

논문 2005-42C1-5-1

CPU 주파수 속도에 대한 SPEC CPU2000 성능 변화

(Performance Scalability of SPEC CPU2000 Benchmark over CPU Clock Speed)

이 정 수*, 김 준 성**

(Jongsu YI and JunSeong Kim)

요 약

SPEC CPU2000은 CPU의 성능 측정에 중점을 둔 벤치마크 프로그램으로서 표준화에 대한 노력을 바탕으로 산학계에 널리 사용되고 있으나, 하드웨어 측면에서의 특성 분석은 미비하였다. 본 논문에서는 컴퓨터 시스템의 중요한 구성 요소 중 하나인 CPU 주파수 속도의 변화에 따른 SPEC CPU2000 벤치마크의 성능 변화를 고찰하였다. x86 구조 기반의 단일 프로세서 시스템에서 CPU 주파수 속도를 제외한 다른 구성요소를 일정하게 유지하면서 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램의 성능을 측정함으로써 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램의 특성을 시스템적 측면에서 해석하였다. 실험을 통하여 SPEC CPU2000은 CPU 주파수 속도의 변화에 대하여 유연한 성능분석이 가능하도록 개별 벤치마크 프로그램의 CPU 주파수 의존도가 고르게 분포되어 있음을 알 수 있었으며, SPEC CPU2000에 대한 시스템적 측면의 해석을 제공함으로써 SPEC CPU2000을 사용하는 연구, 개발에 있어서 기반 자료로 사용될 것으로 기대된다.

Abstract

SPEC CPU2000 is an widely used benchmark program, both in industry and in academy, for measuring compute-intensive performance of computer systems with various architectures. However, there has been little effort to investigate its characteristics with respect to hardware components. This paper presents the performance scalability of SPEC CPU2000 benchmark over CPU clock speed. For an Intel x86-based system running at various clock speed, we measure the performance of SPEC CPU2000 benchmark, and analyze the characteristic of SPEC CPU2000 in a system aspect. In the experiment, we found that the overall performance of SPEC CPU2000 increases monotonically and linearly as the CPU clock speed increases and that the scale efficiencies of SPEC CPU2000 component benchmarks are quite evenly distributed.

Keywords : performance scalability, CPU clock speed, SPEC CPU2000, benchmark characterization

I. 서 론

최근 사회의 정보화 및 인터넷 사용 증가에 따른 매체의 디지털화와 디지털 콘텐츠 사용량의 증가는 고용량 데이터 처리 능력과 함께 고성능 컴퓨터 시스템에 대한 필요성을 증가시켜왔다. 이러한 현상은 캐시 메모리, 분기 예측, 파이프라인, 슈퍼스칼라 등과 같은 마이

크로프로세서의 구조적 개선과 더불어 메모리 대역폭의 증가, CPU 주파수 속도의 향상, 저장 시스템의 고밀도화 등과 같은 컴퓨터 시스템 구성요소의 발전을 가져오게 되었다. 사용자 측면에서, 이는 상호 이질적 구조를 가지는 다양한 시스템의 발생을 의미하며, 이에 따른 이기종 시스템간의 성능 비교에 대한 필요성이 증가되게 되었다. 그러나 각 시스템 구성요소가 가지는 전체 시스템에 대한 성능 기여도가 서로 다르며^[1], 또한 각 시스템 구성요소, 운영체제는 물론 사용하고자 하는 응용프로그램조차 서로 다르기 때문에 일관된 기준에 따른 상대적 성능 비교가 용이하지 않다. 이기종 시스템간의 성능 비교를 위한 시스템적 대안 중 하나로 다양

* 학생회원, ** 정회원, 중앙대학교 전자전기공학부
(School of Electrical and Electronics Engineering,
Chung-Ang University)

※ 본 논문은 2002학년도 중앙대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었음.

접수일자: 2004년11월18일, 수정완료일: 2005년7월28일

한 벤치마크 프로그램의 사용을 들 수 있다^[2].

SPEC CPU2000은 서로 다른 구조의 CPU 성능을 비교해 줄 수 있는 벤치마크 프로그램이다. CPU 성능분석에 대하여 객관적이라는 평가를 받고 있으며, 상호이질적 구조의 시스템간의 성능 분석에 매우 유용하다^{[3][4]}. SPEC CPU2000은 벤치마크 프로그램을 사용하는 연구 및 개발에 있어 표준적으로 제시^[2]될 정도로 산학계에서 매우 활발히 활용되고 있다. 이는 SPEC CPU2000에 대하여 알고리즘적 차원에서의 분석이나^[3] SPEC CPU2000을 사용한 CPU 성능의 측정^[5], 새로운 벤치마크의 제안을 위한 표준적 기준으로서의 비교^[6] 등을 포함한다. 그러나 이러한 표준화 노력이나 연구개발의 활용도에 비하여 SPEC CPU2000에 대한 시스템적 측면에 있어서의 특성 분석은 매우 미비하였다. 벤치마크 프로그램의 특성 분석은 대부분 자료구조와 알고리즘 등 소프트웨어적인 측면이 주를 이루며 하드웨어적인 특성 분석의 경우에도 메모리 시스템 위주의 분석에 국한된다^{[4][7]}.

