韓國컴퓨터情報學會 論文誌
第14卷 第12號, 2009. 12.

2009-14-12-1-3

에너지 효율을 고려한 효과적인 CPU 오버클럭킹 방법

이 준 희*, 공 준 호**, 서 태 원***, 정 성 우****

Effective CPU overclocking scheme considering energy efficiency

Junhee Lee*, Joonho Kong**, Taeweon Suh***, Sung Woo Chung****

요 약

최근에, 그린 컴퓨팅은 모든 산업 분야에서 가장 중요한 이슈가 되었다. 이에 따라, 에너지 효율성의 강조는 아무리 강조해도 과하지 않다. 상용 프로세서 제조업체인 인텔의 경우도 성능 뿐 아니라, 에너지 효율성을 매우 강조하고 있다. 그럼에도 불구하고, 컴퓨터를 사용하는 많은 일반 사용자들은 추가비용 없이 컴퓨터의 성능만을 높이기 위해 CPU 오버클럭킹을 사용한다. CPU 오버클럭킹을 통한 성능 향상에 따른 파워 소모는 필요악으로 여겨져 왔다. 본 논문에서는 CPU 공급전압은 그대로 유지하고 CPU 클럭 주파수만 증가시키는 에너지 효율을 고려한 효과적인 CPU 오버클럭킹 방법을 제안한다. 이 방법을 통해 에너지 감소와 성능 향상이라는 두 가지 목적을 동시에 달성하였다. 실험결과, 실행시간 17% 단축, 전체 컴퓨터 시스템 에너지 소모 5% 감소를 보여주었다. 더불어, 전체 컴퓨터 시스템 Energy Delay Product(EDP)가 22% 감소되는 결과를 보여주었다.

Abstract

More recently, the Green Computing have become a important issue in all fields of industry. The energy efficiency cannot be over-emphasized. Microprocessor companies such as Intel Corporation design processors with taking both energy efficiency and performance into account. Nevertheless, general computer users typically utilize the CPU overclocking to enhance the application performance. The overclocking is traditionally considered as an evil in terms of the power consumption. In this paper, we present effective CPU overclocking schemes, which raise CPU frequency while keeping current CPU supply voltage for energy reduction and performance improvement. The proposed scheme gain both energy reduction and performance improvement. Evaluation results show that our proposed schemes reduce the processor execution time as much as 17% and total computer system energy as much as 5%, respectively. In addition, our effective CPU overclocking schemes reduce the Energy Delay Product (EDP) as much as 22%, on average.

• 제1저자 : 이준희 교신저자 : 서태원
• 투고일 : 2009. 09. 29, 심사일 : 2009. 11. 04, 게재확정일 : 2009. 12. 24.
* 고려대학교 정보통신대학 컴퓨터·전파통신공학과 석사과정 ** 고려대학교 정보통신대학 컴퓨터·전파통신공학과 박사과정
*** 고려대학교 컴퓨터교육과 조교수 **** 고려대학교 정보통신대학 컴퓨터·전파통신공학과 조교수
※ 이 논문은 2009년도 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2009-0069357)

▸ Keyword : 에너지 효율(Energy Efficiency), CPU 오버클럭킹(CPU Overclocking), 성능 향상 (Performance Improvement)

Ⅰ. 서 론

오늘날 상용 마이크로프로세서는 성능뿐만 아니라 에너지 효율에 관심을 집중하고 있다. 최근 출시된 인텔 제온 L3426 프로세서의 경우에도 이전 세대 인텔 제온 X3380 대비 에너지 효율성이 최대 188% 향상된 저 전력 제품임을 강조하고 있다[1].

인텔은 저 전력 관리 기술인 EIST(Enhanced Intel Speedstep Technology), C1E(Enhanced Halt State)는 동적 전압/주파수 조절(Dynamic Voltage and Frequency Scaling, DVFS)를 이용하여 컴퓨터의 작업량이 많지 않은 경우에 CPU의 클럭 주파수와 전압을 낮추어 전력 소모를 줄인다[2]. 인텔의 최근 출시한 인텔 코어 i5, i7, 제온 프로세서의 경우 모두 인텔만의 고유한 터보부스트(Turbo Boost) 기술을 적용 하였다[3]. 터보부스트(TurboBoost)는 정해진 소비전력, 온도, 전류보다 낮으면 자동으로 오버클럭하여 최적의 성능으로 동작한다. 또한 4개의 CPU 코어의 부하가 별로 높지 않은 경우에, 처리를 집약해 동작하는 코어를 줄이는 것이 가능하여 나머지 코어를 거의 정지 시키는 방법으로, 성능은 높이면서 전력 효율은 최적의 상태를 유지하게 된다.

