소형 임베디드 시스템의 전력관리를 위한 미들웨어 설계

황선엽°, 박충범, 최훈
충남대학교 컴퓨터공학과
{syhwang°, here4you, hc}@cnu.ac.kr

Design of the Power Management Middleware for Embedded System

Sun-Yeop Hwang°, Choong-Bum Park, Hoon Choi
Mobile Distributed Computing Lab, Department of Computer Engineering,
Chungnam National University, KOREA

요 약

배터리를 사용하는 소형 임베디드 시스템은 효과적인 전력관리가 필요하다. 그러나 현재까지 개발된 전력관리 기법들은 대부분 운영체제와 하드웨어를 대상으로 하고 있어 개발 플랫폼에 종속적인 특징을 갖는다. 따라서 시스템을 개발할 때마다 지원하는 전력관리 기법을 하드웨어나 운영체제에 따라 여러 번 개발을 해야 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 하위 계층에서 지원하는 전력관리 기법에 관계없이 동일한 기능을 제공하는 웨어러블 컴퓨터용 전력관리 미들웨어를 설계하였다.

1. 서 론

컴퓨팅 환경(computing environment)은 여러 사람이 터미널(terminal)을 통해 접속해 사용하던 워크스테이션(workstation) 환경에서 각 개인마다 컴퓨터를 소유하고 이용하는 PC(Personal Computer) 환경으로 변화해 왔다. 최근에는 개인용 컴퓨터를 뛰어 넘어 언제 어디서든지 컴퓨터와 네트워크(network)를 이용할 수 있는 유비쿼터스 컴퓨팅(ubiquitous computing) 환경이 주목을 받고 있다.

유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서는 그 특성에 따라 소형 임베디드 시스템(embedded system)을 많이 사용하게 된다. 소형 임베디드 시스템은 크기 및 기능 등의 특성과 시스템이 사용되는 환경에 따라서 그 종류가 다양하다. 하지만 대부분의 임베디드 시스템들은 작은 크기와 특수한 기능만을 수행하는 등 제한된 특성을 갖는다. 또한 소형 임베디드 시스템들은 CPU 처리능력, 메모리, 저장 공간 및 전력 등의 여러 가지 시스템 자원에 있어 제약이 있다. 특히 전력에 관해서는 배터리(battery)를 통해서 공급을 받기 때문에 공급받을 수 있는 전력의 양도 시간도 제한되어 있다. 이에 따라 일정량의 전력을 효과적으로 사용하기 위해서 전력관리 부분은 소형 임베디드 시스템의 중요한 요소로 자리 잡고 있다.

°본 연구는 정보통신부의 선도기반기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

전력관리 기법들은 기존의 많은 연구에서 다양한 방법으로 소개되고 있다. 먼저 회로 설계 단계에서부터 장치를 저전력으로 동작하도록 설계하는 하드웨어 측면에서의 관리 기법이 있다. 하지만 CPU의 성능 향상, 정보 통신 서비스의 발전에 따라서 다양한 기능 및 고성능 처리를 요구하므로 소프트웨어 측면에서의 관리 기법이 필요할 것이다. 운영체제 혹은 시스템 소프트웨어 측면에서는 프로세서의 공급 전압을 조절하여 전력 소모량을 줄이는 동적 전압조절 기법(DVS: Dynamic Voltage Scaling), 장치의 상태에 따라 적절한 파워 상태로 전이하여 전력 소모를 줄이는 동적 전력관리 기법(DPM: Dynamic Power Management) 등이 있다.

운영체제에서는 전력관리를 위하여 APM(Advanced Power Management), APM의 진보된 형태인 ACPI(Advanced Configuration and Power Interface)를 제공한다. APM 혹은 ACPI를 이용하여 여러 가지 전력관리를 할 수 있지만 이는 바이오스(BIOS)와 운영체제에서 모두 이 기능을 지원해야 사용할 수 있다. 그 외에도 이미 알려진 다양한 전력관리 기법들이 존재한다. 하지만 개발하는 다양한 시스템마다 각각의 다른 형태의 전력제어 기법을 제공하고 있기 때문에 응용 프로그램 개발자들은 해당 시스템에서 제공하는 전력관리 기법을 알아야 하고 새로운 시스템에서는 새로운 전력관리 기법의 개발이 필요할 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 미들웨어(middleware)에서 전력

관리 기능을 제공하면 시스템에 관계 없이 응용 프로그램에게 동일한 인터페이스를 제공할 수 있기 때문에 추가 개발의 비용을 절감할 수 있으며, 응용 프로그램 개발자들은 시스템의 하위 계층에서 어떻게 전력관리 기법을 제공하는지 고려 않아도 되는 장점이 있다.

