

그래픽 가속기를 고려한 전력 관리 기법

안준호^o 차호정
연세대학교 컴퓨터과학과
(junho,hjcha)@cs.yonsei.ac.kr

An Integrated power management for multimedia applications in handheld system with graphic accelerator

Junho Ahn^o Hojung Cha
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

본 논문은 그래픽 가속기를 포함한 모바일 시스템에서 멀티미디어 응용을 위한 통합전력관리 기법을 제안한다. 가속기가 포함된 시스템이 멀티미디어 프로세스를 실행할 때 QoS를 유지하면서 에너지 절약을 하기 위해서는 가속기의 특징을 고려한 DVS 알고리즘이 필요하다. 그러나 기존 DVS 알고리즘은 CPU 위주로 연구된 알고리즘이어서 가속기가 포함된 시스템에 적용하는 것은 문제가 있기 때문에 CPU와 가속기의 특징을 고려한 통합전력관리 DVS 방법이 필요하다. 제안된 DVS 스케줄링은 리눅스 운영체제 상에 구현하였으며 Intel 2700G 그래픽 가속기가 포함된 Xscale 장치에서 실험을 하였다. 따라서 제안된 DVS 기법이 범용적인 프로세스의 QoS를 보장하면서 에너지 소비를 CPU 위주로 연구된 알고리즘보다 평균 12.5% 줄일 수 있음을 밝혔다.

1. 서론

최근 모바일 시스템에서 그래픽 가속기가 포함된 시스템의 개발이 증가하고 있다. 그래픽 가속기가 포함된 시스템은 멀티미디어 프로세스의 CPU 사용률을 감소시키면서 QoS의 보장이 가능하다. CPU만으로 멀티미디어 프로세스를 실행시킬 경우 CPU의 에너지 소비가 중요하지만 그래픽 가속기가 포함된 시스템에서 가속기에 대한 에너지 소비를 같이 고려해야 한다.

모바일 시스템에서 멀티미디어 프로세스에 대한 CPU 위주의 에너지 절약 방법으로는 최적의 주파수와 전압으로 조절하는 DVFS(Dynamic voltage frequency scaling) 방법이 있다. [1, 2, 3, 4, 6] 이런 최적화 알고리즘은 초기에 멀티미디어를 한 주기 동안 최대 주파수로 실행 시킨 후 디코딩 시간과 slack 시간 간의 관계를 통해서 CPU의 주파수 크기에 따라 처리 속도를 조절하여 에너지를 절약한다. 그러나 그래픽 가속기가 포함된 장치에서 가속기의 주파수도 조절할 수 있기 때문에 CPU의 주파수가 낮아도 처리 속도는 높을 수 있다. 이는 주파수를 기준으로 연구된 CPU 위주의 알고리즘을 그래픽 가속기가 포함된 시스템에 적용하는데 문제가 있음을 나타낸다.

본 논문에서 멀티미디어 프로세스에 대한 CPU 위주로 연구된 알고리즘을 그래픽 가속기가 포함된 시스템에 적용하면 에너지를 최적으로 절약하지 못하는 문제가 있음을 제시한다. 이 문제는 Intel 2700G5 그래픽 가속기가 포함된

Xscale PXA 보드에서 실험을 하였다. PXA CPU[8]는 DVFS 지원하고 Intel 2700G5 그래픽 가속기[6, 7]는 DFS를 지원한 상태에서 실험을 했다. 이를 통해 가속기와 CPU가 통합된 최적화 알고리즘을 구현하고 CPU 위주로 연구된 최적화 알고리즘을 그대로 적용하는데 문제가 있음을 밝히고 가속기가 포함된 시스템에서 통합 알고리즘을 제시한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 기존 기법의 문제점을 제시하며 3장에서 통합전력관리 알고리즘을 설계하여 4장에서 QoS를 보장하면서 에너지 소비를 최소화 할 수 있음을 실험을 통해 밝히고, 5장에서 결론을 맺는다.

