

주 제

인텔 임베디드 프로세서의 최신 동향

인텔 최진욱, 이희성 연세대학교 차호정

차례

I. 서론

II. 인텔 임베디드 프로세서에 적용된 최신 기술

III. 결론

요 약

셀룰러 폰, PDA 등의 사용이 보편화됨에 따라 임베디드 프로세서의 사용이 급격히 증가하고 있다. 유저에게 다양한 서비스를 제공하기 위하여 임베디드 프로세서는 데스크톱이나 노트북 못지않은 고성능을 가져야하는 동시에 이동성을 확보하기 위하여 저 전력을 소비할 수 있도록 개발 되어야 한다.

또한, 통신과 컴퓨팅이 통합하는 컨버전스(convergence)의 요구에 부합하기 위하여 임베디드 프로세서는 듀얼 코어 구조를 가지게 된다. 본지는 상기 요구들에 부합하기 위한 인텔 임베디드 프로세서들을 소개하고, 멀티미디어 응용 수행 시 요구되는 프로세싱 능력을 수용하는 동시에 저 전력을 소비하게 하는 구체적인 적용 기술들을 살펴본다.

I. 서론

임베디드 프로세서의 정의는 여러 가지가 있을 수 있으나 하나의 예는, 임베디드 프로세서를 일반용도의 워크스테이션 데스크톱 혹은 랩톱 컴퓨터를 제외한 CPU로 정의하고 있다[1].

최근 셀룰러 폰, DMB, PDA 시장이 활성화됨에 따라 소형기기에 내장되는(embedded) 프로세서의 수요는 기하급수적으로 증가 되고 있다.

이러한 임베디드 프로세서는 사용자의 멀티미디어 응용에 대한 기대치의 증가에 부응하기 위하여 고성능의 연산능력을 요구하는 동시에, 이동성(mobility)을 확보하기 위하여 소형화 저 전력화가 필수적이다.

인텔은 고성능 저 전력을 요구하는 임베디드 프로세서를 공급하기 위하여 멀티미디어 응용을 수행하는 애플리케이션 프로세서와 셀룰러 폰에서 모뎀 역할을 하는 커뮤니케이션 프로세서를 개발 공급하고 있다.

1. 애플리케이션 프로세서 (Application processor)

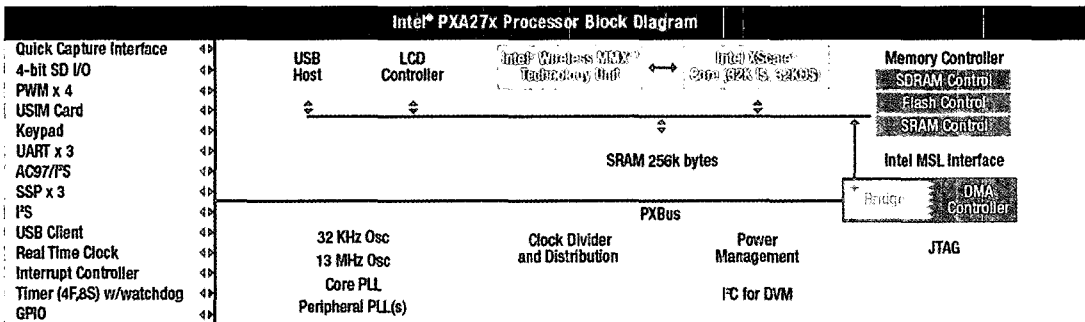
애플리케이션 프로세서는 멀티미디어 응용 수행을 기본 목적으로 하고 통신형 디바이스인 경우에는 커뮤니케이션 프로세서와 통신하여 멀티미디어 데이터를 무선 서비스사업자로부터 받는다. 인텔은 엑스스케일(Xscale) [2] 이라는 ARMV5TE 구조와 호환성을 갖게 ARM 코어를 변형하여 애플리케이션 프로세서의 주요 코어로 사용하고 있다. (그림 1)은 엑스스케일에 기반을 둔 인텔 애플리케이션 프로세서의 한 예의 구성 요소들을 보여준다. 현재 소형 디바이스에서 요구되는 다양하고 복잡한 멀티미디어 기능을 수행할 수 있도록 624MHz의 구동주파수를 가진 엑스스케일 코어에 기반을 둔 프로세서가 양산중이고 더욱 빠른 구동 주파수의 프로세서가 개발 중에 있다. 코어는 멀티미디어 작업 수행 시에 전력 입장에서 효율적인 응용 수행을 위하여 인텔 무선 MMX 기술 유닛(Intel Wireless MMX Unit)과 밀접하게 작업을 수행한다. 즉, 멀티미디어 응용 수행 시에 필요한 알고리즘 중에 MMX 연산으로 최적화 할 수 있는 부분은 MMX 유닛으로 보냄으로써 멀티미디어 응용 수행 시에 최적의 성능을 낼 수 있다. 엑스스케일과

