

무선 네트워크 환경에서 인터랙티브 응용 프로그램을 위한 전력 관리 기법

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

A Power Management Policy for Interactive Applications in Wireless Networks

Sehwan Chang[○] Hojung Cha
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

본 논문은 TCP 기반의 인터랙티브 응용 프로그램을 대상으로 무선 네트워크 인터페이스 카드의 전력 소모를 최소화할 수 있는 기법을 제안한다. 네트워크를 사용하는 응용 프로그램은 각각 다른 트래픽 특성을 보이기 때문에 최적의 동작 모드를 결정하는 데 동일한 판단 기준을 적용하기 어렵다. 인터랙티브 응용 프로그램은 사용자의 요청에 따라 트래픽이 발생하는 특징이 있기 때문에 트래픽 발생 주기 및 트래픽의 과도한 정도를 측정하고 이를 기준으로 최적의 동작 모드를 결정할 수 있다. 본 논문에서는 인터랙티브 응용 프로그램의 특성을 구별하는 기준을 제시하고 이를 기반으로 최적의 동작 모드를 결정하는 알고리즘을 제안한다.

1. 서론

최근 무선 네트워크 환경이 보편화되면서 휴대용 무선 디바이스의 사용이 급증하고 있다. 휴대용 무선 디바이스의 제한된 배터리 용량으로 인해 이를 효율적으로 관리할 수 있는 방법이 활발히 연구되고 있다. 효율적인 전력 관리는 무선 디바이스의 사용 시간을 연장시키고 사용자에게 안정적인 디바이스 사용을 제공할 수 있다. 본 논문에서는 무선 디바이스에서 가장 많은 전력을 소모하는 무선 네트워크 인터페이스 카드(WNIC)에 대한 전력 관리를 위해 트래픽의 특성에 기반하여 최적의 동작 모드를 결정하고 동적으로 이를 제어할 수 있는 기법을 제안한다.

네트워크를 사용하는 응용 프로그램은 각각의 특성에 따라 다른 트래픽을 발생시킨다. 예를 들어 Web 응용 프로그램은 사용자의 페이지 요청을 처리할 때 집중적으로 네트워크를 사용하고, FTP 응용 프로그램은 사용 가능한 대역폭을 최대한 사용하면서 데이터를 전송하게 된다. 반면 Telnet 응용 프로그램은 네트워크에 사용되는 데이터의 양은 크지 않지만 보다 빠른 응답 시간을 요구하는 특성이 있다. 그러므로 WNIC의 동작 모드를 결정할 때 응용 프로그램의 특성을 고려해야 하고 이를 반영함으로써 보다 정확하고 효율적인 전력 관리를 할 수 있다. 응용 프로그램의 특성을 반영하지 못한 전력 관리는 서비스의 질적인 측면을 만족시켜주지 못할 뿐만 아니라 경우에 따라서는 예상치 못한 전력 낭비를 초래할 수도 있다.

WNIC의 전력 소모를 줄이기 위해 기존의 많은 연구가 있었다. [1]은 예기치 않은 RTT 증가가 기존 PSM의 단점이라고 보고 이를 수정한 BSD 프로토콜을 제안하였다. 이 프로토콜은 트래픽 발생 초기에 CAM으로 동작함으로써 초반 RTT를 줄여준다. 이후 수신 간격을 늘려주는 방법을 통해 전력 소모를 최소화하는 방법을 제안하고 있다. 하지만 BSD 프로토콜은 CAM으로 유지되는 기간이 트래픽의 종료 시점을 고려하지 않고 있기 때문에 불필요한 에너지 소모를 유발할 가능성을 내재하고 있다. [2]는 스트리밍 응용 프로그램을 대상으로 무선 클라이언트의 전력 관리를 위한 트래픽 셰이핑 기법을 제안하였다. 이 기법은 스트리밍 데이터의 패킷 간격을 조절하여 인위적으로 트래픽이 없는 구간을 만드는 방법이다. 하지만 이를 구현하기 위해 추가의 프락시 서버가 필요하고

