
하이브리드 병렬 프로그램을 이용한 타키온 슈퍼컴퓨터의 성능

박남규* · 정윤수** · 이홍석***

Performance Characterization of Tachyon Supercomputer using Hybrid Multi-zone NAS Parallel Benchmarks

Nam-Kyu Park* · Yoon-Su Jeong** · Hong-Suk Yi***

요 약

최근에 도입되어 운영되고 있는 타키온 1차 시스템은 쿼드코어 AMD 바로셀로나 노드로 구성된 고성능 슈퍼컴퓨터이다. 본 논문에서는 하이브리드 병렬화 기법을 도입한 프로그램 중 하나로 사용되고 있는 멀티존(Multi-zone) NAS 병렬 벤치마크(NPB)를 이용하여 타키온 성능 및 병렬 확장성을 검증하고자 한다. 하이브리드 병렬 성능 시험을 위하여 NPB-3.3 버전 BT-MZ의 B 및 C클래스를 사용하였으며, 실제로 타키온 시스템의 1024개의 프로세스까지 병렬 확장성을 테스트를 하였다. 프로세서 1024개 이상 이용한 하이브리드 병렬컴퓨팅 계산 결과는 국내 최초이다. 이러한 하이브리드 병렬화 기법은 타키온처럼 멀티코어 기술을 적용한 고성능 컴퓨팅 시스템에서 매우 효율적이고 유용한 병렬 성능 벤치마크가 될 수 있음을 기술하였다.

ABSTRACT

Tachyon primary system which introduces recently is a high performance supercomputer that composed with AMD Barcelona nodes. In this paper, we will verify the performance and parallel scalability of Tachyon by using multi-zone NAS Parallel Benchmark(NPB) which is one of a program with hybrid parallel method. To test performance of hybrid parallel execution, B and C classes of BT-MZ in NPB version 3.3 were used. And the parallel scalability test has finished with Tachyon's 1024 processes. It is the first time in Korea to get a result of hybrid parallel computing calculation using more than 1024 processes. Hybrid parallel method in high performance computing system with multi-core technology like Tachyon describes that it can be very efficient and useful parallel performance benchmarks.

키워드

슈퍼컴퓨터, 고성능컴퓨터(HPC), 병렬프로그래밍, NPB

Key word

Supercomputer, HPC, Parallel Programming, NPB

* 충북대학교 컴퓨터공학과(제1저자)

** 한남대학교 산업기술연구소

*** 한국과학기술정보연구원 슈퍼컴퓨팅본부(교신저자)

접수일자 : 2009. 08. 18

심사완료일자 : 2009. 09. 15

I. 서론

최근에 멀티코어 아키텍처 기반의 초고속 병렬컴퓨터들이 새롭게 등장하면서, 병렬 컴퓨팅 시스템 환경에 알맞은 성능 벤치마크 소프트웨어들을 개발할 필요성이 요구되고 있다. 지금까지 슈퍼 컴퓨터를 포함한 고성능 컴퓨팅시스템들의 성능은 보통 린팩(Linpack)이라는 역행렬을 계산하는 벤치마크 프로그램을 이용하여 시스템의 성능을 측정하여 왔다. 이렇게 실측된 슈퍼컴퓨터의 성능 값들을 서로 비교함으로써 각각의 슈퍼컴퓨터의 순위가 자연스럽게 결정된다. 이러한 순서를 목록으로 만들어서 슈퍼컴퓨터 Top500이라는 리스트를 매해마다 2번씩 발표하고 있다[1]. 따라서 슈퍼컴퓨터라고 말할 수 있는 시스템은 통상 위의 리스트에 포함된 500대의 컴퓨팅 시스템을 지칭한다.