MMX 유닛의 상세한 내용은 다음 장에서 기술한다.

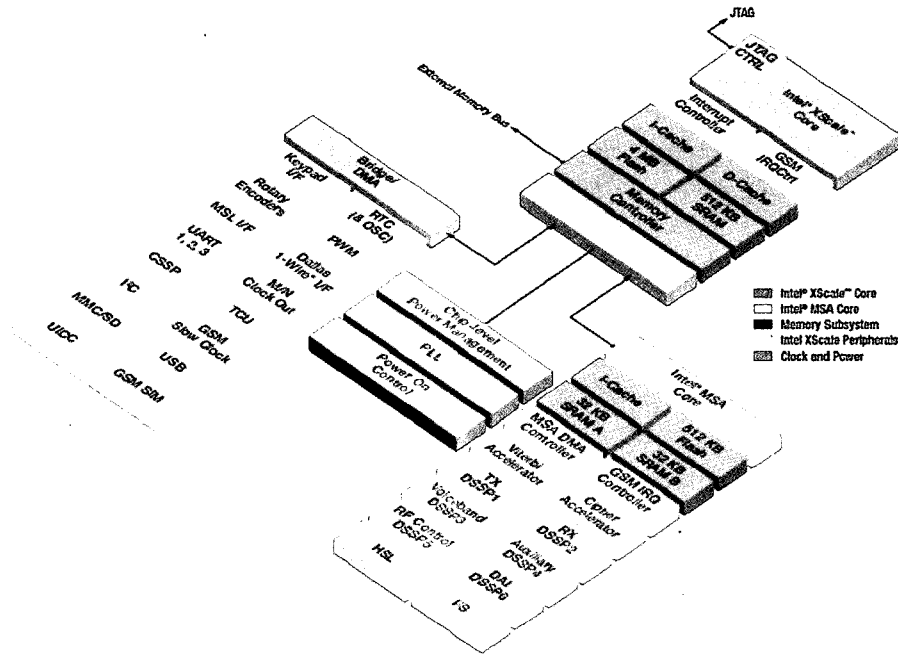
인텔 엑스스케일 마이크로 아키텍처는 여러 마켓 부문(segment)에 부응하는 Applications Specific Standard Products (ASSP)를 만들기 위하여 다양한 주변기기 제어기들을 엑스스케일 코어와 함께 하나의 칩 안에 포함한다. (그림 1)에서와 같이 OEM(Original Equipment Manufacturer)들이 효율적인 가격으로 긴 배터리 시간에 동작하며 풍부한 응용들에 성능을 발휘하는 작은 제품을 만들기 위하여, LCD 제어기, 카메라 제어기, SD 카드 등을 제어하기 위한 블록들, 멀티미디어 제어기와 외부 메모리 제어기를 하나의 칩 안에 통합한다.

2. 커뮤니케이션 프로세서 (Communication processor)

커뮤니케이션 프로세서는 다른 용어로는 모뎀 프로세서라 칭하고 무선 (RF) 단의 신호를 중간 주파수 변경이후의 디지털로 변환하여 음성통신과 데이터 통신에 필요한 프로토콜을 처리한다. 인텔의 커뮤니케이션 프로세서는 전 절에서 기술한 엑스스케일 코어가 포함되어 있어, 2.5/3G 통신상의 멀티미디어 응용을 하나의 칩 상에서 수행할 수 있는 장점이 있다.