트래픽 모니터링만을 위한 무선 클라이언트가 필요하다는 단점이 있다. [3]는 저전력 TCP 버퍼링 기법을 제안하였다. 이는 TCP 수신 버퍼 용량을 모니터링하여 버퍼가 가득 찼을 때 WNIC를 저전력 모드로 전환하는 기법이다. 이는 다량의 트래픽이 있을 때 효과적인 기법으로 일반적인 네트워크 사용에 있어서는 효율성이 떨어지는 단점이 있다. [4]는 응용 프로그램의 분류를 통한 전력 관리를 제시하였다. 대표적인 응용 프로그램의 트래픽 패턴을 프로파일링하고 이 데이터를 기반으로 하여 현재 응용 프로그램을 예측한 후 미리 정의된 전력모드로 전환하여 전력 소모를 줄이도록 하였다. 하지만 하나의 응용 프로그램에 대해 하나의 전력 모드로 동작하기 때문에 항상 전력 소모가 최소일 수 없다는 단점이 있다.

본 논문에서는 TCP 기반의 인터랙티브 응용 프로그램에 대해 QoS를 보장하면서 전력을 최소화할 수 있는 기법을 제안한다. 이는 네트워크 사용량을 응용 프로그램의 상호작용성에 기반하여 예측하고 이를 통해 최적의 동작 모드를 결정하는 기법이다. 본 기법은 응용 프로그램의 수정이나 도움 없이 커널 레벨에서 자동적으로 감지하여 동적으로 변경하는 방법을 취한다. 이를 통해 Web 응용 프로그램에 대하여 최대 75%의 전력 감소 효과를 볼 수 있었고 Telnet 응용 프로그램에 대하여 최대 82%의 전력 감소 효과를 얻을 수 있었다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 인터랙티브 응용 프로그램을 위한 전력 관리 기법을 제안한다. 3장에서는 구현 및 실험 결과를 기술하고 4장에서 결론을 맺는다.

2. 인터랙티브 응용 프로그램을 위한 전력 관리 기법

인터랙티브 응용 프로그램은 두가지 기준으로 특성을 분류할 수 있다. 트래픽이 발생 주기를 나타내는 인터랙티비티 레벨과 사용자의 트래픽 요청에 대한 응답 데이터의 양을 나타내는 버스트 레벨이다. 트래픽의 발생 주기는 다음 트래픽의 발생 시점에 대한 예측을 가능하게 하여 동작 모드 변경에 대한 정보를 제공한다. 이는 사용자의 데이터 요청 간격을 모니터링하여 얻을 수 있다. 버스트 레벨은 트래픽의 과도한 정도를 나타내고 이를 통해 사용 가능한 대역폭에 대한 예측이 가능하다. 이는 최적 동작 모드 결정에 대한 정보를 제공하여 효율적인 전력 관리를 가능하게 한다. 다음은 4단계 State를 통한 전력 관리 기법에 대하여 기술하고 최적의 동작 모드를 결정하는 알고리즘에 대하여 설명한다.

• 본 연구는 한국학술진흥재단에서 지원하는 선도자연구지원사업으로 수행하였음 (2004-041-D00475)

2.1.4 단계 전력 관리 기법

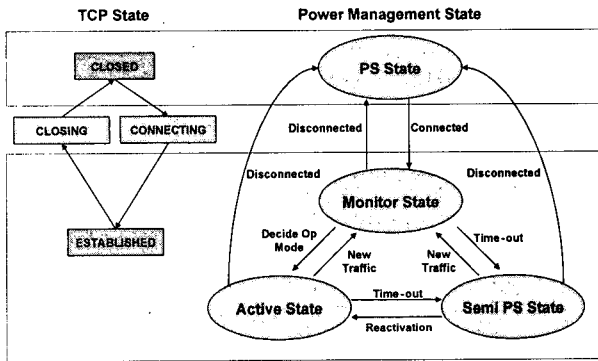


그림 1 전력 관리를 위한 4단계 스테이트 다이어그램

전력 관리를 위한 4단계 스테이트는 트래픽의 특성에 따라 WNIC의 동작 모드를 동적으로 변경하여 전력 소모를 최소화 하는 역할을 한다. 전력 관리를 위한 상태는 TCP의 상태와 흐름을 같이 한다. 그림 1은 제시하는 4단계의 전력 관리 상태와 상태 전환 이벤트 및 TCP 상태의 연관성을 나타내고 있다.

