

저전력 휴대용 임베디드 시스템 설계 및 구현

(Design and Implementation for Portable Low-Power Embedded System)

이 정 환 [†] 김 명 준 ^{**}
(Jung-Hwan Lee) (Myung-Jung Kim)

요 약 최근 휴대용 임베디드(Embedded) 시스템들은 크기는 작아지나 사용자들의 요구를 만족시키기 위해서 여러 가지 복합적인 기능을 내장하고 있다. 복합적인 기능 수행을 하기 위해서는 처리 능력이 뛰어난 프로세서들을 사용해야만 하고 시스템의 크기를 줄이기 위해서 적은 용량의 배터리를 사용하는 것이 일반적이다. 그러므로 시스템을 한번 충전한 후에 사용할 수 있는 배터리 사용 시간(Battery Life Time)은 중요한 문제로 대두되고 있다. 시스템의 배터리 사용 시간을 늘리기 위해서는 효율적인 전원 설계, 기능 수행에 따른 전력 관리 그리고 프로세서의 전압과 프로세서 클럭(Clock)의 주파수를 최적화하는 것이 가장 중요하다. 이를 위해서 본 논문에서는 전력 효율을 예측하여 시스템의 전체적인 전력 효율을 최적화하는 전원 구성을 하였으며 각 기능에 따른 전력 관리를 위해서 음악 파일 재생과 동영상 파일 재생을 위한 마이크로 프로세서를 사용하고 디지털 멀티미디어 방송(Digital Multimedia Broadcasting) 시청을 위한 별도의 마이크로 프로세서를 사용함으로써 음악 재생과 동영상 재생 시에는 디지털 멀티미디어 방송 시청을 위한 마이크로 프로세서에 전원 공급을 차단함으로써 전력 관리를 최적화한다. 마지막으로 시스템에서 사용되는 프로세서들의 전력 관리를 위해 가변 전압 주파수 스케일링(Dynamic Voltage and Frequency Scaling)을 적용하여 프로세서들 또한 최적화하고 실제 구현된 시스템에 실험 결과들을 통하여 감소된 소비 전력의 결과를 보여준다.

키워드 : 저전력 설계, 휴대용 임베디드 시스템, 전력 관리, 휴대용 멀티미디어 시스템, 저전력 프로세서, 저전력 임베디드 시스템

Abstract Portable embedded systems have recently become smaller in size and offer a variety of functions for users. These systems require high performance processors to handle the many functions and also a small battery to fit inside the system. However, due to its size, the battery life has become a major issue. It is important to have both efficient power design and management for each function, while optimizing processor voltage and clock frequency in order to extend the battery life of the system. In this paper, we calculated the efficiency of power in optimizing power rail. This system has two microprocessors. One is used to play music and movie files while the other is for DMB. In order to reduce power consumption, the DMB microprocessor is turned of while music or videos are played. Lastly, DVFS is applied to the processor in the system to reduce power consumption. Experimental results of the implemented system have resulted in reduced power consumption.

Key words : Low-Power design, Portable Embedded System, Power management, Portable Multimedia System, Low-Power Processor, Low-Power Embedded System

[†] 정 회 원 : LG전자 DMP연구소 선임연구원
junghwanz@lge.com

^{**} 정 회 원 : 충북대학교 컴퓨터공학과 교수
mjkim@cbucc.chungbuk.ac.kr

논문접수 : 2007년 9월 6일

심사완료 : 2007년 11월 29일

: 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 컴퓨팅의 실제 및 레터 제13권 제7호(2007.12)
Copyright©2007 한국정보과학회

1. 서론

현재 배터리를 사용하는 휴대용 멀티미디어 재생기 (Portable Multimedia Player) 그리고 MP3 재생기 (MP3 Player)와 같은 휴대용 임베디드 시스템들에 사용량은 급격히 증가하고 있다. 이러한 장치들에 사용되는 마이크로 프로세서의 성능은 계속적으로 향상하고 이에 따라 소비 전력 또한 늘어나고 있다. 현재 휴대용 멀티미디어 재생기들의 가장 중요한 요소는 멀티미디어 재생을 끊기지 않고 재생시키는 실시간성을 만족하는 것과 한번 충전 후 장시간 사용 가능한 배터리 사용 시간 그리고 휴대하기 편리한 크기 이다. 그러나 현재 배터리의 기술은 마이크로 프로세서의 성능을 따라가지 못하고 있어 장시간 사용 가능한 장치를 위해서는 배터리의 용량과 크기가 커져야 하는 단점이 있다. 배터리의 크기가 커지는 경우 장치 자체의 크기가 커지게 되므로 휴대용 임베디드 시스템에는 크기가 큰 배터리를 사용하는 것이 현실적으로 불가능하다. 이러한 문제점으로 인하여 휴대용 임베디드 시스템에서는 작은 용량의 배터리를 사용할 수 밖에 없어 배터리 사용 시간 이 중요한 이슈가 되고 있다. 현재 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 휴대용 임베디드 시스템들의 전력 관리가 많이 연구되고 있다.