(그림 1) 엑스스케일 기반하의 핸드헬드용 임베디드 프로세서 PXA270



(그림 2) 엑스스케일 코어와 마이크로 시그널 아키텍처 기반하의 커뮤니케이션 프로세서 PXA800F

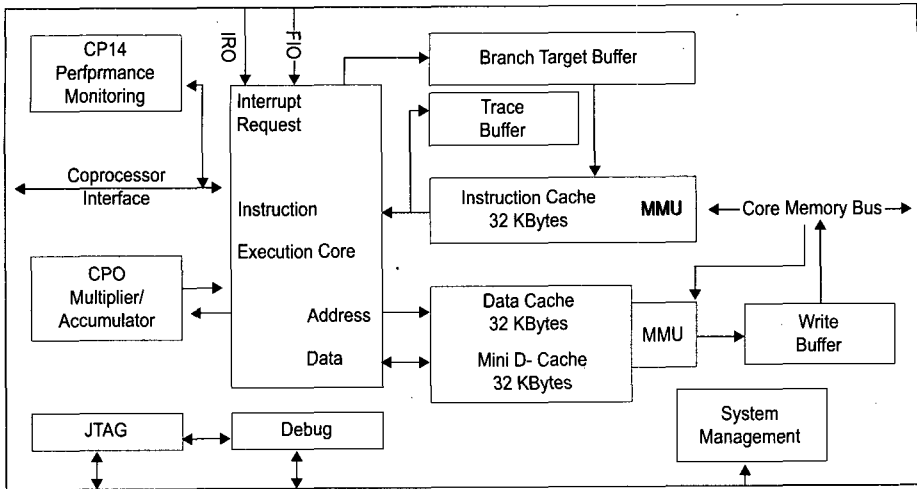
(그림 2)는 엑스스케일 코어와 마이크로 시그널 아키텍처 기반하의 커뮤니케이션 프로세서의 내부 기능 요소들을 보여 준다. PXA800F 커뮤니케이션 프로세서는 GSM/GPRS 베이스밴드 기능, 엑스스케일에 기반을 둔 애플리케이션 프로세서와 플래쉬 메모리를 하나의 칩에 집적한 최초의 제품이다. 엑스스케일 코어는 312MHz 까지 구동이 되며, 다음 장에서 설명할 두개의 MAC을 가진 인텔 마이크로 시그널 아키텍처(Intel Micro Signal Architecture)는 104MHz로 구동되고 있다. 하나의 칩 상에 통합된 플래쉬 메모리와 SRAM은 성능증가와 전력소비 감소를 가능하게 한다. 또한 소형 셀룰러 핸드셀에 필요한 다양한 주변기기를 제어하기 위한 제어기들을 하나의 칩 상에 내장함으로써 제품 생산업체들이 경쟁력 있는 제품을 만들 수 있게 한다. 인텔은 PXA800F의 성능을 개선하여 3G에 대응하는 프로세서의 개발

에 박차를 가하였고, 곧 출시 예정에 있다.

II. 인텔 임베디드 프로세서에 적용된 최신 기술

1. 인텔 엑스스케일 마이크로 아키텍처 (Intel Xscale Microarchitecture)

(그림 3)은 애플리케이션 프로세서와 커뮤니케이션 프로세서에 사용된 인텔 엑스스케일 마이크로 아키텍처의 구성요소들을 보여준다. 엑스스케일 프로세서는 7단계의 슈퍼 파이프라인에 기반을 둔 OOO(Out-Of-Order) 프로세서이다[3]. 마이크로 아키텍처는 인스트럭션과 데이터 메모리 유닛이 분리된 하버드 아키텍처를 따른다. 여기에는 인스트럭