위와 같은 에너지 효율을 높이기 위한 많은 관심과 연구에도 불구하고 컴퓨터를 사용하는 일반 사용자들은 에너지 효율보다는 성능에만 관심을 보인다. 이는 데스크탑 컴퓨터가 전력 혹은 에너지에 덜 민감하고, 또한 데스크탑에서 사용되는 응용들이 저 전력보다는 고성능을 목표로 하는 경우가 많기 때문이다.

따라서, 컴퓨터를 사용하는 많은 사람들은 컴퓨터의 성능을 높이기 위해 추가적인 비용을 들여 고 성능의 컴퓨터 부품을 사는 대신에, 추가비용 없이 성능을 높일 수 있는 오버클럭킹(Overclocking)에 관심이 크다. 오버클럭킹이란 컴퓨터 부품을 제조업체가 설계한 값보다 강제로 더 높은 클럭 속도로 동작할 수 있도록 하여 컴퓨터의 성능을 향상 시키는 과정을 말한다.

컴퓨터 부품 제조업체들은 CPU, RAM, 메인보드 등을 만들 때 공정 변이(Process Variation) 때문에 완전히 동일한 성능으로 부품을 만들 수 없다. 이런 이유로 부품의 안정성을 위해 제조업체들은 실제로 시장에서 파는 제품 명세에 기술되어 있는 성능보다 더 높은 성능을 내는 형태로 제품을 만들게 된다. 제조업체에서 강제로 낮춘 성능을 해제하여 제품의 성능을 높일 수 있는 것이다.

성공적인 오버클럭킹을 수행하면 기존의 컴퓨터 보다 많이 성능을 올릴 수 있지만, 무리하게 오버클럭킹을 할 경우 하드웨어의 고장 및 수명을 떨어뜨리는 결과를 가져 올수도 있다. 이런 이유로 부품 제조업체는 오버클럭킹을 권하지 않는다.

이런 우려에도 불구하고, 현재 오버클럭킹에 대한 관심은 전 세계적으로 커져 지난해 세계 유명의 컴퓨터 부품 업체인 인텔, 아수스, 기가바이트 등 여러 회사에서 오버클럭킹 대회를 개최하기도 했다. 이러한 관심 속에 최근 출시되고 있는 CPU, 메인보드 등의 부품들은 오버클럭킹을 위한 성능 제한을 푸는 것은 물론이고, 사용자가 쉽게 오버클럭킹을 할 수 있도록 사용자 인터페이스도 제공하는 추세이다.

아직까지 오버클럭킹에 대해서는 학술적 연구의 목적으로 접근했던 경우는 드물다. 하지만 국내외 유명 하드웨어 포럼에서는 가장 관심 있는 분야이다. 오버클럭킹에 관해 묻고 답하는 것은 물론이고, 오버클럭킹에 관해 가이드라인을 제시하고 실험을 통해 평가하는 등 전문적인 하드웨어 포럼들이 많이 있다[4][5][6][7]. 이러한 추세에 발맞추어 본 논문에서는 오버클럭킹에 대한 학술적 접근과 더불어, 에너지 소모를 고려한 효과적인 오버클럭킹 방법을 제시하고 실험을 통해 평가한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 동적 전압 및 주파수 조절 기법(Dynamic Voltage/Frequency Scaling)과 CPU 오버클럭킹 관련 연구에 대해 알아보고, 3장에서는 에너지 소모를 고려한 CPU 오버클럭킹 방법을 제시한다. 이어서 4장은 실험환경을 확인하고, 5장에서는 기본 시스템 환경, 동적 전압 및 주파수 조절 기법(Dynamic Voltage/Frequency Scaling), CPU 공급전압 낮추는 경우, CPU 클럭 주파수 증가하는 경우 4가지 실험을 비교 평가 한다. 마지막으로 6장에서는 본 연구의 의의에 대하여 서술한다.

Ⅱ. 관련 연구

동적 전압 및 주파수 조절 기법(Dynamic Voltage/Frequency Scaling)은 프로세서의 동적 온도 관리(Dynamic Thermal Management) 및 전력 소모를 줄이기 위한 핵심 기술이다[8]. 하지만 이 기술은 프로세서의 파워와 에너지를 줄이는 것이지, 프로세서가 탑재되어 있는 상용 컴퓨터 시스템 전체의 에너지를 줄이는 것이 아니다. 또한 프로세서의 에너지를 줄이기 위해 전압과 클럭 주파수를 낮추는 과정에서 심각한 성능저하를 가져온다[8].