린팩을 이용한 성능 벤치마크는 CPU와 메모리 사이의 성능을 효과적으로 평가하고 있지만, 멀티코어 아키텍처와 같은 복잡한 시스템에서는 성능 평가를 원활하게 수행할 수 없는 문제점을 가진다. 특히 린팩 벤치마크는 분산메모리 환경에 적합한 병렬화 기법인 MPI(Message Passing Interface)와 공유메모리 환경에 최적화된 병렬화 기법인 OpenMP(Open Multi-Processig)의 결합인 하이브리드(MPI+OpenMP) 병렬화 환경에서 쉽게 적용하기가 어렵다. 따라서 멀티코어 아키텍처 및 NUMA(Non-Uniform Memory Access: 비균일 메모리 접근) 기술을 채택한 컴퓨팅시스템에 적합한 새로운 성능 벤치마크 소프트웨어 개발이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

최근에 슈퍼컴퓨터의 최고 린팩 성능이 1페타플롭스에 가까우면서, 린팩을 제외한 다른 소프트웨어들도 계속 개발을 진행하고 있다. 이중에 분산-공유메모리 환경에서 최적의 성능을 검증할 수 있는 프로그램으로 NAS Parallel Benchmark (NPB)가 널리 활용되고 있다[2]. 특히 NPB의 최대 벤치마크 클래스는 수십 테라바이트 메모리를 요구하는 초대형 벤치마크 클래스를 포함하고 있어서 앞으로 개발되고 있는 슈퍼컴퓨터들의 성능을 검증하기에는 매우 적합한 벤치마크 프로그램이다.

2009년 7월 기준으로 국내에서 최고 성능을 가지는 슈퍼컴퓨터는 한국과학기술정보연구원에서 서비스하

고 있는 타키온(Tachyon) 1차 시스템이다[3]. 이 시스템은 SUN 블레이드 6048 시스템 4개로 구성되어 있으며 총 계산 프로세스는 3008개로 설계되어 있다. 현재 타키온의 린팩 성능은 16.99테라플롭스로 슈퍼컴퓨터 Top500 순위 중에서 277위를 차지하고 있는 초대형 슈퍼컴퓨터이다. 하지만 실제 거대도전 응용 문제를 발굴하고 효율적인 자원의 활용을 위해서는 타키온 아키텍처에 알맞은 슈퍼컴퓨팅 기법을 개발하여야 한다. 특히 타키온과 같이 프로세서 1000개 이상의 시스템에서 성능 벤치마크 소프트웨어로 시험한 결과는 아직 발표되어 있지 않은 실정이다. 본 연구에서는 항공우주 분야에서 거대도전 응용 이슈들에도 비교적 쉽게 적용할 수 있는 최신의 하이브리드 컴퓨팅 계산 기법을 소개하고자 한다. 타키온의 성능확장성 및 안정성 등에 초점을 맞추어 성능시험을 하였다. 타키온 시스템의 1개의 계산 노드는 쿼드코어로 구성된 소켓 4개가 하이퍼-트랜스포트로 직접 연결이 되어 있어서 하이브리드(MPI+OpenMP) 컴퓨팅 기법을 시험하기에는 더할 나위 없이 좋은 시스템이다. 타키온의 성능 벤치마크를 위하여 최근에 개발된 하이브리드 멀티존(Multi-zone) NPB 3.3 버전을 사용하였으며, 특히 블록 대각화 솔버인 BT-MZ의 B 및 C 클래스를 이용하여 타키온의 1024개 프로세서(코어)까지 성능을 시험하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 타키온 슈퍼컴퓨터의 개요에 대해서 기술한다. 3장에서는 멀티존 BT NPB 특성에 대해서 기술하고 4장에서는 멀티존 BT NPB 특성에 대한 계산 결과를 분석한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결과를 요약한다.

II. 타키온 슈퍼컴퓨터

타키온 1차시스템은 AMD 옵테론 바로셀로나 노드로 구성되어 있다. 이 노드에선 2.0GHz 클럭 스피드를 갖는 4개의 쿼드코어가 1개의 소켓으로 구성되었고, 4개의 소켓이 1개의 계산노드로 구성되어 있다. 타키온의 188개 계산노드 간의 통신 네트워크는 인피니밴드(InfiniBand)로 연결되어 있다. 메모리는 코어당 2GB이고 노드당 32GB가 서로 공유되어 있다. 이때 메모리는 NUMA 방식으로 연결되어 있어서 하이브리드 컴퓨팅

기법을 적용할 경우 NUMA 콘트롤을 통하여 메모리를 조절해야 한다. 표 1은 타키온 1차 시스템의 아키텍처를 요약한 것이다.

