

Harmonia:시스템 차원의 전력관리 프레임워크

임중호⁰ 차호정

연세대학교 컴퓨터과학과

{dawnbell⁰, hjcha}@cs.yonsei.ac.kr

Harmonia:A Framework for System Level Power Management

Jongho Rim⁰ Hojung Cha

Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

모바일 기기의 성능 향상 및 서비스의 고품질화에 따라 한정된 전력자원의 효율적인 활용이 중요한 문제가 되고 있다. 임베디드 시스템 전력의 효율적인 활용을 위하여 전력관리를 수행하기 위해서는 부분적인 컴포넌트 전력관리 기법보다 시스템 차원의 전력관리 기법 필요하다. 또한 시스템 차원의 전력관리 기법은 컴포넌트 간의 상호작용에 대한 충분한 고려가 전제되어야 한다. 본 논문에서는 시스템 차원의 전력관리 기법에 대한 효율적인 연구수행을 지원할 수 있는 프레임워크를 제안한다. 프레임워크는 개별 컴포넌트에 대한 정보를 수집할 수 있으며 이를 기반으로 임베디드 시스템에서 상황에 맞는 전력관리 정책을 적용할 수 있다. 이때 수집된 정보는 컴포넌트간의 상호작용에 대해 분석할 수 있는 자료가 됨을 실험을 통해 검증한다.

1. 서론

최근 PDA, MP3 Player, Portable Media Player(PMP), 스마트폰 등 모바일 기기의 사용이 급증하고 있고 임베디드 시스템의 사용범위가 확장됨에 따라 시스템의 성능이 급속도로 향상되고 있다. 이러한 고성능 모바일 기기를 기반으로 하여 게임, 인터넷, 동영상 스트리밍 등과 같은 다양한 서비스가 상용화 되고 있으며 이에 따라서 고성능 모바일 기기와 높은 수준의 다양한 서비스들을 이용하는 시스템의 전력소모량이 빠르게 증가하고 있다. 그러나 배터리 용량의 발전 속도는 시스템과 서비스의 발전 속도보다 매우 늦기 때문에 고수준 서비스를 사용하는 고성능 시스템이 장기간 동작할 수 있는 전력량을 확보하지 못하고 있다. 그러므로 고성능 모바일 기기의 활용성을 높이기 위해서는 제한된 전력자원을 효율적으로 이용할 수 있는 전력관리 기법 개발이 필수적이다.

기존 전력관리 기법에 대한 연구는 대부분의 경우 시스템을 구성하고 있는 CPU, Memory, LCD, HDD/Microdrive, WNIC 등의 컴포넌트들을 독립적인 요소로 간주하여 하나의 컴포넌트에 대한 전력관리 기법을 제안하는데 중점을 두었다. 그러나 하나의 컴포넌트에 대한 전력관리 기법을 적용하여 얻을 수 있는 전력감소효과는 한계가 있기 때문에 두 가지 이상의 컴포넌트들을 통합하여 전력관리를 수행하는 기법들이 제안되고 있다. 또한 시스템을 구성하는 모든 컴포넌트들에 대한 통합적인 전력관리를 수행하기 위한 연구가 진행되고 있으나 그 성과는 미미하다. 시스템 차원의 전력관리 기법에 대한 연구를 위해서는 하나의 컴포넌트에 전력관리 기법이 적용되었을 경우 여타 컴포넌트에 미치는 영향에 대한 정확한 분석이 우선적으로 필요하고 이러한 분석을 바탕으로 컴포넌트 간의 상호작용을 충분히 고려하여 효율적인 전력관리 정책을 도출하여야 한다. 그러나 현재까지 이러한 연구를 체계적으로 수행할 수 있는 프레임워크는 제시되지 않고 있다.

본 논문에서는 기존에 이루어진 시스템 차원의 전력관리 기법에 대한 연구와 제시된 전력관리 프레임워크의 한계점을 지적하고 이에 대하여 효율적이고 구체적인 연구수행을 지원할 수 있는 Harmonia 프레임워크를 제안한다.