2. Motivation

가속기가 포함되지 않은 시스템에서 CPU만을 이용하여 멀티미디어 프로세스를 작동 시키면 주파수에 따라 소비 전력과 처리속도가 비례하기 때문에 주파수 크기의 순서가 처리 속도 크기의 순서와 같다. 그래서 주파수의 크기를 조절하여 QoS를 유지하는 최적의 주파수로 조절하여 에너지를 절약하는 CPU 위주의 DVS 기법이 있다. CPU 위주의 기법을 가속기가 포함된 시스템에 적용하기 위해서 CPU와 가속기의 주파수를 한 쌍으로 만든 후 주파수 집합으로 만든다. 그런 후 알고리즘을 적용하면 각 주파수 쌍의 소비 전력을 기준으로 주파수들을 순서화 시킨다. 이런 순서를 이용하여 CPU와 가속기의 주파수를 순서에 따라 조절하면서 QoS를 유지하는 최적의 주파수를 찾아서 에너지를 줄이게 된다. 그러나 이런 소비 전력을 기준으로 순서화 시킨 방법은 문제가 있다. 왜냐하면 시간에 따른 CPU와 가속기의 주

본 연구는 서울시 산학연 협력사업 (과제번호: 10692)과 과학기술부 국가지정연구실사업 (과제번호: 2006-01546)으로 수행하였음

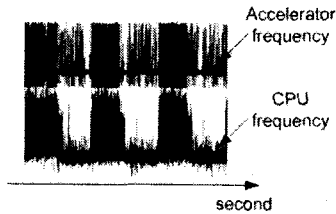


그림 1: 멀티미디어 디코딩 할 때 시간에 따른 가속기와 CPU의 주파수 변화 : 위쪽은 Intel 2700G5 가속기의 주파수 변화, 아래쪽은 PXA CPU의 주파수 변화

파수간의 관계를 나타낸 그림1에서 보여주듯이 CPU와 가속기가 서로 종속적인 관계여서 단순히 각 주파수의 소비 전력을 기준으로 순서를 정하는 것이 처리 속도와 비례하지 않기 때문이다. 이런 문제를 실험을 통하여 정리하면 CPU만을 이용한 멀티미디어 프로세스의 최적화 주파수가 312MHz이고 주파수간 512MHz와 416MHz, 312MHz인 경우 최적의 주파수로 조절하기 위해서 초기에 최대 주파수인 512MHz로 실행을 시키고 slack 시간을 계산한 후 최적화 주파수로 실행하기 위해서 주파수를 416MHz로 변경 후 312MHz로 다시 변경하여 최적화시킬 것이다. 이때 전력관계를 보면 $512\text{MHz} > 416\text{MHz} > 312\text{MHz}$ 로 주파수는 소비 전력과 처리 속도 간에 비례 관계가 성립한다. 만약 가속기가 포함된 시스템에서 처리 속도와 소비 전력 간에 일정한 관계성을 유지 한다면 전력 소비의 크기 순서로 주파수를 구별할 수 있을 것이다. 그러나 CPU와 가속기 간에 단순히 소비 전력의 크기로 순서를 구별할 수 없다. CPU와 가속기는 서로 모듈화 되어 독립적으로 실행되는 것이 아닌 서로 종속적인 관계이기 때문이다. 그림2와 그림3은 각각 CPU와 그래픽 가속기의 주파수에 따른 소비 전력과 최대 처리 속도를 나타낸다. 두 그래프를 비교할 때 CPU와 가속기의 주파수에 따른 소비 전력과 최대 처리 속도 간에 밀접한 관계가 없다. CPU/가속기의 주파수가 520/50MHz와 416/75MHz를 비교할 경우 소비 전력은 520/50MHz가 높지만 처리 속도는 416MHz/75MHz가 더 빠르다. 이는 CPU의 주파수 조절하기 보다는 가속기의 주파수를 조절하는 것이 더 큰 영향을 줄 수 있다는 것이다.

