NAS 병렬 벤치마크 기반 다양한 고성능 컴퓨팅 시스템의 특성 분석

박근철*, 박찬열*, 최지은*, 노승우*
*한국과학기술정보연구원
e-mail:gcpark@kisti.re.kr

Analysis of Characteristics of Various High Performance Computing Systems Based on NAS Parallel Benchmarks

Guenchul Park*, Seungwoo Rho*, Ji Eun Choi*, Chan-Yeol Park*
*Korea Institute of Science and Technology Information

요 약

특정 어플리케이션을 주로 실행하는 소규모 고성능 컴퓨팅 시스템을 구축하는데 있어서 가장 중요한 점은 해당 어플리케이션의 효율을 최대한 끌어내기 위한 하드웨어를 선택하는 것이다. 하지만 최근 고성능 컴퓨팅을 위한 프로세서의 다양성은 점점 심화되고 있고 이는 최적의 프로세서 선택 및 시스템의 구성을 힘들게 하고 있다. 이에 본 논문에서는 고성능 컴퓨팅에 주로 사용되는 주요한 프로세서를 사용한 시스템을 NAS 병렬 벤치마크를 기반으로 그 특성과 성능을 분석하여 응용프로그램의 특성에 적합한 프로세서 및 시스템의 선택을 지원하고자 한다.

1. 서론

최근 수년간 고성능 컴퓨팅(HPC, High-Performance Computing)에 사용되는 프로세서의 다양성은 점점 심화되고 있다. 머신러닝과 기계학습을 위한 GPU(Graphics Processing Units) 및 스마트폰에 사용되는 ARM 프로세서까지 실로 다양한 프로세서가 고성능 컴퓨팅에 폭넓게 사용되고 있다. 이러한 프로세서의 다양성은 선택의 폭을 넓혀 주는 장점이 있는 반면 특정 응용에 적합한 프로세서를 선택하기 힘들게 한다는 단점을 가지고 있다.

다양한 응용어플리케이션을 실행하기 위하여 범용적인 목적으로 구축되는 대규모 슈퍼컴퓨터와 달리 특정 연구를 위하여 구축되는 소규모 고성능 컴퓨팅 시스템은 주로 실행하는 어플리케이션이 한정적이다. 이러한 한정적인 특정 어플리케이션의 성능을 최대한 끌어내기 위해서는 해당 어플리케이션에 적합한 하드웨어를 선택하여 구축하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 고성능 컴퓨팅 시스템에 가장 많이 사용되고 있는 최신 프로세서를 사용한 시스템을 다양한 계산 특성을 가지는 NAS 병렬 벤치마크(NPB, NAS Parallel Benchmarks)[1]를 통하여 그 성능 효율 특성을 파악하여 특정 응용에 적합한 프로세서 및 시스템의 선택을 지원하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 연구의 배경으로써 최신의 다양한 고성능 컴퓨팅 시스템용 프로세서와 NAS 병렬 벤치마크에 대해 설명한다. 3장에서는 각 프로세서를 사용한 시스템에서 NAS 병렬 벤치마크를 실행하여 성능을 분석해 보고 실험 결과에 대해 설명하고 마지막장에서는 결론 및 향후 계획을 기술한다.