Juan Rubio가 제안한 동적 프로세서 오버클럭킹 기술은 파워가 제약된 환경에서 동적 전압 및 주파수 조절 기법(Dynamic

Voltage/Frequency Scaling)과 동적으로 CPU 오버클럭킹을 이용해 성능향상을 가져 온다[9]. 위 기술은 프로세서의 성능 계수(Performance counter) 값을 이용하여 파워 제한을 초과하지 않는 한도 내에서 CPU 오버클럭킹을 해도 되는가를 판단한다. 이를 토대로 동적으로 CPU 오버클럭킹과 동적 전압 및 주파수 조절기법과 함께 사용하여 성능 향상을 가져온다. SPEC CPU2000 벤치마크의 경우 16.5W의 파워 제한을 초과하지 않는 한도 내에서 평균 5.9%의 실행시간 단축을 보여주었다.

본 논문에서는 프로세서 제조업체들이 안정성을 고려하여 원래의 성능보다 낮은 성능으로 프로세서를 공급하는 것을 이용하여 바이오스에서 간단한 조작만으로 성능저하 없이 상당한 전력과 에너지를 줄일 수 있다는 것을 실험을 통해 평가한다. 또한 CPU 오버클럭킹시 성능향상을 위해 감수해야 되는 에너지를 줄이기 위하여 에너지 효율을 고려한 효과적인 오버클럭킹 방법을 제시하고 실험을 통해 평가한다.

III. 에너지 효율을 고려한 CPU 오버클럭킹 방법

3.1 컴퓨터 시스템의 전력/에너지 소모량

본 논문에서는 컴퓨터 시스템의 에너지를 측정한다. 이 시스템 전체의 에너지를 통해 CPU의 에너지와 CPU를 제외한 나머지 에너지로 구분한다. 식 (1)과 같이 표현될 수 있다.

$$E_{system} = (P_{cpu\ average} \times T_{exec}) + (P_{remainder\ average} \times T_{exec}) \quad \cdots\cdots (1)$$

식 (1)에서 $P_{cpu\ average}$은 CPU의 평균 전력, $P_{remainder\ average}$은 CPU를 제외한 나머지 평균 전력, T_{exec}은 실행 시간이다. 그리고 프로세서의 전력은 전압의 제곱과 클럭 주파수에 비례한다. 식 (2)로 표현될 수 있다.

$$P_{cpu} \propto V_{dd}^{2} \cdot f_{clock} \quad \cdots\cdots (2)$$

식 (2)에서 P_{cpu}는 CPU의 전력, V_{dd}는 공급 전압, f_{clock}은 클럭 주파수이다. 위에 두개의 식을 이용하여 시스템의 전체 에너지를 수식으로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$E_{system} = (\alpha \times V_{dd}^{2} \times f_{clock} \times T_{exec}) + (P_{remainder\ average} \times T_{exec}) \quad \cdots\cdots (3)$$

식 (3)에서 E_{system}은 컴퓨터 시스템 전체의 에너지이다.

같은 응용 프로그램을 실행했을 때 CPU의 전압과 클럭 주파수의 변화는 CPU의 전력에는 민감하게 영향을 미치지만, CPU를 제외한 나머지의 전력에 별다른 영향을 미치지 못한다. 같은 응용을 실행 할 때, CPU의 전압과 클럭 주파수만 다른 a시스템과 b시스템이 있다고 할 때 이 두 시스템의 전력 소모량은 식 (4), (5)와 같이 표현될 수 있다.

$$E_{system_a} = (\alpha \cdot V_{dd_a}^{2} \cdot f_{clock_a} \cdot T_{exec_a}) + (P_{remainder\ average} \cdot T_{exec_a}) \quad \cdots\cdots (4)$$

$$E_{system_b} = (\alpha \cdot V_{dd_b}^{2} \cdot f_{clock_b} \cdot T_{exec_b}) + (P_{remainder\ average} \cdot T_{exec_b}) \quad \cdots\cdots (5)$$

식 (4), (5)에서 E_{system_a}, E_{system_b}은 각각 a, b의 컴퓨터 시스템 전체의 전력 소모량이다. E_{system_a}, E_{system_b}의 두 식에서 $P_{remainder\ average}$와 α를 제외한 나머지 모든 값은 시스템에서 정해 진 값이기 때문에, 결국 2개의 변수를 가진 연립 방정식이 됨으로 $P_{remainder\ average}$와 α를 구할 수 있다. 이 두 값을 통해 CPU와 CPU를 제외한 나머지로 구분된 평균 전력 및 에너지를 구한다.