본 논문에서는 소형 임베디드 시스템 중 최근 차세대 PC로 각광받고 있는 웨어러블 컴퓨터(wearable computer)의 전력관리 미들웨어 기술을 제안하고 설계한다. 2장에서는 관련연구로서 기존 전력제어 기법을 소개하고, 3장에서는 전력관리 미들웨어를 설계하고 그 구조와 기능을 설명하며, 4장에서 간단한 테스트 환경과 시나리오에 대해 설명하고, 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 연구 과제에 대하여 기술한다.

2. 관련연구

전력관리를 위한 연구는 크게 하드웨어(hardware)와 소프트웨어(software) 분야에서 진행되어 왔다. 하드웨어와 관련돼서는 하드웨어를 설계할 때부터 저전력을 고려하여 회로를 설계하는 것이다. 하드웨어에 대한 연구는 지금도 꾸준히 진행 중이고 계속 발전되어 가며 가장 뛰어난 효과를 보일 수 있다. 하지만 한번 설계된 하드웨어는 변경과 제어를 할 수 없다. 이에 따라 소프트웨어를 통한 전력관리 기법들이 필요로 하게 된다. 최근 CPU 성능의 향상, 네트워크 대역폭이 커지는 등의 이유로 동영상, 음악, 게임 등 고성능 서비스의 요구로 소프트웨어의 전력 소모가 커지고 있다. 이에 따라 효율적인 전력관리를 위하여 하드웨어의 전력관리 기법을 기반으로 하는 소프트웨어 수준에서의 전력관리가 필요하다. 소프트웨어 수준에서의 전력관리는 크게 운영체제, 미들웨어, 응용프로그램 수준으로 구분할 수 있다.

2.1 운영체제 수준에서의 전력관리

운영체제 수준에서의 전력관리 기법 중 대표적인 것은 동적 전압조절 기법과 동적 전력관리 기법이다. 동적 전압조절 기법은 CMOS 회로로 구성되는 프로세서의 공급 전압을 온라인 상태에서 조절하여 에너지 소모량을 줄이는 기법이다. 프로세서의 처리 속도와 에너지 소모에 대한 관계를 이용하여 주어진 작업이 요구하는 서비스의 질을 훼손하지 않는 범위 내에서 전압 및 클락(clock) 속도를 설정한다. 또한 시스템의 구성 요소 별 사용 패턴에 기반하여 해당 장치가 비활성화 상태에 있는 경우 해당 장치가 제공하는 구분된 파워 상태 중 주어진 수행의 요구 조건에 맞추어 가장 적절한 파워 상태로 전이함으로써 전력의 소모를 줄인다. 해당 장치가 사용되지 않는 사용 패턴에 대한 정확한 예측이 필요하며 저전력 파워 상태로의 전이를 결정할 때에는 상태 전이에 따른 시간 및 에너지 부대비용을 적절히 고려해야 한다[1].

APM은 모바일 컴퓨터의 전원관리를 위한 인터페이스를 정의한 것으로서 시스템 바이오스와 운영체제 모두에서 지원해야 사용할 수 있다. 서로 다른 독특한 하드웨어 전원관리 소프트웨어와 전원관리 운영체제 드라이버간의 인터페이스를 하드웨어 독립적인 소프트웨어를 정의하는 것을 목표로 하고 있다. APM은 APM 바이오스, 운영체제, 디바이스 드라이버(device driver), APM 응용프로그램으로 구성되어 있다. 운영체제의 APM 드라이버가 하드웨어와 상위계층 사이의 인터페이스 역할을 제공한다. APM에서는 각종 전력 정보를 제공하고 각 장치 및 동작 프로세스들의 상태에 따라 여러 가지 모드(mode)로 분류하여 제어할 수 있어서 효과적으로 전력을 사용할 수 있게 해준다. ACPI는 APM보다 더 진보된 형태로 전력 관리 기법을 제공한다.

