

네트워크 컴퓨팅 기술을 활용한 확장 가능형 빅데이터 스토리지 시스템 개발

박정규¹ · 박은영^{2*}

Development of scalable big data storage system using network computing technology

Jung Kyu Park¹ · Eun Young Park^{2*}

¹Assistant Professor, Department of Computer Software Engineering, Changshin University, Changwon-si 51352 Korea

^{2*}Research Professor, Department of Biomedical Laboratory Science, Shinhan University, Uijeongbu-si, 11644 Korea

요 약

4차 혁명시대가 시작됨에 따라 다양한 장비들이 클라우드 기반으로 동작하고 있다. 이와 기기들은 다양한 형태의 데이터 또는 대용량의 멀티미디어 데이터를 계속 생성하고 있다. 이런 상황을 처리하기 위해서는 대용량의 저장장치가 필요하며 또한 저장된 데이터를 처리하고 정확한 정보를 얻기 위해서 빅데이터 기술이 필요하다. 일반적으로 네트워크 환경에서 대용량의 저장장치를 구축하기 위해서는 SAN 또는 NAS 기술이 사용된다. 본 논문에서는 DAS(Direct Attached Storage)의 확장기술인 Network-DAS를 사용하여 대용량 저장장치를 구성하는 방안을 제시한다. 논문에서 제시하는 스토리지 시스템의 확장성과 성능을 검증하기 위해 76개의 하드 디스크를 이용하여 벤치마크 실험을 수행하였다. 실험 결과 제안하는 고성능 대용량 스토리지 시스템의 확장성과 신뢰성을 검증하였다.

ABSTRACT

As the Fourth Industrial Revolution era began, a variety of devices are running on the cloud. These various devices continue to generate various types of data or large amounts of multimedia data. To handle this situation, a large amount of storage is required, and big data technology is required to process stored data and obtain accurate information. NAS (Network Attached Storage) or SAN (Storage Area Network) technology is typically used to build high-speed, high-capacity storage in a network-based environment. In this paper, we propose a method to construct a mass storage device using Network-DAS which is an extension technology of DAS (Direct Attached Storage). Benchmark experiments were performed to verify the scalability of the storage system with 76 HDD. Experimental results show that the proposed high performance mass storage system is scalable and reliable.

키워드 : 빅데이터, 스토리지, 네트워크-DAS, 확장성, 네트워크 컴퓨팅

Keywords : Big Data, Storage, Network-DAS, Scalability, Network Computing

Received 21 July 2019, Revised 26 July 2019, Accepted 2 September 2019

* Corresponding Author Eun Young Park(E-mail: 71eypark@gmail.com, Tel:+82-55-250-1312)

Research Professor, Department of Biomedical Laboratory Science, Shinhan University, Uijeongbu-si, 11644 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2019.23.11.1330>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

4차 산업혁명이 시작됨에 따라 다양한 환경에서 클라우드 서비스가 사용되고 있다. 미국의 IT, 통신, 소비자 기기 등의 시장 조사 및 컨설팅 기관인 IDC의 2017년 보고서에 따르면 2017년 생성된 데이터는 약 25 제타 바이트이며 약 8년 후인 2025년에는 7배 증가한 175 제타 바이트가 될 것이라고 예측하고 있다 [1]. 그림 1은 IDC의 예측 결과를 보여준다. 이 전망 결과는 한 해 전 발표한 보고서의 2025년 전망치 보다 약 9%가 증가하였다. 이는 PC, 스마트폰, IoT 장치 등과 같은 다양한 장치에서 생성되는 다양한 형태의 데이터가 꾸준히 증가하고 있음을 의미한다.

