

Tilera 다중코어와 x86-64 멀티코어 시스템의 성능 비교⁺

최희석¹, 유태묵¹, 박지수¹, 정대용¹, 임종범¹, 이정하¹, 서태원², 유현창¹⁺⁺

¹고려대학교 대학원 분산클라우드컴퓨팅 연구실

²고려대학교 대학원 컴퓨터시스템 연구실

e-mail:hsrangken@korea.ac.kr

Performance Comparison of Tilera Many-core and x86-64 Multi-core Systems

HeeSeok Choi¹, TaeMuk Lyoo¹, JiSu Park¹, Daeyong Jung¹,
JongBeom Lim¹, JungHa Lee¹, Teaweon Suh² and Heonchang Yu¹

¹Distributed and Cloud Computing Lab., Korea University

²Computer Systems Lab., Korea University

요 약

최근 멀티코어 시스템은 컴퓨터의 성능을 향상시키기 위해 더 많은 수의 코어를 연결시키는 다중코어 시스템으로 발전하고 있다. 그러나 멀티코어 시스템은 사용하는 코어의 아키텍처 구조와 개수에 따라 성능 차이가 발생한다. 이에, 본 논문에서는 코어의 아키텍처 구조와 코어의 개수가 성능에 미치는 영향을 분석하기 위해 Tilera의 다중코어 시스템인 Tile-Gx36, TilePro64와 Intel의 x86-64 멀티코어 시스템인 Core i5의 성능을 비교하였다. 코어의 사용률이 늘어남에 따른 성능차이를 알아보기 위해 벤치마크 프로그램인 SPEC CPU 2006을 이용하여 각 시스템 내 단일코어의 성능을 측정하고, OpenMP 벤치마크 프로그램을 이용하여 시스템의 모든 코어를 사용했을 때의 입력 데이터 크기에 따른 성능을 측정하였다. 실험 결과, 단일코어에서의 성능은 정수형 데이터를 사용하여 측정하였을 경우 Core i5가 Tile-Gx36보다 약 87%, 실수형 데이터를 사용하여 측정하였을 경우 약 94% 더 빠른 것으로 나타났다. 그러나 코어 전체를 이용한 성능 결과에서는 정수형 배열 크기가 이상일 경우 Tile-Gx36 시스템의 처리 속도가 Core i5 시스템 보다 평균적으로 약 7.6배 향상됨을 확인할 수 있었다. 따라서 Tilera의 다중코어 시스템은 클럭 속도와 아키텍처 구조의 영향으로 단일코어의 성능은 떨어지나, 병렬 처리를 이용한 고속연산에서는 성능이 향상된다고 할 수 있다.

1. 서론

지난 수년간 반도체 제조 공정 및 CPU 아키텍처 구조의 발전으로 비순차 실행, 파이프라인 구조개선 등을 통해 컴퓨터의 연산 능력은 비약적으로 향상되었다. 그러나 발열과 전력 소비 등의 문제로 단일코어에서 성능을 향상시키는 방법은 한계에 다다랐다. 이러한 한계를 극복하기 위해 하나의 CPU 칩에 여러 개의 코어를 집적한 멀티코어(multi-core) 및 다중코어(many-core) 시스템 연구가 진행되고 있다. 또한 다양한 분야에서 멀티코어 및 다중코어 시스템을 이용한 병렬처리 연구들도 진행되고 있다.

최근 여러 분야에서 효과적인 병렬처리를 위한 방법으로 OpenMP 프로그램을 적용하고 있다. [1]에서는 멀티코어 시스템에서 OpenMP와 MPI를 개별적으로 사용하여

프로그램을 구현하였을 때보다 OpenMP와 MPI를 결합하여 하이브리드 형태로 프로그램을 구현하였을 때 더 향상된 성능을 측정하였다. 또한 [2]에서는 멀티코어 기반 시스템에서 OpenMP를 이용한 병렬 알고리즘의 성능 평가를 수행하였다.