2.2 미들웨어 수준에서의 전력관리

미들웨어에서의 전력관리는 하위 계층인 운영체제와 하드웨어의 전력관리 기법을 이용하여 상위 계층에게 전력관리 기능을 제공하는 방법과 미들웨어 독자적인 전력관리 기법을 상위 계층에 제공하는 방법이 있다. 첫 번째 방법은 하위 계층에서 제공하는 전력관리 기법을 이용하여 현재의 전력 상태를 인지하고 전력의 상태에 따라서 장치 혹은 프로세스들의 모드를 변경함으로써 전력 감소의 효과를 얻을 수 있는 방법이다. 전력 제어 미들웨어에서는 상위 계층인 응용프로그램에 대한 인터페이스를 갖고 있어 여러 정보를 주고 받을 수 있다. 미들웨어 독자적인 전력관리 기법에는 미들웨어를 구성하는 컴포넌트(component)를 전력 상태에 따라 재구성하는 PARM(Power Aware Reconfigurable Middleware)[2][3], 소비 전력이 많은 연산 처리를 프록시 서버(proxy server)에서 처리하고 처리 결과를 네트워크로 전송하는 Remote Processing 기법 등이 있다[4][5].

2.3 응용 프로그램 수준에서의 전력관리

응용 프로그램에서의 전력관리는 자체적인 전력관리 보다는 하위 계층에서의 전력 관련 정보를 인지하고 시스템 사용자가 설정하는 전력관리 정책 정보를 하위 계층으로 전달하는 역할이 주가 된다. 전력상태에 대한 정보를 하위 계층(운영체제, 미들웨어)으로부터 획득하여 사용자가 확인할 수 있도록 해주고, 잔여 전력의 양이 적을 경우에는 경고 메시지를 통하여 사용자가 인지

할 수 있도록 해준다. 또한 시스템의 전력 관련 정책을 설정하고 그 정보를 하위 계층에 전달하여 정책을 적용할 수 있도록 한다.

3. 소형 임베디드 시스템 용 전력관리 미들웨어 설계

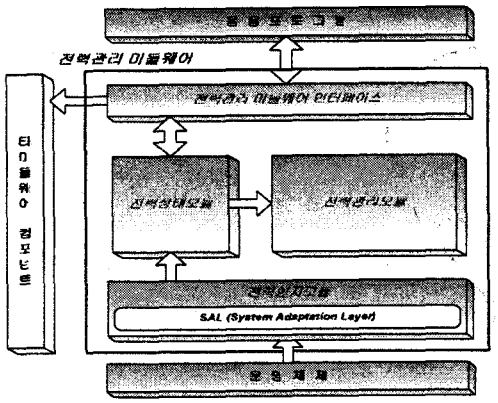
2장에서 살펴본 여러 가지 전력관리 기법들의 특징을 살펴보면 [표 1]과 같다.

[표 1] 전력관리 기법들의 특징

종 류	기 능	특 징
DVS	공급 전압 조절	운영체제에 종속적임
DPM	장치의 파워 상태 전이	
APM/ACPI	바이오스와 인터페이스	운영체제와 바이오스의 지원 필요
PARM	컴포넌트 재구성	재구성 비용 및 서비스 끊김
Remote Processing	프록시 서버를 이용한 연산 처리	네트워크 통신의 전력 소비

[표 1]에서 DVS, DPM, APM/ACPI는 운영체제 수준에서의 전력관리 기법이므로 미들웨어를 구현할 때 이용할 수 있지만 상위 계층에 투명하게 제공을 해야 할 것이다. 미들웨어 수준에서의 전력관리 기법 중 PARM은 미들웨어 컴포넌트를 재구성하는 과정에서의 에너지 소비 비용이 증가하며, 재구성이 발생하는 과정에서 기존의 서비스의 끊김이 발생할 것이다. 또 Remote Processing 방법은 원격에서 연산을 처리해서 얻는 에너지 절감이 빈번한 네트워크 통신으로 인한 에너지 소비보다 많다고 할 수 없다. 따라서 이와 같은 두 가지 전력관리 기법은 좋은 방법이기는 하지만 본 논문에서 제안할 웨어러블 컴퓨터용 전력관리 미들웨어에 적용하기는 무리가 있다.

