 전력량은 전체 시스템에서 많은 비중을 차지할 것으로 전망된다. WNIC에서 사용되는 프로토콜 중에 IEEE 802.11[1]은 가장 일반적으로 사용되는 대표적인 프로토콜이다. 저전력 기술 분야의 개발자들은 IEEE 802.11 표준 프로토콜 개발을 전후로 과거 시스템 개발에서 비중이 적었던 WNIC의 저전력 기술개발에 초점을 맞추고 있다. 예를 들어, TCP 성능을 고려하여 모드 전환 주기를 동적으로 할당하는 방식을 MAC 프로토콜에 적용한 기법이 있다[2]. PAMAS[3] 프로토콜은 단말이 전송할 패킷과 수신할 패킷이 없을 때 radio 단자를 power-off 할 수 있도록 허용한다. 또한 몇 가지 sleep 패턴을 제공하고 단말이 스스로 자신의 배터리 상태와 QoS에 기반하여 sleep 패턴을 설정할 수 있도록 하는 프로토콜이 있다[4]. 이러한 이동기기의 전력관리를 위하여 IEEE 802.11의 MAC 정보를 이용함으로써 오버헤드를 최소화하고 효율적인 에너지 관리가 가능하다.

본 논문에서는 이러한 MAC 계층의 특성을 이용하여 에너지 소비량이 많은 WNIC의 효율적인 전력관리기법을 제안한다. 매체사용시간을 가리키는 NAV를 확장하여 매체를 선점하지 못한 단말에 대해 저전력 모드로 전환할 수 있는 충분한 시간을 제공함으로써 기존의 IEEE 802.11 MAC 프로토콜이 제공하는 전력관리기법을 개선한다. 또한 WNIC의 모드 전환에 따르는

오버헤드를 정량적으로 계산함으로써 에너지를 효율적으로 관리할 수 있는 방안을 제시한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 IEEE 802.11의 전력관리기법에 대해 기술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 NAV에 기반한 전력관리기법에 대해 기술한다. 4장에서는 이에 대한 성능을 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. IEEE 802.11의 전력관리기법

IEEE 802.11 표준은 단말의 에너지를 줄이기 위해 access point(AP)와의 협동적인 전력관리기법을 제시한다. AP는 Active 모드로 동작하는 단말에게는 프레임을 전달하고 sleep 모드로 동작하는 단말에게는 프레임을 버퍼링한다. 또한 TIM 프레임을 이용하여 단말에게 버퍼링된 프레임의 정보를 주기적으로 알린다. TIM 프레임을 수신한 단말은 자신에게 전달된 프레임이 버퍼링 되어 있는지 확인하고 sleep 모드로의 전환을 결정한다. 단말은 beacon 프레임을 수신하기 위해 일정한 beacon 구간마다 주기적으로 awake 모드로 전환해야하는데 listen 구간을 설정하여 awake로의 전환주기를 변경할 수 있다.

그림 1은 이러한 방식으로 동작하는 IEEE 802.11의 전력관리기법을 나타내고 있다. Station 1은 listen 구간이 2로 설정되어 있기 때문에 두 번째 beacon만 수신하고 station 2는 3으로 설정되어 있기 때문에 세 번째 beacon만 수신하게 된다. 두 번째 beacon 구간에서 TIM 프레임을 수신한 station 1은 PS-poll을 AP에게 송신함으로써 매체를 선점하고 프레임을 수신한다. 네 번째 beacon 구간에서는 두 station이 모두 버퍼링된 프레임이 있기 때문에 contention window(CW)로 진입하여 매체선점권한을 결정하는 back-off 알고리즘을 수행하고 일정한 slot time값을 유지한다. 이 그림에서는 station 1이 가장 적은 slot time을 할당받고 프레임을 수신하지만 station 2는 매체를 선점할 수 있을 때까지 awake 상태로 동작한다. Infrastructure 환경에서의 전력관리기법은 버퍼링 기능을 제공하는 AP를 통해

^o 본 연구는 한국학술진흥재단에서 지원받는 선도연구자지원사업으로 수행하였음 (과제번호 : 2003-041-D00475).