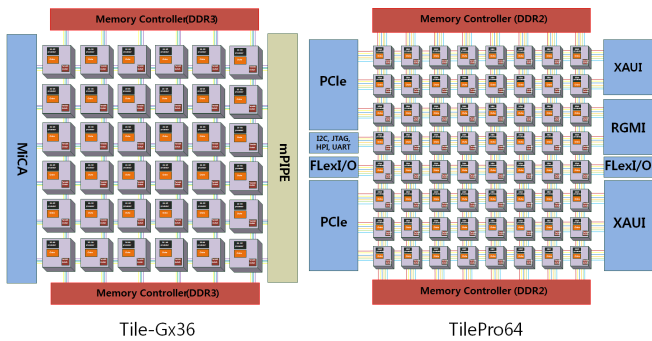
본 논문에서는 멀티코어 및 다중코어 시스템에서 각 코어의 성능을 비교하기 위해 Tilera의 Tile-Gx36, TilePro64 그리고 Intel의 Core i5 프로세서를 비교한다. 또한 2장에서는 범용 x86-64 멀티코어 시스템과 Tilera 다중코어 시스템과의 차이점 및 특성을 이해하기 위해 Tilera 프로세서들(Tile-Gx36, TilePro64)의 구조 및 특징을 분석한다. 3장에서는 시스템들의 단일코어 성능을 비교하기 위해 벤치마크 프로그램인 SPEC CPU 2006[3]을 이용하여 정수형 데이터와 실수형 데이터의 처리속도를 측정 및 비교한다. 또한, 각 시스템의 전체 코어를 이용한 성능을 비교 분석하기 위해 OpenMP 벤치마크 프로그램을 다중코어 및 멀티코어 시스템에서 수행하도록 하고

⁺ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012046684)
⁺⁺ 교신저자

이에 대한 성능을 비교 분석한다.

2. Tiler 프로세서의 구조 및 특징

Tile-Gx36와 TilePro64는 Tiler사에서 각각 2011년, 2008년 출시한 다중코어 시스템이다. Tile-Gx36은 64-bit 아키텍처로 64개의 레지스터를 제공한다. Tile-Gx36의 코어들은 6x6 격자 형태인 내부 연결망으로 연결되어 있으며 최대 66Tbps의 대역폭을 갖는다[4]. TilePro64는 Tile-Gx36의 레지스터 수와 동일하지만 32-bit 아키텍처이며, 각 코어들은 8x8 격자 형태인 내부 연결망으로 연결되어 있다[5]. 또한 TilePro64는 실수형 연산을 하드웨어에서 직접적으로 지원하지 않으며, 이에 대한 연산은 에뮬레이션 방식을 통해 처리한다. Tile-Gx36와 TilePro64의 구조는 (그림 1)과 같다. Tiler 프로세서 엔진은 최대 3개의 명령어를 동시에 처리할 수 있는 VLIW(Very Long Instruction Words) 구조를 가지며 순차적인 명령어 처리를 지원한다[6].



(그림 1) Tiler 프로세서의 구조

Tiler 프로세서 및 Core i5 에서 사용하는 캐시의 종류 및 주요 사양은 <표 1>과 같다.

<표 1> 프로세서의 캐시 비교

캐시의 종류	TilePro64	Tile-Gx36	Core i5
L1 Instruction Cache	16KB Capacity 64B Line Size	32KB Capacity 64B Line Size	32KB Capacity 64B Line Size
L1 Data Cache	8KB Capacity 16B Line Size Write through	32KB Capacity 64B Line Size Write through	32KB Capacity 64B Line Size
L2 Cache Subsystem	64KB Capacity 64B Line Size Write-back	256KB Capacity 64B Line Size Write-back	256KB Capacity 64B Line Size
L3 Cache	4MB Coherent (Dynamic Distributed Cache)	9MB Coherent (Dynamic Distributed Cache)	6MB Capacity

Tiler 프로세서는 Core i5와는 달리 L3 캐시를 갖지 않는다. 그러나 서로 다른 코어에 분산되어 있는 L2 캐시가 상호연결망을 통해 공유되는 형태를 가진다. 따라서 분산 캐시의 접근 속도는 로컬 캐시의 접근 속도보다 느리며 어떠한 코어에서 데이터를 가져오느냐에 따라 접근 속도가 달라질 수 있다.

Tiler 프로세서의 캐시 일관성 규약은 디렉터리 기반 캐시 일관성 기법을 사용한다. 이는 격자형 내부연결망으로 연결된 다중코어 프로세서의 캐시 일관성을 유지하는데 용이한 방법 중 하나이다[7].

