PXA270 프로세서를 사용한 저전력 멀티미디어 임베디드 시스템의 구현

김상덕†‡, 이후성†, 박성수†
†한국전자통신연구원, ‡과학기술연합대학원대학교

Implementation of Energy-Efficient Multimedia Embedded System using PXA270 processor

Sangduck Kim†‡, Hoosung Lee†, Seong-Su Park†
High Speed IC Research Department
Basic Research Laboratory
†Electronics and Telecommunications Research Institute
‡University of Science & Technology
E-mail: {kimsd, hslee, sspark}@etri.re.kr

Abstract

In wireless and handheld platforms area, performance, power and cost are key metrics for product success. This is driving increasing levels of on-chip integration in state-of-the-art application processors. The purpose of this project is to optimize and design the energy-efficient embedded system that properly displays video and audio in real time. The requirements are for the media player to be capable of decoding real-time streaming video and audio with the least possible energy consumption for a variety of different clips at different resolutions. We implemented this Linux based multimedia player on Intel's PXA27x platform.

I. 서론

SoC (System-on-Chip)의 발달로 인해 칩 안에 하나 이상의 마이크로프로세서가 포함되고 있으며 이러한 향상된 성능의 칩을 사용한 PDA, 휴대용 게임기, 개인 휴대 단말 기기 등의 사용이 보편화되고 있다. 휴대용 기기상에서의 동화상, 게임, 음악 등의 다양한 기능 및 고성능 요구로 인해 전력 소모가 커지고 있으며 이러한 이유로 배터리를 사용하는 휴대용 임베디드 시스템에 대한 저전력 요구가 크게 대두되고 있다. 그러므로 휴대용 임베디드 시스템의 효율적인 전력 소모 관리를 위해서는 하드웨어의 전력 소모 내용을 기반으로 한 소프트웨어와 시스템 수준에서의 전력 관리 기법이 요구된다[1].

시스템 수준에서의 전력 소모를 줄이는 여러 방법들 중에서 Dynamic Power Management (DPM), Dynamic Frequency Scaling (DFS) 또는 Dynamic Voltage Scaling (DVS) 등이 잘 알려진 기법들이다.

DPM 기법에서는 시스템 전체의 전력 소모를 줄이기 위해 디바이스가 사용되지 않을 경우 해당 디바이스를 저전력 모드로 동작시키는 방법인데, 그 동안의 연구들은 각 디바이스 레벨에서의 전력 상태를 결정하는 것에서 운영 체제의 일부로서 디바이스의 전력 상태를 제어하는 방향으로 나아가고 있다[2][3].

DVS 기법은 런타임 시 워크로드에 따라 디바이스의 클럭 속도와 전압을 조정하는 방법인데 메인 프로세서가 임베디드 시스템에서 전력 소모가 가장 많은 부분 중 하나이고 이를 줄이는 것이 전체 시스템에서 전력 소모를 줄일 수 있는 방법이므로 효율적인 전력 관리 기법으로 알려져 있다.

기존의 논문에서는 소프트웨어 또는 시스템 수준에서의 저전력을 위해 제안된 알고리즘을 시뮬레이션 통해 검증하는 수준에 머물렀다. 또한 현재 동적으로 공

급 전압을 조절할 수 있는 프로세서가 몇 가지로 제한되어 있고, 실제 이를 이용해 구현하더라도 동적으로 공급 전압을 조절하는 것이 아니고 대부분 공급되는 주파수 조절을 통한 전력관리 기법을 구현하였다.

본 논문에서는 동적으로 주파수를 조절할 뿐만 아니라 공급 전압을 조절할 수 있는 프로세서와 공급 전압 레벨을 변경할 수 있는 주변 장치로 이루어진 하드웨어를 이용하여 프레임웍을 구성하고 프로세서 디바이스의 전력 상태를 제어하고 모니터링 할 수 있는 에너지 효율적인 휴대용 임베디드 시스템을 구현하였다.

또한 제안된 방법에 대한 검증을 위해서 리눅스 운영체제 상에서 Divx 디코더와 미디어플레이어를 구현하고 주파수와 전압을 스케일링 하여 실험함으로써 유용성을 증명하였다.