3.2 저 전력 컴퓨터 시스템의 구성

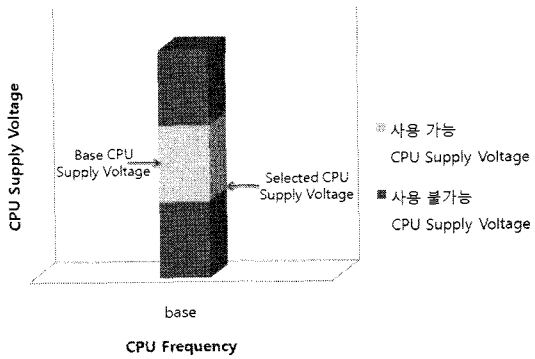

그림 1. 저 전력 컴퓨터 시스템을 위한 CPU 공급 전압 선택
Fig. 1. CPU supply voltage selection for low power computer system

안정성을 위해 CPU 제조업체에서 성능을 강제로 낮춰 CPU를 출시 한다는 것을 이용하여, 저 전력의 컴퓨터 시스템을 구성할 수 있다.

〈그림 1〉에서 보면 제품 명세에 기술되어 있는 기본 CPU 클럭 주파수와 공급 전압에서 클럭 주파수는 변하지 않을 때, 공급 전압은 위, 아래로 유연성이 있다. 이때 안정성이 있는 가장 낮은 CPU 공급전압을 선택하면 성능저하 없이 저 전력의 컴퓨터 시스템을 구성할 수 있다.

CPU 공급 전압을 너무 낮게 또는 너무 높게 한다면 안정성에 문제가 생겨 시스템의 부팅 실패, 블루 스크린, 연산 오류 등 심각한 문제를 발생 시킨다. 안정성의 평가는 가장 널리 사용되는 Prime2004[10], Super pi[11], 골드메모리[12]를 통해 안정성을 평가했다.

3.3 에너지를 고려한 CPU Overclocking 방법

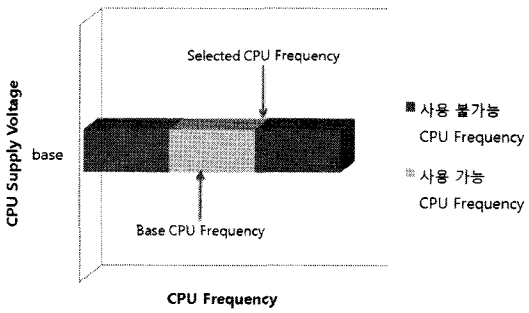

그림 2. 에너지 효율을 고려한 CPU 클럭 주파수 선택
Fig. 2. CPU frequency selection considering energy efficiency

최근 출시되는 CPU의 경우 제품 명세에 기술되어 있는 성능을 향상할 수 있는 허용범위는 점점 더 커지고 있다. 심지어 CPU 공급 전압을 높이지 않더라도 클럭 주파수를 높일 수 있다. 〈그림 2〉에서 보면 CPU 공급 전압의 증가 없이도 CPU 클럭 주파수를 일정 수준까지 올릴 수 있음을 나타낸다.

CPU의 파워가 CPU 공급 전압의 제곱과 클럭 주파수에 비례하기 때문에, 안정성에 문제가 없는 한도 내에서 CPU 공급 전압을 높이지 않고 클럭 주파수를 일정 값 이상 올린다면, 클럭 주파수가 높아져서 증가하는 에너지보다 실행시간의 단축으로 인한 에너지 절약을 통해 총 에너지 소모량을 줄일 수 있다.

IV. 실험 환경

4.1 실험 시스템 환경

표 1은 실험에 사용된 컴퓨터 시스템의 제원을 나타낸 표이다. 오버클럭킹이 일반 데스크탑 사용자들에게 유용한 점을 고려하여 일반 사용자들이 최근 많이 사용하는 컴퓨터 사양을 실험 시스템으로 사용하였다. 표 2는 오버클러킹의 타겟이 되는 CPU에 대한 제원이다.