3. 성능 평가

3.1 실험 환경

본 논문에서는 멀티코어와 다중코어 시스템의 성능 비교를 위해 다중코어인 Tiler의 TilePro64와 Tile-Gx36 프로세서와 멀티코어 시스템인 Intel의 Core i5 프로세서를 사용한다. 실험에서 사용한 TilePro64, Tile-Gx36 그리고 Core i5 프로세서의 하드웨어 사양은 <표 2>와 같다.

<표 2> 기본 실험 환경

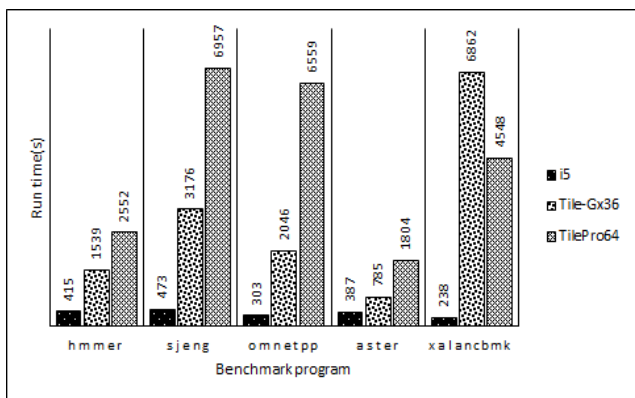
다중 코어 시스템	CPU	메모리	운영체제
	TileGx36, 1.2GHz× 36 코어	16GB	Cent OS 6.3 (2.6.32-279.el16.x86-64)
멀티 코어 시스템	CPU	메모리	운영체제
	Intel Core i5-2500 (3.3GHz x 4 코어)	8GB	Cent OS 6.2 (2.6.32-220.el16.x86-64)

또한 멀티코어와 다중코어 시스템의 성능을 실험하기 위해 벤치마크 프로그램을 사용한다. 각 시스템의 단일코어의 성능을 측정하기 위해 범용 벤치마크 프로그램인 SPEC CPU 2006의 hmmer, sjeng, omnetpp, astar, xalancbk, soplex, dealII, povray를 이용하여 실험한다. 또한 멀티코어와 다중코어 시스템의 성능을 측정하기 위해 OpenMP 벤치마크 프로그램을 사용한다. OpenMP 벤치마크 프로그램은 3개의 배열을 이용하여 사칙연산을 병렬로 계산하도록 구현한다. 이 프로그램은 2개의 배열에 임의의 값을 입력하고, 2개의 배열 값으로 사칙 연산을 수행한다. 그리고 사칙연산의 결과를 나머지 하나의 배열에 저장한다.

단일코어의 성능 실험에서는 SPEC CPU 2006 벤치마크 프로그램을 Tile-Gx36, TilePro64, Core i5 시스템에서 수행하여 성능을 측정한다. 특히 데이터 형의 타입에 따라 연산 처리되는 성능 변화를 측정하기 위해 데이터의 타입을 정수형인 경우와 실수형인 경우로 나누어 세부 실험을 수행한다. 각 시스템의 전체 코어 사용에 따른 병렬 처리 속도를 비교하기 위한 실험을 위해 OpenMP로 구현된 병렬 프로그램을 Core i5와 Tile-Gx36 시스템에서 수행하여 각각의 시스템 속도를 비교하는 것으로 진행한다. TilePro64에서는 OpenMP를 지원하지 않기 때문에 병렬 처리에 따른 실험 비교 대상에서는 제외한다.