본 논문에서는 컴퓨터의 구성요소 중 시스템 성능 향상에 상대적으로 많은 영향을 미치는 CPU 주파수 속도의 변화에 따른 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램의 성능 변화를 고찰하였다. SPEC CPU2000 벤치마크를 구성하는 개별 벤치마크 프로그램들이 CPU 주파수 속도 변화에 대한 성능 변화 정도를 제공함으로써 SPEC CPU2000을 사용하는 연구에 있어서 직접적으로 활용 가능한 기반 자료를 제공한다. 또한 "CPU 주파수 속도의 증가가 곧 시스템 성능의 향상"이라는 오류를 재확인하여, CPU 주파수 속도가 전체 시스템의 성능에서 의미하는 바에 대한 직관력 향상을 제공한다.

본 논문의 II장에서는 SPEC CPU2000에 대한 간략한 설명과 함께 실험에 필요한 이론적 배경을 기술하고, III장에서는 실험 방법과 그 결과를 분석한다. 마지막으로 IV장에서는 본 논문을 요약하고 결론을 맺는다.

II. 배경

1. SPEC CPU2000

SPEC CPU2000은 Standard Performance Evaluation Corporation (SPEC)에서 작성한 컴퓨터 시스템의 성능을 측정 및 비교해 주기 위한 벤치마크 프로그램이다^{[3][4]}. 이는 윈도우즈 및 유닉스를 포함한 다양한 운영체제를 기반으로 하는 시스템에서 벤치마크를 수행하므로

표 1. CINT2000 구성 벤치마크 프로그램

Table 1. CINT2000 benchmark programs.

프로그램	설명
gzip	Compression
vpr	FPGA circuit placement and routing
gcc	C programming language compiler
mcf	Combinatorial optimization
crafty	Game playing: chess
parser	Word processing
eon	Computer visualization
perlbnk	PERL programming language
gap	Group theory, interpreter
vortex	Object-oriented database
bzip2	Compression
twolf	Place and route simulator

표 2. CFP2000 구성 벤치마크 프로그램

Table 2. CFP2000 benchmark programs.

프로그램	설명
wupwise	Physics / quantum chromo dynamics
swim	Shallow water modeling
mgrid	Multi-grid solver: 3D potential field
applu	Parabolic / elliptic partial differential equations
mesa	3-D graphics library
galgel	Computational fluid dynamics
art	Image recognition / neural networks
equake	Seismic wave propagation simulation
facerec	Image processing: face recognition
ammp	Computational chemistry
lucas	Number theory / primality testing
fma3d	Finite-element crash simulation
sixtrack	High energy nuclear physics accelerator design
apsi	Meteorology: pollutant distribution

써, 이기종 시스템간의 성능을 측정하고 비교하는데 매우 용이하다. SPEC CPU2000은 CPU, 메모리, 컴파일러의 성능 측정에 중점을 두고 있으며, 크게 CINT2000과 CFP2000의 두 그룹으로 분류된다. CINT2000은 정수연산의 성능 측정에 중점을 둔 12개의 관련 벤치마크 프로그램들로 구성되어 있으며, CFP2000은 실수연산의 성능 측정에 중점을 둔 14개의 벤치마크 프로그램들로 구성되어 있다.

표 1과 표 2는 SPEC CPU2000 벤치마크를 구성하고 있는 각 프로그램과 그에 대한 간단한 설명을 보여준다. 표에서 보이는 바처럼 각각의 그룹은 신뢰성 있는 벤치마킹을 위하여 실제 사용되고 있는 응용 프로그램들을 이용하여 구성되었으며, 각 벤치마크 프로그램

은 성능 비교를 위한 기준 입력 데이터 파일을 가지고 있다.

2. CPU 주파수 속도

SPEC CPU2000의 중점적 성능측정 대상인 CPU는 컴퓨터 시스템의 성능에 영향을 미치는 매우 중요한 요소 중 하나이다. 컴퓨터 시스템의 성능 향상에 있어 매우 큰 기여도를 가지며, CPU의 종류에 따라서 컴퓨터 시스템을 구분하기도 한다. 또한 CPU 주파수 속도에 대한 경쟁이 심화됨에 따라 컴퓨터 시스템의 성능을 결정하는 주요한 요소로서 CPU 주파수 속도를 많이 사용하고 있다. 그러나 CPU 주파수 속도만을 사용한 컴퓨터 시스템의 성능 비교는 매우 쉬운 방법이기기는 하지만 정확한 방법이라고는 할 수 없다.

x86구조의 Pentium 시리즈^[8]와 Athlon 시리즈^[9], RISC구조의 PowerPC^[10], 그 외 SPARC^[11]과 Alpha^[5] 등의 많은 종류의 CPU들은 각기 다른 명령어군과 구조를 가지며, 또한 서로 다른 크기의 캐시와 레지스터의 갯수, 버스 크기를 가지고 있다. 이런 서로 다른 구조와 명령어군을 가지고 있는 CPU를 사용한 컴퓨터 시스템의 성능을 비교 분석하는 데 있어서 CPU의 주파수 속도만을 사용하는 것은 오류를 낳을 수밖에 없다. 한 예로써 파이프라인의 단계를 증가시키면 이에 따라 동작 주파수 속도는 증가될 수 있지만 너무 많은 파이프라인 단계는 분기 명령과 다른 요소들로 인하여 실질적인 컴퓨터 시스템 성능을 감소시키는 현상을 가져올 수도 있다.