표 1. 컴퓨터 시스템 환경
Table 1. Computer System Environment

구분	모델
CPU	Intel Core2 Duo E8400
Mainboard	Gigabyte P31-ES3G
RAM	Samsung DDR2 1G PC2-6400 * 2
VGA	NVIDIA GeForce 9500 GT
HDD	WDC WD3200AAKS-00L9A0
ODD	HL-DT-ST DVD-RAM GH22NS30
Power	W/NOISE KILLER ATX-400PN
Case	Core N-90
OS	Microsoft Windows XP Professional SP3 Korean

표 2. Intel Core2 Duo E8400 명세[13]
Table 2. Specification of Intel Core2 Duo E8400

구분	내용
제조사	Intel
제품명	Core2 Duo Dual-Core Processor E8400
코어구조	Intel Core-Micro Architecture
소켓방식	LGA775
제조공정	45nm
제품형번	E8400
동작속도	3.0GHz
FSB속도	FSB 1333MHz
코어형태	Dual-Core / Wolfdale
L1 캐시용량	32KB
L2 캐시용량	Shared 6MB (24-way)
코어배수	x9 Bus / Core ratio
전압범위	0.85V - 1.3625V
TDP	65W
온도제원	72.4
제품특징	MMX, SSE3/SSE4, xD, C1E, EIST, Intel VT, Intel Thermal Monitor 2, 윈도우 7 가상화 지원

4.2 벤치마크와 컴퓨터 시스템 전력 측정 방법

표 3. SPEC CPU2006 중 실험에 사용된 벤치마크 종류
Table 3. Used benchmark among SPEC CPU2006

구분		설명
정수	400.perlbench	C PERL Programming Language
	429.mcf	C Combinatorial Optimization
	464.h264ref	C Video Compression
	471.omlnetpp	C++ Discrete Event Simulation
부동 소수점	433milc	C Physics: Quantum Chromodynamics
	444.namd	C++ Biology/Molecular Dynamics
	450.soplex	C++ Linear Programming, Optimization
	454.calculix	C/Fortran Structural Mechanics

실험에는 SPEC CPU2006 벤치마크 중 정수 연산 능력을 측정하는 벤치마크 4개, 부동 소수점 연산 능력을 측정하는 벤치마크 4개, 총 8개의 벤치마크를 통해 실험 하였다. 구체적으로 사용된 벤치마크는 〈표 3〉과 같다.

전력 측정을 위해서는 독일 X4-LIFE사의 인스펙터 2(INSPECTOR II)를 사용하였다. 인스펙터 2는 초 단위의 전력 측정이 가능하기 때문에, 벤치마크 실행 시 초 단위로 측정된 전력을 통해 에너지를 산출하였다.

4.3 실험에 따른 시스템 환경 변화

표 4. 실험에 사용된 CPU 클럭 주파수와 공급전압
Table 4. CPU frequency and supply voltage used in our experiment

구분	기본 시스템 환경 실험	DVFS 실험	CPU 공급전압 낮추는 실험	CPU 클럭 주파수 증가 실험
클럭 주파수 (MHz)	3000	2000	3000	3735
공급 전압 (V)	1.250	1.100	1.075	1.25

표 5. Windows XP Professional SP3 Korean 에서 Core2 Duo E8400의 전압, 주파수 집합
Table 5. Voltage and frequency of Core2 duo E8400 pair in windows XP Professional sp3 Korean

단계	주파수(MHz)	전압(V)
2	3000	1.25
1	2000	1.1

본 논문의 실험은 동적 전압 및 주파수 조절 실험과 CPU의 클럭 주파수 및 공급전압의 변화에 따른 성능, 에너지, EDP(Energy Delay Product)를 평가한다.

CPU의 클럭 주파수와 공급전압의 변화에 따른 오버클럭킹 관련 실험은 네 가지이다. 아무것도 바꾸지 않은 기본 시스템, 저전력 컴퓨터 시스템 구성의 위해 CPU 클럭주파수는 그대로이고 CPU 공급 전압만 낮췄을 때, 전력소모를 고려한 효과적인 오버클럭킹을 위해 CPU 공급전압은 그대로 유지하고 CPU 클럭 주파수만 증가했을 때의 실험이다. 이 세 가지에 추가하여 비교군으로 Windows XP Professional SP3 Korean 에서 제시하는 DVFS 계층 (표 4의 1단계)을 선택하였다. DVFS와 비교하여 본 논문에서 제시하는 오버클럭킹이 에너지측면에서 얼마나 효율적인지 평가하기 위한 비교군이다. 본 논문에서는 이 네 가지 설정에 대해 SPEC CPU2006 벤치마크를 통해 성능 및 에너지 효율 측면에서 평가한다.