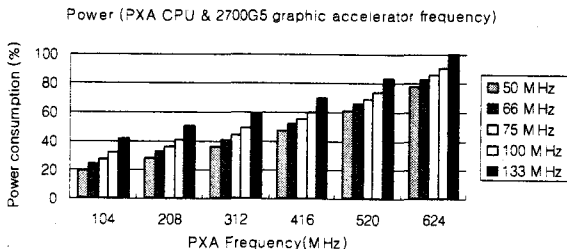


그림 2: CPU와 그래픽 가속기의 주파수에 따른 전력소비

이를 통해서 가속기가 포함된 장치에서 QoS를 유지하면서 에너지를 절약하기 위해서 소비 전력을 기준으로 주파수를

순서화 시켜서 이 순서로 전력 소비가 최저인 주파수를 찾는 것은 최적으로 에너지를 절약하는 것이 아니다.

Maximum FPS (PXA CPU & 2700G5 Graphic accelerator frequency): 1Mbps

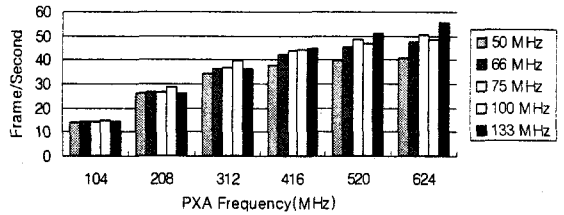


그림 3: CPU와 가속기의 주파수 변화에 따른 최대 처리 속도

따라서 본 논문은 CPU와 가속기의 주파수를 소비 전력 순서로 하지 않고 QoS를 유지하는 것을 중심으로 주파수와 처리 속도, 전력간의 관계를 고려한 방법으로 새롭게 주파수를 순서화해서 전력소비를 절약하는 알고리즘을 제시한다.

3. 가속기를 고려한 통합전력관리 알고리즘

본 논문은 모바일 시스템에서 그래픽 가속기와 CPU의 특징을 고려한 통합 알고리즘을 제안한다. 그림4는 가속기의 특징을 고려하여 통합전력관리 알고리즘을 나타낸다.

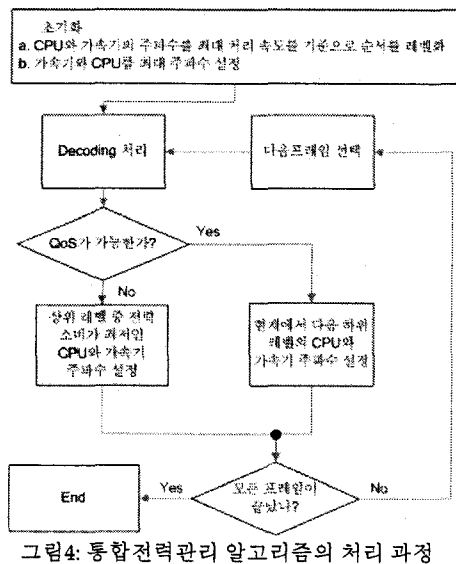


그림4: 통합전력관리 알고리즘의 처리 과정

스케줄러는 QoS를 유지하기 위해서 WCET(Worst Case Execution Time)를 포함한 CPU와 가속기의 주파수를 선택해야한다. 이를 위해 CPU와 가속기의 주파수를 한 쌍의 집합으로 나눈 후 CPU와 가속기의 주파수에 따른 최대 처

리 속도를 나타낸 그림3과 같이 처리 속도가 큰 순서로 주파수를 나눈다. 이 주파수로 디코딩을 하면서 slack 시간을 계산하여 QoS의 유지가 가능한 최적의 주파수를 찾기 위해 조금씩 낮추면서 적정 주파수의 CPU와 가속기의 주파수를 선택한다. 그러나 QoS를 유지하는 최적화된 CPU와 가속기의 주파수를 선택했을 지라도 소비 전력은 최적이지 아닐 수 있다. 예를 들어 만약 40 fps의 처리 속도를 유지해야 할 경우 CPU/가속기의 주파수가 520/50MHz일 때 최적의 처리 속도가 선택된다. 그러나 QoS를 유지하면서 소비 전력이 더 작은 것은 416/66MHz일 때이다. CPU/가속도의 주파수 416/66MHz가 선택되기 위해서는 선택된 520/50MHz 주파수 보다 처리 속도가 더 빠른 주파수 중에서 소비 전력이 가장 작은 416/66MHz 주파수 선택하게 함으로써 얻을 수 있다. 따라서 처리 속도가 큰 것을 기준으로 QoS를 유지하는 최적의 CPU와 가속기의 주파수를 찾고 선택된 주파수 보다 더 높은 처리 속도를 갖는 주파수 중 소비 전력이 가장 작은 주파수를 최종적으로 선택하게 된다.

