

# 디지털 시스템의 사이클 단위 전력소모 측정시스템

김관호<sup>U</sup>                      장래혁                      신현식  
서울대학교 컴퓨터공학부  
(khkim, naehyuck, shinhs}@cselab.snu.ac.kr

## A Cycle-Accurate Power Consumption Measurement System for Digital Systems

Kwanho Kim<sup>U</sup>                      Naehyuck Chang                      Heonshik Shin  
School of Computer Science and Engineering, Seoul National University

### 요 약

저전력 시스템 설계를 위해서는 시스템의 전력 소모가 얼마나 되는지 알아내는 연구가 뒷받침되어야 한다. 본 논문은 디바이스 수준의 전력 소모를 매 사이클 단위로 정확하게 측정하는 측정회로를 이용하여 전력 소모를 측정하는 측정 시스템 구조를 소개한다. 본 논문에서 구현하는 사이클 단위 전력 소모 시스템은 각각의 구성요소를 기능별로 모듈화시키고 여러 사용자가 하나의 전력 소모 측정 시스템을 공유해서 사용할 수 있도록 하였다.

### 1. 서론

저전력 소모는 휴대형 전자기기의 동작시간을 연장할 뿐만 아니라 신뢰성을 향상시키는 등 많은 이점이 있다. 전력 소모를 줄이기 위해서는 전력을 얼마나 소모하는지 정확하게 알아내는 연구가 반드시 뒷받침되어야 한다.

전력 소모는 크게 시스템 수준의 전력 소모와 디바이스 수준의 전력 소모로 나눌 수 있다. 시스템 수준의 전력 소모는 디바이스간 연결에 의한 전력 소모를 말하며, 디바이스 수준의 전력 소모는 디바이스 내부 동작에 의한 전력 소모를 말한다. 디바이스 수준의 전력 소모를 측정하기 위해 일반적인 측정 기기를 이용하거나 [2,3] 모의 실험에 의한 방법을 사용할 수 있는데 [1], 기존 방법은 평균 전력 소모밖에 측정할 수 없거나 측정하는데 많은 시간이 걸리는 등 단점이 있었다. 이에 비해 전하의 이동에 근거를 두고 캐패시터와 FET 스위치, A/D 변환기를 이용하여 구현한 측정회로는 높은 샘플링 빈도수나 측정예러에 대해 보정할 필요 없이 정확한 측정을 할 수 있다 [4].

측정회로를 이용하여 디바이스 수준의 전력 소모를 측정하는 측정 시스템은 여러 가지 디바이스의 전력 소모를 측정할 수 있도록 측정 대상 디바이스에 독립적으로 설계되어야 하며, 측정회로를 이용하여 데이터를 얻고 분석하기 위해 측정 대상 디바이스의 동작과 동기

화하여 전력 소모 데이터를 얻을 수 있도록 설계되어야 한다. 이외에, 많은 데이터의 신속한 처리를 위해 전력 소모 데이터를 빠른 시간내에 PC에 있는 전력 소모 분석 소프트웨어로 보낼 수 있어야만 한다.

본 논문에서는 측정 대상 디바이스의 전력 소모 데이터를 실시간으로 얻은 다음, PC에 있는 전력 소모 데이터 분석 소프트웨어가 정확하게 분석할 수 있도록 데이터를 전달하는 측정 시스템의 전체 구조에 대해 기술하고자 한다.

### 2. 측정 시스템의 구조

측정회로를 이용하여 구현한 측정 시스템 하드웨어는 크게 세 부분으로 나눌 수 있다. 첫 번째는 측정회로, 측정 대상 디바이스 보드 및 CPU 보드 인터페이스 커넥터, 측정회로와 측정 대상 디바이스를 제어하는 FPGA를 포함하는 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템 보드이며 두 번째는 실제 측정하고자 하는 대상 디바이스를 탑재하여 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템과 연결되는 측정 대상 디바이스 보드이다. 세 번째는 매 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템으로부터 전력 소모 데이터를 받아 PC에 있는 전력 소모 분석 소프트웨어에 직렬통신이나 네트워크를 통해 전달하는 CPU 보드이다.

측정하고자 하는 대상 디바이스, 측정회로, 직렬통신이나 네트워크를 통한 통신을 담당하는 마이크로콘트

물리를 모두 포함함으로써 하나의 보드로 측정 시스템을 구현하거나 기능별로 각각 분리하여 구현할 수 있다. 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템과 CPU 보드를 분리하여 개발함으로써 전력 소모 측정 및 전력 소모 데이터 수집은 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템이 담당하고 소프트웨어 사이의 통신은 CPU 보드가 담당하게 한다. 또 측정 대상 디바이스가 사이클 단위 측정 시스템안에 포함되지 않고 다른 보드를 만들어 측정 대상 디바이스를 포함하게 하는 것이 가능하다. 이렇게 각각을 기능별로 따로 분리하여 구현함으로써 여러 가지 측정 대상 디바이스의 전력 소모 측정이 가능한, 즉 측정 대상 디바이스에 독립적인 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템의 개발이 가능하며 확장이 용이해진다.

