

라즈베리파이 4 기반 병렬처리 시스템의 성능 평가

한현승, 김경하, 정승우, 장윤석

대진대학교 컴퓨터공학과

ab221025@daejin.ac.kr, 20181486@daejin.ac.kr, 20181519@daejin.ac.kr,
cosmos@daejin.ac.kr

Performance Evaluation on the Parallel Processing System with the Raspberry Pi 4

Hyeonseung Han, Kyungha Kim, Seungwoo Jung, Yunseok Chang
Department of Computer Engineering, Daejin University

요 약

병렬처리시스템이 설계와 구축에서 가장 중요한 관점 중의 하나는 비용 대비 성능이다. 본 연구에서는 라즈베리파이 4를 클러스터 방식으로 연결하여 병렬처리 시스템을 구축하였을 때, 클러스터의 병렬처리 성능이 다른 병렬처리 시스템과 유사한 확장성과 병렬처리 성능을 보여주는지를 HPL 벤치마크를 통하여 검증하였다. 실험 결과 라즈베리파이 기반의 병렬처리 시스템이 클러스터의 크기에 따른 병렬 확장성이 있고, 다른 병렬처리 시스템들과 유사한 처리 성능을 가질 수 있음을 확인하였으며, 이를 통하여 라즈베리파이와 같은 저가의 처리장치로도 충분한 크기의 클러스터를 구성할 경우 높은 성능을 기대할 수 있음을 알 수 있다.

키워드: 라즈베리파이(Raspberry Pi), 클러스터(Cluster), 병렬처리시스템(Parallel Processing System), HPL 벤치마크(HPL Benchmark), 확장성(Scalability)

1. 서론

컴퓨터 클러스터는 여러 대의 컴퓨터를 연결하여 하나의 컴퓨터처럼 작동시키는 것을 의미한다. 최근의 클러스터 시스템들은 대부분 병렬처리 기술을 기반으로 구축되고 있는데, 고성능의 클러스터를 구축하는 것은 비용이 고가일 뿐만 아니라 물리적 공간 확보, 하드웨어 구성 등 여러 가지 측면에서 볼 때 쉬운 일이 아니다.[1] 따라서 가능한 한 낮은 비용으로 높은 성능을 낼 수 있는 병렬처리 시스템 구축 기술은 고성능이면서 소형의 클러스터를 구축하는 데에 없어서는 안 될 기술적 문제이다. 이러한 비용 대비 성능에 대한 문제를 돌파할 하나의 방법으로 본 논문에서는 저렴한 비용으로 쉽게 사용할 수 있는 라즈베리파이 4(Raspberry Pi 4)와 고속 네트워크 스위치를 사용하여 클러스터 구성하고, 이 클러스터가 병렬처리 시스템으로서의 활용 가능성이 있을 만큼 충분한 병렬처리 성능을 낼 수 있는지를 HPL(High Performance Linpack) 벤치마크를 통하여 검증하고자 하였다. 클러스터가 병렬처리 시스템으로서의 가치와 활용성을 가지기 위해서는 클러스터의 상호연결망(Interconnection network)에 연결되는 처리 노드(PE: Processing Element)의 수가 증가함에 따라서 처리 성능이 증가되는 확장성이 있어야 한다. 또한, 클

러스터의 구성에 사용되는 처리 노드와 상호연결망을 구성하는데 드는 비용 대비 충분한 처리 성능을 나타낼 수 있어야 한다. 본 연구에서 사용된 클러스터는 라즈베리파이 4를 처리 노드로 사용하고, 기가비트 속도의 네트워크 스위치를 사용하여 상대적으로 저가의 클러스터를 구성하고 벤치마크를 수행하였다. 또한, 본 연구에서 제시한 클러스터 시스템의 성능을 상대적으로 비교, 평가하기 위하여 다중 코어 구조를 가지는 멀티프로세서 시스템에 대하여 동일한 벤치마크를 수행하고 그 결과를 상호 비교 평가함으로써 본 연구에서 제시한 클러스터의 가치와 활용성을 입증하였다.

