

CPU 주파수 속도의 증가에 따른 SPEC CPU2000 벤치마크의 성능 변화

이정수, 김준성
중앙대학교 전자전기공학부

Performance scalability of SPEC CPU2000 benchmark over CPU clock speed

Jongsu Yi, JunSeong Kim
School of Electrical and Electronics Engineering,
College of Engineering, Chung-Ang University
E-mail : xmxm2718@wm.cau.ac.kr, junkim@cau.ac.kr

Abstract

본 논문에서는 시스템 성능 향상에 상대적으로 많은 영향을 미치는 CPU 주파수 속도의 변화에 따른 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램의 성능의 변화를 고찰한다. x86 기반의 단일 프로세서 시스템에서 서로 다른 주파수의 CPU를 사용하여 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램의 성능을 측정함으로써 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램의 특성을 시스템적 측면에서 해석하였다. 실험을 통하여 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램의 성능은 CPU 주파수 속도의 변화를 유연하게 반영할 수 있도록 그 의존도가 고르게 분포되어 있음을 알 수 있다.

I. 서론

현대 사회가 정보화 사회로 발전됨에 따라 대용량의 데이터 처리가 증가하면서 더욱 높은 성능을 가지는 시스템을 위한 많은 연구가 있어왔다. 그러한 연구의 결과로서 cache 메모리, 분기 예측, 파이프라인, 슈퍼스칼라 등의 구조적인 발전과 함께 메모리 대역폭의 증가, CPU 주파수 속도의 향상, 저장 시스템 성능의 개선 등의 물리적인 발전이 있어 왔다. 각 시스템 구성요소들이 발전함에 따라 그 조합에 따른 다양한 시스템이 개발되었으며, 이는 사용자의 입장에서 서로 다른 시스템

간의 상대적 성능 비교라는 새로운 과제를 도출하게 되었다. 다양한 시스템간의 성능 비교를 하는데 있어서 시스템 구성요소, 운영체제는 물론 사용하고자 하는 응용프로그램이 서로 다르기 때문에 일관된 기준에 따른 상대적 성능 비교가 용이하지 않다. 이를 보완하기 위하여 서로 다른 구성의 시스템간의 성능 비교를 위한 다양한 벤치마크 프로그램이 등장하게 되었다.[4]

SPEC CPU2000은 그 중 서로 다른 구조의 마이크로프로세서의 성능을 비교해 줄 수 있는 벤치마크 프로그램이다[2][3]. SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램을 사용한 연구 및 개발활동은 그 동안 산학계에서 매우 활발히 이루어져 왔으나 실질적인 시스템적 측면에 있어서 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램에 대한 분석은 미비하였다. 본 연구에서는 컴퓨터의 구성요소 중 시스템 성능 향상에 상대적으로 많은 영향을 미치는 CPU 주파수 속도의 변화에 따른 전체 시스템 성능의 변화를 고찰함으로써 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램에 대한 시스템적인 측면에서의 해석을 제공하고자 한다.

2 장에서는 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램에 대한 간략한 설명과 함께 실험에 필요한 이론적 배경을 기술하며, 3 장에서는 실험 방법과 그 결과를 분석한다. 마지막으로 4 장에서는 본 논문을 요약하고 결론을 맺는다.

II. 배경

2.1 SPEC CPU2000

SPEC CPU2000 은 Standard Performance Evaluation Corporation (SPEC)에서 작성한 서로 다른 구조를 갖는 CPU 의 성능을 측정 및 비교해 주기 위한 벤치마크 프로그램이다[2][3]. SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램은 CPU, 메모리, 컴파일러 등에 대한 성능 측정에 중점을 맞추고 있다. 신뢰성 있는 벤치마킹을 위하여 실제 사용되고 있는 응용 프로그램들을 고려하여 구성되었으며, 크게 CINT2000 과 CFP2000 의 두 그룹으로 분류된다. CINT2000 은 정수연산의 성능 측정에 중점을 둔 12 개의 관련 벤치마크 프로그램들로 구성되어 있고, CFP2000 은 실수연산의 성능 측정에 중점을 둔 14 개의