이런 통합전력관리 기법을 간단한 예를 통해 확인하면 CPU/가속기의 주파수가 520/100MHz와 520/50MHz, 416/100MHz인 3종류의 주파수가 있고 소비 전력은 $520/100\text{MHz} > 520/50\text{MHz} > 416/100\text{MHz}$ 이고 처리 속도는 $520/100\text{MHz} > 416/100\text{MHz} > 520/50\text{MHz}$ 인 경우 최적의 주파수가 520/50MHz라고 가정하면 그림5에 나타난 것과 같이 처리 속도에 따라 주파수를 조절하면서 처리 속도를 낮출 것이다. 그러나 소비 전력은 520/50 MHz보다 처리 속도가 빠른 416/100MHz일 때 소비 전력이 작으므로 416/100 MHz를 선택하여 일정한 주기성을 갖게 된다.

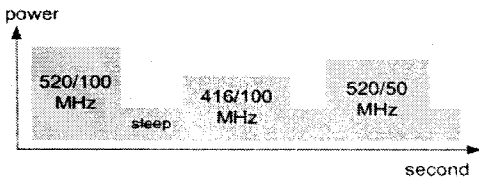


그림 5: 통합전력관리 기법을 이용한 시간에 따른 주파수의 변화

따라서 통합전력관리 알고리즘은 QoS를 유지하는 최적의 CPU와 가속기의 주파수를 선택하게 된다. 그리고 기존의 소비 전력의 크기 순서로 주파수를 나눈 CPU위주 방법 보다 더욱 최적을 선택하여 에너지를 절약한다.

4. 실험

CPU와 가속기의 통합전력관리 알고리즘은 리눅스 커널에서 구현을 하였다. 구현된 하드웨어는 X-Hyper270B보드에 Xscale PXA CPU와 Intel 2700G5 그래픽 가속기가 포함되어 있다. Xscale PXA CPU의 지원 주파수들은 104와 208, 312, 416, 520, 624 MHz이고 Intel 2700G5 그래픽 가속기의 메모리 지원 주파수는 50(core 주파수 50)과 66(66), 75(75), 100(50), 133(66.7) MHz이다. 또한 PXA는 주파수에 따른 DVS를 지원하지만 Intel 2700G5 그래픽 가속기는 DVS는

지원하지 않는다. Xscale 보드에 설치된 커널 버전은 리눅스 2.6.5이고 멀티미디어 파일로는 1Mbps와 2Mbps가 사용되었고 프레임 속도는 30 fps가 사용되었다. 그리고 멀티미디어의 크기는 640x480이 사용되었다. 응용프로그램은 Mpegdecoder을 이용하여 각 bps와 fps 마다 사용되는 전압과 전류를 측정하였다. 측정에 사용된 오실로스코프는 Agilent DSO6034A이다.

제시한 통합전력관리 알고리즘의 성능 평가를 위해 세 가지 경우로 실험을 했다. 첫째는 DVS를 하지 않은 방법(No-DVS), 둘째는 CPU 위주의 연구 알고리즘으로 CPU와 가속기의 주파수를 한 쌍의 집합으로 나눈 후 소비 전력의 크기 순서로 주파수를 분류해서 QoS가 가능한 최적의 주파수를 찾는 DVS 방법 (CPU-DVS), 마지막으로 CPU와 가속기의 주파수를 한 쌍의 집합으로 나눈 후 최대 처리 속도가 큰 순서로 주파수를 나눈 다음 선택된 주파수 보다 처리속도가 빠른 주파수 중 최소의 전력을 소비하는 주파수로 DVS하는 통합전력관리 DVS 방법 (Proposed)을 이용하였다.

