모바일 무선단말을 위한 효율적인 전력제어기법

민정희O 차호정
연세대학교 컴퓨터과학과
{jhminO, hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

An Effective Power Management Mechanism for Mobile Wireless Devices

Junghi MinO Hojung Cha
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

본 논문은 모바일 시스템의 에너지소비를 줄이기 위하여 CPU와 WNIC의 상호영향과 응용의 종류를 고려한 시스템 레벨 동적 전력 제어 매커니즘을 제시한다. 제시되는 매커니즘은 CPU의 전압과 주파수의 변화에 따라 WNIC이 소모하는 전력이 영향을 받는다는 현상과 무선 네트워크를 사용하는 응용의 종류에 따라 효율적인 CPU의 전압과 주파수와 WNIC의 전력 모드가 다르다는 점에 기초하여 무선 네트워크를 사용하는 응용의 종류에 따라 적절한 CPU, WNIC의 전력 모드를 효과적으로 판단한다. 실험결과는 기존의 단순히 CPU와 WNIC의 DVFS와 DPM을 결합한 정책에 비해 제시되는 매커니즘은 BE 응용, CBR 응용, 그리고 Telnet 응용에 대해서 각각 평균 8%, 3%, 그리고 16%의 에너지 절약 효과를 보였다

1. 서 론

최근 모바일 시스템에서 스트리밍 멀티미디어 컨텐츠, 웹 브라우징과 같은 무선 네트워크를 사용하는 응용의 사용량이 증가함에 따라 모바일 시스템의 통신 모듈과 이들 응용을 처리하기 위한 CPU의 소모전력을 줄이기 위한 연구가 중요시 되고 있다. 모바일 시스템의 주요 구성요소 중 CPU와 display는 전체 시스템의 소모전력의 약 65%을 소모한다 [1]. 그리고 WNIC (Wireless Network Interface Card)는 전체 시스템의 소모전력의 약 35%를 소모한다 [1]. 이로 인해 CPU와 display, WNIC의 소모전력을 줄이는 것은 전체 시스템의 소모전력을 줄일 수 있는 중요한 요소다.

기존의 연구들은 CPU와 WNIC 각각의 에너지 소모를 줄일 수 있는 기법을 연구하였다[2, 3, 4]. 뿐만 아니라 시스템 레벨에서 에너지 소모를 줄이고자 할 때도 각각의 구성요소들이 상관없다는 가정하에 CPU를 소모전력을 줄이기 위한 DVFS기법과 WNIC의 소모전력을 줄이기 위한 DPM 기법들을 단순히 결합하였다[5, 6]. 근래 들어 시스템 레벨의 에너지 소모를 줄이기 위하여 배터리의 사용 가능 시간을 고려하거나 CPU와 메모리 또는 CPU와 디스크의 상호영향을 분석한 기법들이 소개되었다 [5, 6, 7, 8]. 하지만 CPU와 WNIC사이의 관계에 대한 연구는 아직 미비한 상태이다.

본 논문에서는 모바일 시스템의 구성요소 중 CPU와 WNIC의 소모전력을 효율적으로 줄임으로써 전체 시스템의 소모전력을 줄이는 기법을 제시한다. 이를 위하여 모바일 시스템에서 중요한 시스템 구성요소들인 CPU와 WNIC이 서로 끼치는 영향을 분석한다. 이때 정확한 CPU와 WNIC의 시너지 효과를 파악하기 위하여 사용자 대화식 이용이 없는 무선 네트워크를 사용하고 일정한 bit rate를 갖는 스트리밍 데이터가 모바일 시스템에서 처리되는 과정에서 WNIC과 CPU이 소모하는 에너지를 분석한다. 본 논문은 이 분석 결과를 고려하여 효율적으로 시스템의 소모 에너지를 줄여줄 수 있는 시스템 레벨 DPM (Dynamic Power Management)기법을 제시한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 논문에서 제안하는 WiFi기반의 모바일 시스템을 위한 통합 전력제어 기법에 대해 기술한다. 3장에서는 실험 방법 및 결과에 대해 기술하고 4장에서 결론을 맺는다.

2. 통합 전력 제어 기법

모바일 시스템의 소모 에너지를 줄이기 위한 기존의 기법들은 CPU와 WNIC의 상호작용을 고려하지 못하였다. 기존의 방법을 개선할 수 있는 요소를 찾고자 우리는 모바일 시스템에서 사용되는 대표적인 응용 중 사용자의 대화식이용의 영향을 거의 받지 않는 스트리밍 데이터 응용에 대하여 CPU, WNIC의 소모 에너지를 측정하여 관찰하였다. 그림 1은 스트리밍 데이터의 가장 기본적인 조건인 QoS와 bit rate, 그리고 listen interval의 관계를 보이고 있다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 동일 bit rate 데이터에 대한 프레임 손실은 CPU 전압과 주파수가 더 낮아지면 더 심해지고, CPU 전압과 주파수가 더 높아지면 더 호전된다. 스트리밍 데이터의 경우에는 PSM으로 설정되어 있는 WNIC에서 소모하는 에너지가 bit rate별, listen interval별로 달라진다.