2. 시스템 구성

2.1 클러스터의 구축

본 연구에서 사용한 클러스터는 최대 16대의 라즈베리파이 4와 1Gbps 이더넷 스위치로 구성되어 있다. 각각의 라즈베리파이 4는 클러스터의 노드가 되는데 이 중에서 1개의 노드는 클러스터의 마스터 노드로 설정하고, 나머지 15개의 노드는 슬레이브 노드로 설정하였으며, 각 노드들은 이더넷 네트워크 스위치로 연결하여 Fig. 1과 같은 클러스터를 제작하였다.[2] 각 노드에는 라즈비안(Raspbian) 운영체제가 설치되어 있고, HPL 벤치마크 프로그램을 설치

하여 시스템 구성에 따라서 다양한 조건의 벤치마크가 실행될 수 있도록 하였다. 이 클러스터와의 병렬처리 성능 상호 비교를 위하여 사용하는 시스템으로는 4개의 코어로 8개의 스레드를 동시에 실행할 수 있는 인텔의 Core i5 CPU를 사용하는 iMac을 선택하였다. 라즈비안 운영체제를 사용하는 라즈베리파이 노드와 가능한 한 유사한 조건의 HPL 벤치마크 환경을 제공하기 위하여 iMac 시스템에는 Ubuntu 운영체제를 설치하여 실험에 사용하였다. Table 1은 클러스터에 사용한 라즈베리파이 4 노드와 iMac의 시스템 사양을 나타낸다.



Fig. 1 Raspberry Pi 4 Cluster

Table 1 Raspberry Pi 4 vs. iMac System Configurations

	Raspberry Pi 4	iMac
CPU	ARM Cortex-A53 1.4GHz	Core i5-4570, 4-Core, 8-Thread
RAM	4GB	24GB
O/S	Raspbian 5.15 (Debian 11)	Ubuntu 18.4

2.2 HPL 벤치마크 구성

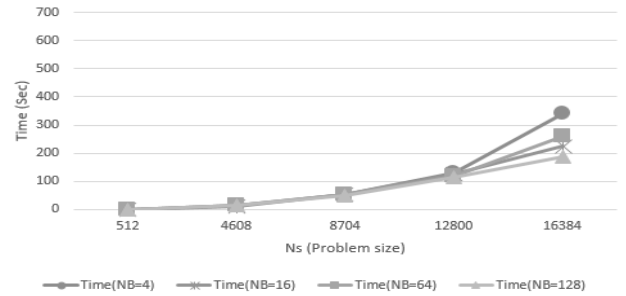
HPL(High Performance Linpack) 벤치마크는 지난 40년간 전 세계 슈퍼컴퓨터의 성능을 평가하는데 사용하는 Benchmark 프로그램으로 병렬처리 시스템의 성능 평가에 널리 쓰이고 있다[3]. HPL 벤치마크에서 중요한 성능 평가 지수는 처리시간과 처리량(Throughputs)이다. 여기서 처리시간이란, HPL에서 설정되는 여러 개의 연산 조건 조합(N, NB, P, Q)에서 한 번의 xhpl 명령 실행을 통하여 일괄적으로 자동 계산을 수행하는 데 걸리는 실제 연산 소요시간으로 *Time* 으로 표시된다[4]. 처리량은 HPL의 수행에 의해서 처리되는 연산 데이터의 양으로 *Gflops* 단위로 표시된다. Table 2는 벤치마크 실험에 사용된 HPL의 연산 조건 인자들을 설정하는 HPL.dat에 포함되는 각 인자들을 나타낸다[5].

Table 2 실험에 사용된 HPL.dat의 실행 연산 조건 인자

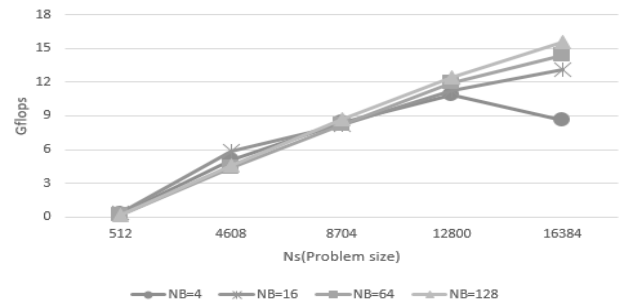
N	실행하려는 문제 크기의 수 지정
NB	실행할 블록 크기의 수 지정
$PMAP$	MPI 프로세스를 플랫폼 노드에 매핑하는 방법 지정
P, Q	실행할 프로세스 그리드 수 지정 (P 는 행, Q 는 열)
$BCAST$	브로드캐스트 링 수 지정