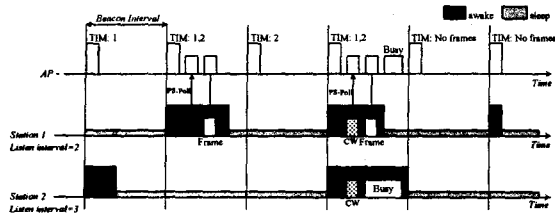


그림 1. IEEE 802.11 인프라스트럭처 환경에서의 전력관리기법

단말이 일정기간동안 저전력 모드로 동작할 수 있는 방안을 제공함으로써 저전력 효과를 갖는다.

IEEE 802.11은 매체가 사용 가능한지 판별하기 위해 NAV 기법을 제공한다. IEEE 802.11 프레임은 μs 단위로 고정된 시간 동안 매체를 예약할 때 사용되는 duration field를 포함한다. NAV는 매체가 예약된 경우의 시간 정보를 의미한다. 단말은 현재 동작을 완료하는데 필요한 모든 프레임들을 포함하여 매체를 사용할 것으로 예상되는 시간을 NAV에 설정한다. 다른 단말들은 NAV가 0이 되기까지 매체에 대한 carrier sensing 동작을 하지 않음으로써 현재 동작에 간섭하지 않는다. 하지만 Power Save Mode(PSM)에서 동작하는 단말은 NAV를 설정할 때 duration field를 고려하지 않고 고정된 NAV(SIFS+ACK) 값을 설정한다. IEEE 802.11에서 제공하는 3가지 프레임 간격 중에 하나인 SIFS와 ACK가 전송되는 시간만큼 NAV가 설정되지만 실제 데이터와 ACK의 전송을 위해 요구되는 시간보다 상당히 작게 설정됨을 알 수 있다.

3. NAV에 기반한 전력관리기법

무선 네트워크 환경에서 WNIC의 전력관리기법 개발을 위해서는 첫째, AP의 프레임 정보를 기반으로 한 단말에서의 전력관리기법을 통해서 기존 IEEE 802.11의 프로토콜과의 호환성을 유지해야 한다. AP의 정책 변화는 단말에서의 동작을 변화시키게 되는데 AP의 정책 변화 없이 단말에서의 전력관리기법은 어떠한 AP와도 동작을 가능하게 한다. 둘째, 기존의 WNIC는 모드 전환할 때 시간적인 오버헤드가 발생하는데 이러한 물리적 특성을 고려하여 개발해야 한다. 셋째, IEEE 802.11에서 일정 시간을 소비하는 물리적 특성과 MAC 특성을 고려해야 한다. SIFS와 DIFS와 같은 프레임간격은 고정적인 시간값이므로 MAC 동작과정의 고정된 시간을 점유한다. IEEE 802.11의 물리계층은 높은 전송률을 지원하는 HR/DSSS PHY를 사용한다. 따라서 HR/DSSS PHY의 파라미터 특성을 적용해야 한다.

NAV는 간섭현상을 줄이기 위해 단순한 매체접근을 제한하는 기능만 제공한다. 실제적으로 NAV로 설정된 시간동안 매체를 선점하지 못한 단말들은 Idle 모드에서 상대적으로 많은 에너지를 소비하며 대기해야 한다. 기존의 IEEE 802.11은 이를 위한 대안을 제공하지 못하고 있기 때문에 불필요한 에너지 낭비가 예상된다.

그림 2(a)에서 볼 수 있듯이 station 1이 데이터를 전송하는 동안 station 2는 높은 전력을 소비하는 Idle 모드에서 대기해야 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 그림 2(b)처럼 모드 전환 시 요구되는

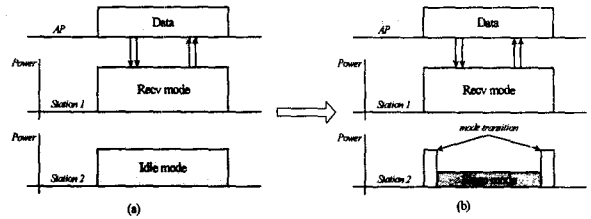


그림 2. 데이터 전송 과정에서 단말의 모드와 소비 에너지 관계

오버헤드를 고려하여 저전력 모드인 Sleep 모드로 전환시킴으로써 이를 해결할 수 있다. 따라서 위에서 언급한 NAV를 Idle 모드에서 대기하는 단말이 저전력 모드로 동작할 수 있는 충분한 시간으로 확장시킴으로써 불필요한 에너지 낭비를 막을 수 있다.