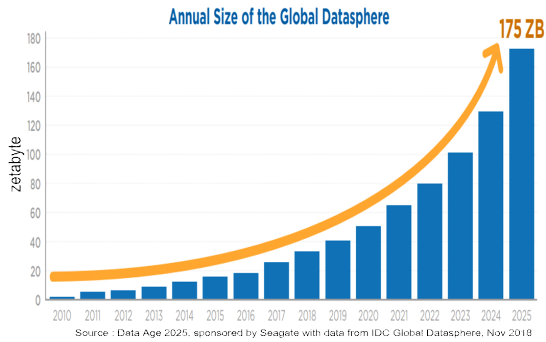


Fig. 1 Annual Size of the Global Datasphere [1]

컴퓨팅 성능이 점점 더 분산되고 클라우드로 이동하면서 일상적인 IoT 장치와 인프라의 데이터가 분산 처리되고 있다. 그러나 데이터를 분산하거나 다시 모아 유의미한 데이터를 생성하는 분산 처리 프레임워크를 수행해야 한다. 분산 처리 프레임워크가 동작하기 위해서는 나누어져 있는 서버에서 데이터를 빠르게 읽어 와서 서버 간에 많은 데이터 송/수신이 필요하다. 이처럼 빅데이터의 분산 처리에서 가장 큰 문제점은 많은 네트워크 통신과 저장장치의 성능이라 볼 수 있다. 앞의 문제를 해결하기 위한 고속 빅데이터 스토리지 프레임워크를 구축하기 위해서는 네트워크와 스토리지의 I/O 성능 향상이 요구된다 [2-5].

기존의 스토리지 시스템 DAS는 (Direct Attached Storage) 단일 서버 시스템에 장착되어 스토리지의 용량을 증가시키거나 I/O 성능을 향상하는 목적으로 사용되었다. 보통 다수의 하드 디스크를 묶어 하나의 논리 디

스크로 사용할 수 있도록 RAID(Redundant Array of Independent Disks) 기술을 적용하였다. RIAD 기술을 이용하여 I/O 성능을 향상시키고 스토리지 시스템의 신뢰성을 높일 수 있다 [6, 7]. 그러나 클라우드와 같은 네트워크 기반의 대규모 스토리지 시스템을 구성하기 위해서는 NAS (Network Attached Storage) 또는 SAN (Storage Area Network) 기술이 사용된다 [8-10]. 그러나 NAS 또는 SAN을 사용하기 위해서는 많은 비용을 들여 새로운 장비를 구축해야 하며 성능 제한의 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해서는 본 논문에서는 네트워크에 직접 연결하는 스토리지 (NDAS, Network Direct Attached Storage) 기반으로 고성능의 대용량 스토리지를 구축하고 이를 평가하였다 [11].

논문에서 사용한 NDAS는 기존 NAS, SAN과 다른 형태의 스토리지 장치로 CPU와 메모리가 존재하지 않는다. 이런 이유로 대용량 스토리지를 구축하기 위한 비용이 기존 스토리지 장치에 비해서 더 적게 사용될 수 있다. 또한, 기존 스토리지 시스템은 TCP/IP 프로토콜을 사용하였으나 NDAS에서는 새로운 하드웨어에 맞게 만들어진 LPX (Lean Packet Exchange) 프로토콜을 사용한다. NDAS 장비는 LPX 프로토콜을 사용하여 디스크와 직접 I/O를 진행하여 기존 네트워크에서 발생하는 I/O 성능을 최소화 시키고 있다. 논문에서는 NDAS를 사용하여 고성능 대용량의 스토리지 시스템을 제안하고 실험을 통해 성능과 안정성을 검증하였다.

논문은 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 설명한다. 3장에서는 NDAS 스토리지 시스템 구조에 관해서 설명하고 4장에서는 실험 결과를 설명한다. 마지막 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2장에서는 네트워크 환경에서 사용되는 스토리지 시스템인 NAS와 SAN에 대해서 설명한다.