(그림 3) 엑스스케일 코어 구성 요소

선, 데이터 그리고 미니 데이터 캐쉬 데이터를 쓰고 채울 때의 버퍼, 브랜치 타겟 버퍼(BTB), 전력관리 유닛, 퍼포먼스 모니터링, 디버그와 JTAG 유닛, 코 프로세서 접속 유닛, 32KB의 캐쉬, MMU, MAC 코 프로세서와, 코어 메모리 버스가 있다. 확장된 어큐물 레이터는 멀티미디어 수행 시 필요한 크기의 어큐물 레이터를 하드웨어로 제공함으로써 성능 향상을 가져온다. 또한, 미니 데이터 캐쉬는 멀티미디어 데이터 전용 캐쉬로 사용되어 로컬리티(locality)가 적은 멀티미디어 데이터를 효율적으로 관리하여 멀티미디어 응용을 처리할 시 효율적으로 대응 할 수 있다. 퍼포먼스 모니터링 유닛은 엑스스케일 내부 요소들의 작동상황을 외부에 제공함으로써 응용 프로그램상의 병목 등을 분석할 수 있게 해준다. 예를 들면, 버퍼들의 스택 상황을 모니터링 하여 발생 원인을 파악하거나, 캐쉬 미스수를 모니터링 하여 로컬리티를 개선함으로써 응용 프로그램 수행 시의 성능을 향상 시킬 수도 있다. 또한 저전력 시스템 구축 시 프로세서의 전력관리에 관련된 요소들을 모니터링 하는데도 사용된다[4]. 트레이스 버퍼는 프로그램 수행상의 인스

트럭션 등을 환형(circular) 큐에 기록하여 프로세서가 비정상적으로 종료되거나 정지하였을 때 잘못된 부분을 오프라인으로 점검 할 수 있게 해준다.

2. 인텔 무선 MMX 기술 (Intel Wireless MMX Technology)

소형 모바일 기기에 있어서 풍부하고 다양한 멀티미디어 응용 수행에 대한 요구와 통신 능력에 대한 요구가 증가하고 있다. 핸드헬드 무선 기기시장에서의 최종 사용자는 그들이 데스크톱에서 경험하였던 멀티미디어 응용 수행과 통신능력을 모바일 환경에서도 요구한다. 그러한 요구에 부응하기 위해서는, 소프트웨어 개발자들은 다양하고 풍부한 사용하기 쉬운 일반 응용프로그램 개발 환경을 요구한다. 하드웨어 개발자들은 배터리를 많이 사용하지 않으면서 성능을 유지해야한다.

인텔 무선 MMX 기술(Intel Wireless MMX Technology)은 인텔 엑스스케일 마이크로 아키텍처를 보충하여 멀티미디어 응용 수행 시 저 전력과 고

성능을 가능하게 한다. 인텔 무선MMX 기술은 인텔 엑스스케일에 기반을 둔 모마일 기기들의 멀티미디어 기능을 보완하는 강력한 새로운 연산들을 제공한다. 펜티엄과 같은 인텔 아키텍처에서 처음 개발이 시작되어 여기를 기반으로 개발된 인텔 와이어리스 MMX 기술은 인텔 MMX 기술 연산들과, 인텔 SIMD 확장(Intel SSE), 엑스스케일에 고유한 연산들이 추가되었다.

강력한 64비트 Single Instruction Multiple Data (SIMD)는 동영상 재생과 이미지 프로세싱, 양방향 화상회의, 2차원 그래픽, 3차원 그래픽에 필요한 성능을 가능하게 한다.