휴대용 임베디드 시스템들은 특성상 마이크로 프로세서의 전력 소비가 시스템 전력 소비의 대부분을 차지하고 있고 마이크로 프로세서에서 전력 소모를 고려하지 않은 경우와 고려한 경우에 전력 소모 차이는 수배에 차이가 나고 있어 현재 대부분의 휴대용 임베디드 시스템에서는 마이크로 프로세서의 전력 소모를 고려한 전력 관리를 적용하고 있다. 마이크로 프로세서의 전력 소모를 개선하기 위한 방법으로 현재 사용되는 있는 기술은 가변 전압과 주파수 스케일링이 있다. 가변 전압 스케일링은 프로세서의 성능에 따라 입력되는 공급전압을 가변함으로써 프로세서의 전력 소모를 줄이는 방법이고 가변 주파수 스케일링은 프로세서의 성능을 낮추기 위해서 동작 클럭 주파수를 낮춤으로써 전력 소모를 줄이는 방법이다. 그러나 실제 입력 전압은 동작 클럭 주파수와 비례한다[1-3]. 식 (1)은 전력 소비, 입력 전압, 클럭 주파수, 부하 커패시턴스의 관계를 나타낸다.

P: 전력 소비량, C: 부하 커패시턴스

F: 클럭 주파수, V_S : 입력 전압

$$P = C \cdot F \cdot V_S^2 \quad (1)$$

그러나 전압/주파수 가변이 가능한 프로세서에서의 입력 전압은 동작 클럭 주파수에 거의 비례하므로 식 (1)은 다시 식 (2)와 같이 표현 가능하다.

$$P \approx C \cdot F^3 \quad (2)$$

그러므로 가변 전압과 주파수 스케일링을 지원하는 마이크로 프로세서에서 동작 클럭 주파수를 낮추게 되면 시스템의 소비 전력을 낮출 수 있다.

2. 관련 연구

시스템에서 소비하는 전력을 배터리의 기술이 따라가지 못함에 따라 현재 시스템의 전력 소비를 줄이기 위해서 연구가 이루어지고 있다. 휴대용 임베디드 시스템 분야에서의 연구들은 주로 성능과 실시간성을 보장하면서 마이크로 프로세서의 클럭을 최대한 낮추는 연구가 이루어지고 있다[4-6]. 실시간성을 보장하기 위해 가장 일반적으로 사용되는 스케줄러는 EDF(Earliest Deadline First) 스케줄러이다. 이를 위해 이미 독립적인 태스크 간의 EDF 스케줄러 기반의 알고리즘에 대한 분석과 정확성에 관한 연구가 이루어졌다[7]. 이와 같은 문제로 고경 우선 순위 스케줄링은 Quan과 Hu[8]에 의해서 연구되었고 NP-hard(Nondeterministic polynomial-time hard) 임이 증명되었다[9]. 그러나 실 세계에서는 독립적인 태스크보다 공유 자원에 의한 태스크간에 종속성이 발생하는 경우가 빈번하다. 이러한 독립적이지 않은 태스크들은 태스크간에 동기화가 중요하다. 태스크 동기화가 필요한 스케줄링 알고리즘은 NP-hard 이나 [10,11], 태스크 스케줄링 가능성(feasibility) 테스트에 대해서 연구되었다[12,13]. 이런 태스크 스케줄링 가능성 테스트를 기반으로 프로세서의 클럭 주파수를 일정하게 내리는 연구가 이루어졌다[14]. 이와 유사하게 Zhang과 Chanson은 비 선점 영역(non-Preemption Section)을 갖는 태스크에서 프로세서의 클럭 주파수를 일정하게 내리기 위한 연구를 하였고 DS(Dual-Speed)알고리즘을 제안하였다[15]. 그러나 DS알고리즘은 태스크 내의 비 선점 영역만을 고려하고 태스크 동기화에 대해서는 고려하지 않아 같은 조건에서 태스크의 동기화를 고려한 클럭 주파수를 내리기 위한 알고리즘이 다시 연구되었다[16-18].

이러한 태스크들의 실시간성을 만족시키면서 클럭을 최대한 내리기 위한 스케줄러 연구들과 함께 운영체제 상에서 시스템의 장치나 응용프로그램의 동작 고려, 코드 기법 그리고 컴파일러 등의 연구가 이루어지고 있고 [19-22] 하드웨어적으로는 SoC(System On Chip)설계, 메모리, 캐쉬(Cache), 그리고 집적 회로(Integrated Circuit) 간의 내부통신 등의 연구가 이루어지고 있다[23-26].

3. 시스템 모델

본 논문에서의 임베디드 멀티미디어 장치의 주요 기능은 Mpeg 오디오 등의 음악 파일 재생, Mpeg 비디오 등의 동영상 파일 재생 그리고 디지털 멀티미디어 방송