4.4 시스템의 안정성 검사

CPU의 클럭 주파수와 공급전압의 변화 후에 안정성 검사는 반드시 필요하다. 안정화 되지 않을 경우, 일반 사용 시 아무 문제가 없더라도 갑자기 시스템이 오류를 내거나, 하드웨어 자체가 고장 날 수 있다.

CPU 및 RAM의 안정성 검사를 위해 널리 사용되는 Prime2004[10], Super pi[11], 골드메모리[12]를 통해 안정성을 검사하였다.

Prime2004[10]의 경우 8시간 이상, Super pi[11]는 32M로 테스트 할 때 10회 이상, 골드메모리[12]는 5회 이상 실행 시 시스템에 아무런 문제가 없을 때 안정성이 있다고 판단하였다.

V. 성능 평가

5.1 실행시간

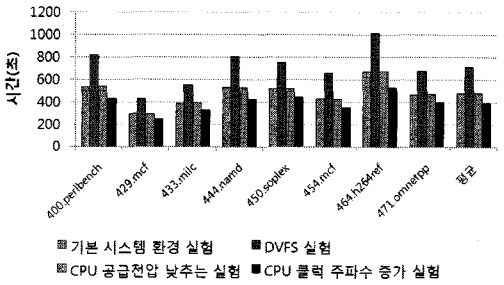

그림 3. 벤치마크 실행 시 실행시간 결과
Fig. 3. Execution time for beanchmark execution

본 논문에서 제안하는 오버클럭킹 방법의 경우, 기본 시스템 대비 평균 17%의 실행 시간의 단축을 보이며 가장 좋은 성능을 보여준다. CPU 공급전압 만을 낮추는 실험에서는 기본 시스템 환경 실험과 동일한 실행시간을 보인다. 이 실험을 통해 실행시간은 클럭 주파수와 관계있고, 공급전압과는 무관하였다. 동적 전압 및 주파수 조절 기법(DVFS) 실험에서는 클럭 주파수가 낮아짐에 따라 기본 시스템 환경 실험 대비 48%의 실행시간 증가라는 성능 저하를 보인다.

참고로, 본 논문에서는 동적 온도 관리(Dynamic Thermal Management) 측면으로는 다루지 않았다. 우리가 실험에 사용한 Core2 Duo E8400 CPU의 경우 동적 온도 관리가 발생되는 경우는 CPU 온도가 90°C 이상이다. 하지만 모든 실험에서 CPU 온도가 가장 높게 올라간 온도는 59°C에 불과하다. 따라서, 동적 온도 관리로 인한 성능저하가 없었고, 성능 평가에 영향이 없었다.

5.2 파워와 전력 소모량

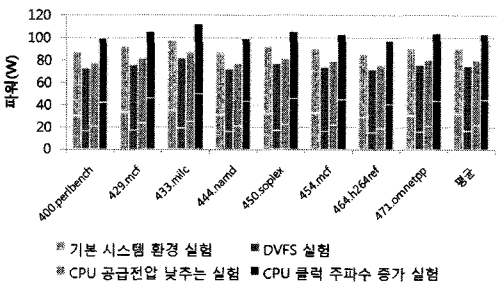

그림 4. 벤치마크 실행 시 평균 전력 (각각의 바에서 2등분 중 아래쪽은 CPU 전력, 위쪽은 CPU 제외한 나머지 전력)
Fig. 4. Average power of each beanchmark executions

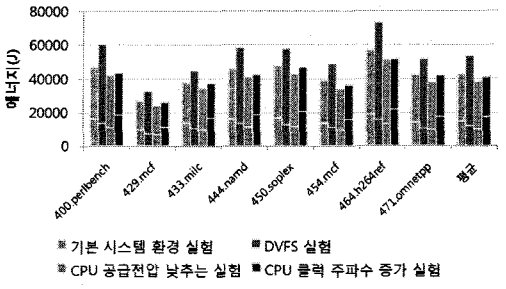

그림 5. 벤치마크 실행 시 에너지 (각각의 바에서 2등분 중 아래쪽은 CPU 에너지, 위쪽은 CPU 제외한 나머지 에너지)
Fig. 5. Energy of each beanchmark executions