II. Intel® PXA270 프로세서를 사용한 DVFS Framework

2.1 PXA27x 프로세서 아키텍쳐

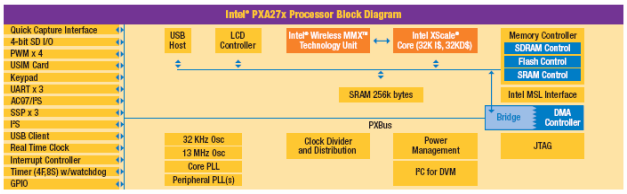

그림 1. PXA27x 프로세서 블록 다이어그램

PXA27x 는 StrongARM(SA1000), XScale(PXA25x)에 이은 차기 모델 저전력 프로세서로 무선단말을 주 응용으로 다양한 주변장치와 멀티미디어 처리가 가능한 구조를 가지며 동작속도는 104MHz 에서 최대 624MHz 까지의 고성능이 가능한 프로세서로, 프로세서 Core 와 Flash 와 SDRAM 을 조합한 SoP(System-on-a-Package)가 있다.

(그림 1)은 인텔 PXA27x 의 내부구조를 보여 준다. 기존 PXA25x 와의 차이점은 동작속도 이외에 MMX™ 기술을 적용하여 유연한 멀티미디어 신호처리가 용이하며, USB 1.1 Device 기능 이외에 UBS 1.1 Host 와 Slave 변환이 응용에 따라 변환되는 USB On-the-Go(OTG) 기능을 갖고, 고해상도 CMOS/CCD Video 센서 인터페이스와 LCD Controller 를 내장하고 있다. ARM* V5TE compliant 를 CPU Core 로 사용하며 6 단계로 보다 세분화된 저전력 제어 기술을 사용하고 있다[4][5][6].

2.2 프로세서 DPM

더 많은 전력 절감의 기회를 얻기 위해 근래에 XScale 등의 임베디드 프로세서에서는 DVS 기능과 함께 파워 상태가 분리되어 제공되고 있으며, 수행 작업에 따라 여유 시간에 대해 상태 전이를 함으로써 전력 소모를 줄일 수 있도록 하고 있다. 아래 (그림 2)는 PXA27x 프로세서에서의 프로세서 상태 전이를 설명하고 있다. 여섯 가지 전력 동작 상태의 특성은 아래와 같다.

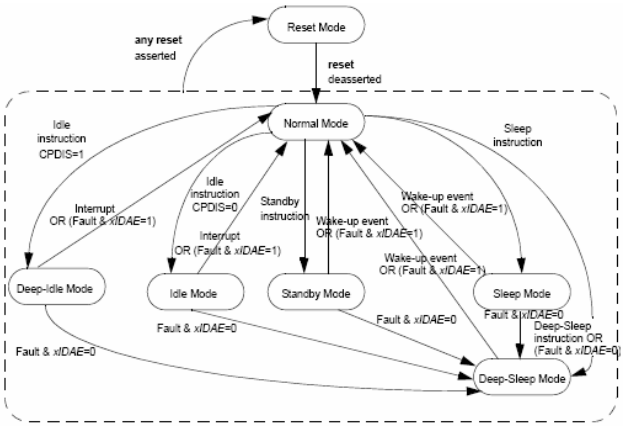

그림 2. PXA27x 에서의 프로세서 상태 전이도

- Normal(run) 상태: 프로그램이 수행되는 상태로 전력 소모는 작업량에 따라 달라진다. 동작주파수는 104MHz 에서 최대 624MHz 까지며 동작전압은 1.1V 에서 1.55V 범위이다.
- Idle 상태: S/W control 로 진입 가능하며 프로세서 클럭 게이팅이나 DFS 를 이용하여 전력 소모를 낮추는 상태이다. Run 상태로의 전이는 인터럽트를 통하여 발생한다.
- Deep-Idle 상태: Idle 상태와 비슷하나 주파수가 최저 13MHz 까지 낮추어 진다는 점이 다르다.
- Standby 상태: Real-time clock 과 oscillator 를 제외하고 내부의 전력을 사용하는 모든 도메인이 가장 낮은 전력 상태로 유지된다. 모든 PLL 역시 비 동작모드로 바뀐다.
- Sleep 상태: Standby 상태와 유사하나 그 외 PXA27x Core 파워가 turn off 된다.
- Deep-Sleep 상태: Sleep 상태와 비교하여 모든 clock 을 사용하는 소스가 disable 된다는 점이 다르다. 전력이 필

요한 최소한의 도메인은 백업 배터리에 의해 유지된다. 가장 낮은 전력 소모를 가지는 상태이며 프로세서뿐만 아니라 관련 메모리컨트롤러, LCD 컨트롤러 등의 I/O 전원도 꺼서 파워 소모를 최대한 낮추는 상태이다.