3. 성능향상에 대한 시스템적 분석의 이해

Amdahl의 법칙은 구성요소의 성능향상에 대한 전체 시스템 성능향상에 대한 법칙으로서 기본적인 시스템 성능에 대한 법칙 중 하나이다^[1]. Amdahl의 법칙에 따르면 전체 시스템의 성능 향상은 개선되는 일부 시스템의 구성요소가 얼마나 전체 성능에 기여하느냐에 따라서 결정된다. 예를 들어, 임의의 한 시스템 구성요소가 50%의 성능향상을 제공하는 경우라도 전체 시스템에 있어 50%의 성능향상을 보장할 수는 없다. 즉, 임의의 구성요소의 성능이 무한정 증가한다 하더라도 해당 구성요소의 전체 시스템 성능에 대한 기여도가 100% 보다 작은 경우 해당 구성요소의 개선에 따른 전체 시스템의 성능 향상은 어느 한계를 갖게 된다.

그림 1은 Amdahl의 법칙에서 임의의 한 구성요소의

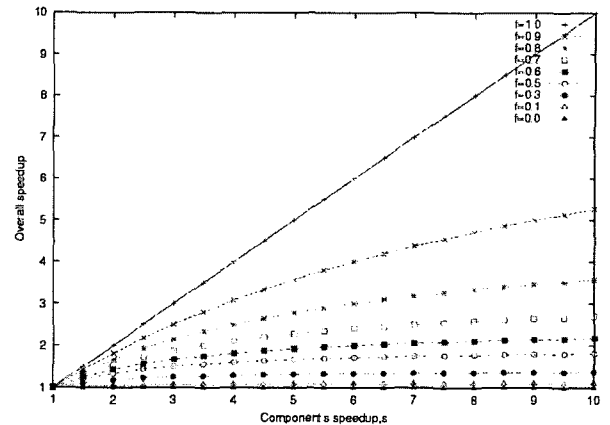


그림 1. Amdahl의 법칙에 따른 전체 성능 향상 기대치 Fig. 1. Overall speedup based on the Amdahl's law.

성능 개선에 대한 전체 시스템 성능 향상간의 관계를 보여준다. 그래프의 x축은 임의의 한 구성요소의 성능 향상 정도 s를 나타내며, y축은 해당 구성 요소의 성능 향상에 따른 전체 시스템 성능향상인 overall speedup을 나타낸다. 각 라인들은 성능이 개선되는 해당 구성 요소의 전체 시스템 성능에 대한 서로 다른 기여도 f에 따른 그래프이다. 예를 들어, f=1.0의 라인그래프는 해당 구성요소의 전체 시스템 성능 향상에 대한 기여도가 100%인 경우로서 해당 구성요소가 개선되는 정도가 전체 시스템의 성능 향상에 그대로 반영되는 경우이다. 그 이하의 증가율을 보이는 라인그래프들은 해당 구성 요소의 성능 향상이 전체 시스템 성능 향상에 100% 이하의 기여도를 가지는 경우로서 기여도 f가 감소할수록 성능향상이 감소하며, 수렴되는 최대 성능향상 값도 감소하는 현상을 보이고 있다.

이를 프로그램적 측면에서 보면, 각 프로그램마다 행하고자 하는 작업의 유형이 다를 수 있기 때문에 임의의 구성요소에 의한 전체 시스템 성능에의 기여도가 달라짐을 의미한다. 따라서 동일한 시스템 구성요소에 대하여 동일한 성능 개선을 가정하더라도 전체 시스템의 성능 향상은 프로그램의 작업 유형에 따라 다르게 나타날 수 있다^[12].

II. 실험 및 결과 분석

1. 실험 방법

SPEC CPU2000 벤치마크에서의 CPU 동작 주파수 속도의 증가에 따른 전체 시스템 성능의 변화를 알아보기 위하여 CPU 주파수 속도를 제외한 다른 구성요소의

표 3. 실험 시스템 사양
Table 3. Experimental system configuration.