벤치마크 실행하는 동안 가장 낮은 전력을 유지 하는 경우는 DVFS 실험 환경이다. CPU 파워의 경우 46%, 컴퓨터 시스템 전체의 경우에도 16% 낮은 전력을 유지하였다. 에너지 측면에서 보더라도 DVFS 실험에서 CPU의 전력 소모량은 21% 감소하였다. 하지만 컴퓨터 시스템 전체의 측면에서 에너지는 24% 증가하였다. CPU 측면에서만 본다면 DVFS를 통해 저 전력 유지는 물론 에너지도 감소하지만, 그 외의 컴퓨터 다른 부품들 (RAM, HDD, 그래픽카드 등) 은 DVFS로 인한 전력 감소의 효과를 보지 못하고, 실행시간이 늘어나기 때문에 에너지 측면에서 이득을 얻지 못한다. 우리의 DVFS 실험의 경우 CPU를 제외한 나머지 에너지는 기본 시스템 환경 대비 48%의 에너지 증가를 보인다. 또한 〈그림 4〉에서 보면 DVFS 실험에서 CPU 평균 전력은 17W, CPU 제외한 나머지 평균 전력는 59W로 CPU에 비해 CPU 제외한 나머지 평균 파워는 42W가 높다. 이런 이유로 컴퓨터 전체 시스템의 에너지 소모량은 24% 증가하게 된 것이다. 이를 통해 벤치마크와 같이 실행시간이 정해져 있지 않은 작업의 경우 동적 전압 및 주파수 조절 기법을 통해 CPU 에너지는 감소 할 수 있지만, 전체 컴퓨터 시스템 측면에서 에너지는 증가한다는 것을 알 수 있다.

CPU 공급전압을 낮추는 실험에서는 평균 전력과 에너지 모두 11%의 감소를 보였다. 〈그림 4〉를 보면 평균 전력의 경우 DVFS 실험보다 조금 높은 수치이지만, 이 경우 5.1에서 보듯이 실행시간의 저하가 없기 때문에 에너지는 4가지 실험 중 가장 낮은 수치를 보인다.

CPU 클럭 주파수 증가 실험에서는 전체 컴퓨터 시스템의 평균 전력은 기본 시스템 환경 실험 대비 평균 15%증가 하였지만, 전체 컴퓨터 시스템의 에너지는 평균 5% 감소하였다. 이 실험의 경우 CPU 측면에서만 본다면 CPU의 평균 전력은 42% 증가, CPU의 에너지는 17% 증가해서 두 측면 모두

좋지 않다. 하지만 CPU를 제외한 시스템의 에너지의 경우 기본 시스템 환경 실험 대비 17%의 에너지 감소를 가져온다. 이 이유는 5.1에서 보면 CPU 클럭 주파수 증가 실험의 경우 실행시간이 17% 빨라짐에 따라, CPU를 제외한 시스템의 에너지를 17% 줄일 수 있었고, CPU를 제외한 다른 부품들이 차지하는 전력소모가 크기 때문에, 전체 컴퓨터 시스템 측면에서 에너지는 5%의 에너지 감소를 얻을 수 있었다.

5.3 Energy Delay Product(EDP)

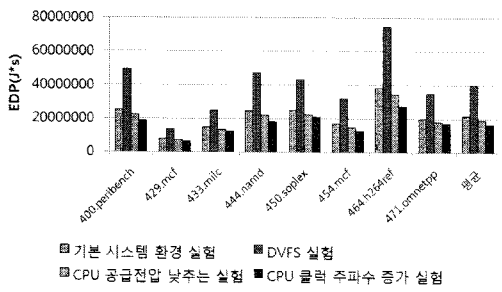

그림 6. 벤치마크 실행 시 Energy Delay Product(EDP)
Fig. 6. Energy Delay Product(EDP) of each beanchmark executions

우리가 실험한 4가지 환경에 대해서 성능과 에너지 두 가지 측면을 모두 고려한 종합적인 평가를 위해 Energy Delay Product(EDP)를 사용하였다. EDP 값은 낮을 수록 성능과 전력 소모량 두 측면 모두 고려 시 좋은 평가의 기준이 된다.

EDP의 경우 DVFS 실험의 경우 기본 시스템 환경 실험 대비 83%나 높게 나왔다. 이 이유는 5.1에서 보면 실행시간의 48% 증가로 인해 EDP값이 상당히 큰 값을 보인다. CPU의 공급 전압을 낮추는 실험의 경우 기본 시스템 환경 실험 대비 11% 낮게 나왔다. 이 이유는 5.1에서 보면 실행시간은 같지만 에너지의 감소로 인해 낮아진 수치이다. CPU의 클럭 주파수 증가 실험의 경우 EDP는 기본 시스템 환경 실험 대비 22% 낮아진 가장 좋은 수치를 보인다. 이 이유는 5.1에서 보면 실행시간이 17% 감소하였고, 5.2에서 설명한대로 전체 컴퓨터 시스템의 에너지 또한 5% 감소하였다. 이 2가지 이유로 가장 좋은 수치를 보인다.