인텔 무선 MMX 기술은 인텔 엑스스케일 마이크로 아키텍처에 43개의 새로운 인스트럭션을 추가하고 4가지 중요한 기능에 의하여 구성되어진다: 인텔 64비트 데이터 파이프라인(Intel 64-bit Data Pipeline), 인텔 병렬 미디어 프로세싱 (Intel Parallel Media Processing), 인텔 미디어 온 디맨드 (Intel Media Power On-Demand), 인텔 다중 샘플 기술(Intel Multi-Sample Technology). 인텔 64비트 데이터 파이프라인은 인텔 엑스스케일의 파이프라인과 밀접하게 결합되어 효율적이고 빠른 데이터 전달을 가능하게 한다. 인텔 병렬 미디어 프로세싱은 8비트, 16비트, 그리고 32비트 데이터를 병렬적으로 처리할 수 있는 기능에 기반을 두어 응용들의 성능을 증가시킨다. 인텔 미디어 온 디맨드 기능은 인텔 MMX 기능이 필요할 때만 사용되게 함으로써 전력 절감 효과를 기대 할 수 있다. 마지막으로 인텔 다중 샘플 기술은 멀티미디어 알고리즘 수행 시 발생하는 중간 데이터를 저장하는 레지스터 파일(register file)을 이용하여 외부 메모리 접근을 감소시켜 성능을 증가시키고 전력을 감소시킨다.

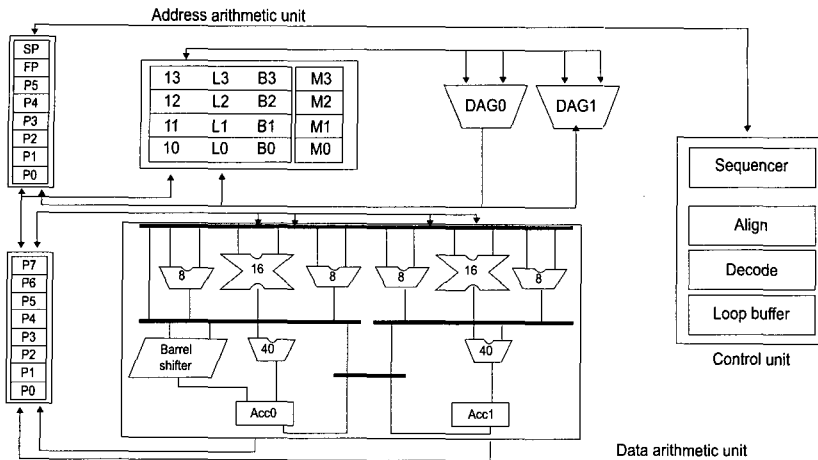
제품 개발 회사들이 인텔 무선 MMX 기술을 효과적으로 사용하게 하기 위하여, 인텔은 인텔 무선

MMX 기술에 최적화 된 컴파일러, 디버그 등을 개발 공급하고 있다. 또한 무선 통신, 정지 영상, 동영상 재생, 음성 처리 등을 위한 IPP(Intel Performance Primitives) [5] 등을 제공함으로써 개발자들이 다소 복잡한 어셈블리 코딩을 하지 않고서도 무선 MMX 기술을 효과적으로 이용할 수 있다.

3. 인텔 마이크로 시그널 아키텍처 (Intel Micro Signal Architecture)

소형 디바이스에 있어서의 통신과 고성능 연산에 관련된 빠르게 확장하는 시장에 대응하기 위하여, 아날로그 디바이스(Analog Device)와 인텔은 디지털 시그널 프로세싱 (Digital Signal Processing) 기능과 마이크로 컨트롤러의 기능을 하나로 통합하는 마이크로 시그널 아키텍처를 개발하였다. 마이크로 시그널 아키텍처는 기존의 DPS에 대하여 성능향상과 동시에 프로그램의 용의 성을 제공한다.

(그림 4)의 인텔 마이크로 시그널 아키텍처 (Micro Signal Architecture;이하 MSA)는 음성과 동영상의 재생에 사용되는 알고리즘을 성능 적으로 최적화하기 위하여 두개의 MAC을 수정한 하버드 아키텍처 기반의 프로세서이다. MSA는 4GB의 메모리 공간을 접근하기 위하여 하나의 인스트럭션 포트와 두개의 데이터 포트, 비트-반전 어드레싱 (bit-reversed addressing)을 지원하는 두개의 32비트 ALU, 중첩된 제로 오버헤드 루핑 (nested zero overhead looping)과 온 더 플라이 포화 및 클리핑 (on-the-fly saturation, clipping)을 허용하는 2개의 카운터로 구성이 되어있다. 또한, MSA는 아비터리 비트 조작(arbitrary bit manipulation), 효율적인 코드 구현을 위한 16비트와 32비트가 혼합된 연산, 메모리 보호(memory protection)기능, 컨텍스트