표 1. 타키온 시스템 특성
Table. 1 Characteristics of Tachyon System

Machine	Tachyon (Phase I)
CPU type	AMD Barcelona
CPUs/node	16
Clock (GHz)	2.0
L3 Cache (MB)	2
Memory/노드 (GB)	32
이론성능값 (Tflops/s)	24.064

타키온 1차 시스템은 188개의 계산노드로 총 24.064 테라플롭스의 이론성능 값을 갖는다. 하지만 실제 링크 계산 결과는 16.99테라플롭스로 Top500위 순위에는 중간 정도인 277위에 등록되었다. 향후 타키온은 2009년 하반기에 2차 시스템이 도입 운영될 예정이고, 이때에는 약 2만개 이상의 코어로 구성된 초대형 슈퍼컴퓨터로써의 서비스가 가능하게 될 것이다. 따라서 타키온 1차 시스템에 대한 성능 벤치마크 결과는 향후 2차 시스템의 안정성 및 확장성을 비교하는데 매우 중요한 자료로 사용될 것이다.

III. 멀티-존 BT NPB 특성

NPB는 전산유체역학에서 널리 사용되는 8개의 대표적인 프로그램으로 구성되어 있다[4]. 이들 프로그램은 크게 두 부류로 나뉜다. 한 부류는 단일 파일로 작성된 커널 프로그램이라 불리는 CG, EP, IS, MG, FT의 5개의 프로그램이고, 다른 한 부류는 응용 프로그램이라 불리는 LU, SP, BT의 3개의 프로그램으로 구성되어 있다. NPB의 응용으로는 3차원 Navier-Stokes 방정식인 LU, SP, BT 알고리즘을 푸는 것이다. 각각의 솔버는 격자구조에서 균일한 메쉬를 이용하여 수치해석을 하는 것이다. 하지만 많은 실제 응용 문제에서는 이러한 균일한 메쉬를 이용한 문제보다 더 복잡하기 때문에 복수의 다양한 메쉬 구조를 사용한 멀티존 기법을 이용하고

있다[5]. 병렬 성능 벤치마크 코드인 NPB에서는 멀티존 LU-MZ, BT-MZ, SP-MZ 코드가 개발되었다. 특히 BT-MZ는 멀티존 비균일 메쉬를 사용하는 대표적인 프로그램이다[6].

표 2는 각각의 멀티존에서 LU, BT, SP 벤치마크 문제에 대한 클래스, 존의 개수, 요구되는 메모리를 나타낸 것이다. 따라서 최대 사용 가능한 메모리로 S 클래스는 1MB이고 D 클래스는 12.8 GB의 메모리가 필요하다.

표 2. NPB 클래스에 따른 메모리 사이즈와 공간 차원 집합

Table. 2 According to NPB class, memory size and space dimension set

Class	Zones (x-zones×y-zones)			Memory
	LU-MZ	SP-MZ	BT-MZ	
S	4×4	2×2	2×2	1 MB
W	4×4	4×4	4×4	6 MB
A	4×4	4×4	4×4	50 MB
B	4×4	8×8	8×8	200 MB
C	4×4	16×16	16×16	800 MB
D	4×4	32×32	32×32	12.8 GB

기존의 NPB가 단일존에서 파인-그레인(fine-grain) 병렬화를 구현했다면 멀티존 NPB는 계산노드 밸런스와 병렬화 효율을 고려하여 멀티 레벨 병렬화 기법을 도입한다. 특히 BT-MZ 벤치마크는 각각의 멀티존이 크기가 서로 다른 존 사이를 고려했기 때문에 코어스-그레인(coarse-grain) 병렬화 기법을 적용한다[7]. 코어스-그레인 병렬화 기법을 적용하기 위해서는 NPB-MZ의 하이브리드 병렬화 기법을 이용하여 알고리즘을 재작성해야 한다. 따라서 본 논문에서 실험한 NPB-MZ 코드는 NPB BT-MZ 3.3 버전을 이용한다.