3.2 실험 결과

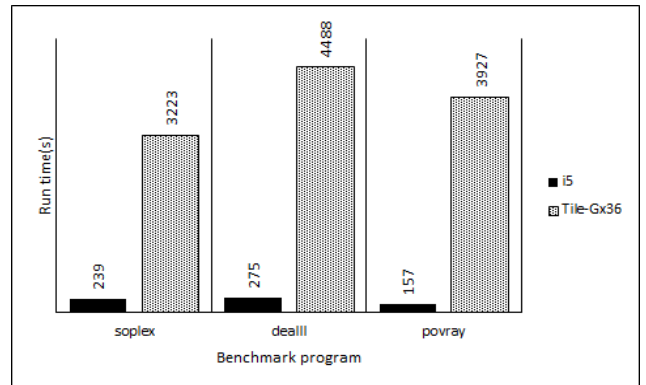
(그림 2)는 각 시스템의 단일코어에서 정수형 데이터를 연산 처리하는 벤치마크 프로그램의 처리 시간을 보여준다. Tile-Gx36의 평균 처리 시간은 약 2,881초로 TilePro64의 평균 처리 시간인 약 4,464초에 비해 35.5% 빠르다. 그러나 Core i5의 평균 처리 시간은 약 373초로 Tile-Gx36의 평균 처리 시간과 비교하여 약 87% 빠르다. 이는 프로세서의 클럭 속도가 다르기 때문에 실험 결과에서 Core i5의 단일코어 성능이 좋게 나타났다. 또한 클럭 속도가 빠를수록 특정 시간동안 처리할 수 있는 연산의 수가 많기 때문에 Tile-Gx36, TilePro64 그리고 Core i5 시스템의 단일코어로 성능 비교하였을 때 Core i5의 클럭 속도가 3.3GHz로 성능이 가장 좋게 나온다. 또한 단일코어의 성능에 영향을 미칠 수 있는 요소로 프로세서 아키텍처 구조, 캐시의 크기 및 구조 등이 있다.



(그림 2) 단일코어에서 정수형 데이터의 연산 시간

(그림3)은 정수형 데이터를 연산 처리하는 실험과 동일한 환경에서 데이터 타입을 실수형으로 바꾸었을 때의 실험 결과를 보여준다. Core i5의 평균 처리 시간은 약 222초로

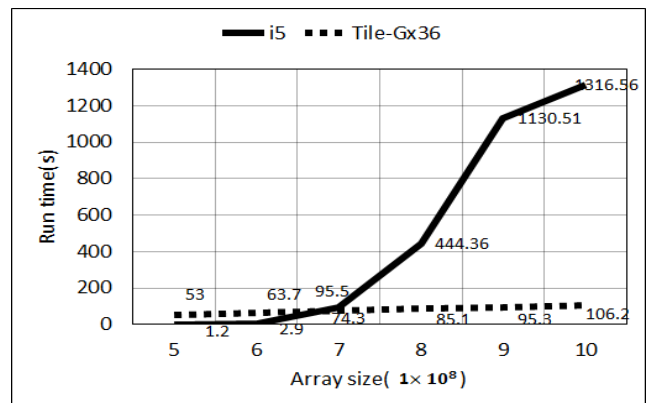
Tile-Gx36의 평균 처리 시간인 약 3879초에 비해 94.3% 빠른 것을 볼 수 있다. 또한 정수형 데이터를 처리하는 실험 결과와 비슷하게 이 실험에서도 Core i5의 성능이 Tile-Gx36보다 향상된 성능을 보여준다. 또한 TilePro64는 실수형 데이터의 연산 처리를 하드웨어에서 직접적으로 지원하지 않고 에뮬레이션의 형태로 지원을 하기 때문에 실험 비교 대상에서 제외되었다.



(그림 3) 단일코어에서 실수형 데이터의 연산 시간

또한 Core i5와 Tile-Gx36의 단일코어 성능을 비교하였을 경우에는 Core i5에서 정수형 데이터의 연산이 약 87%, 실수형 데이터의 연산이 약 94% 수행 시간이 빠르다. 특히 정수형 데이터의 연산 보다 실수형 데이터의 연산 할 때 성능 차이가 더 크게 나타난 것은 정수형 데이터의 연산 처리할 때보다 실수형 데이터의 연산 처리할 때 수행되는 연산이 더 많고, 코어의 클럭 속도에 따라 성능에 영향을 줄 수 있기 때문이다.

(그림 4)는 Core i5와 Tile-Gx36 시스템에서 OpenMP로 구현한 병렬 프로그램을 수행할 때 입력 배열의 크기에 따른 연산 수행 시간을 보여준다. 실험 결과에서 배열 크기가 7×10^8 인 경우를 기준으로 배열 크기가 7×10^8 미만일 때는 Core i5 시스템의 병렬 처리 속도가 Tile-Gx36 시스템보다 평균 약 33배 빠르다.