제시되는 매커니즘은 네트워크 트래픽을 분류하여 각 응

본 연구는 서울시 산학연 협력사업 (과제번호: 10692)과 과학기술부 국가지정연구실사업(과제번호: 2005-01352)으로 수행 하였슴

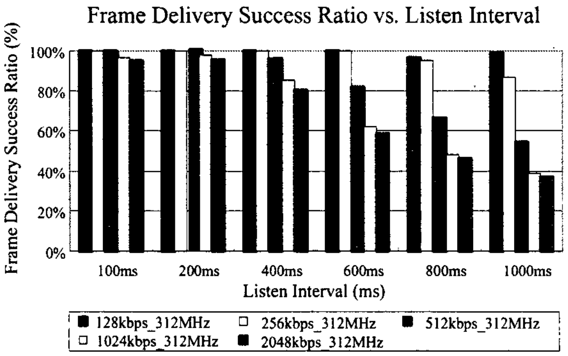

그림 1. 프레임 전송 성공률과 listen interval의 관계

용의 특성에 따라 CPU와 WNIC의 전력 모드를 설정하여 효율적으로 소모 에너지를 줄이는 것을 목적으로 한다.

제시되는 매커니즘은 모니터링단계, 응용 분류 단계, 그리고 전력 모드설정 단계로 구성된다. 제 1단계로 무선 네트워크를 통해 들어오는 네트워크 트래픽들을 커널에서 모니터링하고 분석한다. 이 모니터링 단계는 무선 네트워크를 통해 들어오는 네트워크 트래픽의 유무를 분석하는 단계이다. 이 단계에서는 네트워크 연결여부를 검사하고 네트워크 트래픽이 없는 기간을 측정하여 대화식 이용의 정도를 판단하는 자료를 수집한다. 만일 네트워크 트래픽이 발생하면 제 2단계인 응용분류단계로 넘어간다. 응용분류단계에서는 대역폭 사용률, 패킷 크기, 사용되는 포트 번호 등을 통해 네트워크 트래픽의 응용의 종류를 동적으로 BE (Best Effort)응용, CBR (Constant Bit Rate)응용, 대화식 (Interactive)응용으로 분류한다. 또한 대화식 응용인지를 판단하기 위해 수집된 네트워크 트래픽이 없는 기간과 평균 요청 간격을 통해 사용자의 대화식 이용 정도를 판단한다. 제 3단계는 전력 모드 설정 단계로 판단된 각 응용의 종류에 따라 에너지 소모를 줄일 수 있도록 CPU와 WNIC의 전력 모드를 설정한다. 다음 식들은 네트워크 트래픽을 분석하여 적절히 응용을 분류하기 위해 사용된다. 대역폭 사용률을 계산하는 방법은 다음과 같다. *BW*, BW_M 그리고 BW_U를 각각 대역폭사용률, 최대사용가능 대역폭, 사용된 대역폭이라 하자. *n*은 측정한 횟수이다. 대역폭 사용률, *BW*는 BW_U / BW_M 로 구할 수 있으며 평균값을 취함으로써 보다 정확한 값을 구할 수 있다. 사용된 대역폭은 버스트 레벨과 관계가 있다. 버스트 레벨을 계산하는 방법은 다음과 같다. *BURL*, PKS_M, 그리고 PKS_R을 각각 버스트 레벨, 해당 포트에 따른 최대 패킷 크기, 수신된 패킷 크기라 하자. 버스트 레벨, *BURL*은 한 순간에 얼마나 많은 양의 데이터 통신이 이루어지는가를 나타내며 PKS_R / PKS_M 의 평균값으로 구할 수 있다.

CPU 전압과 주파수 조절과 WNIC의 CAM과 PSM 사이의 전환기법을 이용하여 시스템 전력절감의 시너지 효과를 가져오기 위해서 응용의 종류에 따라 CPU와 WNIC의 전력 정책을 선택해야 한다. 본 논문에서 편의상 CPU를 high 전압과 주파수 (1.6v, 520MHz in this paper)로 동작시키는 모드를 highVF라 명명하여 사용한다.