VI. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 에너지 효율을 고려한 효과적인 오버클럭킹 방법을 제시하였다. 이전의 일반적인 CPU 오버클럭킹의 경우 성능증가에 따른 에너지 증가는 당연한 것으로 여겨왔다. 하지만 CPU 클럭 주파수만을 증가하는 우리의 실험의 경우 실행시간 17%, 에너지 5%, EDP 22% 모든 측면이 다 감소하는 결과를 보여준다. 이를 통해 3.3에서 제시한 공급전압을 동일하게 유지하면서 CPU 클럭 주파수만을 높이는 경우 에너지 효율을 고려한 효과적인 CPU 오버클럭킹을 할 수 있다. 이를 통해 성능 향상과 에너지 감소라는 두 가지 목적을 달성하였다.

향후에 우리는 서론에 언급한 최근 출시한 인텔 코어 i5, i7, 제온 프로세서에 적용된 인텔만의 고유한 터보부스트(Turbo Boost) 기술에 우리가 제안한 기술과 각 코어의 공정 변이(Process Variation)를 고려한 스케줄링을 결합한 연구를 진행할 계획이다.

참고문헌

[1] Intel xeon, *http://www.intel.com/xeon.*
[2] Intel® CoreTM2 Duo Processor E8000 and E7000 Series Datasheet, *http://download.intel.com/design/processor/datashts/318732.pdf.*
[3] Intel® Turbo Boost Technology, *http://www.intel.com/technology/turboboost.*
[4] Tom's Hardware, *http://www.tomshardware.com.*
[5] X-bits, *http://www.xbitlabs.com.*
[6] Overclock, *http://www.overclock.net.*
[7] Parkoz Hardware, *http://www.parkoz.com.*
[8] D. Brooks and M. Martonosi, "Dynamic Thermal Management for High-Performance Microprocessors," In Proc. of the 7th Int'l Symp. on High-Performance Computer Architecture (HPCA), 2001.
[9] Juan Rubio, Karthick Rajamani, Freeman Rawsom, Heather Hanson, Soraya Ghiasi, Tom Keller, *"Dynamic Processor Overclocking for Improving Performance of Power-Constrained Systems,"* IBM Reserarch Report, 2005.
[10] Prime 2004, *http://sp2004.fre3.com.*
[11] Super pi, *http://www1.coralnet.or.jp/kusuto/PI/super_pi.html.*
[12] Goldmemory, *http://www.goldmemory.cz.*
[13] Intel® CoreTM2 Duo Desktop Processor E8400, *http://processorfinder.intel.com/details.aspx?sSpec=SLAPL*

저 자 소 개

이 준 희

2009: 한세대학교 컴퓨터공학 학사
2009-현재: 고려대학교 컴퓨터통신공학부 석사과정 재학 중
관심 분야: 컴퓨터 구조, 임베디드 프로세서

공 준 호

2007: 고려대학교 정보통신대학컴퓨터과학 학사
2009: 고려대학교 컴퓨터통신공학부 석사
2009-현재: 고려대학교 컴퓨터통신공학부 박사과정 재학 중
관심 분야: 컴퓨터 구조, 고성능 컴퓨터, 임베디드 프로세서

서 태 원

1993: 고려대학교 전기공학과 학사
1995: 서울대학교 전자공학과 석사
1995-1998: LG종합기술원 주임연구원
1998-2001: 하이닉스반도체 선임연구원
2004:
Intel Corporation, Research Intern, CA, USA
2005-2006:
Intel Corporation, Research Intern, OR, USA
2006:
Georgia Institute of Technology, Computer Engineering, 박사
2007-2008:
Intel Corporation, Systems Engineer, OR, USA
2008-현재:
고려대학교 컴퓨터교육과 조교수
관심 분야: 임베디드 시스템, 컴퓨터 구조, 멀티프로세서, 컴퓨터교육

정 성 우

2003: 서울대학교 전기 컴퓨터공학 박사
2003-2005:
삼성전자 반도체총괄, Senior engineer
2005-2006:
방문 연구원, Department of Computer Science, University of Virginia
2006-현재: 고려대학교 컴퓨터통신공학부 조교수
관심 분야: 컴퓨터 구조, 프로세서 온도 관리, 플래쉬 메모리, System on Chip