구성요소	사양
CPU	Intel Pentium4 processor 1500~2000Mhz
Primary Cache	12K micro-ops I + 8KBD on chip
Secondary Cache	512KB(I+D) on chip
메인보드	Intel D850EMV2
메인 메모리	256MB (2 128 MB PC1066-32 RDRAM non-ECC modules)
HDD	IBM 120GXP 80 GB
파일 시스템	FAT32
운영체제	Windows XP Professional
컴파일러	Intel C++ 6.0, Intel Fortran 6.0

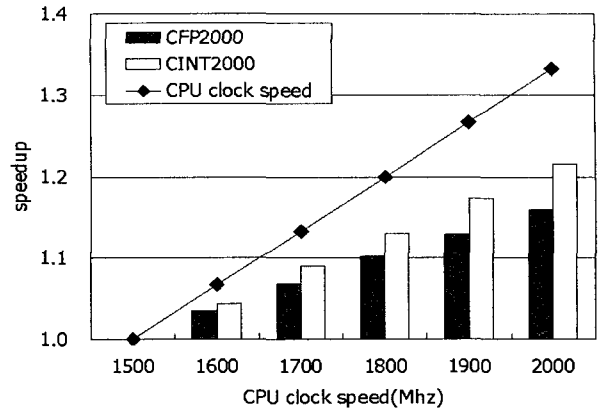


그림 2. SPEC CPU2000 speedup 그래프
Fig. 2. SPEC CPU2000 speedup graph.

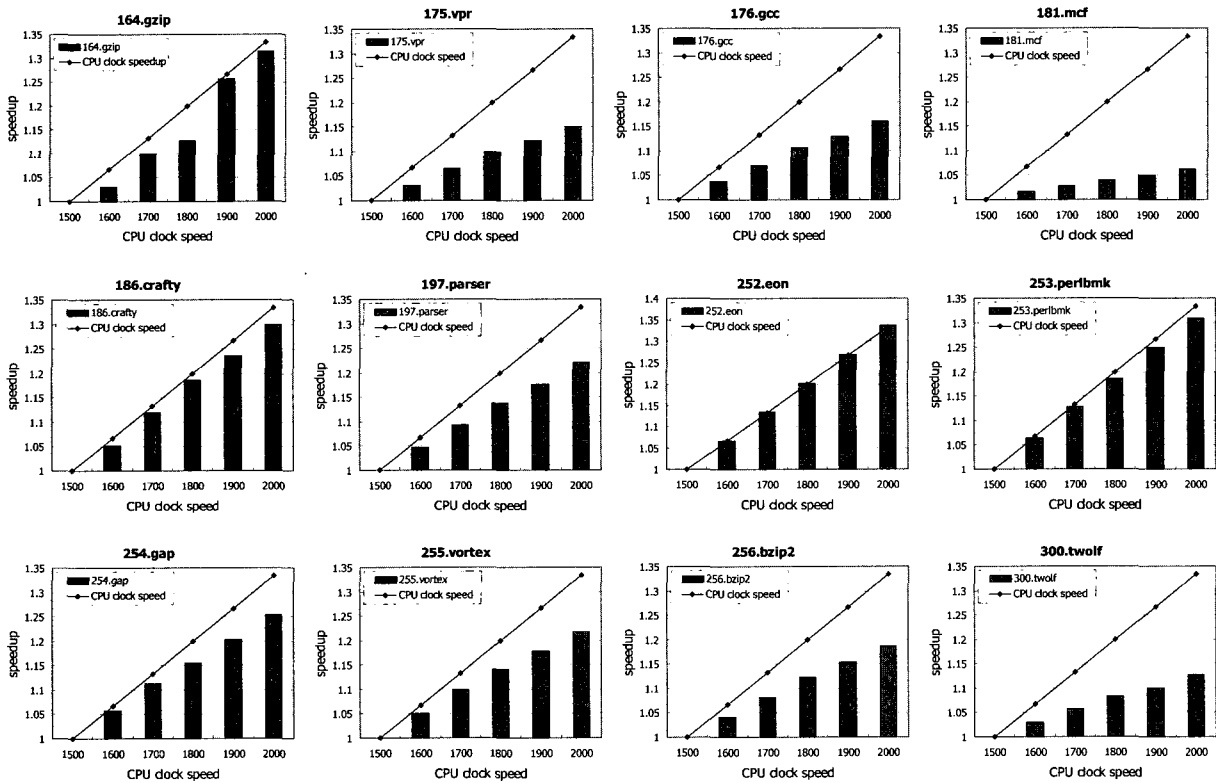


그림 3. CINT2000 speedup 그래프
Fig. 3. CINT2000 speedup graph.

설정을 표 3과 같이 고정하여 실험하였다. 본 논문에서는 x86 구조 기반의 Intel Pentium4 프로세서를 단일 프로세서 시스템에서 사용하여 CPU 주파수 속도를 1500MHz에서 2000MHz까지 100MHz 단위로 증가시키면서 실험을 수행하였으며 각 CPU 주파수 속도에 대하여 SPEC CPU2000 벤치마크의 base time 값을 측정하였다.

2. Performance Scalability

그림 2는 SPEC CPU2000의 각 벤치마크 그룹에 따른 성능변화 그래프이다. 그래프의 x축은 1500~2000MHz 범위의 CPU 주파수 속도를 의미하며, y축은 1500MHz CPU 주파수를 가진 시스템을 기준으로 하여 각 CPU 주파수에 따른 시스템의 상대적 성능인 speedup을 나타낸다. CINT2000과 CFP2000으로 나타낸 막대그래프는 각 벤치마크 그룹의 CPU 주파수 속도의

변화에 따른 전체 시스템 성능 변화를 나타낸다. "CPU clock speed"로 표현된 라인그래프는 Amdahl의 법칙에 따른 CPU주파수 속도 증가에 대한 전체 시스템 성능 향상의 이론적 최대 값을 의미한다.

