

무선 네트워크 환경에서 스트리밍 서비스를 위한 전력 관리 기법

장세환^o 차호정
연세대학교 컴퓨터과학과
{shchang, hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

A Power Management Policy for Streaming Service in Wireless Networks

Sehwan Chang^o Hojung Cha
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

본 논문은 전력 감소를 위해 사용되는 기법인 Dynamic Power Management를 무선 네트워크 환경에서의 스트리밍 서비스에 적합하게 조정하여 네트워크 인터페이스 카드의 전력 소모를 최소화할 수 있는 기법을 제시한다. 스트리밍 서비스는 Bit Rate이 일정하다는 특징이 있기 때문에 이를 기반으로 적절한 모드 전환을 한다면 전력의 이득을 취할 수 있다. 본 논문에서는 성능 저하 없이 모드 전환을 하는 시점을 제시하는 Simple DPM 기법과 어느 정도의 성능 저하를 감수하면서 전력 이득의 극대화를 취하는 Adaptive DPM 기법을 제시한다.

1. 서론

최근 무선 네트워크 환경이 보편화되면서 휴대용 무선 디바이스의 사용이 급증하고 있다. 배터리 기반인 휴대용 무선 디바이스는 전력 관리 기법을 통해서 배터리의 지속시간을 늘여주는 것이 필요하다. 무선 시스템에서 무선 네트워크 인터페이스 카드(WNIC)의 전력 소모는 전체의 35% 정도의 높은 비중을 차지하는 컴포넌트이기 때문에 이에 대한 효율적인 전력 관리는 무선 시스템 전체의 전력 소모에 큰 영향을 미칠 수 있다[1].

무선 네트워크의 대표적 프로토콜인 IEEE 802.11은 WNIC의 전력 소모를 조절하기 위해 Constantly Awake Mode(CAM)와 Power Saving Mode(PSM)를 제공하고 있다. CAM은 WNIC를 항상 Idle 상태로 유지시켜 동작하는 모드인 반면, PSM은 Sleep 상태와 Idle 상태를 주기적으로 전환하면서 동작하는 모드이다. Sleep 상태는 WNIC 내부에서 전력 소모가 큰 라디오 송수신기의 전원을 끈 상태이므로 통신은 할 수 없지만 그만큼 전력 측면에서 큰 효율을 나타내게 된다. 이 두 가지 모드의 효율적인 사용은 WNIC의 전력 소모를 관리하기에 충분하다. 즉 CAM으로 동작해야 할 때와 PSM으로 동작해야 할 때를 정확하게 구별함으로써 무선 시스템의 라이프 타임을 보다 오래 지속시킬 수 있다.

WNIC의 전력 소모는 네트워크를 사용하는 어플리케이션에 따라서 다르게 나타난다. 그 중 스트리밍 서비스는 일정한 Bit Rate으로 데이터를 전송하기 때문에 스트리밍 대상의 Bit Rate을 알고 있다면 그에 대한 좋은 전략을 세울 수가 있을 것이다. 이 스트리밍 서비스의 전력 관리에 대해서 기존에 많은 연구가 있었다. [2]에서는 스트리밍 서비스에 대한 기존 IEEE 802.11 프로토콜의 전력 관리 모드의 한계점을 제시하고, MAC 레벨에서의 접근을 통해 전력의 효율을 높이는 방법을 제안하고 있다. 이는 Local Proxy를 Access Point(AP) 앞에 둬으로써 트래픽에 융통성을 제공하고

• 본 연구는 한국학술진흥재단에서 지원하는 선도연구자지원사업으로 수행하였음 (과제번호 : 2003-041-D00475).

이를 통해 전력의 이득을 취한다는 것이다. 하지만 이 방법은 기존의 MAC protocol의 많은 부분을 수정해야 하기 때문에 상당한 오버헤드가 따르는 단점이 있다. [3]에서는 어플리케이션의 특성에 따른 WNIC의 효율적인 모드 전환을 제공하는 기법을 제시하고 있다. 어플리케이션에 따라 네트워크 사용 특성이 다르다는 점에 기반하여 접근하였기 때문에 보다 효율적인 모드전환이 가능하지만 어플리케이션으로부터 정보를 얻어오기 위해서는 어플리케이션의 도움이 필요하다는 단점이 있다.