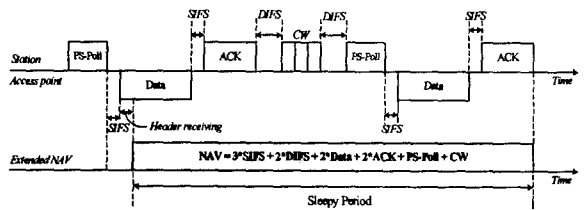


그림 3. NAV에 기반한 전력관리기법

그림 3은 NAV에 기반한 전력관리기법의 동작을 보여준다. PS-poll을 AP에게 송신한 단말은 매체를 선점하게 되고 다른 단말들은 고정적인 SIFS+ACK라는 NAV를 설정하게 된다. 이 값은 모드 전환에 따르는 오버헤드를 극복하기에는 너무 작은 값이기 때문에 데이터 프레임의 duration field 값을 얻을 때까지 저전력 모드로의 전환은 연기된다. 데이터 프레임 전송이 시작된 후 짧은 시간 안에 duration field 값을 읽은 단말은 두 개의 데이터 프레임이 전송되는 시간만큼 기존의 NAV를 확장시킨다. 그림 3에서 보듯이 NAV 값은 세 번의 SIFS, 두 번의 DIFS, 두 개의 데이터 프레임과 두 번의 ACK, 그리고 한 개의 PS-poll 프레임과 한번의 contention window 구간을 포함한다. 즉, 각각 소비하는 시간을 T_i 라 할 때, 확장된 NAV(e -NAV) 값은,

$$e\text{-NAV} = 3 \cdot T_{SIFS} + 2 \cdot T_{DIFS} + 2 \cdot T_{Data} + 2 \cdot T_{ACK} + T_{PS\text{-Poll}} + T_{CW}$$

이 된다. IEEE 802.11 MAC은 ACK와 PS-poll을 고정적인 크기로 정의한다. 또한 HR/DSSS 물리계층은 SIFS와 DIFS를 고정적인 시간을 가지는 파라미터로 정의한다. 따라서 위 식에서 데이터를 전송하는데 걸리는 시간(T_{Data})이 유일한 변수가 되고 T_{Data} 는 데이터의 크기와 밀접한 관계가 있다. 본 논문에서 제안하는 NAV-based Power Management는 모드 전환에 따르는 시간적 오버헤드를 극복할 수 있는 충분한 데이터 크기가 전송될 때 적용된다. NAV에 기반한 전력관리기법에서 한 단말이 채널을 선점하게 되면 나머지 단말들은 e -NAV로 갱신하게 되고 그 기간 동안 저전력 모드(sleep mode)로 모드 전환이 이루어진다. 매체를 선점한 단말은 한 개의 프레임들을 수신한 후에 경쟁에 참여할 단말이 없으므로 한 번의 프레임 전송을 보장받게 된다. e -NAV 값은 매체를 선점하지 못한 단

말에 대해 저전력 모드로 동작할 수 있는 충분한 시간을 제공함으로써 에너지 효과를 가져온다.

4. 성능분석

본 논문에서 제안하는 NAV에 기반한 전력관리기법의 성능을 측정하기 위해 기존 IEEE 802.11의 전력관리기법과 비교하였다. 실험은 ns-2를 사용하였으며 AP와 열 개의 단말로 이루어진 infrastructure 환경을 구현하였다. 단말의 각 모드에서의 에너지 소비량은 Cisco Aironet 350 WNIC[5]와 같은 값을 적용하였다. 또한 사용된 응용은 CBR(Constant Bit Rate)을 이용하였고 실험을 통해 얻어진 수치는 각 단말의 측정치를 평균한 결과이다.

그림 4는 기존 IEEE 802.11의 PSM과 e-NAV를 적용한 전력관리기법의 에너지 소비량을 나타낸다. 기존의 IEEE 802.11 PSM은 한 단말이 수신하는 동안 다른 단말들은 대기 모드로 동작해야 하지만 NAV에 기반한 전력관리기법을 적용함으로써 충분히 확장된 시간만큼 저전력 모드로 동작이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 또한 패킷 크기가 증가함에 따라 IEEE 802.11 PSM에 비해 소비되는 전력량도 감소하게 되는데 패킷 크기가 크면 저전력 모드로 동작할 수 있는 시간도 상대적으로 길어지기 때문에 나타나는 효과로 볼 수 있다. 패킷 크기가 작은 경우 모드 전환을 위해 요구되는 시간적인 오버헤드를 넘어서지 못하기 때문에 e-NAV 값이 적용되지 않는다. 따라서 기존의 IEEE 802.11 PSM과 비슷한 에너지 소비량을 나타낸다.