그림 2를 보면 예상했던 대로 CPU 주파수 속도가 증가함에 따라서 각 벤치마크 그룹에 따른 전체 성능 변화가 선형적으로 증가하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 CINT2000이 CFP2000보다 좀더 높은 성능 변화를 보이는 현상으로부터 CINT2000의 연산 중심적인 특성과 커다란 데이터 취급에 따른 CFP2000의 높은 시스템 버스 활용특성을 간접적으로 확인할 수 있다.

그림 3과 그림 4는 본 논문의 실험을 통한 CPU 주파수 속도에 따른 CINT2000, CFP2000을 구성하는 개별 벤치마크 프로그램의 성능 변화를 보여준다. CINT2000, CFP2000을 구성하고 있는 26개의 개별 벤치마크 프로그램에 대한 speedup 그래프에는 "CPU clock speed"로

표현된 시스템 성능 향상의 이론적 최대 값을 편의상 포함시켰다. 그림 2의 CINT2000과 CFP2000의 포괄적 성능변화와 달리 개별 벤치마크 프로그램의 경우 CPU 동작 주파수 변화에 따른 성능변화가 미미하거나 비선형적인 경우들을 포함한다.

CINT2000의 164.zip, 186.crafty, 252.eon, 253.perlbnk와 CFP2000의 177.mesa, 200.sixtrack 벤치마크 프로그램의 경우 CPU 주파수 속도의 증가에 대해서 매우 높은 성능 향상을 보이고 있다. 이러한 경우는 Amdahl의 법칙에서 구성요소, CPU 주파수 속도,에 대한 시스템 성능향상 기여도인 f값이 높은 경우로서 이와 같은 벤치마크 프로그램들은 프로그램의 수행에 필요한 작업들 중에 CPU 주파수 속도에 매우 의존적인 연산 중심의 작업이 많은 경우이다. 따라서 CPU 주파수 속도가 증가됨에 따라서 해당 작업들의 수행 속도가 증가되므로 매우 높은 성능 향상을 보인다. 이러한 벤