(그림 4) 인텔 마이크로 시그널 아키텍처

스위칭을 위한 스택 포인터와 스크래치 SRAM, 유연성을 갖는 전력관리, 실시간 연산을 위한 확장 가능한 중첩되고 우선순위가 있는 인터럽트를 포함한다. 멀티미디어를 위하여 4개의 보조 8비트 데이터를 위한 ALU들, 다양한 얼라인먼트 인디펜던트(alignment independent)한 패킷화 된 바이트 연산을 포함한다. 이러한 연산들은 3G 무선 알고리즘에서 전형적으로 수행되는 영상과 이미지 연산들의 가속을 가능케 한다.

4. 인텔 무선 스피드 스텝 기술 (Intel wireless speed step)

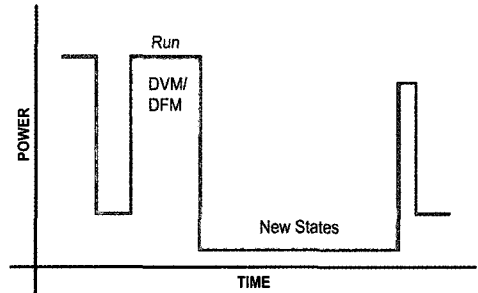
인텔 PXA 27x 프로세서 계열에 처음으로 도입된 인텔 무선 스피드 스텝 기술 (Intel Wireless SpeedStep Technology)은 코어 프로세싱의 요구에 따라 동적으로 전력과 성능을 조절할 수 있는 기능을 제공한다[6]. 이 기능은 무선 소형 기기의 전력을 감소시켜 더욱 긴 대기시간과 통화시간을 가능하게 한다. 인텔 무선 스피드 스텝 기술은 최종 유저의 전

력요구와 성능을 지능적으로 관리하기 위한 전력관리 소프트웨어와 새로운 세단계의 프로세서의 저 전력 단계들을 이용한다. 구체적으로 인텔 PXA27x 프로세서는 인텔 동적 주파수 변경전력제어 (Intel Dynamic Frequency Management)뿐만 아니라, 코어의 구동 전압을 변경시킬 수 있는 인텔 동적 전압 관리 (Intel Dynamic Voltage Management), 여러 단계의 구동 및 저 전력 단계를 제공한다. (그림 5)는 PXA 27x 프로세서가 가질 수 있는 다양한 저 전력 단계들을 보여 준다. 상위 쪽으로의 저 전력 단계들은 빠른 단계 변경시간을 요구하나, 상대적으로 하위 쪽의 저 전력 단계보다는 많은 전력을 소비한다. 전력관리 소프트웨어는 사용자의 부하(workload) 상황과 유휴(idle) 조건들을 고려하여 이러한 저 전력 단계와 동적으로 프로세서 코어의 전압과 주파수를 조정한다. (그림 6)은 동적으로 프로세서가 작업을 수행할 때의 DVM, DFM과 저 전력단계 변경에 관련한 상황을 도시한다. 프로세서가 저 전력 단계가 아닌 운영단계(run) 일 때에는 프로세서의 작업량에 따라 DVM, DFM을 통하여 프로세서의 동작 주파수를 동

적으로 변경시킴으로써 전력을 절감한다. 다음 단계의 예시에서 프로세서가 긴 시간의 유휴시간을 갖는 경우에는 프로세서를 (그림 5)의 저 전력 단계 중의 하나로 변경시킴으로써 더욱 전력을 절감 시킬 수 있다.