본 논문에서 제안하는 전력관리 기법은 스트리밍 환경에서 네트워크 사용량에 기반한 모드 전환 기법이다. 이는 네트워크 사용량이 일정 수준 이하일 때에는 PSM모드로 동작하는 것이 QoS의 저하없이 전력 소모를 줄일 수 있다는 데에서 동기가 되었다. 스트리밍 서비스는 Bit Rate에 따라 네트워크 사용량이 큰 차이를 보인다. 클라이언트가 재생하기를 원하는 클립의 Bit Rate를 알고 있다면, 네트워크의 사용량을 어느 정도 예측 가능하기 때문에 적절한 모드 전환을 이룰 수가 있다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 IEEE 802.11 기반 무선 시스템에서 WNIC의 전력 소모의 특성에 대한 실험 데이터를 기술한다. 3장은 이 실험 데이터를 바탕으로 스트리밍 Bit Rate에 기반한 DPM 기법을 제안하고 4장에서 결론을 맺는다.

2. 스트리밍 서비스의 전력 소모 특성

다음은 스트리밍 환경에서 IEEE 802.11에서 기본적으로 제공하는 CAM과 PSM에서의 전력 소모 특성과 성능 저하에 대해 실험한 결과를 기술한다. 이는 각 모드에서 얼마만큼의 전력이 소비되는가를 정확히 파악함으로써 성능의 저하 없이 가능한 모드 전환 시점을 알아내기 위함이다. 그리고 PSM으로 동작할 때 Listen Interval의 조절을 통해 전력 소모를 더욱 줄일 수 있는지도 알아보았다.

본 실험에서 스트리밍 대상은 MPEG4로 인코딩된 각기 다른

Bit Rate의 동영상 데이터로 하였고, 서버는 QuickTime Streaming Server를 사용하였다. 그리고 클라이언트는 Cisco사의 Aironet 350 WNIC로 통신하고 플레이어는 리눅스 기반의 MPEG4IP 스트리밍 플레이어를 사용하였다. 동작 모드는 CAM과 PSM을 기본으로 하면서 PSM에서의 Listen Interval을 다르게(100ms, 200ms, 400ms, 800ms) 적용하여 실험하였다.

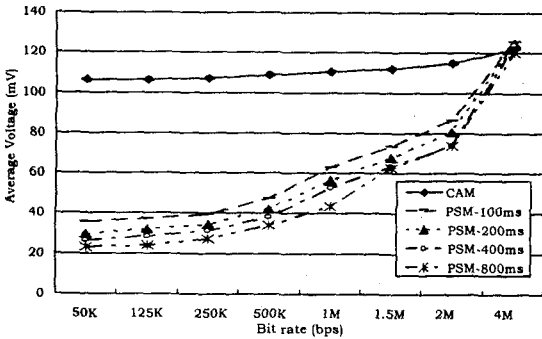


그림 1. Bit Rate에 따른 각 모드에서의 전력 소모 비교

그림 1은 Bit Rate의 변화에 따른 각 모드에서의 전력 소모를 나타낸 그래프이다. CAM으로 동작할 때는 Bit Rate에 따른 전력 소모의 차이가 극히 작은 것을 볼 수 있다. 반면 PSM으로 동작할 때에는 Bit Rate이 낮을 때에 전력 소모가 상당히 줄어드는 것으로 나타난다. 이는 Idle 상태에서의 전력소모와 Sleep상태에서의 전력소모의 차이에서 기인한 결과라 할 수 있다. 하지만 Bit Rate이 높아질수록 CAM과 PSM 사이의 전력 소모의 차이가 점점 줄어드는 것을 볼 수 있고 4Mbps일 때는 거의 차이가 없음을 볼 수 있는데, 이는 PSM에서의 잦은 모드 전환에 따른 오버헤드로 나타나는 현상이다.