2. 관련연구

최근 컴포넌트간의 통합 전력 관리에 관한 연구들이 부분적으로 시도되고 있다. Martin[1]은 프로세서의 성능에 비하여 낮은 성능의 메모리가 멀티미디어 응용 수행에서 병목 현상을 유발하기 때문에 프로세서의 전력 관리를 위해 메모리를 고려해야 한다고 주장하였다. 하지만 구체적인 방안을 제시하지는 못하였고 시스템 차원의 전력 관리 기법으로의 접근을 하지 못하고 있다. Manish[2]는 WNIC와 HDD와의 상호 관련성을 분석하고 이를 통해 두 컴포넌트의 전력 소모를 종합적으로 관리하려 하였으나 이 기법은 응용 서비스의 일반성이 떨어지고 다른 컴포넌트의 전력 소모에 대한 고려가 이루어 지지 않고 있다.

시스템 차원의 전력관리 기법을 위해 IBM과 MontaVista Software[3]는 시스템의 모든 컴포넌트의 상태를 Operating Point로 정의하고 이의 변경을 통한 시스템 전력관리를 수행하도록 하는 프레임워크를 제안하였다. 이를 바탕으로 CE Linux Forum에서는 CELF 1.0 Linux 운영체제를 발표하여 시스템 전력 관리의 기반을 마련하고 있다. 그러나 CELF 1.0은 Operating Point의 변경을 통한 시스템 컴포넌트들의 전력사용 모드 변경이라는 단순한 프레임워크만을 제시하고 있으며 개별 컴포넌트들에 대한 성능 분석 및 컴포넌트간의 상호작용을 파악할 수 있는 기능이 제시되어 있지 않아 시스템 차원의 전력관리 기법을 연구하는데 사용하기에는 미흡한 부분이 있다. 이 밖에도 ARM사에서는 CELF1.0을 기반으로 한 시스템 전력 관리에 대한 연구를 진행하고 있으며, Intel에서는 프로세서를 중심으로 한 Intel PM(IPM)을 연구하고 있다. 하지만 구체적인 연구내용은 공개하고 있지 않다.

3. 시스템 차원의 전력관리를 위한 프레임워크

Harmonia 프레임워크는 시스템 차원의 전력관리 기법을 연구하기 위하여 개발된 프레임워크이다. 시스템 컴포넌트들에 대한 효율적인 전력사용 모드 변경을 위하여 CELF1.0을 기반으로 개발되었으며 CELF1.0과 마찬가지로 Operating Point의 변경으로 통하여 컴포넌트들의 전력사용 모드 변경을 수행한

다. 그러나 CELF1.0에서 제공되지 않았던 모니터 모듈과 정책 모듈이 추가되어 전력관리 기법 연구에 보다 효과적이다. 우선 시스템 컴포넌트들에 대한 개별적, 통합적 전력관리 기법을 적용할 수 있고 이에 대한 성능평가를 수행할 수 있다. 또한 모니터 모듈을 활용하여 컴포넌트에 대한 전력관리 기법이 적용되었을 경우 상호간에 미치는 영향에 대해 분석이 가능하다. 마지막으로 Harmonia 프레임워크는 사용자의 선택에 의존하는 간접적인 전력관리가 아닌 사전에 수립된 전력관리 정책을 바탕으로 커널 스스로 판단하여 자동적으로 전력관리를 수행한다.

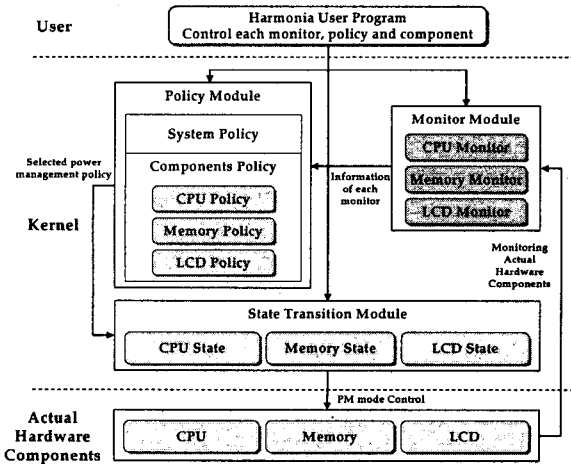


그림 2 Harmonia 프레임워크 구조

Harmonia 프레임워크는 커널에서 그림 1과 같이 모니터 모듈, 정책 모듈, 전력사용 변경 모듈로 구성된다. 모니터 모듈은 컴포넌트들의 상태에 대한 정보 수집을 수행하고 수집된 정보를 정책 모듈에 전달한다. 정책 모듈은 수집된 정보를 바탕으로 사전에 수립된 정책 중 최적의 정책을 결정하며 선택된 정책은 전력사용 상태 변경 모듈에 전달되어 정책에 맞게 실제 컴포넌트들의 전력모드 변경이 이루어진다.