2.1. NAS (Network Attached Storage)

기존에 단일 서버 환경에서는 파일 공유를 위해서는 파일 서버를 구축하여 사용하였다. 파일 서버에 있는 파일을 사용하기 위해서는 클라이언트별로 다양한 프로토콜을 사용하였다. 다양한 클라이언트가 사용되고 전

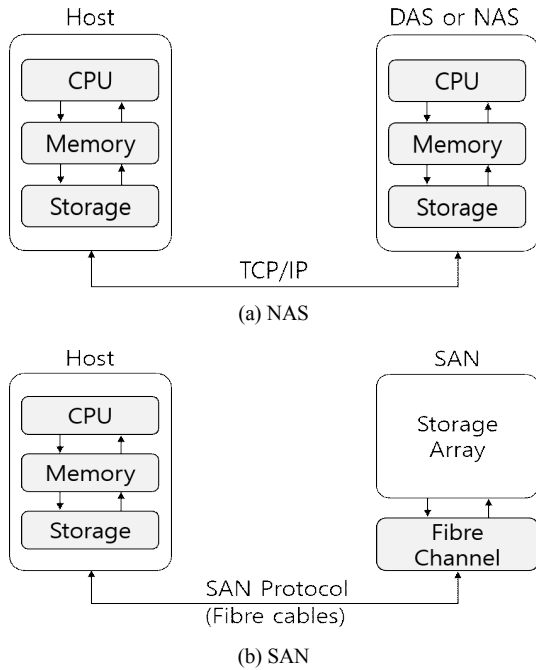


Fig. 2 Architecture of NAS and SAN

송되는 데이터가 다양해지고 양이 커짐에 따라 파일 서버의 I/O가 병목현상이 되었다. 시간의 변화에 따라 파일 서버는 I/O 문제를 해결해야 했고 다양한 서비스를 제공할 수 있도록 변화가 필요했다. 이 변화를 해결하기 등장한 것이 NAS이다. NAS는 파일 공유만 제공하는 파일 서버와 다르게 고성능의 I/O를 제공하기 위해 NAS 전용 운영체제를 사용하고 있다. 또한, 저장장치 하드웨어 성능을 최대화하기 위해 전용 하드웨어를 사용하고 있다. 기존 파일 서버는 일정 영역에서 파일을 공유하기 위해 사용되었지만, NAS는 네트워크가 연결된 곳에서는 어디서든 파일에 접근할 수 있기 때문에 최근에 많이 사용되고 있다 [8, 9].

그림 2(a)는 NAS의 구성을 보여주고 있다. NAS는 내부에 CPU와 메모리 그리고 디스크를 가지고 있으며 네트워크를 통해 스토리지에 접근하고 있다. 또한, 클라이언트는 네트워크를 통해 NAS에 직접 접근이 가능하다. 이때 클라이언트는 SMB, CIFS, AFP, NFS 등의 프로토콜을 사용할 수 있다. 그러나 NAS 내부 디스크 추가 공간이 한정되어 있어서 용량 추가 시 새로운 NAS를 추가해야 하는 비용이 들 수 있다.

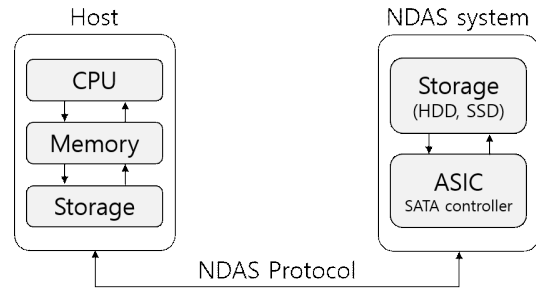


Fig. 3 Architecture of NDAS

2.2. SAN (Storage Area Network)

기존의 스토리지는 장비 바로 장착되는 DAS(Direct Attached Storage)가 일반적이었다. 그러나 DAS는 계속 증가하는 데이터의 양과 데이터의 전송 속도를 감당하기는 힘들었다. SAN은 이런 문제를 해결하기 위해 새로운 저장 기법으로 개발되었다. 현재는 SAN의 사용 비중이 급격히 상승하여 스토리지 시장에서 50% 이상을 차지하고 있다. SAN이 많이 사용되고 있지만, SAN을 구축하기 위해서는 몇 가지 고려 사항이 있다. 다양한 서버에서 스토리지를 공유하기 위해서는 SAN 전용 매니지먼트 소프트웨어가 필요하다. 또한, 기존 NAS와 달리 서버와 스토리지 사이에 Fibre Channel로 구성된 채널 스위치를 구성해야 한다. 이런 이유로 NAS에 비해 많은 비용이 요구된다 [10].