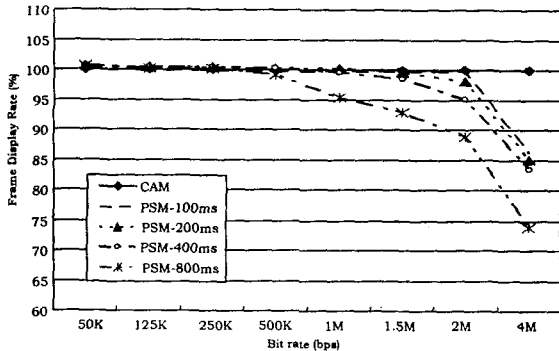


그림 2. Bit Rate에 따른 각 모드에서의 성능 저하 비교

그림 2는 Bit Rate이 변함에 따라 각 모드에서 재생한 프레임 수의 비율을 비교한 그래프이다. Bit Rate이 낮을 때에 PSM으로 동작하는 것의 성능 저하가 없음을 보여준다. 하지만 Bit Rate이 증가함에 따라 PSM으로 동작할 때에 성능 저하가 심해지고, 특히 Listen Interval이 길어질수록 재생하지 못한 프레임의 수가 많아짐을 볼 수 있다.

두 결과를 종합하면, Bit Rate이 낮은 스트리밍 클립에 대해서는

PSM의 Listen Interval을 길게 유지하는 것이 성능 저하 없이 전력 측면에서 많이 이득을 볼 수 있고, Bit Rate이 높은 스트리밍 클립에 대해서는 PSM으로 동작하는 것이 성능에서 저하가 심해지고 전력의 이득도 없기 때문에 CAM으로 동작하는 것이 효율적이다. 그러므로 Bit Rate에 따라서 적절한 모드 전환을 하면 성능과 전력 모두에 있어서의 이득을 볼 수 있을 것이다.

3. 스트리밍 서비스를 위한 전력 관리 기법

다음은 2장에서 실험 데이터를 기반으로 한 DPM기법을 제안한다. QoS를 보장하면서 전력 소모를 최소로 줄일 수 있는 Simple DPM 기법과 상황에 따른 QoS의 요구치에 따라 전력 소모를 더욱 줄일 수 있는 Adaptive DPM 기법을 기술한다.

3.1 Simple DPM 기법

Simple DPM 기법은 QoS를 100%에 유지시키면서 모드 전환하는 임계치를 정한다. 그림 2는 Frame Display Rate의 100%를 기준으로 각 모드에서 어느 정도로 감소가 있는 지를 보여준다. 이 데이터를 기반으로 모드 전환하는 임계치를 정하면 표 1과 같다.

Bit Rate (bps)	T_{s-P400}				T_{s-P300}	T_{s-P100}	T_{s-CAM}	4M
	50K	125K	250K	500K	1M	1.5M	2M	
Operating Mode	Power Saving Mode							Constantly Awake Mode
Listen Interval	800ms			400ms		200ms	100ms	N/A

표 1. Simple DPM 기법의 모드 전환 임계치

위의 표에서 T_{s-xxx} 는 각 모드로 동작하기 위한 임계치를 나타낸다. 즉, T_{s-CAM} 보다 큰 Bit Rate일 경우는 CAM으로 동작한다는 것을 의미하고, T_{s-P400} 보다 작은 Bit Rate일 경우는 PSM으로 동작하고 그때의 Listen Interval이 800ms으로 설정된다는 것을 의미한다. 위의 임계치를 기준으로 모드 전환을 할 때 재생하는 클립의 Frame Display Rate는 항상 100%로 유지되기 때문에 QoS의 저하 없이 전력의 이득을 볼 수 있다. Simple DPM 기법을 이용했을 때 해당 Bit Rate에 대해서 얻을 수 있는 전력 이득은 표 2와 같다.