3.1 모니터 모듈

모니터 모듈은 시스템에 존재하는 각각의 컴포넌트에 대한 정보 수집을 담당한다. 이를 위하여 컴포넌트마다 하나의 모니터가 존재하여 해당 컴포넌트의 상태 정보를 수집한다. CPU 모니터는 CPU 활용도, 실행되고 있는 프로세스의 주기성 및 주기에 대한 정보를 수집하고 Memory 모니터의 경우 Cache 메모리의 Access, Miss 정도에 대한 정보를 수집한다. 또한 LCD 모니터는 프레임 버퍼를 분석하여 LCD 화면의 이미지 비율에 대한 정보를 수집한다. 모니터 모듈을 통하여 수집된 정보는 프로세스에 따른 컴포넌트들의 특성을 분석하는데 기초적인 자료가 되며 이를 바탕으로 효율적인 전력관리 정책을 수립할 수 있다. 이와 더불어 하나의 컴포넌트에 대한 전력관리를 수행할 때 다른 컴포넌트의 모니터에서 수집되는 정보를 비교하여 전력관리가 적용되는 컴포넌트와 그렇지 않은 컴포넌트들의 상호관계를 파악하는데 중요한 역할을 한다.

모니터 모듈은 전력관리 기법을 적용함에 있어 사용자의 선택에 의존하지 않고 커널에서 자동적으로 최적의 전력관리 정책을 결정할 수 있는 기반이 된다. 예를 들어 CPU 모니터는

CPU의 전력관리 기법 중 대표적이라 할 수 있는 Dynamic Voltage Scaling[5]을 적용하기 위해 필요한 CPU 활용도에 대한 정보를 수집한다. CPU 활용도에 대한 정보를 바탕으로 정책 모듈에서는 CPU의 공급전압과 동작 주파수의 수준을 결정할 수 있다.

3.2 정책 모듈

정책 모듈은 모니터 모듈에서 제공하는 컴포넌트들의 상태에 대한 정보를 기반으로 하여 사전에 수립된 전력관리 정책 중 최적의 정책을 결정한다. 정책 결정을 위해서는 반드시 모니터 모듈에서 제공하는 정보가 필요하며 모니터 모듈이 동작하지 않는 상태에서는 어떤 정책도 적용할 수 없다. 시스템의 전력관리 정책은 개별 컴포넌트에 대한 정책과 시스템 통합적인 전력관리 정책으로 구분되며 각각의 정책은 사용자의 선택에 의하여 적용된다. 시스템 차원의 전력관리 기법에 대한 연구를 수행하기 위해서는 시스템의 컴포넌트들 간의 상호작용에 대한 충분한 고려가 필요하다. 정책 모듈의 정책이 시스템 통합 전력관리 정책과 개별 컴포넌트에 대한 전력관리 정책으로 구분한 것은 바로 이러한 점을 위한 것이다. 개별 컴포넌트에 대한 전력관리 정책이 적용되었을 경우 모니터 모듈에서 획득하는 컴포넌트에 대한 정보를 기반으로 전력관리 대상 컴포넌트가 다른 컴포넌트에 미치는 영향에 대한 평가가 가능하다.

3.3 전력사용 상태 변경 모듈

전력사용 상태 변경 모듈은 정책 모듈에서 선택된 컴포넌트 전력관리 정책, 혹은 시스템 전력관리 정책을 참조하여 해당 컴포넌트들의 전력사용 상태를 변경한다. 컴포넌트의 전력사용 상태를 직접적으로 통제하는 모듈이며 각각의 컴포넌트에 하여 컴포넌트가 갖는 전력사용 상태에 대한 정보를 유지한다. 이는 정책 모듈에서 수립된 정책에 따른 컴포넌트의 전력사용 상태 변경에 대한 명령이 컴포넌트에서 제공되지 않을 경우 사용자에게 이를 명시해주기 위함이다.