4단계 상태 중, PS State는 트래픽이 없을 때 위치하게 되는 상태이다. 이는 WNIC가 Sleep 상태에서 최대한 오래 유지될 수 있도록 최대 수신 간격으로 동작하게 되고 이를 통해 전력 소모를 최소화 한다. 이는 AP와의 통신하는 주기를 길게 유지하여 모드 전환의 오버헤드를 줄이고 최소 전력 소모의 Sleep 상태에 머무는 시간을 극대화하여 높은 전력 감소를 보일 수 있다. Monitor State는 트래픽의 특성을 파악하여 최적의 동작 모드를 결정하는 단계이다. 보다 정확한 특성 파악을 위해 이 단계에서는 WNIC를 CAM으로 동작하게 한다. 모니터링 하는 변수는 트래픽의 사용 가능한 대역폭, 평균 패킷 사이즈, 평균 요청 간격 등이다. 최적 동작 모드 결정 알고리즘은 2.2 절에서 설명한다. Active State는 해당 트래픽의 최적 동작 모드로 동작하는 단계이다. 이는 QoS를 보장함과 동시에 최적의 전력 소비율을 보이는 단계이다. 이 단계에서는 트래픽이 중단된 시점에 대한 감지 및 TCP 커넥션의 종료에 대한 감지를 통해 다음 단계로의 전환을 수행한다. SemiPS State는 트래픽이 잠시 중단된 기간동안 취하게 되는 상태이다. 응용 프로그램은 계속 사용중이지만 요청이 일정 기간동안 없을 경우 이 상태로 전환하게 된다. 즉, 가까운 시간내에 트래픽이 발생할 가능성이 높은 상태로 최적의 동작 모드에서 수신 간격을 점차 늘려가는 방식으로 동작하게 된다.

각 상태에서 다음 상태로의 전환을 일으키는 이벤트는 6가지가 있다. TCP 커넥션의 정보와 관련된 Connected와 Disconnected는 PS State와 그 외 스테이트로의 전환을 유발하며 SYN 패킷 및 FIN/ACK 패킷의 모니터링을 통해 가능하다. Monitor State에서 최적 동작 모드가 결정되면 Active State로의 전환이 일어나게 된다. 이는 2.2절의 알고리즘에 따라 동작한다. Active State 및 Monitor State에서는 트래픽이 일정 기간동안 발생되지 않음을 감지하여 SemiPS State로 전환한다. 이는 평균 요청 간격에 기반한 Time-out 값에 의하여 발생한다. Reactivation 이벤트는 SemiPS State에서 이미 특성이 파악된 트래픽이 재개되었을 경우 Active State로의 전환을 하는 이벤트이다. New Traffic 이벤트는 평균 패킷 사이즈의 편차가 일정 기준보다 커졌을 경우 트래픽의 특성이 달라졌다고 판단하여 Monitor State로의 전환을 하는 이벤트이다.