그림 2(b)는 SAN의 구성을 보여주고 있다. SAN에 장착된 저장장치는 서버에서 직접 블록 레벨 저장장치로 접근할 수 없다. 서버는 저장 장치에 접근하기 위해서는 SAN 프로토콜과 광케이블을 이용해야 한다. SAN은 빠른 속도를 제공하지만, NAS와 다르게 추가 하드웨어가 필요하고, 관리가 어렵다는 단점이 있다.

III. NDAS를 활용한 확장형 스토리지 시스템

3장에서는 확장형 스토리지 시스템 구축에 사용된 NDAS를 소개하고 이를 설명한다. 또한 NDAS를 이용한 시스템 구성에 관해 설명한다.

3.1. NDAS (Network Direct Attached Storage)

NDAS는 디지털 스토리지 기술로 기업에서 개발되

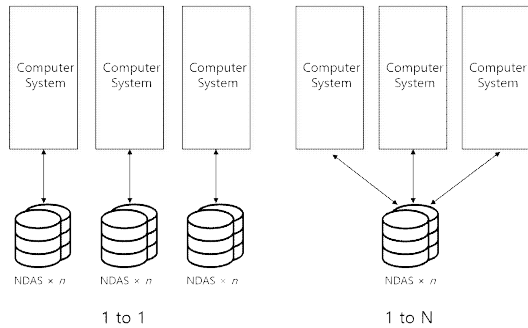


Fig. 4 Storage System using NDAS

어 기업이 특허를 가지고 있는 제품이다 [12]. NDAS는 DAS와 다르게 네트워크 또는 USB를 통해서 스토리지 장치에 접근할 수 있다. NDAS는 네트워크 접근을 위해서 기존과 같이 TCP/IP 프로토콜을 사용하지 않고 LPX (Lean Packet Exchange 프로토콜을 사용한다. LPX 프로토콜은 내부적으로 AoE (ATA over Ethernet) 프로토콜과 비슷하게 구성되어 있다.

그림 3은 NDAS의 구성을 표시하고 있다. 그림과 같이 NDAS는 CPU와 메모리가 없는 특별한 장치이다. NDAS는 ASIC(Application Specific Integrated Circuit)와 SATA 컨트롤러, 네트워크 포트로 구성되어 있다. NDAS에 내장된 ASIC는 대량 주문으로 저렴하게 구성할 수 있으며 이로 인해 NAS, SAN 보다 경제적이다. NDAS는 네트워크를 이용해서 연결되며 일반 적인 스토리지와 장치 블록 기반 데이터 I/O 작업이 가능하다. 이렇게 구성되어 데이터 I/O 할 때는 TCP/IP의 네트워크 스택을 이용하지 않기 때문에 네트워크 스택을 사용하는 오버헤드가 없다는 장점이 있다. 또한, 장치 별로 개별 ID를 부여하여 네트워크에 연결할 수 있기 때문에 쉽게 확장 가능하며 무한히 용량을 늘릴 수 있다.

3.2. NDAS를 이용한 스토리지 구성

NDAS를 이용해서 스토리지 시스템을 구성할 때 2가지 형태로 생각할 수 있다. 그림 4에 표시된 것과 같이 1 대 1 또는 1 대 N 방법이다. 1 대 1 방법은 스토리지 풀과 서버들을 1 대 1로 연결하는 것이다. 이 경우에는 각 서버가 스토리지 풀을 각자 가지고 있는 형태이다. 서버에 연결된 스토리지 풀은 서버 혼자 접근 및 관리를 수행하며 다른 서버에서는 바로 접속이 불가능하다. 1 대 N 방



Fig. 5 Storage Framework using NDAS

법은 다수의 서버가 대용량의 스토리지 풀에 연결되어 있는 형태이다. 이 경우에는 모든 서버가 스토리지에 모두 연결이 가능하다. 그러나 이 환경에서는 데이터 동기화 문제 및 경쟁 상태(Race condition)가 발생할 수 있다.