BE 응용의 경우, CPU의 소모전력을 줄이고자 DVFS로 설정하게 되면 소모시간이 더 걸린다. 이는 오히려 WNIC이 CAM 모드로 지속되는 시간을 늘리게 되므로 소모에너지가 늘어난다. 따라서 네트워크 트래픽이 분석된 결과가 BE 응용의 경우에는 CPU를 highVF로, WNIC은 CAM으로 설정한다. 만일 분석된 결과가 CBR 응용이라면 앞에서 살펴본 바와 같이 CPU의 전압과 주파수가 WNIC의 소모 에너지에 영향을 끼치므로 CPU를 highVF로 동작시킨다. WNIC은 요구되는 bit rate만 지원하면 QoS가 보장되므로 PSM으로 동작시킨다. 이는 스트리밍 데이터가 사용자의 대화식 이용의 영향을 받지 않는다는 점과 일정한 비율로 들어오는 데이터를 처리할 때 WNIC의 디바이스 드라이버 처리시간과 활성화되어 있는 시간이 CPU의 전압과 주파수에 반비례함에 기인한다. 만일 PSM이면서 WNIC이 사용되지 않는 상태라면 CPU를 DVFS로 동작시키는 것이 효율적이다. 만일 분석된 결과가 BE나 CBR이 아니라면 대화식 응용으로 결정한다.

WNIC을 PSM으로 설정할 경우, PSM에서 세부적으로 조절할 수 있는 요소로는 listen interval 이 있다. Best listen interval을 결정하는 데는 요청간격, 평균 수신 패킷 크기, 대역폭, RTT가 사용된다. 가능한 버퍼된 패킷의 수를 *N*이라 하자. best listen interval, average packet size, 그리고 available data rate를 각각 *BLI*, *APKS*, 그리고 *ADR*이라 하자. *BLI*는 네트워크 트래픽을 모니터링해서 구해진 값들을 이용하여 $N * APKS / ADR$ (단, ADR >= expected data rate)으로 구할 수 있다. 들어오는 네트워크 트래픽이 CBR 또는 대화식 응용으로 분류된 경우, CPU와 WNIC의 전력 모드를 설정한 이후 *BLI*를 계산하여 설정한다.

3. 실험

본 논문에서 제안한 통합 전력 제어 기법을 평가하기 위하여 Bulverde PXA270 mainstoneII를 사용하여 CPU와 WNIC에서 소모되는 power를 각각 측정하였다. WNIC으로는 CISCO AIRONET 350을 사용하였다. 측정도구로는 Agilent 34970A를 사용하였다. 본 실험에 사용한 응용은 BE 응용으로서 ftp 응용, CBR 응용으로서 스트리밍 데이터 응용, 대화식 응용으로서 telnet 응용이다. 편의상 기존방법들은 CPU와 WNIC의 power 정책을 따로 고려하였으므로 Separate DPM이라 하고, 제안하는 기법은 Integrated DPM이라 별명을 붙여서 사용한다.

그림 2는 CPU를 highVF mode로 동작시킬 때와 DVFS로 동작시킬 때의 비교결과를 보여준다. 전송되는 화일의 크기는 1Mbyte, 2Mbyte, 4Mbyte, and 8Mbyte로 실험하였다. 본 실험을 통하여서 CPU를 DVFS로 동작시킬 때보다 오히려 highVF로 동작시키는 것이 평균 8%의 energy saving 효과가 있음을 알 수 있다.

스트리밍 데이터 응용은 일정한 비율로 패킷이 들어와 CPU에서 디코드되어 사용되며, 사용자의 대화식 사용의 영향을 받지 않으므로 CPU와 WNIC의 상호영향 관계를 살펴볼 수 있는 중요한 응용이다. 기존의 방법인 Separate DPM은 CPU를 QoS를 보장할 수 있다는 전제하에 가능한 낮은 전압과 주파수로, WNIC을 PSM으로 운용하는 것이었

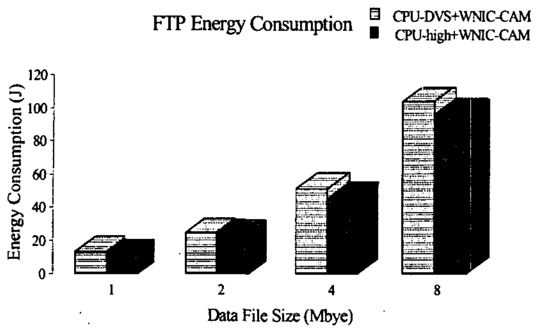

그림 2. FTP응용에 대한 CPU-DVFS와 CPU-highVF 적용 시 소모에너지 비교

지만 실험 결과 Integrated DPM으로 할 경우 CPU를 높은 전압과 주파수로 하는 것이 오히려 WNIC의 energy를 절감시킬 수 있음을 알 수 있었다. 그림 3은 128kbps, 256kbps의 스트리밍 데이터 각각에 대한 CPU를 DVFS로 동작시킬 때와 416MHz로 동작시킬 때의 CPU와 WNIC의 소모되는 전력의 비교를 보여주고 있다.