2. 배경

2.1 고성능 컴퓨팅 시스템용 프로세서

최근 고성능 컴퓨팅 시스템을 위한 프로세서의 흐름은 코어의 처리속도인 클럭(Clock)을 높이는 것 보다 많은 수의 코어를 통해 높은 성능을 내는 매니코어(Manycore) 프로세서가 주류를 이루고 있다. 2016년 6월에 출시된 인텔의 제온 파이 나이츠랜딩(KNL, Knights Landing) 프로세서는 운영체제가 실행 가능한 “Self-hosted” 프로세서로 최대 72개의 코어를 가지고 있고 고성능 컴퓨팅의 계산 성능을 높이기 위하여 기존 DRAM 메모리 대역폭의 3배 성능을 가지는 MCDRAM을 탑재하고 있다. 2017년 6월에 발표된 AMD의 서버 프로세서 에픽(EPYC)은 전작인 옵테론(Opteron)의 2배에 달하는 최대 32개의 코어를 가지고 있다. 2019년 8월에 발표한 AMD 최신 에픽 프로세서, 롬(Rome)은 최대 64개의 코어를 가지고 있다. 인텔의 최신 제온 프로세서 또한 많은 코어를 가지고 있는데 2017년 7월에 발표한 스카이레이크 제온 프로세서의 최상위 모델은 28개의 코어를 가지고 있으며 2019년 4월에 발표한 캐스케이드 레이크 프로세서는 최대 56개의 코어를 가지고 있다. Arm의 서버용 프로세서인 썬더엑스(ThunderX)는 48개의 코어를 가지고 있으며 IBM의 최신 프로세서 POWER9 또한 최대 48개의 코어를

지원한다.

이러한 다양한 매니코어 프로세서들은 성능을 최적화하기 위한 고 대역폭 메모리의 채용, AVX(Advanced Vector Extensions) 적용, 캐쉬의 최적화 등에 의하여 성능에 차별성을 가지고 있다. 이는 실행하는 어플리케이션에 따라 상대적으로 효율적인 프로세서가 있다는 의미이다. 본 논문에서는 앞서 언급한 매니코어 프로세서 중 현재 가장 많이 사용되고 있는 인텔의 나이츠랜딩, 스카이레이크 제온 및 AMD의 에픽 프로세서를 사용한 시스템을 대상으로 NAS 병렬 벤치마크를 활용하여 시스템의 성능 효율 특성을 분석한다.

2.2 NAS 병렬 벤치마크

NAS 병렬 벤치마크는 전산 유체 역학(CFD, Computational Fluid Dynamics)의 데이터 처리 및 계산에 관련 8개의 응용프로그램으로 구성된 벤치마크이다. 응용프로그램은 5개의 커널 프로그램과 3개의 수도 프로그램으로 구성되며 모든 응용 프로그램은 고성능 컴퓨팅 시스템에서 실행하기 위하여 MPI, OpenMP 및 MPI+OpenMP 하이브리드를 통한 병렬처리를 지원한다. 또한, 각 프로그램은 다양한 규모의 테스트를 위하여 문제 크기(S, W, A, B ,C, D, E, F)를 수정 할 수 있다 [2].

8개의 벤치마크 프로그램에 대하여 메모리 사용량 및 perf 명령을 사용하여 도출한 하드웨어 퍼포먼스 카운터의 명령수(instructions) 와 캐시미스(cache misses) 값을 기반으로 분석하면 다음 표 1과 같이 그 특성을 예상할 수 있다 [3][4].

<표 1> NAS 병렬 벤치마크 특성

NPB	Memory usage (GB)	Instruc-tions (10^9)	Cache Misses (10^6)	Ratio (Inst/CMs)	특성
MG.D	29.1	4,519	111,787	40	HMI
CG.C	2.1	760	13,794	55	HMI
SP.C	2.4	3,446	53,902	64	MI
IS.D	26.1	860	12,948	66	MI
FT.C	7.9	760	6,715	113	CI
LU.C	1.5	2,762	22,446	123	CI
BT.C	2.7	5,561	32,100	173	HCI
EP.D	0.5	6,210	171	36,317	HCI

MG와 CG 벤치마크는 높은 메모리 집약형(High Memory intensive) 워크로드로 SP와 IS는 메모리 집약형 워크로드로 EP와 BT는 높은 CPU 집약형(High CPU Intensive) 워크로드로 LU와 FT는 CPU 집약형 워크로드로 그 특성을 예상할 수 있다 [5].