IV. 실험 및 결과

4.1. 실험 환경

논문에서는 NDAS를 이용해서 그림 5와 같이 대용량 스토리지 프레임워크를 제작하였다. 제작한 스토리지 프레임워크는 96개의 NDAS 보드, 76개의 HDD, 18개의 SSD를 사용하였다. 실험에 사용한 하드웨어와 소프트웨어 사양은 표 1과 같다. 스토리지 프레임워크 구성에서는 SSD를 사용하였지만, 이번 논문의 실험에서는 HDD로만 실험을 진행하였다.

Table. 1 Experiment Environment

Hardware	- Intel Core i7-4770 - 8GB Ram - Intel 1 Gbps NIC - Cisco 1Gbps Switch 3 EA - Seagate 1TB Barracuda 78 EA - Samsung 850 pro 128GB 18 EA
Software	- Linux CentOS 6.7 - NDAS Linux Driver 1.1.27

4.2. 단일 스토리지 성능

일반 시스템에 장착된 HDD와 NDAS에 장착된 HDD의 성능을 비교해 보기 벤치마크 실험을 진행하였다. 스

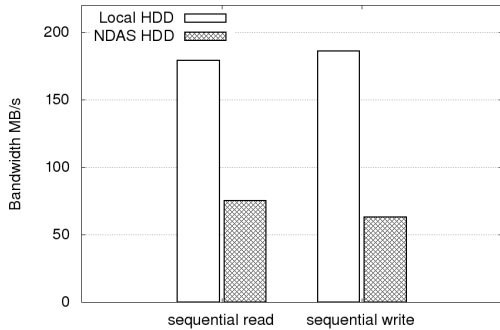


Fig. 6 Single Storage Performance

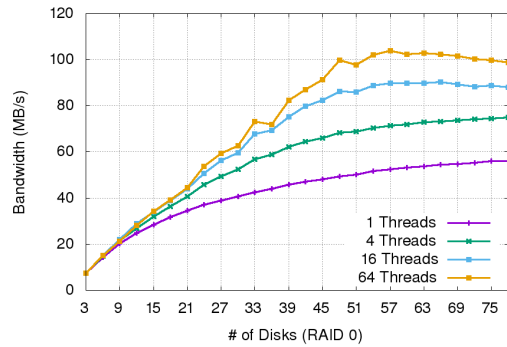
토리지의 성능을 분석해 보기 위해서 *fiio* 벤치마크를 이용하였다 [13]. *fiio*를 이용해서 시퀀셜 I/O 테스트를 수행하였으며 이때 블록의 크기는 4KB를 사용하였다. 그림 6은 단일 스토리지의 성능 실험 결과를 보여주고 있다. 시스템의 로컬 HDD에서 읽기는 179.05MB/s 쓰기 는 185.97MB/s를 보여주었다. NDAS의 HDD에서는 읽 기는 74.21MB/s 쓰기 는 61.34MB/s를 보여주었다. 실험 결과 NDAS 시스템은 시스템의 로컬 HDD와 비교하면 약 0.4배 정도 성능을 보여주었다. 이 성능을 보면 NDAS가 매우 느리게 보일 수 있으나 NDAS는 1Gbps 네트워크를 통해 연결되어 있기 때문에 로컬 HDD보다 느린 것이 정상이다. 그러나 NDAS를 이용해서 다수의 HDD를 묶어 속도를 향상시킬 수 있다.