Bit Rate / Mode	50K	125K	250K	500K	1M	1.5M	2M	4M
CAM	-	-	-	-	-	-	-	-
PSM-100ms	66%	65%	63%	56%	43%	34%	25%	-
PSM-200ms	72%	70%	68%	61%	49%	40%	30%	-
PSM-400ms	75%	73%	71%	65%	52%	43%	36%	-
PSM-800ms	78%	77%	75%	68%	60%	45%	36%	2%

표 2. Bit Rate에 따른 각 모드에서의 전력 이득

Simple DPM을 이용하면 500Kbps 미만의 스트리밍 서비스에 대해서는 68% ~ 78%의 전력 이득이, 500Kbps 이상 1Mbps 미만의 스트리밍 서비스에 대해서는 52% ~ 65%의 전력 이득이, 1Mbps 이상 1.5Mbps 미만의 스트리밍 서비스에 대해서는 40% ~ 49%의 전력 이득이, 1.5Mbps 이상 2Mbps 미만의 스트

리밍 서비스에 대해서는 25% ~ 34%의 전력 이득이 나타나는 것을 볼 수 있다.

3.2 Adaptive DPM 기법

Simple DPM 기법은 QoS를 100%로 유지하면서 전력 이득을 취하는 기법으로, 고정된 임계치를 사용하고 있다. 반면 Adaptive DPM 기법은 모바일 호스트의 배터리 잔량 등의 상태 파악을 통해서 QoS와 전력 이득 둘 중에 어디에 비중을 둘 것인가를 결정하여 임계치에 변화를 주는 기법이다. 표 2에서 볼 때, 전력 이득은 각 모드의 임계치($T_{s,xxx}$)가 높아질수록 커지는 것을 볼 수 있다. 1Mbps의 경우, Simple DPM 기법에 의하면 PSM-400ms로 동작하게 되고 전력 이득이 52%에 해당하지만 PSM-800ms로 동작하게 되면 전력 이득이 60%로 증가하게 된다. 물론 QoS의 저하는 있으나, 모바일 호스트가 QoS보다 전력이 중요한 상황이라면 Adaptive DPM 기법을 통해 전력 소모를 줄일 수 있다.

Adaptive DPM 기법에서의 새로운 임계치(T_A)는 Simple DPM 기법에서의 임계치(T_s)를 기준으로 정해진다.

$$T_{A-CURRENT} = T_{S-CURRENT} + \alpha \times \frac{T_{S-CAM}}{T_{S-CURRENT}} \times \delta \quad (1)$$

여기서 α 는 QoS와 전력 이득간의 비중치를 나타내는 변수 값이고, δ 는 기존 임계치의 최대 증가치이다. 현재 상태가 최대 QoS를 보장하기에 충분하다면 α 를 0으로 하여 임계치에 변화를 없게 하고, 현재 상태가 전력 이득을 필요로 한다면 α 를 1로 하여 임계치를 최대 증가치까지 올리게 된다. 이 때, 각 모드의 임계치와 CAM 모드의 임계치의 비율을 적용해서 최대 증가치가 차별적으로 적용되게 한다. 이는 좀 더 긴 Listen Interval에서 동작하는 구간을 길게 잡아주기 위해서이다.

$$T_{A-CAM} \geq T_{A-P100} \geq T_{A-P200} \geq T_{A-P400} \quad (2)$$

$$\delta = \frac{T_{S-P400} \times T_{S-P200}}{T_{S-CAM}} \quad (3)$$

(2)식은, (1)식에 의해서 새로운 임계치로 적용되었을 때 각 모드의 임계치 사이의 크기순서가 Simple DPM 기법에서의 순서로 유지되어야 한다는 것을 나타낸다. 이는 최대 증가치(δ) 설정에 영향을 주는데, 만약 최대 증가치가 상당히 높은 값으로 설정될 경우 (2)식을 만족시키지 않을 수 있다. 그렇기 때문에 최대 증가치는 (3)식으로 제한되어야 한다. 3.1절에서 제안한 임계치를 기준으로 하고 (3)식을 이용해서 최대 증가치를 계산하던 250Kbps가 된다. α 값에 따른 새로운 임계치는 그림 3과 같이 설정된다.