3. 실험 및 분석

3.1 실험 시스템

본 논문의 실험에 사용된 시스템은 앞서 기술한 인텔의 최신 제온 파이 나이츠랜딩(Intel® Xeon Phi™ CPU 7250)과 스카이레이크 제온 프로세서(Intel® Xeon Gold 6152)를 사용한 시스템과 AMD의 에픽 프로세서(AMD EPYC 7451)를 기반으로 한 시스템이다. 시스템의 간략한 사양은 다음 표 2와 같다. 각 시스템의 특징은 인텔 나이츠랜딩은 가장 많은 코어수를 가지고 고 대역폭 메모리인 MCDRAM을 탑재하고 있고, 인텔의 스카이레이크 제온은 가장 최신의 CPU로 클럭 및 사이클 당 처리 명령수가 높아 가장 높은 계산 성능을 가지고 있다. AMD의 에픽 프로세서는 8채널 메모리를 지원하여 스카이레이크 대비 더 높은 메모리 대역폭을 가진다.

<표 2> 실험 시스템

구분		KNL	Skylake	EPYC
CPU	Clock	1.40GHz	2.1GHz	2.3GHz
	Cores	68	22 * 2	24 * 2
RAM		96G/16G(HBM)	196G	256G

3.2 NAS 병렬 벤치마크 실행 실험

본 연구팀에서는 시스템 간의 비교 분석을 위한 적절한 문제크기를 도출하기 위하여 각 시스템의 물리코어 수와 유사한 프로세스 개수로 1차 실험을 실행하였다. 1차 실험의 결과 8종의 벤치마크의 문제 크기가 C 또는 D 클래스로 선정되었다. 1차 실험에서 선정된 클래스를 기반으로 프로세스 개수를 변경하며 2차 실험을 진행하였다. NAS 병렬 벤치마크에서 사용 가능한 프로세스 수는 2^n 또는 n^2 값이므로 68개의 코어를 가지는 나이츠랜딩 프로세서는 64, 128(121), 256의 프로세스 개수로 실험하였고, 각각 44개와 48개의 코어를 가지는 스카이레이크, 에픽 프로세스는 32(36), 64, 100(128)의 프로세스 개수로 실험하였다. 2차 실험의 결과 표 3에서와 같이 대부분의 시스템에서 벤치마크 실행 프로세스 수를 물리적인 코어 수 이상으로 실행 할 때 최대 성능을 나타냈다.

<표 3> NAS 병렬 벤치마크 프로세스 수에 따른 최대 성능

벤치마크 실행 프로세스 수	최고성능 벤치마크 수			
	KNL	Skylake	EPYC	계
프로세스 수 < 코어 수	3	0	1	4
프로세스 수 > 코어 수	4	7	7	18
프로세스 수 ≫ 코어 수	1	1	0	2

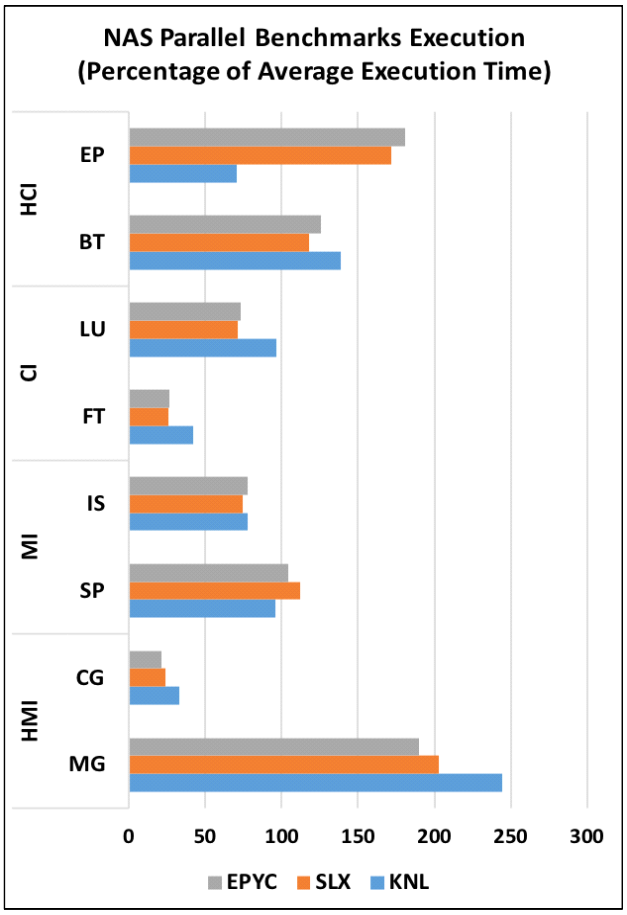
앞선 실험에 의해 정해진 클래스와 실행 프로세스 개수에 따라 NAS 병렬 벤치마크를 각 시스템에서 실행한 결과는 다음 표 4와 같다. 전체적인 성능에 있어서는 8채널 DRAM을 지원하는 에픽 프로세서가 가장 높은 성능을 보였다.