2.3 프로세서 DVFS

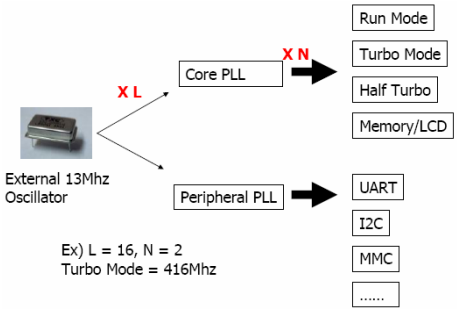

그림 3. PXA27x 클럭 분주 개요도

PXA27x 프로세서에 공급되는 클럭은 위의 (그림 3)과 같이 오실레이터와 PLL 을 거쳐 분주되며 해당 레지스터에 값을 변경함으로써 공급 클럭을 변경할 수 있다. 각각의 동작 모드에 해당하는 동작 주파수는 아래 (표 1)에 나타내었다.

Core Run Freq (MHz)	CLKCFG[T]	Core Turbo Freq (MHz)	CLKCFG[HT]	CCCR[L]	CCCR[2N]	System Bus (MHz)	CLKCFG[B]	CLK_MEM (MHz)	CCCR[A]	SDCLK<2:1> SDRAM Clocks (MHz)	MDREFR[K1DB2]	Synchronous Flash (MHz)	MDREFR[K0DB4]	MDREFR[K0DB2]	LCD (MHz)
13†	X	—	X	X	X	X	13	X	13	X	13	X	13	X	X	13 or 26††
91†††	0	—	—	0	7	2	45	0	91	0	45	1	22.5	1	1	91
104	0	104	1	0	8	2	104	1	104	1	104	0	52	0	1	52
156	0	156	1	1	8	6	104	1	104	1	104	0	52	0	1	52
208	0	208	1	0	16	2	104	0	104	0	104	0	52	1	X	104
208	0	208	1	0	16	2	208	1	208	1	104	1	52	1	X	104
208	0	312	1	0	16	3	104	0	104	0	104	0	52	1	X	104
208	0	312	1	0	16	3	208	1	208	1	104	1	52	1	X	104
208	0	416	1	0	16	4	208	1	208	1	104	1	52	1	X	104
208	0	520	1	0	16	5	208	1	208	1	104	1	52	1	X	104
208	0	624††††††	1	0	16	6	208	1	208	1	104	1	52	1	X	104

표 1. PXA27x 동작 모드와 동작 주파수

실험을 위해 프로세서에 공급되는 클럭을 가변할 수 있는 프로그램에 입력되는 파라메터 값은 아래와 같다.

Op: [l_value, 2n_value, fast_bus_mode, turbo_mode, mem_clk_conf]

또한 전압 스케일링을 위해 PXA270 프로세서에 0.85V, 0.95V, 1.1V, 1.2V, 1.3V, 1.4V, 1.5V 전압[7]이 해당 주파수에 맞게 입력될 수 있도록 PXA27x 개발 플랫폼에 구성되었다.

2.4 PXA27x 개발 플랫폼

주변장치 디바이스를 포함하는 타겟 플랫폼은 앞서 설명한 PXA270 프로세서와 멀티미디어 재생을 위한 QVGA (320x240 pixels) LCD 등을 포함한다.

커널 2.6 버전의 리눅스가 포팅 되었고, 루트파일 시스템으로 NFS(Network File System)를 사용하였다. 호스트 개발 플랫폼으로는 Pentium-4 3.0GHz, 1GB RAM 시스템이 사용되었다.

III. Divx 실시간 멀티미디어 플레이어

멀티미디어 스트림으로 널리 사용되고 있는 MPEG 스트림은 입출력에 대한 부하보다는 각 프레임을 디코딩하는 프로세서 부하가 병목현상을 이루고 있으므로 프로세서 자원에 대한 효율적인 사용을 위한 연구에 효과적이다.

앞서 설명한 프레임웍에서 MP3 와 Divx 와 같은 멀티미디어 데이터를 재생할 수 있는 미디어 플레이어를 구현하여 비디오와 오디오를 실시간으로 처리할 수 있는 멀티미디어 응용 임베디드 시스템을 구현하였다. 이를 위해 오픈 소스 기반의 오디오/비디오 코덱[8]과 리눅스에서 동작되는 미디어 플레이어[9]를 사용하였다.