2.2 최적 동작 모드 결정 알고리즘

최적 동작 모드 결정을 위한 알고리즘은 두 단계로 나뉘어서 수

행된다. 첫 번째는 트래픽 모니터링을 통해 응용 프로그램이 사용하려는 대역폭을 예측하는 단계이다. 이는 버스트 레벨로 결정되며 버스트 레벨은 수신된 패킷 사이즈의 구별을 통해 가능하다. 수신된 패킷 사이즈가 작은 경우는 사용자의 요청 간격에 대한 의존도가 높기 때문에 버스트 레벨이 낮아지고 따라서 사용 가능한 대역폭보다 요청 간격에 의하여 예상 대역폭을 계산한다. 반면 수신된 패킷 사이즈가 큰 경우는 한 번의 통신이 다량의 데이터를 요구하는 경우이기 때문에 사용자의 요청 간격보다 사용 가능한 대역폭에 보다 많은 영향을 받게 된다. 버스트 레벨, 인터랙티비티 레벨 및 예상 대역폭 계산은 식 (1), (2), (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{SmoothedRequestInterval: } SRI$$

$$\text{BurstLevel: } BL = \frac{\text{Avg. PacketSize}}{\text{Max. PacketSize}} \quad (1)$$

$$\text{InteractivityLevel: } IL = \frac{1}{SRI} \quad (2)$$

$$\text{ExpectedDataRate} = \text{AvailableBandwidth} \times BL + IL \times \text{Avg. PacketSize} \times (1 - BL) \quad (3)$$

두 번째 단계에서는 계산된 예상 대역폭을 바탕으로 최적의 동작 모드를 결정한다. 최적 동작 모드는 무선 디바이스의 수신 간격을 의미하고 식 (4), (5)를 통해 계산된다. 식 (4)는 버퍼링되는 패킷의 개수를 통해 결정되는 Data Rate이다. 이와 함께 식 (3)에서의 예상 대역폭을 비교하여 최적의 동작 모드를 결정한다. 이 때 N은 QoS에 대한 지표로 AP가 무선 디바이스에 대한 데이터를 버퍼링하여 가지고 있을 패킷의 수를 의미한다. N은 QoS에 대한 제약의 의미하기 때문에 응용 프로그램의 특성에 따라 동적으로 조절해야 한다. 본 논문에서는 평균 패킷 사이즈에 기반하여 단계별 증가 방식으로 N값을 계산하였다.

$$\text{Available \# of Buffered Packet: } N$$

$$\text{The Best Listen Interval: } BLI$$

$$\text{AvailableDataRate} = \frac{N \times \text{Avg. PacketSize}}{BLI} \quad (4)$$

$$\text{AvailableDataRate} \geq \text{ExpectedDataRate} \quad (5)$$

이제까지 Monitor State에서 최적 동작 모드를 결정하는 알고리즘에 대하여 기술하였다. 3장에서는 제안하는 기법의 구현 방법 및 실험 결과에 대하여 기술한다.

3. 구현 및 성능 평가

제안하는 기법은 Linux Kernel 2.4.22 버전에 구현하였고 WNIC는 Cisco사의 Airo 350 Series를 대상으로 하였다. 본 시스템은 AAPM Core, Network Monitor, WNIC Controller로 구성된다. AAPM Core는 전력 관리 시스템의 On/Off, 4단계 스테이트에 대한 정의 및 전환, 최적 동작 모드 결정 알고리즘 수행을 담당하고 있다. 알고리즘 수행에 관련된 파라미터는 Network Monitor로부터 입력받는다. 또한 전력 관리를 위한 스테이트 전환은 WNIC Controller에 동작해야 할 모드로의 전환 명령을 수반하여 연동된다. Network Monitor는 AAPM Core에서 수행할 스테이트 전환 및 최적 동작 모드 결정에 필요한 정보를 추출하여 전달하는 역할을 담당하고 있다. 구체적으로 TCP Connection Detecting, Send Message Detecting, Incoming Packet Detecting 등의 작업을 수행한다. WNIC Controller는 AAPM Core에서 결정된 최적의 동작 모드로 전환하는 역할을 담당하고 있다. 네트워크 드라이버의 수정을 통해 무선 네트워크의 동작 모드를 능동적으로 조절할 수 있게 하였다.