본 논문에서 제안할 전력관리 미들웨어는 크게 네 가지 모듈로 구분된다. 첫 번째는 현재 시스템의 전력상태를 인지하는 전력인지 모듈이다. 두 번째로는 전력 인지 기능을 통하여 얻은 전력정보와 상위 계층으로부터 전달받은 전력 정책을 유지할 수 있는 전력 상태 모듈이다. 세 번째로 전력 상태 모듈로부터 획득한 전력 정보를 참고 하여 시스템의 상태를 변경할 수 있는 전력관리 모듈이다. 마지막으로는 다른 웨어러블 컴퓨터 미들웨어, 응용 프로그램과의 통로 역할을 수행할 전력관리 인터페이스 부분으로 구성된다. 본 논문에서 제안할 전력관리 미들웨어의 세부 구조는 [그림 1]과 같다.

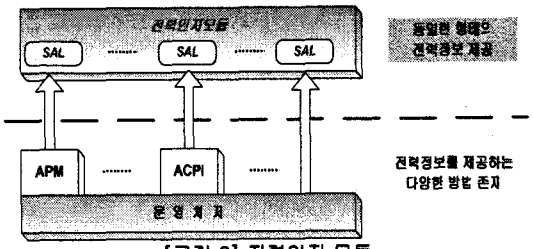


[그림 1] 전력관리 미들웨어 구조

3.1 전력 인지 모듈

전력관리를 하기 위해서는 시스템의 현재 전력상태를 파악하여야 한다. 전력상태를 파악하기 위하여 하위계층인 운영체제로부터 그 정보를 수집해야 한다. 운영체제에서는 APM/ACPI의 형태로 전력정보를 제공하거나 배터리 모니터링 칩의 정보를 검사할 수 있도록 제공해준다[6].

시스템의 하드웨어, 운영체제에 따라서 전력정보를 제공하는 방법이 상이하므로 전력인지 모듈은 시스템에 맞는 방법으로 개발되어야 할 것이다. 여러 가지 다른 환경에서 같은 정보를 얻어서 제공해야 하므로 전력 인지 모듈은 시스템 정합 계층(SAL: System Adaptation Layer)의 기능을 한다. [그림 2]

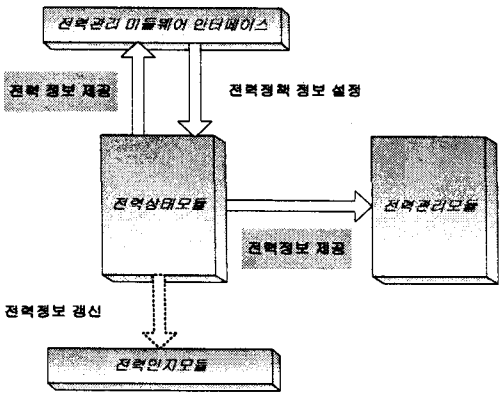


[그림 2] 전력인지 모듈

3.2 전력 상태 모듈

전력 상태 모듈은 전력정보를 유지하는 기능을 제공한다. 전력 공급 주체, 배터리 사용 시 배터리의 남은 용량, 기타 전력 상태의 정보를 저장하고 이를 주기적으로 갱신한다. 유지하는 정보는 전력관리 모듈, 상위 계층의 응용프로그램에게 제공하는 역할을 한다. 전력 정보를 유지하는 역할 외에도 상위 계층에서 설정하는 전력정책 정보를 저장하여 전력관리 모듈에서 이 정보를 참조하여 시스템을 변경할 수 있도록 한다. 전력 상태 모듈은 전력 인

지 모듈을 통하여 수집한 정보를 유지하고 전력관리 미들웨어 인터페이스를 통하여 다른 미들웨어 컴포넌트 및 상위계층의 응용 프로그램과 전력관련 정보를 주고 받는다([그림 3]).



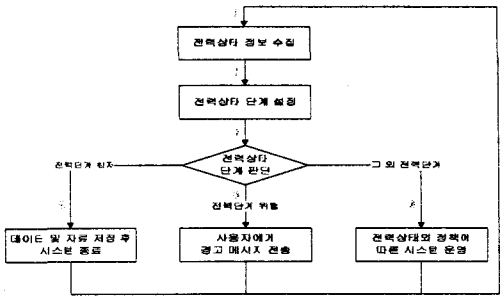
[그림 3] 전력상태 모듈

3.3 전력관리 모듈

전력관리 모듈은 전력관리 미들웨어의 핵심기능을 하는 부분이다. 전력상태 모듈에서 유지하고 있는 전력 상태 정보, 전력 정책 정보를 참조하여 실질적인 시스템의 전력관리에 해당하는 역할을 담당한다. 본 논문에서 제안하는 웨어러블 컴퓨터 시스템의 전력관리 미들웨어에서는 전력관리 모듈이 담당하는 일은 크게 세 가지로 구분된다.