Binary	Description
gzip	Compression
vpr	FPGA Circuit Placement and Routing
gcc	C Programming Language Compiler
mcf	Combinatorial Optimizatio
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 1. CINT2000 구성 벤치마크 프로그램

binary	Description
wupwise	Physics / Quantum Chromodynamics
swim	Shallow Water Modeling
mgrid	Multi-grid Solver: 3D Potential Fiel
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

표 2. CFP2000 구성 벤치마크 프로그램

관련 벤치마크 프로그램들로 구성되어 있다. 표 1 과 2 는 CINT2000 과 CFP2000 을 구성하고 있는 각 벤치마크 프로그램과 그에 대한 간단한 설명이다.

2.2 성능향상에 대한 시스템적 분석의 이해

Amdahl 의 법칙에 따르면 전체 시스템의 성능 향상은 개선되는 일부 시스템의 구성요소가 얼마나 전체 성능에 기여하느냐에 따라서 결정된다[1]. 예를 들어, 임의의 일부 시스템 구성요소가 50%의 성능향상을 보이더라도 전체 시스템에 있어서는 50%의 성능향상을 보장할 수 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.

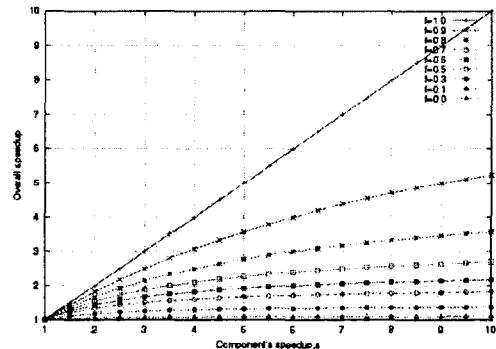


그림 1. Amdahl 의 법칙

그림 1 은 Amdahl 의 법칙에서 임의의 한 구성요소의 성능 개선에 대한 전체 시스템 성능의 향상간의 관계를 보여준다. f 는 성능이 개선되는 구성요소의 전체 시스템 성능에 대한 기여도를 나타내며, s 는 해당 구성요소만의 성능 향상을 나타낸다. 각 라인들은 서로 다른 기여도 f 에 의한 전체 시스템 성능 향상을 보여준다. 예를 들어, $f=1.0$ 의 라인 은 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 라인들은 100% 이하의 성능 향상 기여도를 가지는 경우로서 기여도가 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 임

의 구성요소에 의한 전체 시스템 성능에의 기여도가 달라짐을 의미한다. 따라서 동일한 시스템 구성요소에 대한 동일한 성능 개선을 가정하더라도 전체 시스템의 성능 향상은 프로그램의 작업 유형에 따라 다르게 나타날 수 있다.

본 연구는 이러한 이론적 배경을 바탕으로 SPEC CPU2000 에 있어 각 벤치마크 프로그램 별로 CPU 주파수 속도의 증가가 전체 성능 향상에 미치는 바를 고찰한다. 연구를 통하여 “CPU 주파수 속도의 증가가 곧 시스템 성능의 향상” 이라는 오류를 재확인하며, CPU 주파수 속도가 전체 시스템의 성능에서 의미하는 바에 대한 직관력 향상을 제공한다.

III. 실험 및 결과 분석

3.1 실험 방법

SPEC CPU2000 벤치마크에서의 CPU 주파수 속도의 증가에 따른 전체 성능의 변화를 알아보기 위하여, 본 논문에서는 x86 기반의 단일 프로세서 시스템에서 CPU 주파수 속도를 제외한 다른 시스템 구성요소는 일정하게 유지하면서 SEPC CPU2000 벤치마크의 base time 을 측정하였다. CPU 는 Intel Pentium4 프로세서를 사용하였고, 그 주파수 속도는 1500Mhz 에서 2000Mhz 의 범위에서 100Mhz 단위로 변경하며 실험하였다. 표 3 은 측정에 사용된 시스템의 사양을 보여준다.