그림 3에 의하면 PSM의 800ms로 동작하는 구간의 증가치가 가장 크고, PSM의 100ms로 동작하는 구간의 증가치가 가장 작음을 알 수 있다. 이는 Bit Rate이 높아짐에 따라 성능 저하가 급격히 심해지는 현상과 그에 비해 전력 이득이 거의 없는 것을 감안한 결과이다. 즉, α 값이 커짐에 따라 전력 이득이

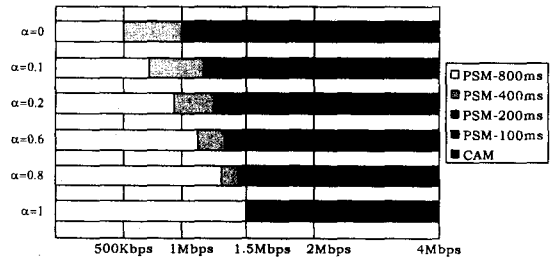


그림 3. α 에 따른 임계치의 변화

가장 큰 PSM-800ms로 동작하는 구간이 상당히 늘어나게 되고 이는 PSM-800ms로 동작할 확률이 높다고 해석할 수 있다. Simple DPM일 때 PSM-800ms로 동작하는 구간이 0 ~ 500Kbps였던 것에 반해 $\alpha=1$ 일 때는 구간이 0 ~ 1.5Mbps로 200% 증가하고 이를 통해서 500K ~ 1.5Mbps인 구간에서는 전력 이득이 최대 11% 증가하게 되고(표 2 참고) 성능은 최대 8% 감소하게 된다(그림 2 참고). 마찬가지로 1.5M ~ 1.83Mbps 구간에서는 전력 이득이 최대 6% 증가하게 되고 성능은 최대 3% 감소, 2M ~ 2.25Mbps 구간에서는 전력 이득이 최대 25% 증가, 성능은 최대 5% 감소하게 된다.

3. 결론

본 논문에서는 스트리밍 서비스를 대상으로 성능의 저하가 없는 상태를 유지하면서 모드 전환을 하는 Simple DPM 기법과 성능의 저하를 감수하면서 전력 이득의 극대화를 위한 Adaptive DPM 기법을 제안하였다. 이는 스트리밍 서비스의 특성상 고정된 Bit Rate으로 데이터를 전달받기 때문에, 서비스하는 대상의 Bit Rate에 대한 측정을 통해 모드 전환을 이루고자 하는 것이다. 그 중 전자는 실험적 데이터에 기반해서 적절한 모드 전환 시점을 알아내는 방법이고, 후자는 전자에서 정해진 모드 전환 시점을 기반으로 좀 더 전력 이득을 취하는 방법이다. 전자를 통해 낮은 Bit Rate에 대해서 68% ~ 78%의 전력 이득을 볼 수 있고, 후자를 통해 전력 이득이 큰 구간을 최대 200% 증가시킬 수 있다. 하지만 이를 위해서는 정확한 실험 데이터가 필요하고 QoS와 전력 이득간의 Tradeoff를 잘 파악하고 있어야 한다.

향후 연구로는 Simple DPM에서 임계치를 정하는 데에 있어서 정확성을 높이기 위한 연구와 스트리밍 어플리케이션 이외의 웹 서비스나 FTP 서비스와 같이 네트워크 사용 성향이 다른 어플리케이션에 대한 전력 관리 기법 연구 등이 있다.

참고문헌

- [1] N. AbouGhazaleh, R. N. Mayo, P. Ranganathan "Idle Time Power Management for Personal Wireless Devices" *Technical Reports, HP Laboratories*, September 2003.
- [2] S. chandra "Wireless network interface energy consumption implications of popular streaming formats" *In Multimedia Computing and Networking 2002*, January 2002.
- [3] M. Anand, E. B. Nightingale, J. Flinn "Self-Tuning Network Power Management", *Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking*, pp. 176-189 September 2003.