시청이 가능하게 하는 것이다. 음악과 동영상 재생 그리고 사용자 인터페이스(User Interface)를 위해 Tele-chips사의 TTC770[27]을 사용하였으며 디지털 데이터를 아날로그로 변환하는 오디오 코덱은 전력관리 유닛(Power Management Unit)이 내장된 Austriamicro-systems사의 AS3517[28]을 사용하였다. TCC770과 AS3517의 입출력 부의 전압이 동일하지 않기 때문에 상호간의 통신을 위해서 별도의 레벨 시프터(Level shifter)를 추가로 사용하였다. 또한 디지털 멀티미디어 방송 시청 기능을 위한 T-DMB 베이스밴드(Baseband) 디코더는 PNPNetwork사의 PN3030[29]를 사용하였고 동조기(Tuner)는 Integrant Technology사의 ITD3010 [30]을 사용하였으며 비디오 디코딩을 위하여 C&S Technology사의 NEPTUNE[31]을 사용하였다. TCC770과 NETUNE 또한 입출력 부의 전압 차로 인하여 상호 통신을 위하여 복합 프로그램 가능 논리 소자(Complex Programmable Logic Device)를 사용하였다. 물론 디지털 멀티미디어 방송시청과 음악 그리고 동영상 재생 까지 모두 지원하는 마이크로 프로세서 또한 존재하나 각각의 기능에 따른 전력 소비를 최소화하기 위해서 마이크로 프로세서를 분할하였다. 이로 인해 음악과 동영상 재생 기능을 사용 시에는 NEPTUNE 프로세서를 끄는 것이 가능하게 되었고 각각의 기능을 위한 시스템의 소비전력을 최소화 할 수 있게 되었다.

시스템에 크기를 고려하여 직류-직류 변환기(DC-DC Converter) 4개와 LDO(Low Drop Out) 4개를 가지고 있는 전력관리 집적회로(Power Management Integrated Circuit)를 사용하였고 직류-직류 변환기가 내장되어 있는 충전 집적 회로(Charger IC)를 추가로 사용하였다. 효율적인 전원 공급을 고려하여 그림 1과 같이 전원 레일(Rail)을 구성 하였다. 추가로 직류-직류 변환기를 사용하는 경우 시스템의 전력 효율은 더 높일 수 있으나 크기의 문제로 추가적인 직류-직류 변환기는 사용하지 않았다.

전원 레일에 효율적인 구성을 위하여 5가지의 전원 구성을 설계하였고 각각의 구성에 대한 효율을 계산 하였다. 표 1은 효율과 전원 손실을 모두 계산한 결과 최적의 전원 레일 구성으로 선택된 결과이다. 효율 계산 시 직류-직류 변환기의 효율은 90%로 계산하였다. 물론 저 부하인 경우에 직류-직류 변환기의 효율은 50% 이하로 떨어지는 경우도 있으나 이러한 문제는 저 부하시 비 연속 모드를 지원하는 직류-직류 변환기의 사용으로 해결 가능하다. 현재 대부분의 직류-직류 변환기는 비 연속 모드를 지원하며 이 경우 일반적으로 90%이상의 효율을 나타낸다. LDO는 입력 전압인 V_{in} 과 출력 전압 V_{out} 의 관계에서 효율 P_{eff} 는 간단히 식 (3)과 같이

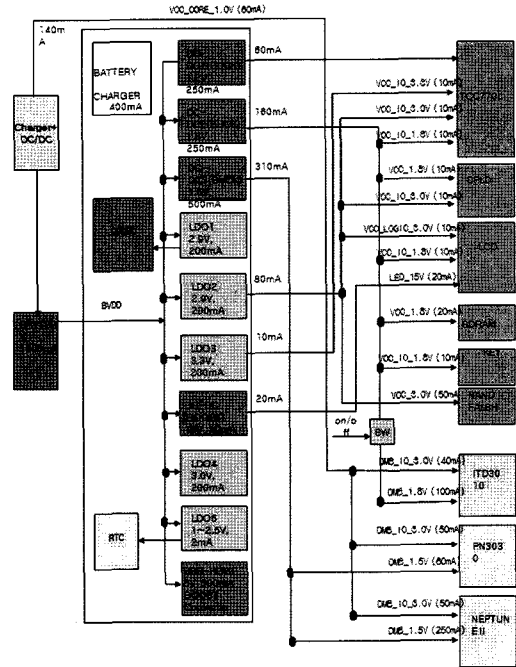


그림 1 휴대용 임베디드 시스템의 전원 Rail

표 1 전력의 효율 및 손실 계산

DC-DC Converter				
	효율	출력(mW)	입력(mW)	LOSS(mW)
1.1V	90%	60	66.7	6.7
DMB1.8v	90%	630	700	70
DC/DC Total		690	766.7	76.7
LDO				
3.3V	90%	33	37	4
1.8V	50%	108	222	114
3.0V	80%	240	296	56
DMB 3.0V	80%	420	518	98
LDO Total		801	1073	272
DC-DC+LDO				
DMB 1.5V	90%	108	120	12
	80%		144	36
System Total		3090	3823.3	733.3

나타낼 수 있다.

$$P_{eff} = V_{out}/V_{in} \tag{3}$$

그러므로 LDO는 입력 대비 출력에 전압이 낮으면 낮을수록 효율이 높아진다. LDO의 이러한 특징과 직류-직류 변환기의 저 부하인 경우의 좋지 않은 효율을 고려하여 전원 레일을 설계 하였다.

4. 저전력 시스템 구현

본 논문에서 구현한 시스템은 음악파일 재생, 동영상

파일 재생 그리고 디지털 멀티미디어 방송 시청 기능을 가지고 있다. 한번 충전 후의 동작 시간을 최대로 늘리기 위해서 동작 모드에 따라 소비전력을 최적화 하는 방법과 멀티미디어 데이터 재생 시에 태스크의 부하에 따라 마이크로 프로세서 클럭 주파수와 공급 전압을 가변 하는 방법을 사용한다.