그림 5는 각각의 처리량(throughput)을 나타낸다. NAV 전력관리기법은 IEEE 802.11 PSM보다 약간 감소된 처리량은 보여준다. AP는 버퍼의 오버플로우를 방지하기 위해 만기된 패킷을 버리는 discard 정책을 제공한다. Discard 정책은 패킷손실을 발생시키기 때문에 처리량을 감소시킨다. 또한 실제로 전송이 완료된 시간보다 더 큰 값으로 NAV가 설정될 경우 모든 단말이 저전력 모드로 동작하는 경우가 생긴다. 따라서 모든 단말이 버퍼링된 패킷을 수신하지 못하기 때문에 처리량의 저하를 가져온다.

본 실험을 통해 전력관리기법은 기존의 IEEE 802.11 PSM보다 3% 처리량의 저하가 발생했지만 25%의 에너지 절약을 가져 오수 있음을 알 수 있었다.

5. 결론

기존의 IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 WNIC의 소비 에너지를 줄이기 위한 전력관리기법을 제공하지만 매체선점을 위해 대기모드로 동작하는 단말들에 대한 효율적인 전력관리를 고려하고 있지 않다. 본 논문에서는 기존의 NAV를 확장함으로써 WNIC의 모드 전환에 따르는 오버헤드를 상회할 수 있는 시간을 확보하고 그 시간만큼 저전력 모드로 동작시킴으로써 에너지를 효율적으로 관리할 수 있는 방안을 제시하였다. 이를 통해 약간의 처리량 감소는 있었지만 상당한 에너지 절약 효과를 볼 수 있었다. 이러한 전력관리기법은 기존 프로토콜과 호환성을 유지하고 AP 특성에 의존적이지 않기 때문에 IEEE 802.11을 사용하는 모든 단말에 적용 가능하다. 이후의 연구 과제는 처리량에 대한 오버헤드를 줄일 수 있는 MAC 계층에서의 전력관리기법과 상위 계층에서의 전력관리기법의 연구이다.

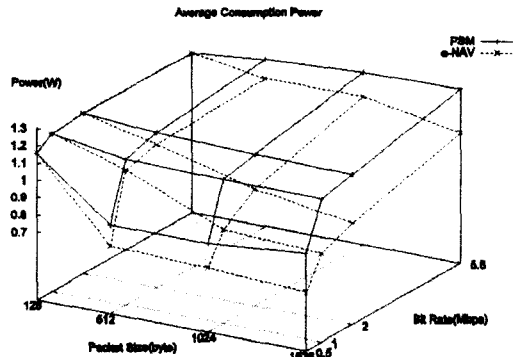


그림 4. 평균 소비된 에너지

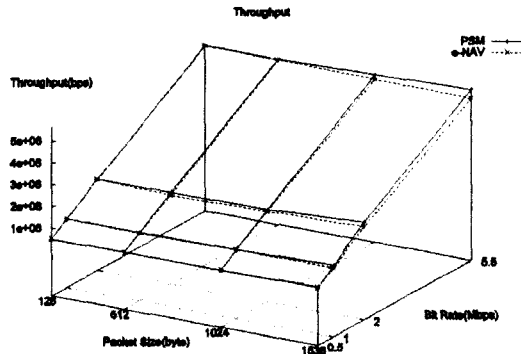


그림 5. 처리량

6. 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] R. Krashinsky, H. Balakrishnan, "Minimizing Energy for Wireless Web Access with Bounded Slowdown," *Proceedings of ACM Mobicom 02*, Atlanta, pp.119-130, September 2002.
- [3] S. Singh and C. S. Raghavendra, "Power Efficient MAC Protocol for Multihop Radio Networks," *Proceedings of IEEE International Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Conference*, Boston, pp.153-157, September 1998.
- [4] C. F. Chiasserini and R. R. Rao, "A Distributed Power Management Policy for Wireless Ad Hoc Networks," *IEEE Wireless Communication and Networking Conference*, Chicago, USA, pp.1209-1213, September 2000.
- [5] Cisco aironet 350 series specifications. <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/pcat/ao350ca.htm#spec>.