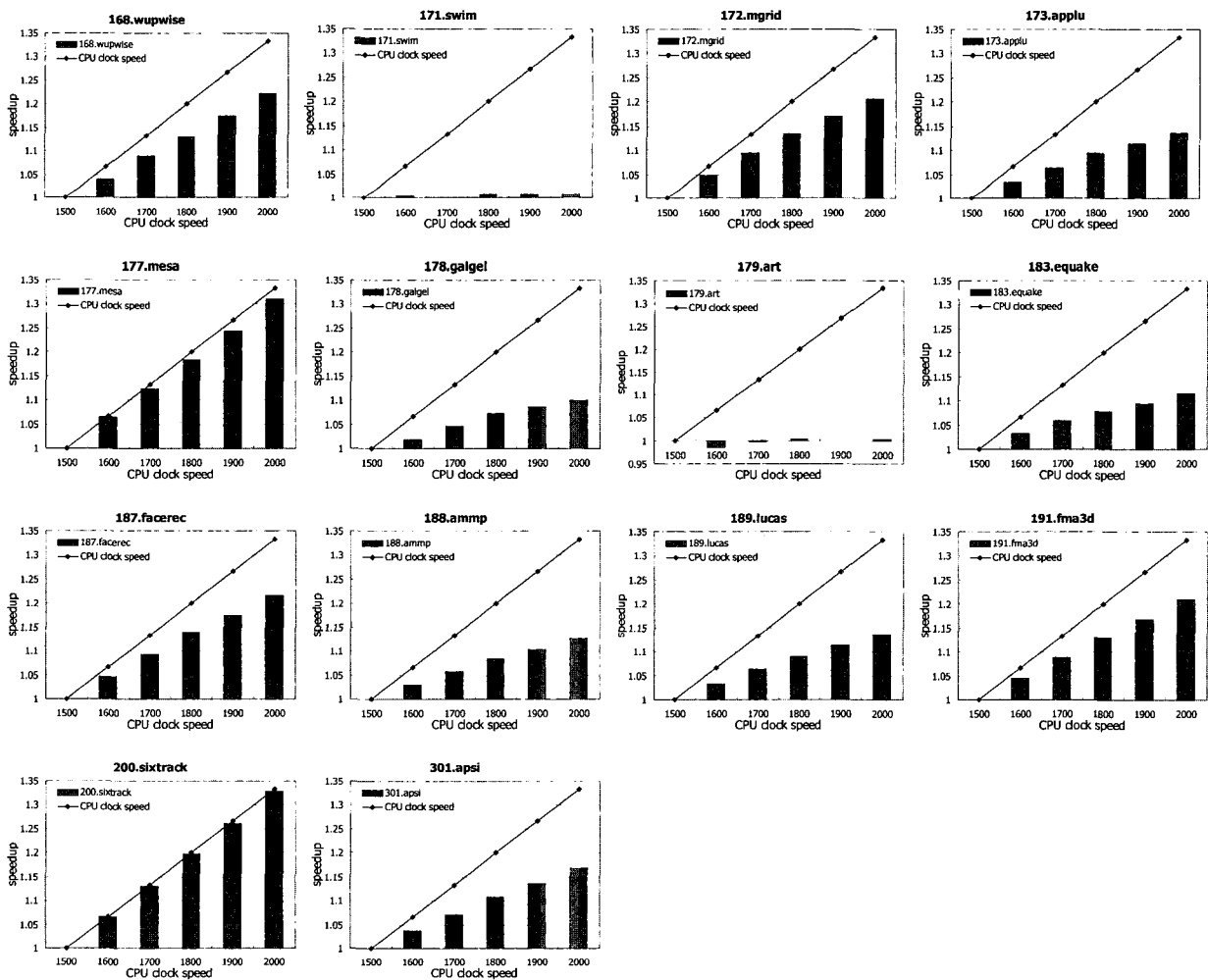


그림 4. CFP2000 speedup 그래프
Fig. 4. CFP2000 speedup graph.

치마크 프로그램들의 경우에는 CPU 주파수 속도를 실험치 이상으로 증가시키기에 따라 지속적인 높은 전체 시스템 성능 향상을 기대할 수 있다.

반면, CINT2000의 181.mcf, 300.twolf와 CFP2000의 173.applu, 178.galgel, 183.equake, 188.ammp 벤치마크 프로그램의 경우는 CPU 주파수 속도의 증가와 무관하게 시스템 성능이 일정하게 유지됨을 볼 수 있다. Amdahl의 법칙에서 구성요소, CPU 주파수 속도에 대한 시스템 성능향상 기여도인 f 값이 매우 낮은 경우로서 이는 CPU 주파수 속도가 해당 벤치마크 프로그램들의 작업에 미치는 영향이 매우 떨어지며, 그 이외의 요소들 즉, I/O나 메모리에 대한 의존율이 높은 경우이다. 실험에 사용된 CPU 주파수 범위에서 이미 CPU 주파수 속도에 의존적인 작업들의 속도 향상에 한계를 보여 준다. 이러한 벤치마크 프로그램의 경우에는 실험치 이상으로 주파수 속도를 증가시키더라도 거의 전체 시스템 속도 향상을 기대할 수 없으므로 더 이상의 CPU 주파수 속도 향상은 무의미하다.

주목할 경우로서 CINT2000의 164.zip, 252.eon과 CFP2000의 171.swim, 179.art 벤치마크 프로그램이 있다. 179.art 벤치마크 프로그램은 CPU 주파수 속도의 증가에 대해 전체 시스템의 성능이 오히려 감소하는 현상을 보이고 있으며, 252.eon 벤치마크 프로그램은 CPU 주파수 속도증가에 대한 전체 시스템의 성능향상이 이론적 최대치인 "CPU clock speed" 라인을 넘어서는 현상을 보이고 있다. 164.zip과 171.swim 벤치마크 프로그램은 한 주파수 영역에서의 성능 변화정도와 다른 주파수 영역에서의 성능 변화정도가 일치하지 않는 경우로 전체 시스템의 성능이 CPU 주파수 속도증가에 대해서 비선형적으로 변화하고 있다. 이상의 4개 벤치마크 프로그램에 대한 예상 밖의 성능 변화 패턴은 반복된 측정에도 불구하고 일관되게 발생하는 것으로 보아 실제 시스템을 대상으로 하는 측정 오차와는 무관한 것으로 보인다. 오히려, 이는 실험에 사용된 x86기반 CPU의 구조적 결함에 기인한 것으로 보이며, CPU 내외부 요소들 간의 주파수 동기화, 시스템 버퍼 스케줄링 등과 같은 작업들이 동작 주파수대별로 서로 다른 영향을 미치는 것으로 분석된다.

CPU 주파수 속도의 영향을 적게 받는 대표적인 작업으로 메모리 액세스 작업을 들 수 있으며 이는 바로 캐시 miss rate와 직접적인 관계를 갖는다. 그림3 과 그림4의 결과를 x86기반의 Pentium III를 대상으로 SPEC

CPU2000의 메모리 사용 특성을 분석한 결과^[6]와 비교하여 보면 CPU 주파수 변화에 민감한 성능 변화를 보이는 252.eon, 253.perlbnk, 186.crafty, 177.mesa, 200.sixtrack 벤치마크 프로그램의 경우 L1 캐시 miss rate에서도 매우 낮은 값을 보이고 있으며, CPU 주파수 변화에 낮은 성능 변화를 보이는 181.mcf, 300.twolf, 183.equake, 188.ammp 벤치마크 프로그램의 경우 높은 L1 캐시 miss rate값을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 이와 같은 결과로서 CPU 주파수 속도가 반드시 전체 컴퓨터 시스템의 성능에 직접적 영향을 미치지 않으며, 수행하고자 하는 프로그램의 작업 유형에 따라서 시스템 성능에 미치는 영향이 다를 수 있음을 확인할 수 있다. CPU 동작 주파수 속도에 따른 성능 변화는 응용프로그램 고유의 특성인 것이다.