3.4 Harmonia 프레임워크 구현

Harmonia 프레임워크는 Linux Kernel 2.4.19와 Intel PXA270 개발보드 Mainstone II를 기반으로 하여 구현되었다. Harmonia 프레임워크에서는 컴포넌트들의 전력사용 상태 변경의 효율성을 위하여 CELF1.0의 Operating Point 변경으로 통한 컴포넌트 제어 방식을 도입하였고 이를 위하여 PXA270 프로세서 및 LCD를 제어할 수 있는 기능과 사용자가 이러한 기능들을 활성화시키거나 중지시킬 수 있는 시스템 콜을 추가하였다. Harmonia 프레임워크를 위해 추가된 디렉토리 구조는 다음과 같다.

- *driver/dpm/harmonia*: Harmonia 프레임워크는 CELF 1.0을 기반으로 개발되었기 때문에 dpm의 하위 디렉토리에 위치한다. 이 부분에는 컴포넌트 모니터와 시스템 콜, 그리고 각 컴포넌트에 대한 정책이 포함되었다.
- *arch/arm/mach-pxa*: 제어를 위한 프로그램은 하드웨어에 의존적이기 때문에 하드웨어와 관련된 디렉토리에 구현되었다.
- *include/linux*: Harmonia 프레임워크를 위한 헤더파일이 포함되었다.

각 부분에서 구현된 Harmonia 프레임워크는 시스템 콜을 통하여 동작한다. *driver/dpm/harmonia* 디렉토리에 구현되어 있는 컴포넌트 모니터들은 시스템 콜을 통하여 사용자가 원하는 모니터를 동작, 중지시킬 수 있으며 정책 모듈 역시 시스템

콜을 통하여 원하는 정책을 적용시킬 수 있도록 하였다. 또한 전력관리 적용 대상이 되는 컴포넌트들은 모니터의 활성화 상태 및 정책 적용 여부에 관계없이 사용자의 임의로 전력사용 상태를 변경할 수 있다. 이러한 기능들은 사용자로 하여금 개별 컴포넌트에 대한 전력관리 연구 및 컴포넌트간의 상호관계 파악을 통한 효율적인 시스템 차원의 전력관리 기법에 대한 연구를 체계적으로 수행할 수 있도록 지원하는 역할을 한다.

Harmonia 프레임워크는 현재 CPU, Memory, LCD, 세 가지 컴포넌트에 대해서만 구현이 되어있지만 향후 연구를 통하여 HDD/Microdrive, WNIC 등 현재 모바일 기기에서 사용되는 핵심적인 컴포넌트에 대한 부분도 포함될 계획이다.

4. 평가

평가는 Harmonia 프레임워크의 커널모니터들과 컴포넌트를 제어하는 기능이 정상적으로 동작하는지 확인하는 것에 중점을 두었다. 평가를 위하여 Harmonia 프레임워크를 사용하여 구동되는 Mainstone II 개발보드와 컴포넌트의 전력측정을 위하여 FLUKE 123 Industrial Scope Meter를 사용하였다. 우선 CPU에 대하여 동작 주파수를 104MHz부터 416MHz까지 17단계로 나누었고 각 단계의 주파수 값을 각각의 Operating Point로 설정하였다. 또한 LCD의 경우 refresh rate의 변화를 확인하기 위하여 Pixel Clock Divider(PCD)의 값을 3에서 20까지 18단계로 나누어 CPU와 마찬가지로 Operating Point로 설정하였다. Operating Point의 변경을 통해 CPU 동작 주파수와 LCD Refresh Rate이 정상적으로 변경되는지 확인하였다. 이때 CPU 동작주파수에 따른 공급전압의 변경도 같이 측정하였다.