세 가지 방법을 이용하여 1Mbps와 2Mbps를 가진 멀티미디어를 각 알고리즘에 적용하여 에너지 소비에 대한 결과를 얻었다. 1Mbps를 갖는 멀티미디어 프로세스를 실행시킨 그림6의 결과를 통해 No-DVS 방법과 비교할 경우 34%의 에너지 절약을 하고 CPU 위주의 알고리즘인 CPU-DVS 방법과 비교해서 15.6%의 에너지 절약을 한다. CPU-DVS 방법을 통해서 가속기와 CPU의 주파수를 선택하는 방법은 각 주파수의 변화에 대한 전력을 나타낸 그림2와 각 주파수의 변화에 대한 최대 처리 속도를 나타낸 그림3을 통해 확인할 수 있다. CPU위주의 소비 전력의 크기 순서로 주파수를 나눈 알고리즘은 조금씩 주파수를 낮추면서 최적의 주파수를 찾을 때 CPU/가속기의 주파수가 QoS를 유지하는 416/66MHz를 선택하게 된다. 왜냐하면 그림3에서 보듯이 416/66MHz의 다음 주파수인 208/133MHz는 QoS를 유지 못하여 더 이상 주파수를 변화시키지 않기 때문이다. 그러나 CPU와 가속기를 통합한 알고리즘인 Proposed 방법은 312/50MHz가 최적의 처리 속도를 유지하는 주파수이고 처리 속도가 큰 주파수 중 소비 전력도 가장 작기 때문에 선택이 된다.

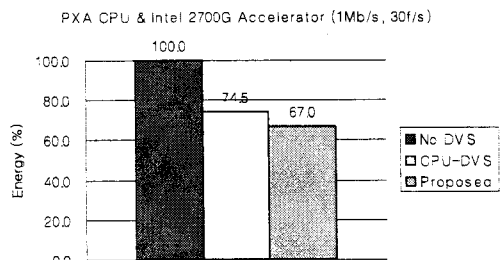


그림 6: 그래픽 가속기가 포함된 시스템에서 DVS 기법 간에 에너지 비교: 1Mbps, 30 fps 동영상으로 실험

그림7은 1Mbps의 CPU-DVS와 Proposed 방법을 통해 얻

은 시간에 따른 CPU 전류량의 변화를 나타낸 그림이다. 이 결과를 통해 CPU-DVS와 Proposed 방법의 에너지 소비 대 한 차이를 비교하면 CPU/가속도의 주파수가 416/66MHz 인 CPU의 전류 사용량은 디코딩될 때 312/50MHz 보다 더 많은 전류를 사용하지만 시간은 312/50MHz 보다 짧다. 하 지만 416/66MHz는 312/50MHz보다 더 높은 전압을 사용 하기 때문에 에너지 소비는 더 높게 나왔다. 또한 그래픽 가 속기의 주파수가 66MHz와 50MHz로 차이가 크지 않거 때 에너지 소비에 대한 절약은 312/50MHz일 때가 더 큰 에너 지를 절약했다.

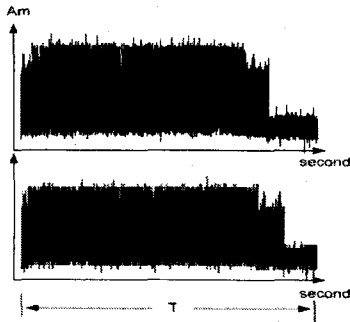


그림 7: 1Mbps일 때 시간에 따른 CPU 전류의 변화: 위쪽 그림은 CPU-DVS 방법으로 선택된 CPU/가속기의 주파수가 각각 416/66MHz, 아래쪽 그림은 Proposed 방법으로 선택된 312/50MHz

2Mbps를 갖는 멀티미디어 프로세스를 실행시킨 그림8의 결과 역시 No-DVS와 CPU-DVS를 비교할 경우 23%와 9.5% 의 에너지 절약을 했다.