3. CPU 주파수 의존도

SPEC CPU2000을 구성하는 각 벤치마크 프로그램의

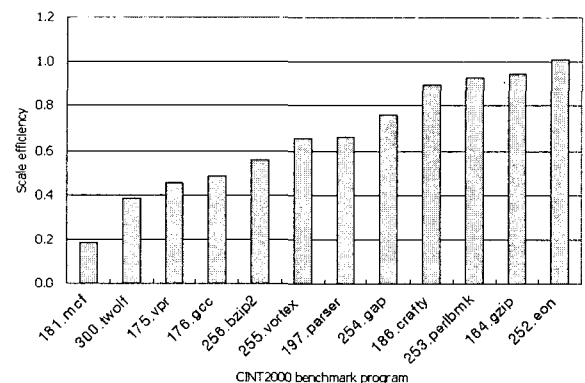


그림 5. CINT2000의 CPU 주파수 의존도

Fig. 5. CINT2000 Scale efficiency.

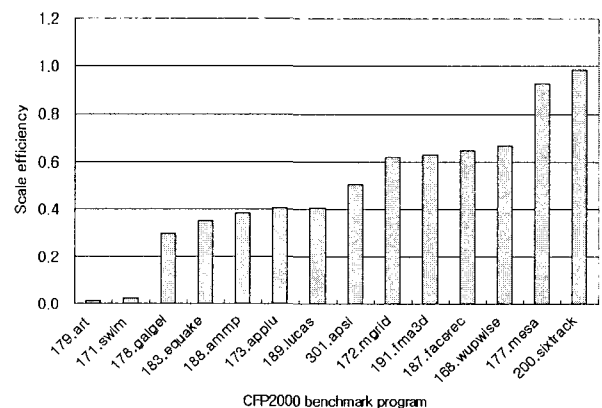


그림 6. CFP2000의 CPU 주파수 의존도

Fig. 6. CFP2000 Scale efficiency.

성능향상에 대한 종합적 분석을 위하여, 본 논문의 실험 결과에 대하여 주파수 의존도(scale efficiency)를 다음 (1)식과 같이 정의 한다.

$$\text{주파수 의존도} = \frac{\text{응용 프로그램의 성능 변화}}{\text{CPU 동작 주파수 변화}} \quad (1)$$

이는 각 CPU 주파수 속도 향상에 대한 벤치마크 프로그램의 비율을 의미하며, 임의 구간의 주파수 의존도는 각 벤치마크 프로그램의 구간 최소 CPU 주파수 속도에서의 성능 향상값과 구간 최대 CPU 주파수 속도에서의 성능 향상값의 차를 구간 최소 CPU 주파수 속도와 구간 최대 CPU 주파수 속도차로 나눔으로서 계산된다. 프로그램의 전체 주파수 의존도는 각 구간 주파수 의존도에 대한 일반평균 값으로 계산하였다.

그림 5와 그림 6은 계산된 각 벤치마크 프로그램의 CPU 주파수 의존도를 보여준다. 그림에서 보이는 것과 같이 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램은 CPU 주파수 속도의 변화에 대해 전체 시스템의 성능이 민감한 벤치마크 프로그램으로부터 둔감한 벤치마크 프로그램까지 고루 분포되어 있음을 알 수 있다. 따라서 SPEC CPU2000 벤치마크는 서로 다른 CPU 시스템의 전반적인 벤치마킹에 적합한 것으로 판단되며, 다만 CINT2000에 있어 전체 시스템 성능의 CPU 주파수 속도에 대한 의존도가 0.3정도의 값-twolf와 mcf 사이-를 가지는 벤치마크 프로그램과 CFP2000에 있어 그 의존도가 0.8 정도의 값-mesa와 wupwise사이-, 그리고 0.1 정도의 값-galgel과 swim 사이-를 가지는 벤치마크 프로그램들이 보완된다면 다양한 구조의 CPU 성능 측정에 있어서 더욱 바람직할 것이다.

IV. 결 론

컴퓨터 시스템을 사용하는 사용자적 측면에서 가장 중요한 요소 중 하나는 다양한 형태의 컴퓨터 시스템 중에서 사용하고자 하는 용도에 맞는 최적의 시스템을 선택하는 것이라 할 수 있다. 그러나 다양한 컴퓨터 시스템의 발전은 상호간의 성능 비교를 어렵게 만들어 실제 사용자가 자신의 목적에 부합하는 컴퓨터 시스템을 선택하는데 있어 어려움을 가지게 한다.