4.3. 클러스터 스토리지 성능

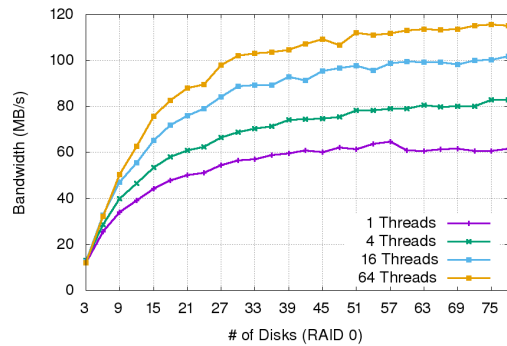
이 절에서는 4.2에서 수행한 단일 스토리지의 성능 실험에 발생한 NDAS의 성능의 문제점을 해결한다. 또한, NDAS 스토리지 프레임워크의 확장성을 확인하기 위해서 여러 개의 NDAS를 클러스터로 묶어 실험을 진행하였다. 실험에서는 NDAS의 개수를 늘리면서 RAID-0로 묶는 구성을 하였고 이때 성능을 분석하였다. 성능 분석을 위해서 *Trace replay* 소프트웨어와 실제 환경에서 추출한 워크로드를 사용하였다 [14]. *Trace replay*는 워크로드 파일을 사용하여 실제 환경의 입출력을 재현하고 스토리지의 대역폭을 분석하는 도구이다. 실험에서는 Financial, Exchange 서버에서 추출한 2개의 워크로드가 사용되었다. 표 2는 2개의 워크로드 특징을 보여 주고 있다.

Table. 2 Characteristics of Workloads

	Average size of I/O Request (KB)			Size of Total I/O (GB)		
	R	W	Total	R	W	Total
Exchange	5.9	5.6	11.5	38.3	36.1	74.4
Financial	1.1	4.9	5.9	3.1	13.9	17.08



(a) Result of Exchange workload



(b) Result of Financial workload

Fig. 7 Architecture of NAS and SAN

그림 7은 에서는 워크로드를 이용한 실험 결과를 보여주고 있다. 그림 7(a)에서는 Exchange 워크로드의 실험 결과를 보여주고 있다. Exchange 워크로드는 읽기/쓰기 비율이 5:5 정도로 읽기/쓰기가 거의 비슷하게 발생하고 있음을 알 수 있다. 이 실험에서는 디스크를 1개 부터 26개까지 늘려가면서 성능을 측정하였다. 또한, 작업하는 스레드를 1, 4, 16, 64개로 증가시켜가면서 실험을 하였다. 실험 결과 디스크가 1개부터 16까지는 꾸준히 성능이 증가하는 것을 볼 수 있고 16개 이후에는 성능이 계속 비슷한 것을 알 수 있다. 이 이유는 NDAS가 네트워크에 연결되어 있기 때문에 (1Gbps 스위치 및 NIC) 1Gbps 네트워크 최대 속도인 120MB/s를 보이고

있음을 알 수 있다.

그림 7(b)에서는 Financial 워크로드의 실험 결과를 보여주고 있다. Financial 워크로드는 읽기/쓰기 비율이 2:8 정도로 쓰기가 4배 정도 더 많이 발생하는 것을 알 수 있다. 이 실험에서는 디스크를 1개부터 78개까지 늘려가면서 성능을 측정하였다. 이 실험에서도 NDAS의 디스크가 1~20개 까지는 성능이 급속히 증가하고 있고 20개 이후부터는 네트워크의 최대 성능을 보이고 있다. 두 실험 결과를 종합하면 NDAS의 디스크가 증가하여도 네트워크의 최대 대역폭 해당하는 성능을 보임을 알 수 있다.

4.4. Gluster 파일 시스템 성능

Gluster 파일 시스템은 빅데이터 분산 파일 시스템으로 클라우드 컴퓨팅, 스트리밍 미디어 서비스, 콘텐츠 전송 네트워크 등의 서비스를 제공하기 위해서 많이 사용되는 되고 있다 [15]. 이 절에서는 NDAS 스토리지 프레임워크에 Gluster 파일 시스템을 구축하여 NDAS 시스템이 실제 시스템으로 사용할 수 있음을 보였다. GlusterFS는 대칭형 구조로 구성되며 메타 데이터 서버가 없는 특징을 가지고 있다. 또한, 동적 해싱 테이블을 사용하고 있다.