IV. 계산 결과

타키온 및 고성능 컴퓨팅시스템에서 효율적인 로드 밸런싱(load-balancing)은 병렬 컴퓨팅을 제대로 활용하기 위해서 매우 중요한 기법이다. 멀티존에서 오버랩핑

메쉬를 이용한 응용연구를 위한 많은 로드밸런싱 알고리즘들이 있지만, NPB BT-MZ에서는 가장 간단한 빈-팩킹(bin-packing) 루틴을 이용하여 컴퓨팅 노드간의 일-균등 전략을 구현한다[8]. NPB BT-MZ는 멀티존의 개수 N 이 NG 개의 그룹을 각각의 프로세스로 매핑하는 알고리즘을 이용한다. 하이브리드 컴퓨팅 기법에 있어서 로드밸런싱의 목적은 노드-노드 간 통신부하를 최소화하기 위한 것으로 각각의 존 그룹에 각각의 프로세스를 할당하는 방법을 택한다[9]. 즉, 각각의 계산노드 사이에는 MPI를 이용한 분산메모리에서 병렬화를 수행하고, 각 노드 내에서는 16개의 스레드 범위 내에서 공유 메모리로 OpenMP를 이용하여 병렬화를 한다. 한 가지 주의할 점은 타키온 시스템의 경우 NUMA 콘트롤이 잘 되어 있어야만 노드내에서 공유-분산 메모리 사이에서의 작업 분배를 잘 고려할 수 있다.

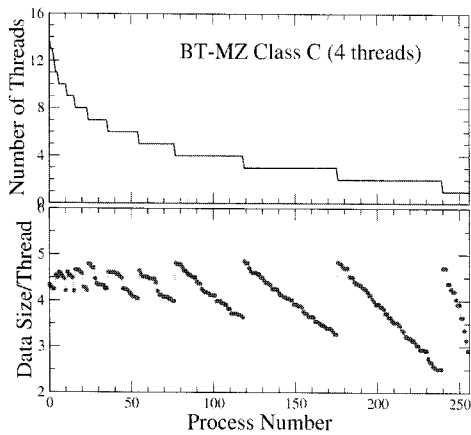


그림 1. 타키온 계산노드 각각에 분포된 스레드 개수(위), 빈-팩킹 알고리즘을 이용한 NPB BT-MZ C 클래스의 로드밸런싱 분포(아래).

Fig. 1 The number of thread which distributes each Tachyon calculate node[upper], Load balancing distribution of NPB BT-MZ C class with bin-packing algorithm[lower].

그림 1은 타키온 1차시스템에서 벤치마크 코드인 NPB BT-MZ의 C 클래스를 이용한 로드밸런싱의 성능을 시험한 것이다. 타키온은 노드당 16 프로세서(코어)를 갖고 있는 NUMA 환경으로 각각의 노드는 16 스레드를 넘지 않도록 분배를 할 경우 최대의 성능을 발휘한다. 이

성능시험에서는 총 256 MPI 프로세스와 평균 4개의 OpenMP 스레드를 이용하여 총 1024 프로세서를 이용한 빈-팩킹 알고리즘을 테스트 한 것이다.

빈-팩킹 알고리즘을 적용한 후 최대 13개의 스레드가 한 개의 프로세서에서 발생된다. 가장 적은 개수의 스레드는 256개 프로세서에서 1개가 할당되었고 빈-팩킹 알고리즘에 의해서 분포된 스레드 당 데이터 사이즈는 거의 모든 프로세서에서 표준편차가 크게 나타났다. 그러나 이 같은 결과는 분포가 어느 정도 균일하게 분포되었음을 나타내는 결과이다. 이것으로 빈-팩킹 알고리즘이 BT-MZ에서 4개의 스레드 이하에서 잘 작동하고 있다는 것을 알 수 있다. 실제로 빈-팩킹 알고리즘을 적용하지 않을 경우는 각각의 존에 해당하는 메쉬가 매우 불규칙하게 되어 정상적인 로드밸런싱이 어렵기 때문에 성능 확장성을 예상하기 또한 매우 어렵게 된다.