먼저 품질 관리기능은 LCD(Liquid Crystal Display) 화면의 해상도, 밝기, 조명을 조절하는 방법이다. LCD는 웨어러블 컴퓨터에서는 필수적으로 존재해야 하는 장치 중 하나인데 전력 소모량이 많은 장치에 속한다. 이런 LCD의 해상도, 밝기, 조명의 강도를 조절하여 소모되는 전력을 절약할 수 있다.

웨어러블 컴퓨터의 특성상 시스템 외부에 주기적으로 메시지(message)를 전송하게 된다. 예를 들면 주변의 블루투스 장치(bluetooth device)를 검색하기 위해 주기적으로 전송하는 검색 메시지, 웨어러블 컴퓨터의 이동성을 지원하기 위해서 주기적으로 전송하는 Mobile IP 메시지 등이 있다. 이런 주기적인 메시지 전송은 전력의 소모량이 많다. 메시지 전송 주기를 늘려서 소모 전력의 양을 절감 할 수 있는 것이 두 번째 기능이다. 마지막은 웨어러블 컴퓨터를 이용하는 사용자에게 메시지를 전달하는 기능이다. 전력 상태가 위험 상태에 이르면 시스템을 사용하는 사용자에게 경고 메시지를 전달하여 사용자가 인식할 수 있도록 하는 역할을 한다. 시스템을 더 이상 운영하지 못할 상태의 전력이 되면 사용자에게 시스템 종료 메시지를 전달하고 사용하고 있는 여러 가지 데이터(data)와 정보들을 저장하고 시스템을 안전하게 종료하게 한다. 이러한 기능들은 전력상태 모듈을 주기적으로 참고하여 현재 전력상태에 따라 전력 상태 단계를 구분하여 각 단계마다 설정한 시스템의 전력정책에 해당하는 작업을 하게 된다. 전력관리 모듈은 [그림 4]와 같은 흐름으로 동작한다.



[그림 4] 전력관리 모듈의 동작 흐름

[그림 4]에서 전력관리 모듈은 전력상태 모듈의 전력 상태 정보를 참조하고(①), 전력상태 단계를 결정한다(②). 이후 현재 전력 상태 단계를 판단하여(③), 전력상태 단계가 시스템을 더 이상 운영하지 못할 상태이면 안전하게 시스템을 종료하고(④), 위험한 상태이면 사용자에게 경고 메시지를 전달한다(⑤). 위의 두 가지 상태가 아닐 경우에는 전력단계에 따라 설정된 전력정책에 해당하는 작업을 수행한다(⑥). ①~⑥ 단계는 주기적으로 계속 반복 수행된다. 이외 remote operation 기능 등 다른 전력관리 기능을 미들웨어에 추가할 수 있다. 이를 통해 미들웨어의 기능 확장이 가능하다.

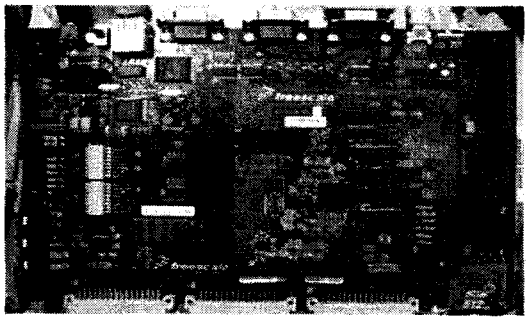
3.4 전력관리 미들웨어 인터페이스

본 논문에서 제안하는 전력관리 미들웨어는 미들웨어 독자적으로만 동작하는 것이 아니다. 전력관리 미들웨어는 웨어러블 컴퓨터의 다른 미들웨어 컴포넌트 및 상위계층인 응용 프로그램에게 전력관리 미들웨어를 이용할 수 있도록 인터페이스를 제공해야 한다. 상위계층에서 이 인터페이스를 이용하여 전력상태를 인지할 수 있고, 전력 정책을 부여할 수 있다. 미들웨어에서 인터페이스를 통해서 사용자에게 전력상태에 따른 경고도 할 수 있게 된다. 인터페이스를 통하여 다른 미들웨어 컴포넌트에게 전력 정보를 제공하여 시스템에서 외부로 전송하는 메시지의 주기를 조절할 수 있다. 다른 미들웨어 컴포넌트와 상위계층에서는 전력관

리 미들웨어의 내부 구조는 알 필요 없고 전력관리 미들웨어 인터페이스만을 이용한다. 그러므로 동일한 인터페이스를 제공하면 미들웨어 내부의 구현 방법이 변하여도 다른 미들웨어 컴포넌트나 상위계층에서의 재개발을 방지할 수 있다.