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

표 3. 실험 시스템 사양

3.2 결과 분석

그림 2 와 3 은 CPU 주파수 속도에 따른 CINT2000,

CFP2000 각각의 성능 변화를 보여준다. 그래프의 x 축은 1500 ~ 2000Mhz 범위의 CPU 주파수 속도를 의미하며 100Mhz 단위로 증가하고, y 축은 1500Mhz CPU 주파수를 가진 시스템을 기준으로 하였을 때의 CPU 주파수 증가에 따른 시스템의 상대적 성능의 향상인 speedup 을 나타낸다. 각각의 라인들은 SPEC CPU2000 을 구성하고 있는 개개의 벤치마크 프로그램에 대한 성능 변화를 보여주며, 그 중 “CPU clock speed” 로 표현된 라인은 Amdahl 의 법칙에 따른 CPU 주파수 속도 증가에 대한 전체 시스템 성능 향상의 이론적 최대값을 의미한다.

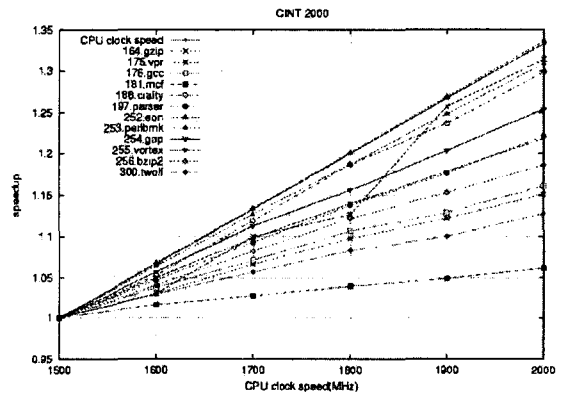


그림2. CPU 주파수 속도에 따른 CINT2000의 성능 변화

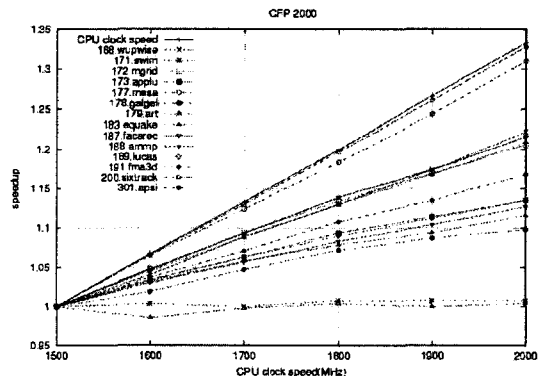


그림3. CPU 주파수 속도에 따른 CFP2000의 성능 변화

그림에서 CINT2000 의 crafty, perlbmk 와 CFP2000 의 mesa, sixtrack 의 경우는 CPU 주파수 속도가 증가가 전체 시스템 성능의 향상에 그대로 반영된다. 이는 해당 벤치마크 프로그램들이 수행하는 작업이 CPU 주파수 속도에 매우 의존적이라는 것을 의미하며, 이와 같은 프로그램들은 CPU 주파수 속도를 개선하는 만큼 전체

시스템의 성능 또한 계속적으로 향상될 것으로 기대된다. 반면, CINT2000의 mcf, parser와 CFP2000의 galgel, equake, ammp, applu의 경우는 CPU 주파수 속도의 증가와 무관하게 시스템 성능이 일정하게 유지됨을 볼 수 있다. 이는 CPU 주파수 속도가 해당 벤치마크 프로그램들의 작업에 대해서 기여도가 매우 떨어지며, 그 이외의 요소들 즉, I/O 나 메모리에 대한 의존율이 높다고 보여진다.