Wireless Intel SpeedStep® Low Power Modes		Approx. Power
Response Time		
IDLE Mode:	Fast response time (idle CPU between user input)	[High Power]
Deep IDLE Mode:	Human interface devices (LCD, keypad) left on	
Standby Mode:	Lowest power setting that retains processor state	
Sleep Mode:	Lowest power setting that retains board component state (GPIOs)	
Deep Sleep Mode:	Max power savings	

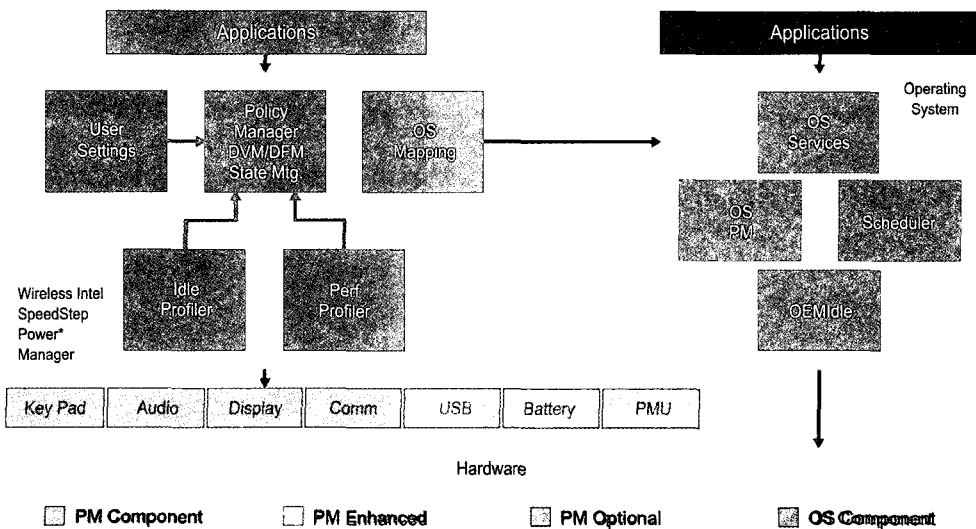
(그림 5) PXA27x 프로세서의 저 전력 단계들



(그림 6) 프로세서의 작업 수행 시 DVM, DFM과 저 전력 단계 변화의 전력관리

또한, 전력관리 소프트웨어는 운영체제에서 제공되는 원래의 전력관리 기능에 부합하게 통합된다. 즉, 운영체제 상에 통합되는 전력관리 소프트웨어는 API

(Applications Programming Interface), DPI (Device Programming Interface)와 저 전력을 위한 정책 등을 통하여 운영체제와 결합된다. 이러한 구조는 제품개발자들이 운영체제를 변경시키지 않고도 저 전력 소프트웨어를 구축할 수 있게 해준다. (그림 7)은 무선 인텔 스피드스텝 전력관리 모듈이 하드웨어와 운영체제 상에 위치하면서 구축된 구조를 도시한다. 전력 관리 정책을 설정하기 위한 정책관리 모듈과 프로세서의 사용경도와 유휴상태를 측정하는 2개



(그림 7) 무선 인텔 스피드스텝 전력관리 모듈 개요

의 프로파일러로 구성된 무선 인텔 스피드 스텝 전력 관리 모듈은 운영체제와 API를 통한 결합으로 운영체제의 기본 구조를 변경시키지 않고 통합된다.