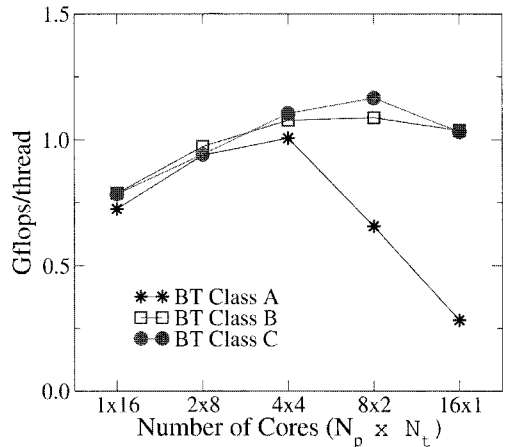


그림 2. 타키온 계산노드 1개에서 16코어를 이용한 NPB BT-MZ 3개의 클래스의 성능.

Fig. 2 Performance using three NPB BT-MZ class in one Tachyon calculate node with 16 cores.

그림 2는 타키온 계산노드 내에서 NPB BT-MZ A, B, 그리고 C클래스에 대하여 하이브리드 병렬 컴퓨팅 기법을 적용 했을 때 계산하여 얻은 스레드 당 성능을 그린 것이다. 하이브리드 병렬 컴퓨팅의 경우는 최외각 루프에 대해서 MPI로 계산한다. 이 때 요구되는 MPI 프로세스 개수를 N_p 라 하면 각각의 MPI 프로세서에서 발생하

는 OpenMP 쓰레드 개수는 N_t 로 나타내고 총 사용된 프로세스(코어) 수는 16개로 제한한다. 그림 2에서 BT-MZ A클래스의 경우 총 허용 가능한 MPI 프로세스는 16개이기 때문에 로드밸런싱은 가장 좋지 못한 결과를 보여주고 있다. A 클래스에서는 $N_p \times N_t = 4 \times 4$ 조합일 때가 장 우수한 성능을 보여준다. 물론 전부 OpenMP로 컴파일하여 계산을 할 수도 있으나 이 경우도 로드밸런싱에 문제가 발생하여 성능 저하로 이어진다.

한편 B와 C클래스는 서로 비슷한 경향을 보여주고 있다. 최대 허용 가능한 프로세스 개수는 클래스 B와 C에서 각각 64와 256이므로 이들 클래스의 경우 하이브리드 작업에서 이미 그 효과가 적용되었다. 또한 순수한 MPI 계산이 순수한 OpenMP 계산에 비하여 더욱 좋은 성능을 보여주었다. 이는 계산노드에서 4개의 소켓 사이에서 주고받는 데이터 통신 경로와 밀접한 연관이 있는데, 타키온에서는 NUMA 컨트롤을 통하여 보다 상세한 하이브리드 병렬계산을 조절해야 한다.

병렬컴퓨팅에서 그 시스템의 성능을 시험하기에 좋은 메트릭은 성능 확장성(Speedup)이다. 하이브리드 컴퓨팅 모델에서 성능 확장성 S_{sp} 는 식(1)과 같이 프로세스 1개를 사용했을 때의 계산시간 t_1 을 총 프로세스 (MPI+OpenMP) N개를 사용했을 때의 계산시간 t_N 의 비율로 나타낼 수 있다.

$$S_{sp} = \frac{t_1}{t_N} \quad \text{식 (1)}$$

단, 계산노드 사이의 통신 코스트는 고려하지 않고 실제 실행시간이 총 계산시간에 거의 근접한 것으로 가정한다.

그림 3에서는 BT-MZ B 클래스의 성능 확장성을 계산한 것으로 평균 쓰레드를 1, 2, 4, 그리고 8개를 이용한다. 순수한 MPI 계산 결과를 보면 16개 프로세서 이상에서 그 성능확장성이 거의 없다. 그 이유는 더 이상 추가 적용할 쓰레드가 없기 때문이다. 하지만, 쓰레드 개수를 늘리면 전체 성능 확장성은 매우 우수하게 보인다. 이 결과는 하이브리드 컴퓨팅 기법의 우수함을 보여주는 것으로, 타키온 1차 시스템처럼 공유-분산 메모리 환경에서 매우 효율적인 병렬컴퓨팅 기법임을 알 수 있다.