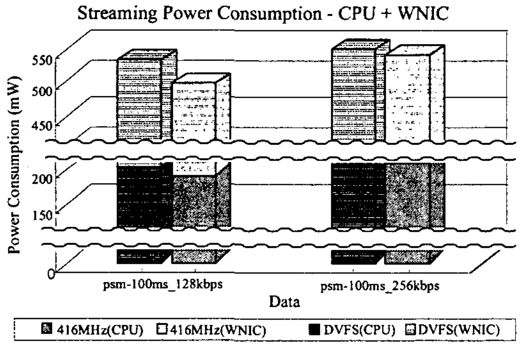

그림 3. 스트리밍 데이터 응용에 대한 DVFS and 416MHz 의 전력소모 비교

Telnet 응용의 경우 기존의 separate DPM은 각각 CPU는 DVFS로, WNIC은 PSM으로 설정하였다. 그림 4는 CPU를 highVF와 DVFS로 설정할 때 각각에 대해 WNIC의 모드와 listen interval 정책에 따른 에너지 소모의 비교를 보여준다. 제안되는 매커니즘에 따라 PSM mode에서 *BLI*를 계산하여 적용한 결과 에너지 소모를 최대 25%, 평균 16%까지 줄일 수 있었다.

4. 결론

본 논문은 모바일 시스템의 에너지소비를 효율적으로 줄이기 위하여 기존에 고려하지 못했던 CPU와 WNIC의 상호영향과 응용의 종류를 고려한 시스템 레벨의 동적 전력제어 기법을 제시한다. 제시하는 매커니즘은 기존의 단순히 CPU만 DVFS한 경우, 단순히 WNIC만 DPM한경우, 또는 CPU의 DVFS와 WNIC의 DPM을 단순히 결합

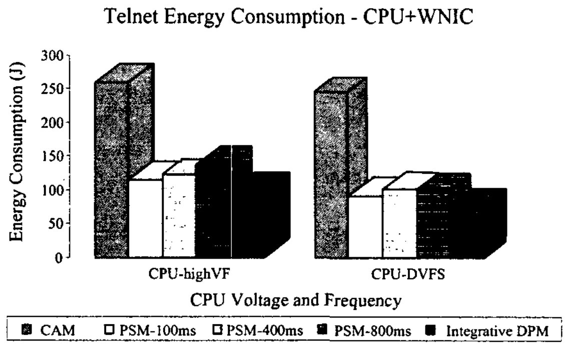

그림 4. Telnet 응용에 대한 DVFS and highVF의 소모 에너지 비교

한 경우에 비해 CPU의 전압과 주파수와 WNIC의 CAM, PSM, 그리고 listen interval의 조절 시 CPU와 WNIC의 에너지 소모의 상호 영향을 분석하고 이를 토대로 대역폭 사용률, 패킷크기, 버스트 정도, 사용되는 포트번호, 평균 요청 간격등을 고려하여 응용들을 BE 응용, CBR 응용, 대화식 응용으로 분류하여 각 응용에 적합하게 CPU와 WNIC의 전력 모드로 설정하는 매커니즘을 제시한 것이다. 제시되는 매커니즘을 통하여 기존의 방법보다 BE 응용, CBR 응용, 그리고 대화식 응용에 비해 각각 평균 8%, 3%, 그리고 16%의 에너지 절감 효과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

[1] N. AbouGhazaleh, R. N. Mayo, P. Ranganathan, Idle time Power management for personal Wireless Devices, Technical Reports, HP laboratories, September 2003.
[2] A. Weissel, M. Faerber, and F. Bellosa, "Application Characterization for Wireless Network Power Management," Proceedings of the International Conference on Architecture of Computing Systems (ARCS'04), March 2004.
[3] C. Poellabauer, K. Schwan, Energy-aware traffic shaping for wireless real-time applications, in Proc. Of RTAS' 04, pp. 48-55, May 2004.
[4] C. E. Jones, K. M. Sivalingam, P. Agrawal, and J. C. Chen, "A survey of energy efficient network protocols for wireless networks", Wireless Networks, Vol.7, No.4, pp.343-358, July 2001.
[5] D. Rakhmatov, S. Vrudhula, Energy management for battery-powered embedded systems, ACM Transactions on Embedded Computing System 2 (3) pp.277–324, 2003.
[6]] T.L. Martin, Balancing Batteries, Power and Performance: System Issues in CPU Speed-Setting for Mobile Computing, Ph.D. thesis, Department of Electrical and Computer Engineering, Carnegie Mellon University, 1999.
[7] M. Anand, E. B. Nightingale, and J. Flinn, "Self-Tuning Network Power Management," Proceedings of the 9th annual international conference on Mobile computing and networking, September 2003.
[8] S. Choi, H. Cha, and R. Ha, "A selective DVS technique based on battery residual," Microprocessors and Microsystems, pp.1-10, November 2005.