벤치마크 프로그램들은 이러한 선택적 상황에 신뢰할 만한 자료를 제공하기 위해 만들어졌다. 그 중에서 SPEC CPU2000은 산학계에서 널리 사용되는 벤치마크

프로그램으로서 특히 CPU의 성능을 가늠하기 위해 사용된다. 하지만 SPEC CPU2000의 범용성은 그 표준화의 노력에 있을 뿐 실질적으로 그 특성에 대한 이해는 동반되지 않고 있다. 벤치마크 프로그램의 특성분석은 실질적인 시스템의 개발이나 각종 실험을 위한 기반 연구로서 필수적인 요소이다. 이러한 기반 자료적 연구를 위하여 본 논문에서는 SPEC CPU2000에 대하여 x86 기반 단일 프로세서 시스템에서 시스템 구성요소 중 상대적으로 높은 인지도를 가지는 CPU 주파수 속도에 대한 성능 변화 분석을 수행하였다.

x86 기반의 단일 프로세서 시스템에서 CPU 주파수 속도를 제외한 다른 시스템 구성요소를 일정하게 유지하면서 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램의 성능을 측정할 결과 CPU 주파수 속도의 향상이 각 프로그램의 작업 유형에 따라서 전체 시스템의 성능향상에 다르게 반영됨을 보임으로써, CPU 주파수 속도의 향상이 반드시 사용자의 측면에 있어서 시스템 성능 향상과 직결되지 않는다는 것을 확인하였다. 더불어, SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램은 CPU의 성능 측정에 적합하도록 CPU 주파수 속도의 변화에 대해 성능 의존도가 고루 분포된 프로그램들로 구성되어 있음을 보였고 SPEC CPU2000을 구성하는 개별 벤치마크 프로그램들의 CPU 주파수 의존도를 그 고유 특성으로 제공함으로써 이를 활용한 연구의 기반 자료로 활용될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] J. L. Hennessy, D. A. Patterson, "Computer Architecture-A Quantitative Approach", Morgan Kaufmann, 2003.
- [2] S. E. Sim, S. Easterbrook, R. C. Holt, "Using benchmarking to advance research", a challenge to software engineering Software Engineering, 2003. pp. 74-83, Proceedings. 25th International Conference on , May 2003.
- [3] Standard Performance Evaluation Corporation, <http://www.spec.org/>.
- [4] J. L. Henning, "SPEC CPU2000: measuring CPU performance in the New Millennium" IEEE Computer , Volume: 33, Issue: 7 pp. 28-35, July 2000.
- [5] Z. Cvetanovic, "Performance analysis of the Alpha 21364-based HP GS1280 multiprocessor" Computer Architecture, 2003. Proceedings. 30th

- Annual International Symposium on , June 2003
- [6] Z. Xu, S. Sohoni, R. Min, Y. Hu, "An analysis of cache performance of multimedia applications" Computers, IEEE Transactions on, Volume: 53, Issue: 1, Jan 2004
- [7] Jin Fu, "Workload characterization of the SPEC CPU2000 Benchmarks on Different Processor Architectures", Royal Institute of Technology in Stockholm
- [8] B. Sprunt, "Pentium 4 performance-monitoring features" Micro, IEEE, Volume: 22, Issue: 4, July. 2002.
- [9] C. N. Keltcher K. J. McGrath, A. Ahmed, P. Conway, "The AMD Opteron processor for multiprocessor servers" Micro, IEEE , Volume: 23 , Issue: 2 , March-April 2003.
- [10] D. Levitan, T. Thomas, P. Tu, "The PowerPC 620 microprocessor: a high performance superscalar RISC microprocessor" Compton '95.' Technologies for the Information Superhighway', Digest of Papers., March 1995
- [11] D. Greenley, J. Bauman, D. Chang, D. Chen, R. Eltejaein, P. Ferolito, P. Fu, R. Garner, D. Greenhill, H. Grewal, K. Holdbrook, B. Kim, L. Kohn, H. Kwan, M. Levitt, G. Maturana, D. Mrazek, C. Narasimhaiah, K. Normoyle, N. Parveen, P. Patel, A. Prabhu, M. Tremblay, M. Wong, L. Yang, K. Yarlagadda, R. Yu, R. Yung, G. Zyner, "UltraSPARC: the next generation superscalar 64-bit SPARC" Compton '95.' Technologies for the Information Superhighway', Digest of Papers, March 1995
- [12] 이정수, 김준성, "CPU 주파수 속도의 증가에 따른 SPEC CPU2000 벤치마크의 성능 변화", 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, pp. 1351-1354, 강원도 평창, 대한민국, 2003년 07월

 저 자 소 개



이 정 수(학생회원)
 2002년 중앙대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2004년 중앙대학교 대학원
 전자공학과 석사 졸업.
 2004년~현재 동대학원 박사과정

<주관심분야 : 컴퓨터구조, SoC설계, NoC구조 >



김 준 성(정회원)
 1991년 중앙대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 1993년 중앙대학교 대학원
 전자공학과 석사 졸업.
 1998년 미국 미네소타대학교
 전기공학과 박사 졸업.

2002년~현재 중앙대학교 전자전기공학부
 조교수

<주관심분야 : 컴퓨터 구조, 병렬처리 시스템,
 SoC 구조, 시스템 성능 분석>