3. 실험 결과

Fig. 2는 라즈베리파이 4 클러스터에서 문제 크기(Problem size)를 512에서 16,384까지 512씩 증가시키면서, NB 을 4, 8, 16, 32, 64, ..., 256으로 각각 설정하였을 때의 벤치마크 결과를 나타내고 있다. 여기서 $P \times Q$ 는 4x4로 설정하였다.



(a) $Time (P, Q) = (4, 4)$

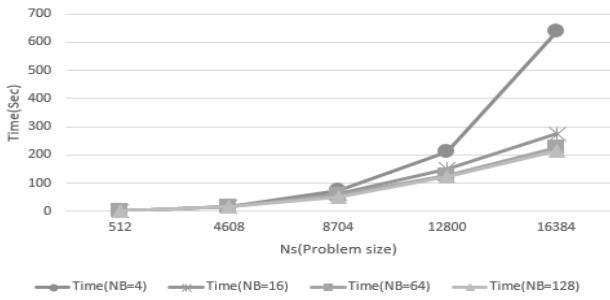


(b) $Throughputs (P, Q) = (4, 4)$

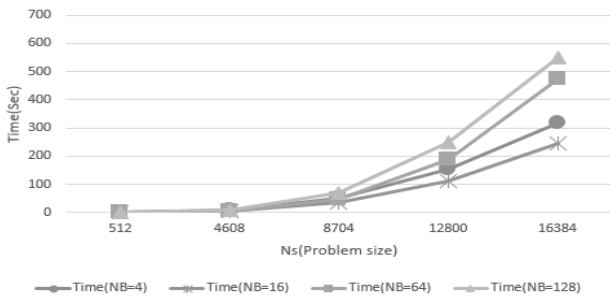
Fig. 2 Time & Throughputs Raspbian

Fig. 2a의 결과는 Problem size가 증가함에 따라 연산 소요시간이 어느 정도 선형적 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 또한, 연산 처리량도 Fig 2b에서 보는 바와 같이 Problem size가 증가함에 따라서 대략적으로 선형 특성을 나타내고 있다. 그러나 Problem size가 일정 크기 이상(12,800)을 초과할 경우에는 NB 의 값이 작아질수록 연산 시간이 크게 증가하고 처리량이 급격하게 저하되는 것으로 나타났다. 이는 각 노드에서의 한꺼번에 연산 처리할 수 있는 데이터 블록의 크기에 관계되는 결과이기 때문에 라즈베리파이를 노드로 사용하는 경우에는 NB 의 값이 16

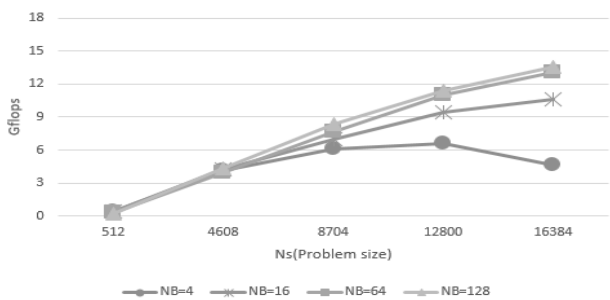
이상일 경우에 비교적 선형적인 성능을 얻을 수 있음을 알 수 있다.