4.1 동작 모드에 따른 소비전력 최적화 방법

동작 모드에 따라 소비전력을 최적화 하기 위해서 표 2와 같이 시스템 내의 각 블록에 대해 전원 공급을 제어한다. 모든 전원 공급 제어는 TCC770에서 하며 이를 위해 TCC770은 각 블록에 전원을 공급하는 전력관리 집적회로를 제어 한다. TCC770의 경우에는 전체적인 시스템의 제어와 사용자 인터페이스를 처리하고 있어 공급 전원을 차단하는 것은 불가능하나 마이크로 프로세서의 클럭 주파수를 최소화함으로써 사용자가 디지털 멀티미디어 방송 시청을 하는 경우에는 TCC770에서 10mW의 전력만을 소비하게 한다. Neptune과 같은 경우 클럭 주파수를 가변하는 것이 불가능하게 설계된 프로세서이다. 디지털 멀티미디어 방송 시청을 위한 디지털 오디오 방송(Digital Audio Broadcasting) 수신 부로 데이터 수신과 디코딩만을 담당함으로써 클럭 주파수와 입력 전압을 가능한 가장 낮게 최적화시키는 방법을 사용하였다.

Neptune은 내부적으로 세 개의 위상 동기 루프(Phase Locked Loop)에 의해서 동작이 되고 있다. 첫 번째 위상 동기 루프는 Arm 프로세서의 클럭에 사용되고 두 번째 위상 동기 루프는 버스 클럭 그리고 세 번째 위상 동기 루프는 비디오 디코딩을 위한 디지털 신호처리(Digital Signal Processing)의 클럭에 사용된다. 각각의 클럭을 최적화한 결과 첫 번째 위상 동기 루프는 60Mhz, 두 번째 위상 동기 루프는 30Mhz 그리고 세 번째 위상 동기 루프는 50Mhz로 설정하였다. 또한 클럭을 낮춤으로써 입력 전압을 1.8V에서 1.5V로 낮추는 것이 가능하게 되었다. 이로 인해 기존 타 시스템에 적용한 소비전력 대비 78%로 줄이는 것이 가능하였다. 이는 다른 태스크는 고려하지 않고 오직 디지털 멀티미디어 방송 데이터의 수신과 디코딩만을 담당하게 함으로써 고정적인 클럭 최적화가 가능 할 수 있었다.

표 2 기능에 따른 시스템 내부 동작 상태

	음악 재생	동영상 재생	DMB 시청
Telechips	On	On	On
Neptune	Off	Off	On
DAB Module	Off	Off	On
LCD	Off	On	On
AS3517 codec	On	On	Off

4.2 DVFS를 통한 소비전력 최적화

기본적으로 Telechips의 TTC770은 가변 클럭 주파수는 지원하나 가변 전압을 지원하는 프로세서는 아니다. 그러나 클럭의 주파수가 낮아 프로세서의 부하가 적게 되면 전압을 낮추어도 동작하는 원리를 이용하여 전압을 낮추는 방법을 사용하였다. TCC770의 일반적인 프로세서 코어의 공급 전압은 1.2V이나 최소 전압은 1.1V이다. 우리는 30개의 동일 시스템을 구성하여 여러 차례의 실험을 통하여 이를 확인하였으며 적용하였다. 본 논문에서는 이를 이용하여 프로세서의 클럭 주파수가 낮은 경우에는 공급 전압을 1.1V로 공급하고 주파수가 올라가면 1.2V의 전압을 공급함으로써 가변 전압 로직을 구현하였다.

그림 2는 TCC770의 CPU Core 클럭 주파수와 변경에 따른 소비 전력 변화를 나타낸다. 실제로는 30Mhz 미만으로도 동작하나 멀티미디어 데이터 재생 시 30Mhz에서 80Mhz까지만 사용함으로써 다른 주파수 데이터는 추가 하지 않았다. 그림 3은 TCC770의 입력 전압 변경에 따른 소비전력의 변화를 나타낸다. 가변 전압 주파수 스케일링 구현 시에 사용되는 전압은 1.1V와 1.2V간의 전압 변경이고 1.1V 미만의 전압은 여러 대의 시스템에서 테스트한 결과 시스템이 동작을 하지 않는 문제가 발생되어 적용을 하지 않았다.