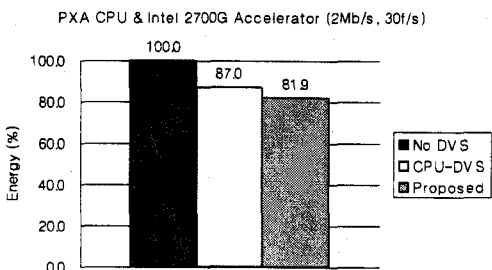


그림 8: 그래픽 가속기가 포함된 시스템에서 DVS 기법 간에 에너지 비교: 2Mbps, 30 fps 동영상으로 실험

따라서 1Mbps와 2Mbps를 갖는 멀티미디어 프로세스를 실행시키면 No-DVS와 비교할 때 각각 34%와 23%의 에너 지를 절약하고 CPU-DVS 방식과 비교하면 15.6%와 9.5%의 에너 지를 절약하게 된다. 평균적으로 CPU-DVS방식과 비교해 서 에너지를 12.5% 절약한다.

5. 결론

본 논문은 그래픽 가속기가 포함된 모바일 시스템에서 범 용성을 갖는 주기적인 프로세스의 모니터링 기법에 기반으 로 통한전력관리 알고리즘을 하였다. 통한전력관리 알고리 즘 처리 속도가 큰 순서로 주파수를 구별한 후 선택된 주파 수 보다 처리속도가 빠른 주파수 중 최소로 전력을 소비하는 주파수를 선택한 방법이다. 제안된 DVS 알고리즘은 기존의 CPU위주의 소비 전력이 큰 순서로 주파수를 분류한 알고리 즘 보다 에너지를 더 절약한다는 결과를 얻었다. 그래픽 가 속기가 포함된 장치에 설치하여 비교 실험을 통하여 CPU 위 주의 DVS 기법보다 제시한 DVS 알고리즘이 QoS 유지하면 서 에너지를 1Mbps와 2Mbps에서 각각 15.6%와 9.5%를 절 약하고 평균적으로 CPU 위주의 DVS 기법보다 12.5% 절약 할 수 있음을 밝혔다. 이 결과를 통해 그래픽 가속기가 포함 된 장치에서 기존의 CPU 위주의 알고리즘 보다는 CPU와 가 속기가 통합된 전력관리 알고리즘으로 DVS를 해야 에너지 를 더욱 절약한다는 것을 밝혔다. 추후에는 그래픽 가속기가 포함된 시스템을 이용하여 범용운영체제에서 비주기적 프 로세스까지 고려한 전력소비 절약 시스템 개발할 예정이다.

참고문헌

- [1] K. Choi, K. Dantu, W. Cheng and M. Pedram, "Frame-based dynamic voltage scaling for a MPEG decoder," Proc. of ICCAD'02 -A give the CM/IEEE Int'l Conf. on Computer Aided Design, pp. 732-737, 2002
- [2] M. Mesarina and Y. Turner, "Reduced energy decoding of MPEG streams," Proc. of Multimedia Computing and Networking, San Jose, CA 2002.
- [3] Y Tan, P Malani, Q Qiu and Q Wu "Workload Prediction and Dynamic Voltage Scaling for MPEG Decoding," Proc of 11th Asia and South Pacific Design Automation Conference, 2006, pp. 911 - 916
- [4] P. Pillai and K. G. Shin. "Real-time dynamic voltage scaling for low-power embedded operating systems." Proc. of 18th Symposium on Operating Systems Principles, Oct. 2001.
- [5] Wanghong Yuan and Klara Nahrstedt, "Practical Voltage Scaling for Mobile Multimedia Devices," Proc. of ACM Multimedia 2004, New York, NY, October, 2004
- [6] Intel Corporation "Intel 2700G Multimedia Accelerator DataSheet," Proc. of Intel technical report, <http://www.intel.com/>, April 2004
- [7] Intel Corporation "Intel 2700G Multimedia Accelerator Performance and Power Characterization," Proc. of Intel technical report, <http://www.intel.com/>, September 2004
- [8] Intel Corporation "Intel PXA270 Processor Electriccal, Mechanical, and thermal Specification datasheet," Proc. of Intel technical report, <http://www.intel.com/>, February 2005