IV. 실험 결과

재생하는 동안 최소의 전력을 소모하면서 태스크를 처리하도록 비디오와 오디오 샘플들의 각 크기와, 음질을 바꾸어가며 실험하였다.

이를 위해 리눅스 운영체제 상에서 실행되는 주파수와 전압을 변경하고 모니터링 할 수 있는 프로그램을 이용하여 스케일링을 하였다. 각 동작점에 대한 주파수-전압 스케일은 아래와 같다.

Op1: [16 6 1 2 1] 624MHz Turbo Mode, 1.5V
Op2: [16 5 1 2 1] 520MHz Turbo Mode, 1.5V
Op3: [16 2 1 2 1] 208MHz Turbo Mode, 1.2V
Op4: [8 2 1 2 1] 104MHz Turbo Mode, 1.1V

최소의 에너지 소비를 가지고 실시간으로 오디오와 비디오를 디코딩 할 수 있는 성능을 평가하기 위하여 멀티미디어 파일들의 성능과 에너지 소모에 대한 분석(표 2)을 전압-주파수 스케일링을 통해서 알아보았다.

Media File	Quality	Size	State	Time (s)	Energy (J)
AVI (DivX)	24bit	160x120	Op1	30.5	11.72
			Op2	30.5	10.29
			Op3	31.0	6.59
			Op4	43.50	4.62
		304x240	Op1	30.60	18.99
			Op2	30.60	16.98
			Op3	37.90	10.05
		160x88	Op1	152.00	97.24
			Op2	152.10	88.52
		320x176	Op1	152.00	123.84
			Op2	167.60	114.59
		160x68	Op1	60.50	36.12
			Op2	60.50	31.36
		304x240	Op1	60.60	49.09
			Op2	64.30	43.60
		640x464	Unable to Play Real-Time		
		320x136	Op1	94.50	40.93
			Op2	94.50	33.84
			Op3	94.50	19.90
		640x352	Unable to Play Real-Time		

표 2. 주파수-전압 스케일링에 따른 소비전력

(표 2)에서 보는 바와 같이 동작점을 낮춤에 따라 더 낮은 에너지를 소비하면서 실시간으로 재생이 되는지를 나타내준다.

가장 큰 비디오 영상에서는 실시간으로 재생되는 영상을 얻을 수는 없었지만, 재생은 만족할 만 하였다.

V. 결론

본 논문에서는 가변 전압 프로세서인 인텔의 PXA270 프로세서를 이용하여 프로세서 디바이스의 전압-주파수 상태를 모니터링하고 제어할 수 있는 프레임웍을 구성하고 최소의 에너지 소비를 가지고 실시간으로 멀티미디어 데이터를 처리할 수 있는 리눅스 기반의 저전력 임베디드 시스템을 구현하였다.

향후 과제로서 시스템에 가장 높은 에너지 효율성을 가져다 줄 수 있도록 시스템이 수행하는 작업들의 특성에 따른 최적 전압 및 주파수 조절기법을 동적으로 조절하는 하드웨어-소프트웨어 아키텍처를 개발하고 다양한 응용 분야에 적용될 수 있는 플랫폼이 구현되어야 할 것이다.

참고문헌

[1] 김지홍, “휴대용 임베디드 시스템에서의 전력 관리”, ITFIND 주간기술동향.

[2] L. Benini, A. Bogliolo, G. De Micheli, “A Survey of Design Techniques for System-Level Dynamic Power Management”, IEEE Transaction on VLSI Systems, Vol. 8, No. 3, pp. 299-316, June 2000.

[3] Yung -Hsiang Lu, Luca Benini, and Giovanni De Micheli, "Software Controlled Power Management ", Proc. of the S eventh International Workshop on Hardware/Software Codesign(CODES '99), 1999.

[4] N.C. Paver, M.H. Khan, “Accelerating Mobile Multimedia with the Intel® PXA27x Processor Family”, International Conference on Compilers, Architecture, and Synthesis for Embedded Systems (CASES), 2004.

[5] Intel XSclae® Core Developer’s Manual, http://www.intel.com/design/intelxscale/

[6] PXA27x Developer's Manual, http://www.intel.com/design/pca/products/pxa27x/techdocs.htm

[7] Intel® PXA27x Processor Family Power Requirements, http://www.intel.com/design/intelxscale/

[8] FFmpeg, http://sourceforge.net/projects/ffmpeg/

[9] Mplayer, http://www.mplayerhq.hu/homepage/design7/