음악과 동영상 데이터들은 헤더 부에 비트 전송율(Bit rate)과 주파수 등의 정보를 가지고 있고 주기적인 태스크의 속성을 가지고 있다. 주기적인 특성을 갖는 태스크의 경우 EDF와 같은 스케줄러를 사용하여 프로세서의 부하에 따라 클럭의 주파수를 계속적으로 변경하는 경우 스케줄러에 의한 부하가 마이크로 프로세서에 부하를 가중시킬 수 있다. 많은 논문들이 식 (4)와 같이 스케줄러에 의한 부하를 고려하지 않고 마이크로 프로세서의 이용률을 계산하나 실제로 휴대용 멀티미디어

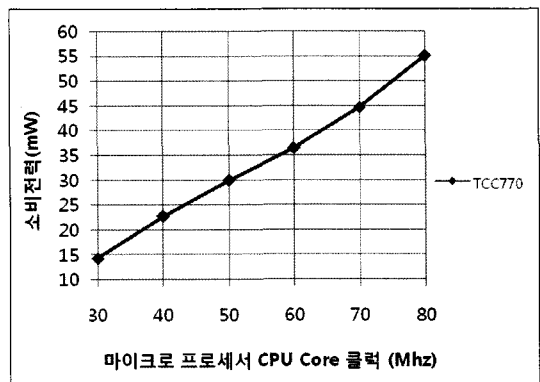


그림 2 TCC770의CPU 코어 클럭 주파수 변경에 따른 소비 전력 변화

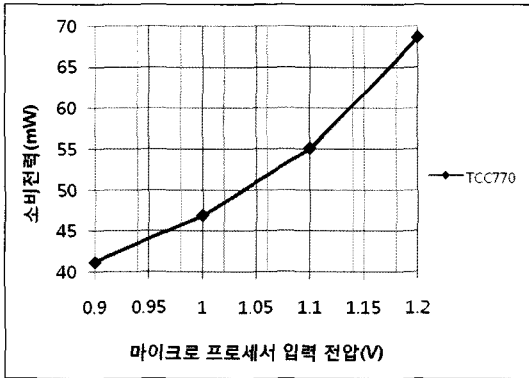


그림 3 TCC770의 입력 전압 변경에 따른 소비전력 변화

재생기와 MP3 재생기와 같은 휴대용 임베디드 시스템은 태스크들이 다중으로 실행되는 시간보다 멀티미디어 데이터 재생을 위하여 단일로 실행되는 경우가 많다. 식(5)는 스케줄러의 부하를 고려한 마이크로 프로세서의 이용률을 나타내며 이용률이 낮으면 낮을수록 그만큼 소비전력을 위해서 장시간 주파수와 전압을 낮게 유지하는 것이 가능하다.

- C_i: 태스크들의 실행 시간
- T_i: 태스크들의 주기
- S_j: 프로세서의 부하 계산에 따른 DVFS 적용 시간
- P_j: 타이머 인터럽트에 의한 스케줄러의 주기

$$U = \sum_{i=1}^n (C_i) / T_i \tag{4}$$

$$U = \sum_{i=1}^n (C_i + S_j) / T_i + \sum_{j=1}^m S_j / P_j \tag{5}$$

이러한 문제로 인하여 그림 4와 같이 프로세서의 부하가 작은 경우에는 프로세서의 클럭 주파수를 내려 소비전력이 낮게 유지되나 다시 프로세서에 부하가 가중되는 경우 스케줄러의 부하와 태스크들의 부하가 합쳐져서 순간적으로 소비 전력이 상승하게 된다. 프로세서의 부하 계산에 따른 클럭 주파수 변경 방법의 단점을 개선하기 위해서 멀티미디어 태스크의 주기적인 특성을 고려하여 데이터의 헤더를 통해 부하를 한번만 계산하고 클럭의 주파수를 결정하는 방법을 사용한다.

표 3은 실제 시스템에 적용된 클럭 주파수이다. 이와 같이 샘플링 율(Sample rate)과 비트 전송 율에 따라 클럭 주파수가 가변함으로써 계속적으로 발생하는 스케줄러에 의한 부하를 제거할 수 있다. 그림 5는 가변 전압 주파수 스케일링을 실제로 적용하기 위해 사용된 알고리즘이다. 미리 샘플링 율과 비트 전송 율에 따라서 정의된 클럭의 주파수 값들이 저장되어 있는 클럭 테이블을 사용하여 헤더 분석 후에 주파수를 변경하게 된다. 이때 기존의 클럭 주파수 보다 새로 설정해야만 하는

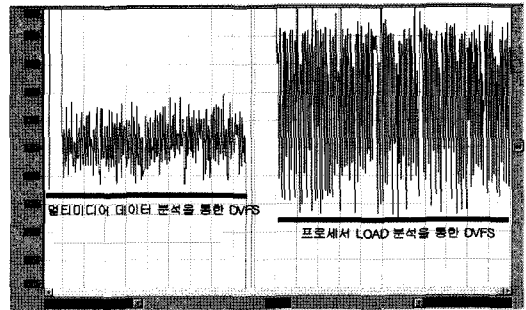


그림 4 멀티미디어 데이터 분석을 통한 DVFS와 프로세서 부하 분석을 통한 DVFS 비교

표 3 프로세서의 클럭 주파수 변경을 위한 표

Bitrates (KHz)	22Khz		32Khz		44Khz		48Khz	
	CPU (MHz)	Bus (MHz)	CPU (MHz)	Bus (MHz)	CPU (MHz)	Bus (MHz)	CPU (MHz)	Bus (MHz)
64	30	14	42	14	55	18	70	18
128	33	14	45	14	60	18	70	18
192	33	14	50	14	60	18	80	18
224	33	14	50	14	60	18	80	18
329	33	14	50	14	70	18	80	18