다음은 제안하는 기법에 대하여 대표 응용 프로그램에 대한 실험을 바탕으로 성능 평가 및 전력 감소율에 대하여 기술한다. 대표 응용

용 프로그램은 Telnet 응용 프로그램, Web 응용 프로그램으로 선정하였다

3.1 Web 응용 프로그램에 대한 성능 평가

Web 응용 프로그램은 사용자의 인터랙티비티 레벨과 버스트 레벨이 높은 응용 프로그램에 해당한다. 다음에 제시하는 데이터는 사용 가능한 대역폭이 450Kbps이고 평균 패킷 사이즈가 1250 Byte이며 평균 요청 간격이 36ms로 측정된 웹사이트에 대하여 실험한 결과이다. 그림 2는 Busy 상태에서 소모되는 에너지에 대한 그래프이다. 그래프에 따르면 PSM-100ms로 동작하는 것이 1.84Joule로 가장 작은 에너지 소모를 나타내고 있다. 이는 AAPM이 Monitor State에서 CAM으로 동작하기 때문으로 판단할 수 있다. 하지만 Idle 상태에서의 에너지 감소 효과를 나타낸 그림 3에 의하면 Idle 상태가 길게 유지될수록 CAM에 비해서 최대 78%, PSM에 비해서 최대 28%의 전력 감소 효과를 나타내고 있다.

그림 4는 Busy 상태와 Idle 상태를 모두 고려한 에너지 감소 효과에 대한 그래프이다. CAM에 대한 에너지 감소 효과는 Idle 기간이

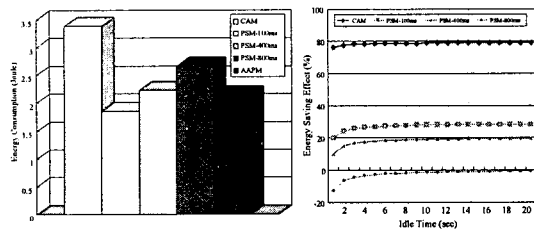


그림 2 Busy 상태에서의 에너지 소모

그림 3 Idle 상태에서의 에너지 감소 효과

0초일 때 46%에서 Idle 기간이 20초일 때 73%로 다른 모드와 비교했을 때 가장 높은 효율을 보인다. PSM-100ms과 비교했을 때 Busy 상태에서 보다 많은 전력 소모량이 4초의 Idle 기간이 지난 후부터 상쇄되어 20초의 Idle 기간이 지난 후 18%의 전력 감소 효과를 볼 수 있었다. 그림 5는 다양한 대역폭에 대한 성능 증가 효과를 나타낸 그래프이다. 이는 각 모드에서의 페이지 로딩 시간과 AAPM에서의 페이지 로딩 시간의 차이를 비율로 나타낸 것이다. 그래프에 의하면 낮은 대역폭에서는 성능 증가 효과가 적은 반면 높은 대역폭에서 성능 증가 효과가 크게 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 대역폭이 높아질수록 성능 보장에 비중을 두어 최적 동작 모드를 결정하기 때문이다.

3.1 Telnet 응용 프로그램에 대한 성능 평가

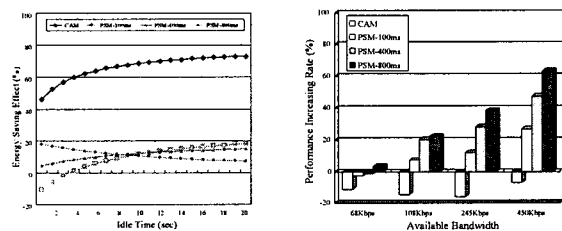


그림 6 전체 에너지 감소 효과

그림 7 대역폭에 따른 성능 증가 효과

Telnet 응용 프로그램은 인터랙티비티 레벨은 높은 반면 버스트 레벨은 아주 작은 대표적인 인터랙티비티 응용 프로그램에 해당한다. 다음은 측정된 RTT의 값이 다양한 Telnet 서버에 대하여 실험한 결과이다. RTT의 변화는 평균 요청 간격에 영향을 미치고 이로