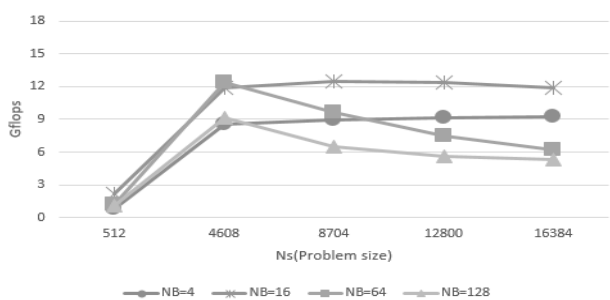
(a) $Time(P, Q) = (2, 4)$ Raspbian



(b) $Time(P, Q) = (2, 4)$ Ubuntu



(c) $Throughputs(P, Q) = (2, 4)$ Raspbian



(d) $Throughputs(P, Q) = (2, 4)$ Ubuntu

Fig. 3 Time & Throughputs Raspbian vs Ubuntu

Fig. 3은 HPL 벤치마크를 라즈베리파이 4 클러스터와 iMac에서 각각 실행한 결과를 비교한 것이다. 이 실험에서는 iMac의 Core i5 CPU에서 동시 처리 가능한 Thread의 수가 8개이기 때문에, 라즈베리파이 클러스터에서도 8개의 노드를 사용하였다. Fig 3a와 Fig. 3b의 결과는 라즈베리파이 4 클러스터가 iMac에 비하여 더 낮은 연산 시간을

소요하는 것을 보이고 있다. 이는 Fig. 3c, Fig. 3d에서의 처리량 비교에서도 유사한 결과를 볼 수 있다. 특히 처리량의 경우, 라즈베리파이 클러스터는 Problem size와 NB 값의 증가에 대하여 비교적 선형적인 처리 성능을 보여주는 데에 반하여 iMac에서는 처리 성능이 급격하게 낮아지는 결과를 볼 수 있다. 이는 같은 동시 처리 능력에서도 Problem size와 NB 값에 대하여 모두 라즈베리파이 클러스터가 더 우수한 성능을 가지고 있음을 보여주고 있다. 따라서 Core i 시리즈와 같은 비교적 고가의 CPU를 탑재하고 있는 서버 시스템들을 구축하는 비용에 비하여 라즈베리파이 클러스터의 구축 비용이 저렴하다는 사실로 볼 때, 비록 iMac과 Core i5 CPU가 병렬처리를 목적으로 구성된 시스템이 아니라 사실을 감안하더라도, 라즈베리파이를 노드로 사용하는 클러스터 시스템이 병렬처리 능력을 가지는 다른 시스템에 비하여 높은 비용 대 성능비를 가질 수 있다는 결과를 얻을 수 있다.

4. 결론

일반적으로 고성능의 CPU를 사용하여 병렬처리 시스템을 구축하는 것은 고가일 뿐만 아니라 물리적 공간 확보와 시스템 구성 등 여러 측면에서 볼 때 쉬운 일이 아니다. 본 논문에서는 비교적 저비용으로 병렬처리 시스템을 구축할 수 있도록 라즈베리파이 4를 이용하여 클러스터 구성하고, HPL 벤치마크를 사용하여 성능을 평가하여 클러스터의 특성을 분석하였으며, 다른 CPU 구성을 가지는 시스템과 비교 평가함으로써 라즈베리파이로 구성하는 클러스터 시스템이 비교적 우수한 비용 대 성능을 보일 수 있음을 확인하였다. 향후에는 16개 이상의 라즈베리파이 노드를 사용하고, 보다 큰 Problem size와 NB 값에 대하여 지속적인 벤치마크 실험을 수행함으로써 기존의 병렬처리 시스템들과의 수평적인 비교를 통한 라즈베리파이 클러스터의 비용대 성능비에 대한 연구와 실험을 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] 정용재 외 1인, “라즈베리 파이 클러스터 환경에서의 병렬 프로그래밍”, 한국컴퓨터정보학회 동계학술대회 논문집, pp 477-478, 2014.
- [2] 강석원 외 3인, “라즈베리 파이를 이용한 병렬처리 시스템 구축”, 한국콘텐츠학회 종합학술대회 논문집, pp. 21-22, 2017.
- [3] Jack Dongarra 외 2인, “High-performance conjugate-gradient benchmark: A new metric for ranking high-performance computing systems”, International Journal of High Performance Computing Applications February, pp. 3-10, 2015.
- [4] <https://netlib.org/benchmark/hpl/tuning.html>.
- [5] <https://netlib.org/benchmark/hpl/tuning.html>.