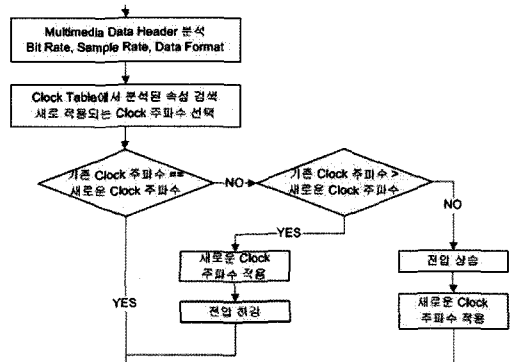


그림 5 DVFS를 위한 알고리즘

주파수가 낮다면 주파수를 낮추고 전압을 내려야 하지만 기존 주파수보다 새로 설정하는 주파수가 높다면 전압을 먼저 올리고 주파수를 높여야만 한다. 만약 이와 같이 가변 전압 주파수 스케일링을 설정하지 않으면 시스템은 하드웨어적으로 문제가 발생한다.

5. 실험 결과

시스템의 소비 전력을 측정하기 위해서 그림 6과 같이 구성을 하였다. FLUKE사의 NETDAQ2640A는 100mS의 단위로 샘플링을 하고 소비전력 데이터를 계속적으로 저장하는 것이 가능하다. 시스템의 전류 측정을 위해 배터리의 출력에 10 미리 옴의 저항을 사용하였고 시스

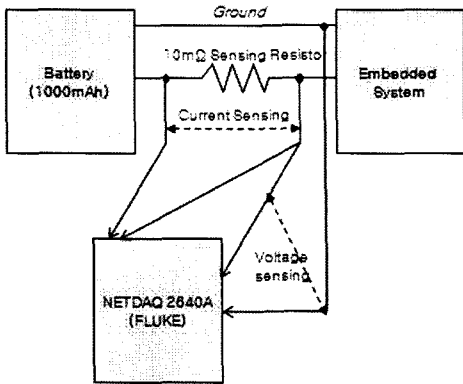


그림 6 소비 전력 측정을 위한 시스템 구성

표 4 시스템의 내부 블록과 총 소비전력 및 효율

	MP3 Play(mW)	DMB(mW)
TCC CORE	15.3	4.4
SDRAM/CPLD/TCC IO/LCD IO PWR, CODEC(FVDD)	8.4	5.5
NAND/TCC IO & ADC /LCD Logic/PLD IO PWR	6.4	25.7
AS3517 Digital Circuit	16.4	17.8
LCD Backlight	0	127.4
OSC	3.2	3.2
DMB Module ITD3010 CORE	0	0.6
DMB Module PN3030 CORE	0	25.3
DMB Module (ITD3010/PN3030) IO	0	166.5
NEPTUNE2 CORE	0	280.4
NEPTUNE2 IO	0	165.1
Sub Total	49.7	821.9
BATT POWER	54	887.2
효율	91%	93%

탐 내부에서 각각의 부하의 입력 부에 별도로 저항을 연결하여 각각의 부하가 소비하는 소비전력을 측정 하였다. 이러한 측정을 통해서 우리는 시스템 전체의 소비 전력과 각각의 부하가 소비하는 전력 그리고 시스템의 손실을 계산 가능하다.

표 4는 MP3 재생 시와 디지털 멀티미디어 방송 시청 시에 시스템에서 소비하는 각각의 부하들의 소비 전류를 보여준다. MP3 재생 시에는 디지털 멀티미디어 방송과 관련된 모든 집적 회로들에 전원을 공급하지 않고 TCC770 또한 가변 전압 주파수 스케일링의 적용에 의해서 전체 소비전력은 54mW만을 소비하고 있다. 디지털 멀티미디어 방송 시청 시에도 가변 전압 주파수 스케일링 적용에 의해서 TCC770은 4.4mW만을 소비하며

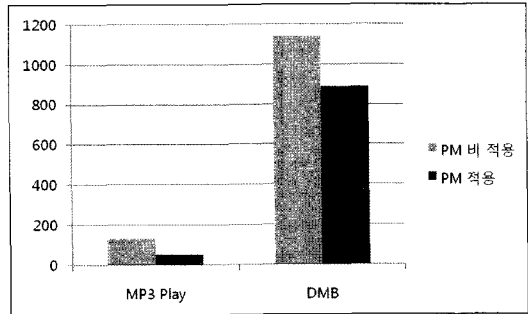


그림 7 전력 관리 적용과 비적용에 따른 시스템 소비 전력 비교

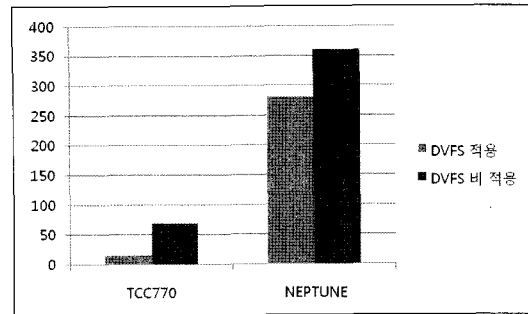


그림 8 DVFS 적용과 비 적용에 따른 마이크로 프로세서들의 소비 전력 비교

NEPTUNE 또한 클럭 주파수와 전압 최적화로 인해 280.4mW만을 소비한다. 또한 효율은 MP3 재생 시에 91%이고 디지털 멀티미디어 방송시청 시에 93%로 모든 동작모드에서 90%이상의 효율을 보이고 있다.