사이클 단위 전력 소모 측정 시스템은 측정 대상 디바이스 보드를 탑재할 수 있는 인터페이스가 있고 CPU 보드와의 인터페이스는 CompactPCI와 같은 표준 인터페이스로 구현함으로써 각각의 보드를 다른 용용에도 사용할 수 있는 장점을 갖게 할 수 있다.

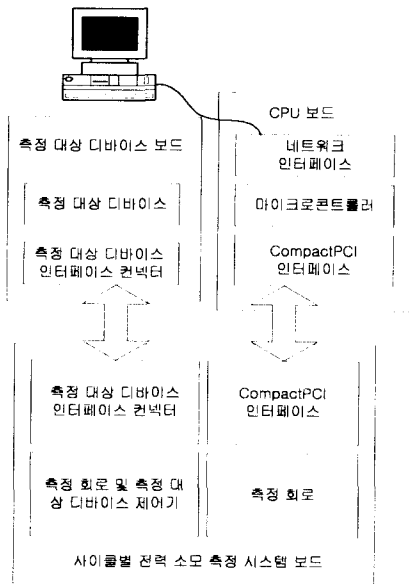


그림 1 전력 소모 측정 시스템 구조

### 3. 측정 시스템의 구성요소

#### 3.1 CPU Board

측정 시스템 하드웨어 중에서 CPU board는 PC 또는 워크스테이션과 네트워크 또는 직렬통신으로 연결되며 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템 보드와는 CompactPCI 인터페이스로 연결된다. CPU board는 PC 또는 워크스테

이션으로부터 받은 데이터를 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템 보드에 전달하거나, 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템 보드로부터 전력 소모 데이터를 얻어 네트워크 또는 직렬통신을 통해 PC나 워크스테이션에 있는 전력 소모 분석 소프트웨어로 전달하게 된다. 이런 기능을 위해 CPU 보드는 68360과 같은 프로세서를 이용할 수 있는데, 68360은 네트워크이나 직렬통신을 쉽게 인터페이스 할 수 있는 CPM을 포함하고 있으며 SRAM이나 DRAM을 Glue 회로 없이 인터페이스 할 수 있는 SIM60과 같은 모듈을 포함하고 있다. 따라서 주변장치와 CPU와의 연결이 편리하며 주변장치에 대한 세팅은 Board Support Package(BSP)를 통해 통제가 가능하므로 쉽게 수정이 가능하다. CPU board의 Flash 메모리에 탑재되는 OS는 VxWorks와 같은 실시간 운영체제를 사용할 수 있다. 네트워크를 통해 데이터를 PC에 있는 분석 소프트웨어와 데이터를 주고받을 때는 블록 전송 프로토콜을 이용하면 빠른 시간 내에 데이터를 전송할 수 있다.

여러 개의 PC나 워크스테이션에 있는 전력 소모 분석 소프트웨어가 측정 대상 디바이스의 전력소모 데이터를 얻기 위해 한꺼번에 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템에 접근하려고 할수도 있다. 이때 CPU 보드에서 수행하는 소프트웨어는 하나의 자원인 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템을 차례로 서비스 할 수 있도록 프로그램을 작성한다. 이렇게 함으로써 여러 사용자가 전력 소모 측정 시스템을 이용하여 측정 대상 디바이스의 전력 소모 데이터를 얻는 것이 가능하게 된다.

CPU보드와 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템과 CompactPCI 인터페이스를 통해 연결될 수 있으려면 두 보드 사이의 버스 요구 중재를 담당하는 로직이 두 보드 중 하나에 포함되어 있어야 한다. 이는 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템에 있는 FPGA로 구현한다.

#### 3.2 측정 대상 디바이스 보드

측정 대상 디바이스 보드는 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템 보드와 인터페이스 커넥터를 통해 연결되는데 측정 대상 디바이스는 사이클 단위 측정 시스템으로부터 벡터를 받아 동작하게 된다. 측정하고자 하는 대상 디바이스가 바뀌더라도 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템 보드를 수정할 필요 없이 측정 대상 디바이스 보드만 수정함으로써 전력 소모 측정이 가능하다.

#### 3.3 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템

사이클 단위 전력 소모 측정 시스템은 측정대상 디바이스의 동작과 동기화해서 전력 소모를 측정하여 전력 소모 데이터를 수집하는 측정회로 제어기와 측정대상 디

바이스가 적절한 동작을 할 수 있도록 벡터를 공급하는 벡터 제어기로 구성된다. 이밖에 CPU 보드와 데이터를 주고받기 위한 인터페이스와 측정 대상 디바이스를 위한 인터페이스를 포함한다.