인해 최적 동작 모드 결정에 있어서 보다 낮은 전력을 소모하는 동작 모드로 이동하는 경향을 보이게 된다. 그림 6은 응답 시간의 차이로 AAPM과 다른 모드를 비교한 결과이다. CAM과 비교하여 평균 0.1초의 응답 시간 저하를 보이는 반면 PSM-100ms과는 비슷한 응답 시간을 보이고 PSM-400ms과 PSM-800ms보다는 좋은 효율을 보이고 있다. 그림 7은 Idle 기간을 20초로 하였을 때 각 모드에 대한 에너지 감소 효과를 보여주는 그래프이다. 결과에 의하면 RTT가 큰 서버에 에너지 감소 효과가 소폭 상승하는 것을 확인할 수 있다. 이는 RTT가 커짐에 따라 최적 동작 모드가 수신 간격이 큰 쪽으로 이동하기 때문으로 판단할 수 있다. 이를 통해 CAM에 비하여 75~82%, PSM에 비하여 16~27%의 전력 감소 효과를 얻을 수 있었다.

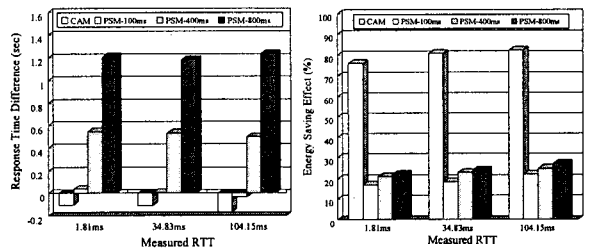


그림 6 RTT에 따른 응답 시간 차이

그림 7 RTT에 따른 에너지 감소 효과

4. 결론

본 논문에서는 인터랙티브 응용 프로그램을 대상으로 한 전력 관리 기법을 제안하였다. 본 기법은 전력 관리를 위해 트래픽의 특성에 따른 최적 동작 모드를 결정하고 이를 통해 QoS를 보장하면서 전력 소모를 최소화하는 것을 목적으로 하였다. 이를 통해 Web 응용 프로그램의 경우 CAM과 비교하여 7%의 성능 감소로 최대 73%의 전력 감소 효과를 얻을 수 있었고 PSM과 비교하여 63%의 성능 개선과 최대 18%의 전력 감소 효과를 얻을 수 있었다. Telnet 응용 프로그램의 경우 CAM과 비교하여 최저 0.16초의 응답 시간 저하를 보인 반면 최대 82%의 전력 감소 효과를 볼 수 있었고, PSM에 비교하여 최대 1.2초의 응답 시간 개선 효과와 함께 16~27%의 전력 감소 효과를 얻을 수 있었다. 이를 통해 트래픽의 특성에 보다 적절히 대응하여 최적 모드로 전환하는 것은 성능 보장과 함께 전력 소모를 최소화할 수 있음을 확인할 수 있다.

향후 연구 목표는 WNIC의 전력 관리 기법과 다른 컴포넌트의 전력 관리 기법을 연동한 시스템 통합적 전력 관리 기법을 개발하여 전력 관리를 극대화하는 것이다. 이를 통해 무선 디바이스의 제한된 배터리 용량을 효율적으로 관리할 수 있고 사용 시간을 더욱 극대화시킴으로써 더욱 향상된 서비스를 제공할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] R. Krashinsky and H. Balakrishnan "Minimizing Energy for Wireless Web Access with Bounded Slowdown" (2002) In *Proceedings of the Eighth Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom 2002)*, September 2002
- [2] S. Chandra and A. Vahdat. "Application-specific Network Management for Energy-aware Streaming of Popular Multimedia Formats" In *Usenix Annual Technical Conference*, June 2002.
- [3] D. Bertozzi, A. Raghunathan, L. Benini, S. Ravi "Transport protocol optimization for energy efficient wireless embedded systems" *Design, Automation and Test in Europe Conference and Exhibition*, March 2003
- [4] A. Weisell, M. Faerber, F. Bellosa "Application Characterization for Wireless Network Power Management" In *Proceedings of the International Conference on Architecture of Computing Systems (ARCS'04)* March 2004