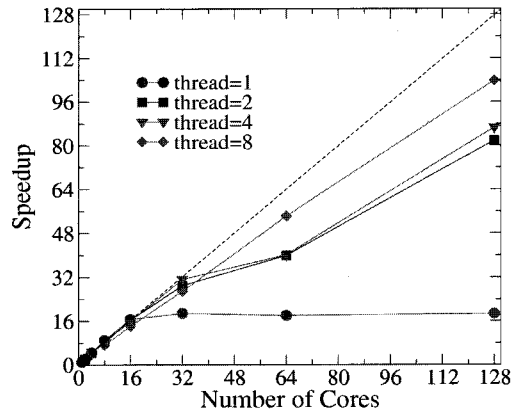


그림 3. 타키온에서 NPB BT-MZ B 클래스의 하이브리드 컴퓨팅 성능확장성.
Fig. 3 Hybrid computing performance scalability of NPB BT-MZ B class on Tachyon.

또한 타키온 시스템이 노드 간 MPI 통신 및 노드 내에서 소켓 사이의 NUMA 환경이 잘 설치되어 있음을 알 수 있다.

NPB BT-MZ B클래스에 대한 계산시간과 통신시간에 따른 비교는 그림 4와 같다. 그림 4에서 rhs(right-hand side)와 (xyz)solve는 핵심 ADI(Alternating Direction Implicit) 루틴에 대한 계산 시간 부분이고, exch_qbc는 멀티존 사이의 경계값 교환에 따른 경과시간을 나타낸다. 이 exch_qbc 값이 하이브리드 병렬프로그램에서 통신의 대부분을 차지하는 곳이다.

그림 4에서 판넬은 순수한 MPI 프로그램을 64개의 프로세서를 이용한 결과를 보여주고 있다. 그림에서 rhs와 (xyz)solve는 프로세스의 증가에 따라서 점차적으로 감소함을 보여주고 있다. 반면에 통신량인 exch_qbc의 비율은 프로세스의 증가에 따라서 꾸준히 증가함을 보여주고 있다. 이러한 결과로서 그림 3에서 보인 쓰레드 개수가 1일 때 확장성이 우수하지 않은 것이 설명된다. 실제로 bin-팩킹 알고리즘을 이용하지 못하기 때문에 BT-MZ B 클래스의 경우 순수한 MPI 계산이 가장 성능이 떨어진다. 하지만 쓰레드 개수가 2일 경우, (xyz)solve의 비율이 64프로세서까지 유지된다. 특히 exch_qbc의 비율도 순수한 MPI에 비하여 많이 줄어든 것을 알 수 있다. 이 처럼 NPB BT-MZ 알고리즘은 하이브리드 병렬컴퓨팅에 매우 적합한 성능 벤치마크 프로그램임을 알 수 있다.

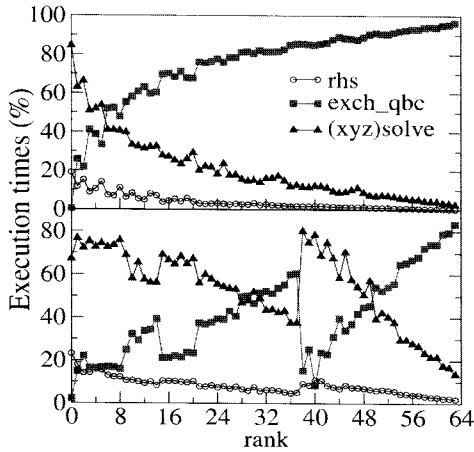


그림 4. 타키온에서 평균 쓰레드 개수 1과 2에 따른 BT-MZ B 클래스 계산 시간 프로파일링.
Fig. 4 According to average thread number 1 and 2, BT-MZ B class time computing profiling