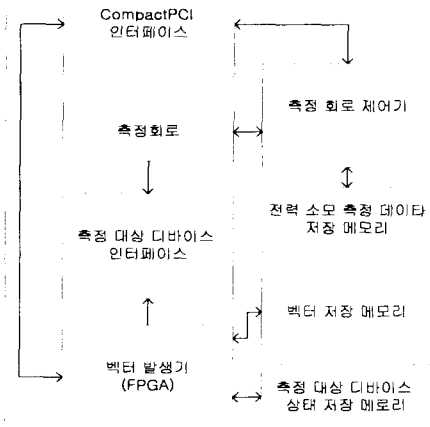


그림 2 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템

#### 4.3.1 측정회로 제어기

측정회로 제어기는 측정회로의 A/D 변환기로부터 전력 소모 데이터를 받아 외부에 있는 메모리인 Synchronous SRAM에 매 클럭마다 전력 소모 데이터를 저장하고 저장된 측정 대상 디바이스의 전력 소모 데이터를 CPU 보드에 전달하는 일을 하는데 블록 전송 프로토콜을 사용함으로써 데이터 전송시간을 줄인다.

측정하고자 하는 대상 디바이스인 동기 유한 상태 기계는 클럭 사이클마다 상태를 바꾸게 되는데 측정회로 제어기는 이때 소모되는 에너지를 얻기 위해 측정 대상 디바이스와 동기화하여 하나의 사이클에서 캐패시터에 충전된 에너지와 캐패시터에 남아 있는 에너지를 얻는다. 이는 측정 대상 디바이스에 공급되는 클럭의 두배가 되는 주파수로 측정회로를 동작 시켜야 한다는 것을 의미한다. 그리고 측정회로 제어기는 측정 대상 디바이스에 클럭이 공급되어 상태 변화를 끝마쳐 안정된 상태가 되어 더 이상 전력을 소모하지 않을 때 전력 소모 데이터를 얻을 수 있도록 측정회로를 제어해야 한다.

측정 대상 디바이스 동작에 적당한 클럭을 공급할 수 있도록 하려면 PC에 있는 분석 소프트웨어가 주는 클럭 조정 명령에 따라 클럭을 공급할 수 있도록 측정회로 제어기를 설계할 수 있는데 이렇게 함으로써 측정회로 제어기의 변경 없이 클럭을 바꿔 공급할 수 있다.

#### 4.3.2 벡터 제어기

벡터 제어기는 PC에서 수행되는 전력 소모 분석 소프트웨어로부터 디바이스가 수행할 벡터를 받아 외부에 있

는 메모리에 저장하고 측정 대상 디바이스의 시그널에 따라 적절한 벡터를 공급하게 된다. 그런데 측정 대상 디바이스의 출력을 해석하여 벡터를 공급하기 위해 벡터 제어기 FPGA에 측정대상 디바이스의 출력을 연결하면 측정 대상 디바이스에 추가의 전력 소모가 생기게 되는데 이는 측정 대상 디바이스의 출력을 연결하지 않고 벡터 제어기가 측정 대상 디바이스의 현재 상태를 예측하여 벡터를 공급하도록 설계함으로써 해결한다. 예를 들어 특정 대상 디바이스가 프로세서라면 프로세서의 제어 신호와 어드레스 값에 따라 벡터를 공급하게 되는데 어드레스 연결에 의해 프로세서에 추가의 전력 소모가 있게 된다. 벡터 제어기를 어드레스 해석 없이 벡터를 공급할 수 있도록 벡터 제어기를 구현함으로써 측정대상 디바이스에 생기는 추가의 전력 소모를 막는다.

측정 대상 디바이스의 상태 정보는 측정 대상 디바이스의 출력을 통해 알수 있는데 이러한 출력 값을 외부 메모리에 저장함으로써 분석 소프트웨어가 전력 소모 데이터를 분석할 때 이용한다.

### 5. 결론

본 논문에서 유한 상태 기계의 사이클 단위 전력 소모 데이터 분석을 효율적으로 분석하기 위한 하드웨어 구조에 대해 기술했다. 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템을 각각의 기능별로 모듈화함으로써 측정 대상 디바이스의 변경에 따른 전력 소모 측정을 쉽게 했으며, 표준 인터페이스를 사용함으로써 다른 응용으로의 확장을 용이하게 했다. 그리고 하나의 자원인 사이클 단위 전력 소모 측정 시스템을 네트워크를 통해 여러 사용자가 이용하고자 할 때 서비스하는 것이 가능하도록 구성했다.

### 참고 문헌

- [1] C.-T. Checn and K. Kucukcakar, "An Architectural Power Optimization Case Study Using High-level synthesis", *ICCD '97*, Oct, 1997
- [2] V. Tiwary, S. Malik, and A. Wolfe, "Instruction level power analysis and optimization of software", *Journal of VLSI Signal Processing systems*, vol. 13, no. 2, pp. 223-233, Aug 1996.
- [3] J. Russel and M. Jacone, "Software power estimation and optimization for high performance, 32-bit embedded processors", *in International Conference on Computer Design*, Oct 1998, pp. 328-333
- [4] Naehyuck Chang, Kwanho Kim and Hyung Gyu Lee, "Cycle-Accurate Energy Consumption Measurement and Analysis: Case Study of ARM7TDMI", *in submission to ISLPED, 2000*