시스템의 전체적인 전력 관리를 위해 90%가 넘는 효율적인 전원 레일 설계, 각 기능에 따른 전원 관리, 그리고 마이크로 프로세서를 위한 가변 전압 주파수 스케일링을 적용하였다. 그림 7에서 보여지는 바와 같이 전력 관리를 적용한 시스템의 MP3 재생 시의 소비 전력은 54mW이나 전력 관리를 적용하지 않은 시스템의 소비 전력은 134mW이고 디지털 멀티미디어 방송 시청 시에는 전력 관리를 적용한 경우 887mW이나 전력 관리를 적용하지 않은 경우에는 1137mW이다. 데이터에서 실제 전력 관리를 적용하지 않은 경우의 소비 전력 또한 이미 동일한 전원 레일 설계와 각 기능에 따른 전원 관리가 적용된 상태의 데이터이므로 실제 이를 모두 비 적용했을 경우에 데이터는 더욱 많은 소비 전력의 차이를 보인다. 또한 마이크로 프로세서들의 전력 소모를 최소화하기 위하여 MP3 재생 시에 사용되는 TCC770에 가변 전압 주파수 스케일링을 적용하여 그림 8과 같이 소비 전력을 68.6mW에서 15.3mW로 줄일 수 있었고 디지털 멀티미디어 방송 시청을 위한 NEPTUNE 프로

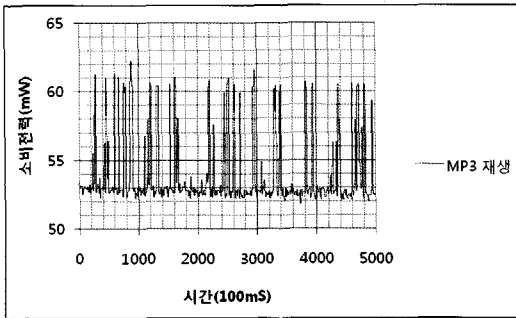


그림 9 MP3 재생 시 시스템 소비 전력

세서에 클럭 주파수 최적화와 전압 최적화를 통해서 소비 전력을 359.8mW에서 280.4mW로 줄일 수 있었다. 그림 9는 TCC770에 가변 전압 주파수 스케일링을 적용 후 MP3 재생 동작 중에 소비되는 소비 전력 데이터를 보여준다.

6. 결론

본 논문에서는 전원 레일을 효율적으로 설계, 휴대용 임베디드 시스템의 각 기능에 따른 전력 관리 그리고 프로세서에 입력 전압과 클럭 주파수 최적화 및 가변 전압 주파수 스케일링을 적용함으로써 기존 대비 40%의 전력을 소비하며 음악 재생을 가능하게 하였고, 디지털 멀티미디어 방송 시청 시에는 기존 대비 78%의 전력만을 소비하게 하였다. 그러나 본 논문에서 적용된 가변 전압 주파수 스케일링은 고정된 클럭 테이블에 의해서 클럭 주파수를 변경 방법으로써 타 시스템에 적용 시 프로세서의 부하를 계산하여 클럭 테이블을 다르게 만들어야 하는 단점이 있다. 향후 이러한 단점을 개선하기 위해서 미리 정의된 클럭 테이블을 사용하지 않고 멀티미디어 데이터를 읽는 경우 프로세서의 부하를 한번만 계산하여 자동으로 가변 전압 주파수 스케일링을 적용하는 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] K.I. Farkas, J. Flinn, G. Back, D. Grunwald, and J.M. Anderson. "Quantifying the energy consumption of a pocket computer and a java virtual machine," In Proceedings of SIGMETRICS, page 252-263, 2000.
- [2] K.J. Nowka et al., "A 32-Bit PowerPC System-On-a-Chip with Support for Dynamic Voltage Scaling and Dynamic Frequency Scaling," IEEE J. Solid State Circuits, Vol.37, No 11, pp. 1441-1447, Nov.2002.
- [3] I. HONG, D. Kirovski, G. QU, M. Potkonjak, and M.B. Srivastava. "Power optimization of variable-voltage core-based systems," IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Integrated Circuits and Systems, 8(12):1702-1714, 1999.
- [4] M. Weiser, B. Welch, A. Demers, and S. Shenker, "Scheduling for Reduced CPU Energy," Proc. Symp. Operating Systems Design and Implementation, pp. 13-23, 1994.
- [5] D. Grunwald, P. Levis, C. Morrey III, M. Neufeld, and K. Farkas, "Policies for Dynamic Clock Scheduling," Proc. Symp. Operating Systems Design and Implementation, pp 78-86, Oct. 2000.
- [6] Y.-H. Lu, L. Benini, and G.D. Micheli, "Low Power Task Scheduling for Multiple Devices," Proc. Int'l Workshop Hardware/Software Codesign, pp. 39-43, 2000.
- [7] W.kwon and T. Kim, "Optimal voltage allocation techniques for dynamically variable voltage processors," in Proc. Design Automation Conf., Anaheim, CA, pp. 125-130, 2003.
- [8] G. Quan and X. Hu, "Energy efficient fixed-priority scheduling for real-time systems on variable voltage processors," in Proc. Design Automation Conf., Las Vegas, NV, pp. 828-833, Jun. 2001.
- [9] H. Yun and J. Kim, "On energy-optimal voltage scheduling for variable fixed-priority hard real-time systems," Trans. Embed. Comput. Syst., Vol. 2, No.3, pp. 393-430, Aug. 2003.
- [10] A.K.Mok, "Fundamental design problems of distributed systems for hard real-time environment," Ph.D. dissertation, Dept. Elect. Eng. Comput. Sci., Massachusetts Inst. Technol., Cambridge, 1983.
- [11] J.A. Stankovic, M. Spuri, M. D. Natale, and G. Buttazzo, "Implications of classical scheduling results for real-time systems," IEEE Trans. Comput., Vol.28, No.6, pp.16-26, Jun. 1990.
- [12] T.P. Baker, "Stack-based scheduling of real-time processes," J. Real-Time Syst., Vol.3, No.1, pp. 67-99, Mar. 1991.
- [13] L. Sha, R. Rajkumar, and J. P. Lehoczky, "Priority inheritance protocols: An approach to real-time synchronization," IEEE Trans. Comput., Vol.39, No.9, pp. 1175-1185, Sep. 1990.
- [14] R. Jejurikar and R. Gupta, "Energy aware task scheduling with task synchronization for embedded real time systems," in Proc. Int. Conf. Compilers, Architecture and Synthesis Embedded Systems, Grenoble, France, pp. 164-169, Oct. 2002.
- [15] F. Zhang and S. T. Chanson, "Processor voltage scheduling for real-time tasks with non-preemptible sections," in Proc. IEEE Real-Time Systems Symp., Austin, TX, pp. 235-245, Dec. 2002.
- [16] R. Jejurikar and R. Gupta, "IEEE Transactions on Computer-Aided Design of Intergrated Circuits and Systems," Vol.25, No.6, Jun. 2006.
- [17] J. W. S. Liu, Real-Time Systems. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2000.