주목할 경우로서 CINT2000의 eon, gzip과 CFP2000의 swim, art가 있다. art 벤치마크 프로그램은 CPU 주파수 속도 증가에 대해 전체 시스템의 성능이 오히려 감소하는 현상을 보이고 있으며, gzip과 swim의 경우 전체 시스템의 성능이 CPU 주파수 속도증가에 대해서 비선형적으로 변화하고, eon의 경우 CPU 주파수 속도증가에 대한 전체 시스템의 성능향상이 이론적 최대치인 "CPU clock speed" 라인을 넘어서는 현상을 보이고 있다. 이상의 경우들은 해당 벤치마크 프로그램의 작업 유형이 주파수 동기화, 시스템 버퍼 스케줄링, 등과 같은 작업을 많이 포함하고 있기 때문에 CPU 주파수 속도의 변화가 전체 성능에 불규칙적인 영향을 미치게 됨으로써 비선형적인 증가를 보이는 것으로 생각되며, 이들 벤치마크 프로그램들에 대하여는 좀 더 상세한 연구가 진행 중이다.

종합적으로 그림 2의 CINT2000와 그림 3의 CFP2000의 그래프에서 보이는 것과 같이 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램은 CPU 주파수 속도의 변화에 대해 전체 시스템의 성능이 민감한 벤치마크 프로그램으로부터 둔감한 벤치마크 프로그램까지 고루 분포되어 있으므로, 서로 다른 CPU 시스템의 전반적인 벤치마킹에 적합한 것으로 판단된다. 다만 CINT2000에 있어 전체 시스템 성능의 CPU 주파수 속도에 대한 의존도가 twolf와 mcf사이 값을 가지는 벤치마크 프로그램과 CFP2000에 있어 그 의존도가 mesa와 wupwise사이, 그리고 galgel과 swim사이 값을 가지는 벤치마크 프로그램들이 보완된다면 좀더 바람직할 것으로 보인다.

IV. 결론

파리를 잡는데 있어 가장 효율적인 도구는 대포가 아니라 파리채이다. 정보화 사회에 산재해있는 정보처리 도구인 다양한 형태의 컴퓨터 시스템을 사용하는데 있어 가장 중요한 요소 중 하나는 사용하고자 하는 용도

에 맞는 최적의 시스템 선택이라 할 수 있다.

벤치마크 프로그램들은 이러한 선택적 상황에 신뢰할 만한 자료를 제공하기 위해 만들어 졌다. SPEC CPU2000은 그 중 하나로 산학계에서 특히 마이크로프로세서의 성능을 가능하기 위해 사용된다. 하지만 SPEC CPU2000의 범용성은 그 표준화의 노력에 있을 뿐 실질적으로 그 특성에 대한 이해는 동만되지 않고 있다. 벤치마크 프로그램의 특성분석은 실질적인 시스템의 개발이나 각종 실험을 위한 기반 연구로서 필수적인 요소이다.

본 논문에서는 시스템 구성요소 중 상대적으로 높은 인지도를 갖는 CPU 주파수 속도의 증가가 전체 시스템 성능에 미치는 영향을 알아봄으로써 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램에 대한 시스템적인 특성을 고찰하였다. x86 기반의 단일 프로세서 시스템에서 CPU 주파수 속도를 제외한 다른 시스템 구성요소를 일정하게 유지하면서 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램의 성능을 측정된 결과 SPEC CPU2000 벤치마크 프로그램은 CPU 주파수 속도의 변화에 대해 성능 향상율이 고루 분포되어 있음을 보았다. 따라서 SPEC CPU2000은 CPU 주파수 속도의 성능 의존도에 대한 벤치마킹에 적합하다고 보여진다.

Acknowledgement

이 논문은 2003 산학연 공동기술개발 컨소시엄 사업(과제번호 S0305110-A010233-17002011)의 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- [1] John L.Hennessy, David A.Patterson, "Computer Architecture - A Quantitative Approach" Morgan Kaufmann, 2003
- [2] Standard Performance Evaluation Corporation, <http://www.spec.org/>
- [3] Henning, J.L. "SPEC CPU2000: measuring CPU performance in the New Millennium" IEEE Computer, Volume: 33 Issue: 7, July 2000, p28 -35
- [4] Sim, S.E.;Easterbrook, S.;Holt, R.C.; "Using benchmarking to advance research", a challenge to software engineering Software Engineering, 2003. Proceedings. 25th International Conference on, 3-10 May 2003, P74 -83