하지만 시스템 간의 성능의 차이가 크지 않고 이러한 절대적인 성능은 CPU의 특성, 메모리의 크기, 시스템의 구성, 전력소모량 등에 따라 달라질 수 있기 때문에 큰 의미를 두기 어렵다.

<표 4> 시스템별 NAS 병렬 벤치마크 실행 결과(초)

NPB	KNL	SLX	EPYC
MG.D	67.6	55.91	45.88
CG.C	9.2	6.55	5.15
SP.C	26.6	30.91	25.22
IS.D	21.6	20.54	18.75
FT.C	11.7	7.09	6.39
LU.C	26.8	19.67	17.74
BT.C	38.4	32.43	30.34
EP.D	19.6	47.26	43.7
Total	221.5	220.36	193.17

본 논문에서는 성능 효율 특성을 비교하기 위하여 각 시스템에서 실행한 8가지 전체 벤치마크 실행 시간의 평균을 구하고 평균값에 비례한 각 벤치마크의 비율을 비교하였고 그 결과는 그림 1과 같다.



(그림 1) NAS 병렬 벤치마크별 비율 비교

가장 계산 강도가 높은 EP의 경우 앞선 실행 프로세스의 수에 따른 최고성능에서 검증 된 바와 같이 계산 성능이 좋고 코어수가 많은 나이츠랜딩 시스템에서 가장 높은 효율을 보여준다. 대부분의 CPU 집약적인 벤치마크 들은 계산 성능이 가장 좋은 스카이레이크 시스템에서 높은 효율을 나타냈으며, 메모리 집약적인 벤치마크들은 8채널 메모리 기반의 높은 메모리 대역폭을 지원하는 에픽 시스템에서 높은 효율을 보여주는 것을 확인할 수 있다.

4. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 최근 고성능 컴퓨팅 시스템에 가장 많이 사용되는 프로세서 기반 시스템들의 성능 효율 특성을 NAS 병렬 벤치마크를 통하여 분석하였다. 서로 다른 특징을 가지는 프로세서들을 사용한 시스템들은 해당 특성에 적합한 어플리케이션에서 보다 높은 효율을 나타냄을 확인 할 수 있었다.

향후 본 연구팀에서는 보다 다양한 최신 매니코어 프로세서를 사용한 시스템을 대상으로 특성 분석 연구를 확대 할 계획이며, 실제 고성능 컴퓨팅 환경에서 수행되는 다양한 응용어플리케이션을 대상으로 특성 분석 결과를 검증할 계획이다.

참고문헌

[1] NAS Parallel Benchmark, https://www.nas.nasa.gov/publications/npb.html.

[2] D. H. Bailey et al., “The Nas Parallel Benchmarks” Supercomputing ’91 Proceedings of the 1991 ACM/IEEE conference on Supercomputing

[3] Geunchul Park et al., ”Towards optimal scheduling policy for heterogeneous memory architecture in many-core system” Cluster Computing

[4] Jieun Choi et al., ”Interference-aware co-scheduling method based on classification of application characteristics from hardware performance counter using data mining” Cluster Computing

[5] Pasquale, J, et al., “A static and dynamic workload characterization study of the San Diego Supercomputer Center CRAY X-MP” Proceedings of the 1991 ACM SIGMETRICS Conference on Measurement and Modeling of Computer Systems