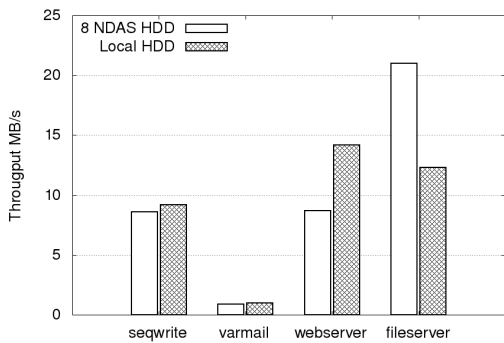


Fig. 8 Result of GlusterFS

그림 8은 GlusterFS 실험 결과를 표시하고 있다. 실험에서는 4개의 서버 노드를 구성하였으며 파일 벤치(filebench) 워크로드를 사용하였다. 각 4개의 서버는 8개의 NDAS 디스크를 사용하여 스토리지 풀을 구성하였다. 실험 결과 로컬 디스크와 비슷한 결과를 보였으며 특히 파일 서버 실험에서는 로컬 디스크가 12.5MB/s, NDAS가 21MB/s로 NDAS가 약 60% 이상 더 좋은 결과를 보였다.

4.5. 결과 종합

확장성 측면에서 NDAS는 개별 ID를 할당 받아 네트워크 바로 연결하면 되기 때문에 무한 확장이 가능하다. 그러나 로컬 HDD는 시스템에 따라 다르기는 하지만 연결할 수 있는 HDD의 제한이 있다. 신뢰성은 스토리지에 문제가 발생했을 때 데이터의 복구를 의미한다. NDAS는 RAID를 사용하여 데이터를 관리하기 때문에 데이터의 복구가 가능하다. 로컬 시스템의 HDD는 RAID 보다는 보통 개별 디스크로 사용되기 때문에 문제가 발생했을 경우 복구가 어렵다. 성능 측면도 신뢰성과 비슷한 점을 가지고 있다. NDAS의 경우 10Gbps 네트워크 장비와 RAID 구성을 통해 기본 1Gbps 네트워크 구성해 비해 이론상 10배의 성능을 낼 수 있을 것이다. 표 3에서 로컬 HDD와 NDAS의 결과를 정리하였다.

Table. 3 Performance Comparison of HDD and NDAS

	Local HDD	NDAS
Scalability	• Low - using single or multiple disks	• High - infinitely adding disk
Reliability	• Mid - using single storage	• High - using RAID
Performance	• Low - single disk speed	• High - speed up with RAID and 10 Gbps NIC

V. 결론

본 논문에서는 네트워크 스토리지 환경을 구성할 수 있는 NDAS를 소개하였다. NDAS을 사용하여 빅데이터 환경에서 대용량 스토리지 시스템을 구축할 수 있다. 이는 실험을 통해서 디스크가 증가할 때 최대 성능을 보이는 것을 검증하였다. 또한, NDAS에서 확장성이 있음을 보였다. 실제 클라우드 컴퓨팅 환경에서 사용되는 파일 시스템 실험 결과를 통해 실제 환경에서 사용될 수 있음을 보였다.

현재 NDAS 임베디드 보드는 상용시스템에 장착되어 판매가 되고 있어 일반 장비로 구매할 수 없다. 이런 이유로 많은 연구자가 장비를 구해서 실험할 수 없는 상태이다. 많은 연구자가 실험을 통해 장비를 검증하고 새로운 연구를 수행할 수 있도록 업체와 제품 판매에 관한 내용을 조율할 예정이다.

앞으로는 NDAS 스토리지 시스템의 성능을 더 향상시킬 수 있도록 디바이스 드라이버를 개선할 예정이다. 또한, 네트워크 스위치와 NIC를 10Gbps 기반으로 구성하여 실험할 예정이다. 또한, 네트워크 토폴로지 구성을 통한 성능 향상도 고려할 예정이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIP) (NRF-2018R1C1B5046282).