III. 결 론

최근 디지털 컨버전스의 가속화에 부응하는 다양한 디바이스가 대중화됨으로써, 이러한 디바이스에 사용되는 임베디드 프로세서의 요구는 폭발적으로 증가하고 있다. 인텔은 30여 년간 프로세서 개발의 선두적 위치에 있는 기술을 기반으로 이러한 요구에 부응하기 위하여 7년 전부터 핸드헬드형 임베디드 프로세서와 통신용 프로세서를 개발 공급하고 있다. 본 지에서는 최근에 인텔에서 개발 생산하고 있는 임베디드 프로세서의 개괄 적 이해와 핸드헬드 디바이스에서 필수적인 고성능 저 전력을 이루게 하는 기술들을 살펴보았다. 또한 최근의 소형 디바이스에서 가장 중요한 응용인 멀티미디어 응용을 전력상으로 효율적으로 수행할 수 있는 기술도 제시하였다. 인텔은 프로세서를 생산하는 실리콘 벤더로 시작하였으나 최근에 플랫폼 회사로 변신을 꾀하고 있다. 즉, 하드웨어뿐만 아니라 실제 제품 완성에 필요한 소프트웨어 개발 환경을 제공하여 제품 개발자들의 개발 시간을 단축시키게 한다. 이러한 취지에서의 무선 MMX 기술을 효과적으로 사용하기 위한 인텔 IPP 나 인텔 무선 스피드 스텝 기술을 사용하는 무선 인텔 스피드 스텝 전력관리 모듈을 예로써 기술하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Encyclopedia, *Definition of embedded processor*, http://www.pcmag.com/encyclopedia_term/0,2542,t=embedded+processor&i=42551,00.asp, 2006.
- [2] Intel, *Intel XScale Microarchitecture Technical Summary*, <ftp://download.intel.com/design/intelxscale/XScaleDatash eet4.pdf>, 2006.
- [3] S.K. Srinivasan and M.N. Velev. "Formal Verification of an Intel XScale Processor Model with Scoreboarding, Specialized Execution Pipelines, and Imprecise Data-Memory Exceptions," *Proceedings of the First ACM and IEEE International Conference on Formal Methods and Models for Co-Design*, Mont Saint-Michel, France, pp. 65-74, 2003.
- [4] J. Choi, and H. Cha, "Memory-Aware Dynamic Voltage Scaling for Multimedia Applications," *IEE Proceedings - Computers and Digital Techniques*, Vol. 153, Issue 2, Mar 2006, pp.130-136.
- [5] Intel, *Intel Integrated Performance Primitives 5.1 For Windows, Linux, and Mac OS*, <http://www.intel.com/cd/software/products/asmo-na/eng/perflib/ipp/index.htm>, 2006.
- [6] M. Weiser, B. Welch, A. Demers, and S. Shenker, "Scheduling for reduced CPU energy," *Proc. of the first Symposium on Operating Systems Design and Implementation*, Monterey, CA, Nov. 1994, pp.13-23.



최진욱

1992년 고려대학교 산업공학과 학사
 1994년 고려대학교 산업공학과 석사
 1993년 ~ 1999년 LG 산전연구소 선임연구원
 1999년 ~ 현재 Intel Korea Application Design Center 매니저, 연세대학교 컴퓨터과학과 박사과정
 관심분야 : 운영체제, 저전력 시스템 소프트웨어



이희성

1988년 서강대학교 전자공학과 학사
 1988년 ~ 1991년 (주)금성 전기 연구 개발실 Engineer
 1991년 ~ 1994년 (주)인텔 코리아 IT Manager (Network Specialist)
 1994년 ~ 1997년 (주)인텔 코리아 영업부 네트워크

세일즈 엔지니어

1997년 ~ 1999년 Intel technology Asia Ltd. (Singapore), 화학회의/랜카드 제품 마케팅 매니저
 1999년 ~ 2000년 (주) 인텔 코리아 채널 영업 본부 이사 (통신 사업자 담당)
 2000년 ~ 2001년 (주) 인텔 코리아 통신 영업 본부 이사
 2001년 ~ 2004년 (주) 인텔 코리아 통신 영업 본부 본부장
 2004년 ~ 2005년 인텔 아시아 통신 마케팅 영업 총괄 전무
 2005년 ~ 현재 인텔 코리아 대표이사 사장



차호정

1985년 서울대학교 컴퓨터공학 학사
 1987년 서울대학교 컴퓨터공학 석사
 1991년 University of Manchester 전산학 박사
 1993년 ~ 2001년 광운대학교 컴퓨터과학과 부교수
 2001년 ~ 현재 연세대학교 컴퓨터과학과 교수
 관심분야 : 운영체제, 내장형 시스템, 센서네트워크