(그림 4) 데이터 크기에 따른 병렬 처리 시간 비교

참고문헌

그러나 배열 크기가 7×10^8 이상인 경우 Tile-Gx36 시스템의 병렬 처리 속도가 Core i5 시스템 보다 평균 약 7.6 배 빠른 것으로 나타났다. 따라서 데이터의 양이 적을 경우 Core i5 시스템의 성능이 Tile-Gx36 보다 더 좋지만, 데이터 집약적인 어플리케이션처럼 데이터의 양이 많을수록 Tile-Gx36 시스템의 성능이 더 좋게 나타난다.

4. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 멀티코어와 다중코어 프로세서에서 단일 코어 성능을 비교하기 위해 SPEC CPU 2006 벤치마크 프로그램을 Core i5, Tile-Gx36 그리고 TilePro64에서 수행하였다. 또한 시스템의 전체 코어를 사용하는 OpenMP 기반 벤치마크 프로그램을 구현하고, 이를 Core i5와 Tile-Gx36에서 수행시켜 데이터 연산 수행 시간을 비교·분석하였다.

단일코어에서 SPEC CPU 2006을 수행하였을 때, 연산 처리 속도는 Core i5가 가장 빠르고, TilePro64가 가장 느렸다. 또한 멀티코어 및 다중코어에서 OpenMP 벤치마크 프로그램을 수행하였을 때, 데이터의 크기가 작은 경우 Core i5가 Tile-Gx36보다 성능이 좋을 것으로 나타났다. 그러나 데이터의 크기가 커질수록 Core i5의 처리속도가 Tile-Gx36과 비교하여 현저히 떨어진다. 이는 Tiler의 다중코어 시스템은 범용 x86-64 멀티코어 시스템보다 단일 코어의 성능은 클럭 속도 및 아키텍처 구조의 영향으로 상대적으로 떨어진다. 그러나 대용량 데이터의 연산 처리를 요구하는 어플리케이션에서 병렬 처리하였을 경우에는 성능 향상이 된다. 또한 Tiler 다중코어 시스템은 코어당 TDP(Thermal Design Power)가 45w로 범용 x86-64 멀티코어 시스템의 95w보다 상대적으로 적기 때문에 저전력을 요구하는 시스템인 에너지-어웨어 클라우드 컴퓨팅 환경에 적합하다.

향후 우리는 본 논문에서 고려하였던 데이터 타입 및 데이터 크기 이외에 다양한 시스템 변수들을 변경하면서 멀티코어 및 다중코어의 성능을 비교한다. 또한 다중코어 환경에서의 병렬처리에 초점을 두어 PARSEC[8]를 비롯한 다양한 병렬처리의 벤치마크 프로그램 통해 다중코어 환경의 성능을 증명한다.

- [1] Haoqiang Jin, Dennis Jespersen, Piyush Mehrotra, Rupak Biswas "High Performance Computing Using MPI and OpenMP on Multi-core Parallel Systems" Parallel Computing, Volume37, Issue 9, September 2011, Pages 562-575
- [2] Sanjay Kumar Sharma, Dr. Kusum Gupta "Performance Analysis of Parallel Algorithms on Multi-core System using OpenMP" International Journal of Computer Science, Engineering and Information Technology(IJCSEIT), Vol.2, No.5, October 2012
- [3] Sergio Aldea, Diego R. Lianos, Arturo Gonzalez-Escribano "Using SPEC CPU 2006 to evaluate the sequential and parallel code generated by commercial and open-source compilers" The Journal of Supercomputing January 2012, Volume 59, Issue1, pp486-498
- [4] TILERA Corporation, "Tile Processor Architecture Overview for the TILE-Gx series," Multi-Core Development Environment MDE 3.0 Document, UG130
- [5] TILERA Corporation, "Tile Processor Architecture Overview for the TilePro Series," Multi-Core Development Environment MDE 3.0 Document, UG120
- [6] TILERA Corporation, "TILE-Gx Instruction Set Architecture" Multi-Core Development Environment MDE 3.0 Document, UG401
- [7] Geoffrey Blake, Ronald G. Dreslinski, and Trevor Mudge "A Survey of Multicore Processors" IEEE Signal Processing Magazine November 2009
- [8] Christian Bienia, Sanjeev Kumar, Jaswinder Pai Singh and Kai Li "The PARSEC Benchmark Suite: Characterization and Architectural Implications" Princeton University Technical Report TR-811-08, January 2008