References

[1] IDC. DataAge 2025 whitepaper [Internet]. Available: <https://www.seagate.com/files/www-content/our-story/trends/files/idc-seagate-dataage-whitepaper.pdf>.

[2] J. Cha, and S. Kim, "Analysis of I/O Performance for Optimizing Software Defined Storage in Cloud Integration," in *Proceeding of the IEEE 3rd International Conference on Communication and Information Systems (ICCIS)*, Singapore: Singapore, pp. 222-226, 2018.

[3] J. Zhou, D. Dai, Y. Mao, X. Chen, Y. Zhuang, and Y. Chen, "I/O Characteristics Discovery in Cloud Storage Systems," in *Proceeding of the IEEE 11th International Conference on Cloud Computing (CLOUD)*, San Francisco: CA, pp. 170-177, 2018.

[4] J. Park, Y. Bae, and S. Jung, "Technical analysis of Cloud Storage for Cloud Computing," *International Journal of Information and Communication Engineering*, vol. 17, no. 5, pp. 1129-1137, May. 2013.

[5] S. M. Shin, and V. Roy, "Hybrid key-Based Encryption in Cloud Storage," *Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange*, vol. 2, no. 3, pp. 29-34, Sep. 2016.

[6] E. Tomes, and N. Altiparmak, "A Comparative Study of HDD and SSD RAIDs' Impact on Server Energy Consumption," in *Proceeding of the IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER)*, Honolulu: HI, pp. 625-626, 2017.

[7] T. Ariefianto, L. V. Yovita, and D. Olviyitha, "Performance analysis of AoE-SAN using bonding interface over RAID," in *Proceeding of the 2nd International*

Conference on Information and Communication Technology (ICoICT), Bandung: Indonesia, pp. 106-110, 2014.

[8] D. Li, Q. Wang, C. Guyot, A. Narasimha, D. Vucinic, Z. Bandic, and Q. Yang, "Hardware accelerator for similarity based data dedupe," in *Proceeding of the IEEE International Conference on Networking, Architecture and Storage (NAS)*, Boston: MA, pp. 224-232, 2015.

[9] A. Jaikar, S. A. R. Shah, S. Noh, and S. Bae, "Performance Analysis of NAS and SAN Storage for Scientific Workflow," in *Proceeding of the International Conference on Platform Technology and Service (PlatCon)*, Jeju, pp. 1-4, 2016.

[10] T. K. Okada, A. Goldman, and G. G. H. Cavalheiro, "Using NAS Parallel Benchmarks to evaluate HPC performance in clouds," in *Proceeding of the IEEE 15th International Symposium on Network Computing and Applications (NCA)*, Cambridge: MA, pp. 27-30, 2016.

[11] M. Selvagesan, and M. A. Liazudeen, "An Insight about GlusterFS and Its Enforcement Techniques," in *Proceeding of the 2016 International Conference on Cloud Computing Research and Innovations (ICCCRI)*, Singapore: Singapore, pp. 120-127, 2016.

[12] NDAS. Network Direct Attached Storage [Internet]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Network_Direct_Attached_Storage.

[13] fio. Flexible I/O tester [Internet]. Available: https://fio.readthedocs.io/en/latest/fio_doc.html.

[14] trace-replay. trace-replay [Internet]. Available: <https://github.com/yongseokoh/trace-replay>.

[15] Gluster. Gluster scalable network filesystem. [Internet]. Available: <https://www.gluster.org/>



박정규(Jung Kyu Park)

2002년 홍익대학교 컴퓨터공학과 석사
2013년 홍익대학교 컴퓨터공학과 박사
2014년~2016년 단국대학교 연구교수
2018년~현재 창신대학교 컴퓨터소프트웨어 공학과 교수

※관심분야: 운영체제, 임베디드시스템, 로보틱스



박은영(Eun Young Park)

2006년 경희대학교 교육학과(화학교육) 교육학석사
2014년 서울시립대학교 에너지환경시스템공학과 박사

2017년~현재 신한대학교 임상병리학과 연구교수
※관심분야: Nonlinear computer modeling, 폐기물 자원화, 환경화학