- [18] 이정환, 김명준, “비 선점 영역을 갖는 실시간 태스크에서 소비 전력을 고려한 태스크 스케줄링”, 한국컴퓨터종합학술대회 논문집, Vol.34, No.1(B), pp. 464-469. 2007.
- [19] V. Yoaiken and M. Barabanov, “A Real-Time Linux,” Proc. USENIX Ann., Technical Conf., 1997.
- [20] H. Zeng, X.Fan, C.Ellis, A.Lebeck, and A. Vahdat, “ECOSystem: Managing Energy as a First Class Operating System Resource,” Proc. Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems Conf., pp. 123-132, Oct. 2002
- [21] J. Lorch and A.J. Smith, “Software Strategies for Portable Computer Energy Management,” IEEE Personal Comm. Magazine, Vol.5, No.3, pp. 60-73, June 1998.
- [22] J. Flinn and M. Satyanarayanan, “Energy-Aware Adaptation for Mobile Applications,” Proc. 17th ACM Symp. Operating Systems Principles, pp. 48-63, 1999.
- [23] Calhoun, B. H., Honore, F. A., and Chandran-kasan, A. “Design methodology for fin-grained leakage control in MTCMOS,” in Proc. of the International Symp. on Low Power Electronics and Design. ACM, 104-109. 2004.
- [24] Chen, D., Cong, J., Li, F., and He, L., “Low power technology mapping for FPGA architectures with dual supply voltages. in Proc. of the ACM/SIGDA 12th International Symp. on Field Programmable Gate Arrays,” ACM, pp 109-117, 2004.
- [25] Folegnani, D. and Gonzalez, A., Energy effective issue logic. In Proc. Of the 28th Annual International Symp. On Computer Architecture. ACM, pp. 230-239, 2001.
- [26] Ho, Y-T. and Hwang, T.-T., Low power design using dual threshold voltage. In Proce. Of the Conference on Asia South Pacific Design Automation IEEE, pp. 205-208. 2004.
- [27] http://www.telechips.com/product/p_024.htm
- [28] http://www.austriamicrosystems.com/03products/products_detail/AS3517/description_AS3517.htm
- [29] <http://www.pnpnetwork.com/>
- [30] http://www.integrant.com/products/ds/DS_ITD3010.pdf
- [31] http://www.cnstec.com/kor/products/02_pro_detail.html?no=1011&part=Mobile%20TV



김 명 준

1979년 서강대학교 수학과 학사. 1984년 플로리다 공과대학 전산학 석사. 1992년 텍사스 A&M 대학교 전산학 박사. 1993년~현재 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 교수. 관심분야는 실시간 시스템, 운영체제, 분산운영체제



이 정 환

2001년 충북대학교 컴퓨터학과(석사)
2001년~2002년 충북대학교 컴퓨터학과(박사과정). 2002년~2005년 나오디지털 주임 연구원. 2005년~현재 LG전자 DMP연구소 선임 연구원. 2007년~현재 충북대학교 컴퓨터학과(박사과정). 관

심분야는 실시간 시스템, 운영체제, 전력관리