결론적으로 NPB BT-MZ 프로그램은 타키온처럼 멀티코어 환경에서 성능을 검증할 수 있는 매우 유용하면서 특성화된 코드라고 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 최근에 도입된 멀티코어 환경의 타키온 시스템을 NPB BT-MZ 프로그램을 통한 성능 측정을 통하여 타키온 시스템의 안정성 및 확장성을 살펴 보았다. NPB BT-MZ 프로그램은 멀티존으로 코딩되어 있어서 다양한 하이브리드 병렬화 방법으로 성능을 테스트 할 수 있다. 본 논문에서 사용한 하이브리드 기법은 MPI+OpenMP로 가장 보편적으로 사용하고 있는 병렬화 기법이다. 멀티존에서는 로드밸런싱이 가장 중요한데 이를 위해서 BT의 빈-팩킹 알고리즘을 사용하였다. 이 알고리즘은 매우 쉽게 로드밸런싱을 할 수 있지만, 기본적으로 매우 많은 쓰레드가 있다는 사실을 가정하고 작성되었다. 따라서 타키온은 1차 시스템처럼 노드 당 16개의 쓰레드로 제한되어 있는 경우에는 빈-팩킹 알고리즘 사용에 있어서 특별한 주의가 필요하다. 빈-팩킹 알고리즘을 통한 쓰레드 할당량이 16보다 클 경우에는 적절한 제한을 가하는 알고리즘의 수정이 필

요하다. 향후 타키온 2차 시스템의 성능을 시험할 경우, 이처럼 빈-팩킹 알고리즘을 업그레이드하여 사용해야 할 것이다.

참고문헌

- [1] 슈퍼컴퓨터 Top500: <http://www.top500.org>
- [2] NPB: <http://www.nas.nasa.gov/Software/NPB>
- [3] 타키온(KISTI): <http://www.ksc.re.kr>
- [4] D. Bailey, J. Barton, T. Lasinski, and H. Simon, "The NAS Parallel Benchmarks," NAS Technical Report RNR-91-002, NASA Ames Research Center, 1991.
- [5] R.F. Van der Wijngaart, H. Jin, "The NAS Parallel Benchmarks, Multi-Zone Versions," NAS Technical Report NAS-03-010, NASA Ames Research Center, 2003.
- [6] H. Jin, R.F. Van der Wijngaart, "Performance Characteristics of the Multi-Zone NAS Parallel Benchmarks," J. of Parallel and Distributed Computing, special issue, ed. B. Monien, Vol. 66, No. 5, 2006, p674.
- [7] I. Foster, C. Kesselman, S. Tuecke, "The Anatomy of the Grid: Enabling Scalable Virtual Organizations," International J. Supercomputer Applications, 2001.
- [8] Michael Aftosmis, Marsha Berger, Rupak Biswas, M. Jahed Djomehri, Robert Hood, Haoqiang Jin, Cetin Kiris, "A Detailed Performance Characterization of Columbia using Aeronautics Benchmarks and Applications," wg, global grid forum, June 2002.
- [9] Haoqiang Jin, Barbara Chapman, Lei Huang, "Performance Evaluation of a Multi-Zone Application in Different OpenMP Approaches," NAS Technical Report NAS-07-009.

저자소개



박남규(Nam-Kyu Park)

2000. 8 충북대학교 정보통신공학과
학사

2004. 2 충북대학교 전기전산공학과
석사

2009. 2 현재 충북대학교 컴퓨터공학과 박사수료

2000. 8~현재 충북대학교 전산정보원 조교

※관심분야: 유비쿼터스 네트워킹, 디지털 방송 통신,
모바일 컴퓨팅, HPC, 병렬프로그래밍



정윤수(Yoon-Su Jeong)

1998. 2 청주대학교 전자계산학과
학사

2002. 2 충북대학교 대학원
전자계산학과 석사

2008. 2 충북대학교 대학원 전자계산학과 박사

2008. 3~2009. 8 충북대 및 한남대 시간강사

2009. 9~현재 한남대학교 산업기술연구소 전임연구원

※관심분야: 정보보호, 멀티미디어, 네트워크 보안,
이동통신, 유·무선 통신, 암호이론



이홍석(Hong-Suk Yi)

1991. 2 서강대학교 고체물리이론
학사

1993. 2 서강대학교 고체물리이론
석사

1997. 8 서강대학교 고체물리이론 박사

1999. 12~현재 한국과학기술정보연구원 (슈퍼컴퓨팅
센터) 선임연구원

2009. 9~현재 고려대학교 컴퓨터전파통신공학부
겸임교수

※관심분야: GPU 환경의 병렬컴퓨팅, 멀티코어
컴퓨팅 기술, Many-core 컴퓨팅 기술