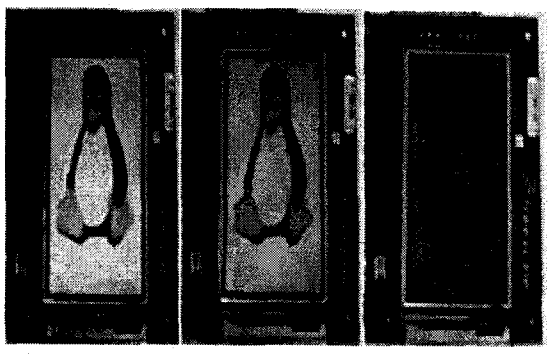
4. 전력관리 미들웨어 테스트

논문에서 제안한 전력관리 미들웨어를 APM926EJ-S CPU를 사용하고 SDRAM과 flash memory가 각 64MB, 32MB이고, LCD를 지원하는 Freescale에서 제작한 i.MX21 보드에서 시험 구현 후 테스트를 수행하였다. 운영체제는 Embedded Linux kernel version 2.4.20을 사용하였고, APM 드라이버를 설치하였다.



[그림 5] i.MX21 보드

전력관리 미들웨어에서는 APM이 " /proc/apm" 을 통해서 제공하는 전력상태 정보를 인지한다. 전력상태에 따라서 LCD 밝기를 자동으로 조절하고([그림 6]), 외부에 메시지를 전송하는 다른 미들웨어 컴포넌트의 메시지 전송 주기를 조절한다. 일정 시간 입력이 없을 경우 LCD의 밝기를 조절할 수 있도록 응용 프로그램에서 정책을 설정하여 적용할 수 있다.



[그림 6] LCD 밝기 조절

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 기존의 여러 가지 하위계층에서의 전력제어 기법을 이용하여 상위계층에 전력관리 기법을 제공할 수 있는 소형 임베디드 시스템의 전력관리 미들웨어를 설계하였다. 전력관리 미들웨어는 하위계층으로부터 전력정보를 획득하여 상위계층에서 설정된 전력정책에 따라 시스템의 상태를 변화할 수 있도록 설계하였다. 따라서 시스템마다 하드웨어, 운영체제에서 제공하는 전력관리 기법이 서로 달라도 다른 미들웨어 컴포넌트와 응용 프로그램에게 동일한 인터페이스를 제공하여 미들웨어 컴포넌트 및 응용 프로그램 개발자에게 시스템에 투명한 전력관리 기법을 제공한다. 또 전력관리 모듈에 다른 전력관리 기능을 추가하여 전력관리 미들웨어의 기능을 확장할 수 있다.

향후 과제로서는 다양한 테스트를 통하여 전력관리 미들웨어를 사용하였을 때의 전력절약 효과를 수치화해야 할 것이며, 시스템 내부에서 동작 중인 프로세스와 기타 장치들의 동작 모드를 설정하여 제어할 수 있는 기능을 추가해야 할 것이다. 또한 기존의 미들웨어 독자적인 전력관리 기법들을 연구하여 시스템에 적용할 수 있도록 개발하여 조금 더 능동적인 전력관리를 미들웨어를 개발 해야 할 것이다.

6. 참고문헌

[1] http://www.dbguide.net/, 2006
[2] S. Mohapatra and N. Venkatasubramanian, " PARM: Power Aware Reconfigurable Middleware, " In ICDCS-23, 2003
[3] S. Mohapatra and N. Venkatasubramanian, " Optimizing Power using Reconfigurable Middleware, " Tech. rep., UC, Irvine, 2003
[4] G. Kaefer, J. Haid, R. Schenner, and R. Weiss, " Power Aware Middleware, " In PDCS2003, 2003
[5] G. Kaefer and R. Weiss, " Adaptive Power Aware Remote Processing - A Step Towards Power Aware Middleware, " In IWMP2004, 2004
[6] 최석원, 차호정, " 배터리 잔량에 기반한 동적 전력 관리 기법" , 한국정보과학회 춘계학술발표 논문집 제 31권 1호, pp. 106~108, 2004