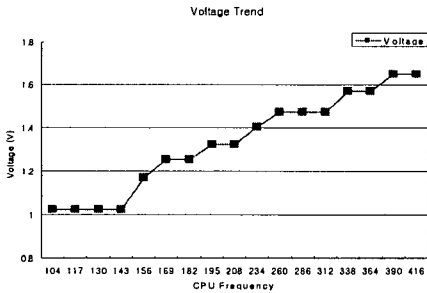


그림 3 CPU 동작 주파수 변화에 따른 공급전압 변화

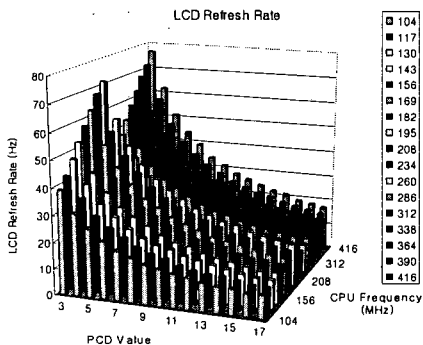


그림 4 CPU 동작 주파수 변화에 따른 LCD Refresh Rate 변화

그림 2와 그림 3은 CPU의 동작주파수를 변경함에 따라 변화하는 CPU 공급전압과 PCD 값과 CPU 동작 주파수에 따른 LCD Refresh Rate의 변화를 보여주며 이를 통하여 Harmonia 프레임워크가 정상적으로 동작함을 확인하였다. 모니터에 대한 평가를 위하여 300KBps, 500KBps, 700KBps의 동영상 파일을 mplayer를 이용하여 CPU 동작 주파수를 변경하면서 실행한 결과를 측정하였다.

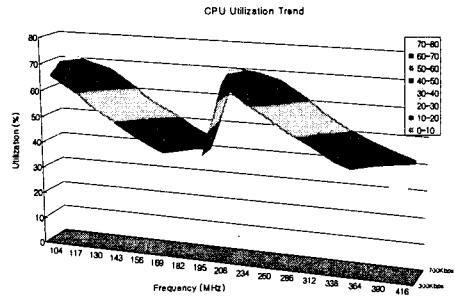


그림 5 CPU 동작 주파수 변화에 따른 활용도 변화

그림 4는 CPU 모니터에서 동작 주파수에 따른 활용도를 측정한 결과로서 416MHz부터 208MHz까지 선형적으로 증가하고 195MHz 부분에서 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 CPU 동작 주파수의 변경으로 인하여 시스템 버스 및 메모리의 동작 주파수가 동시에 변경되기 때문에 일어나는 현상으로 기존에 제시되었던 CPU DVS의 방법에 시스템 버스나 메모리 동작 주파수에 대한 고려가 필요함을 나타낸다.

5. 결론

본 논문에서는 기존에 연구되었던 시스템 전력관리 기법에서 고려가 미흡하였던 컴포넌트간의 상호작용에 대하여 지적하고, 이를 극복하기 위하여 Harmonia 프레임워크를 제시하였다. Harmonia 프레임워크는 시스템 통합 전력관리 기법에 대한 효율적인 연구 수행을 위하여 컴포넌트에 대한 모니터 모듈, 정책 모듈, 전력상태 변경 모듈을 제공한다. 이를 활용하면 개별 컴포넌트 및 컴포넌트의 상호작용에 대한 분석을 수행할 수 있음을 실험을 통하여 입증하였다. 향후 Harmonia 프레임워크를 구성하는 모니터 모듈 부분을 확장하여 모바일 HDD, Microdrive, WNIC 등 모바일 기기에서 사용하는 컴포넌트에 대한 모니터를 추가하여 보다 완전한 프레임워크를 제시하며 컴포넌트간의 상호관계를 고려한 두 가지 이상의 컴포넌트에 대한 통합 전력관리 정책과 시스템 차원의 전력관리 정책에 대한 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

- [1] M. Anand, E. B. Nightingale, J. Flinn "Energy Conservation for Mobile devices: Ghosts in the machine: Interfaces for better power management", *Proceedings of the 2nd international conference on Mobile systems, applications, and services*, June 2004.
- [2] T. L. Martin and D. P. Siewiorek, "Non-ideal Battery and Main Memory Effects on CPU Speed-Setting for Low Power," *IEEE Transactions on VLSI Systems, Special Issue on Low Power Electronics and Design*, Vol. 9, No. 1, pp.29-34, Feb. 2001.
- [3] B. Block and K. Rajamani, "Dynamic Power Management for Embedded systems" *Proc. of the IEEE Int'l SOC Conference (SOCC 2003)*, Portland, Oregon, Sept. 2003
- [4] T. Mudge, "Power: A First Class Architectural Design Constraint," *IEEE Computer*, Vol. 34, No. 4, pp. 52-58, April 2001.