신호처리 · 시스템 학회 논문지 Vol. 17, No. 2 : 53~60 December. 2016

Gluster 파일시스템을 이용한 상관자료 수집 시스템 구축 및 시험고찰

염재환[1], 오세진[1], 노덕규[1], 정동규[1], 황주연[1,2], 오충식[1], 김효령[1]
[1]한국천문연구원 전파천문본부, [2]SET 시스템

A Study on the Test Results and Implementation of Correlated Result Saving System using the Gluster File System

Jae-Hwan Yeom[1], Se-Jin Oh[1], Duk-Gyoo Roh[1], Dong-Kyu Jung[1], Ju-Yeon Hwang[1,2], Chungsik Oh[1], Hyo-Ryoung Kim[1]
[1]Radio Astronomy Division, Korea Astronomy and Space Science Institute, [2]SET System

요 약 본 논문에서는 대전상관기의 전체 성능을 달성하기 위해 새로운 방식의 상관자료 수집장치의 구축과 시험결과에 대해 소개한다. 최근 한국우주전파관측망(Korean VLBI Network, KVN)의 최대 관측규격인 8Gbps 속도의 관측이 수행되고 있으며, 대전상관기를 이용한 상관처리도 요구되고 있기 때문에 노후 장치를 대체하여 최대 상관처리 속도에 대응하기 위한 새로운 상관자료 수집장치의 도입이 필요하게 되었다. 대전상관기의 최대 상관결과 출력속도는 25.6ms 적분시간에 대해 초당 1.4GB/sec이다. 기존에 도입한 상관자료 수집장치는 대전상관기의 최대 상관출력 속도에 대응하지 못해 출력속도를 1/4로 제한하여 활용되었다. 즉, 대전상관기의 입력포트 4개 중에 관측속도 1Gbps에만 대응하도록 3개의 입력은 제한하였다. 이번에 도입한 장치는 스토리지 시스템에서 활용되고 있는 여러 최신의 기술 중에서 Gluster 파일 시스템을 사용하고 있으며, 대전상관기의 최대 출력속도인 1.4 GB/sec를 만족하는 시험에서 광 출력 4개에 대해 각각 350MB/sec, 총 1.4GB/sec의 결과를 얻었다.

• 주제어 : KVN, KaVA, 8 Gbps 대전상관기, 분산 파일 시스템, Gluster 파일 시스템

Abstract In this paper, we introduce the implementation and test results of a new method of correlated result storage to achieve the full performance of the Daejeon hardware correlator. Recently, the observation of 8 Gbps speed, which is the maximum observational standard of KVN(Korean VLBI Network), has been performed. The correlation processing using the Daejeon hardware correlator is also required. Therefore, a new correlation result storage introduction has become necessary. The maximum correlation result output speed of the Daejeon hardware correlator is 1.4 GB/sec per 25.6 ms integration time. The conventional correlation result storage system can not cope with the maximum correlation output speed of the Daejeon hardware correlator, and the output speed is limited to 1/4. That is, among the four input ports of the Daejeon hardware correlator, the three inputs are limited to correspond to the observation rate of 1 Gbps. This new storage system uses the Gluster file system among many of the latest technologies used in storage systems. In tests that meet the maximum output rate of 1.4 GB/sec for the Daejeon hardware correlator, 350 MB/sec for each of the four optical outputs, resulting in 1.4 GB/sec in total.

• Key Words : KVN, KaVA(KVN and VERA Array), 8 Gbps Daejeon hardware correlator, Distributed Files System, Gluster File System

Received 28 October 2016, **Revised** 14 November 2016, **Accepted** 19 December 2016

* Corresponding Author Se-Jin Oh, Radio Astronomy Division, Korea Astronomy and Space Science Institute, 776 Daedukdae-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea. E-mail: sjoh@kasi.re.kr

Ⅰ. 서 론

전파천문학에서 관측자는 VLBI(Very Long Baseline Interferometry) 관측으로 천체의 미세구조를 자세히 보기를 원하는데, 이는 시스템의 감도(Sensitivity)를 향상시킬 필요가 있다. 이를 위해서는 전파망원경의 집광면적을 넓게 하거나, 관측 대역폭을 넓게 하거나, 또는 수신기 시스템의 잡음온도를 낮추는 방법 등이 있다[1][2]. 수신기의 잡음온도를 통한 감도의 향상은 아날로그 기술 분야에서 꾸준히 발전하고 응용되고 있다. 그러나 전파망원경의 집광면적을 넓히는 것은 보다 면적이 큰 망원경을 설치하는 것인데, 관측주파수가 올라가면 경면효율이 좋아야 하므로 망원경을 크게 만드는데 많은 비용이 필요하게 된다. 최근의 감도향상을 위한 방법은 디지털 기술의 발전에 힘입어 넓은 관측대역폭을 관측하고, 그 데이터를 기록할 수 있는 고속기록기의 기록속도를 향상시키는 방법이 주로 사용되고 있다. 따라서 관측자들은 대상 천체에 대해 고분해능의 정밀한 관측을 수행하고 있으며, 과거에는 수행하지 못했던 광대역의 전파관측이 가능하게 되었다. 따라서 이러한 우주전파를 관측하는 전파천문분야의 관측데이터는 하드디스크에 디지털화되어 저장되며, 데이터의 량은 생각할 수 없을 정도로 방대하다.

예를 들어, 전파망원경으로 VLBI 관측을 수행할 때 아날로그 우주전파 신호를 디지털로 변환하기 위해 1024Msps, 2bit로 샘플링하면, 2048Mbps의 디지털 신호가 출력된다. 이 신호에 대해 디지털필터링을 통하여 데이터를 1024Mbps로 기록할 수 있도록 하였는데, 최근에는 2048Mbps를 한꺼번에 저장할 수 있는 고속기록기가 등장하고 있다. 즉, 1024Mbps인 경우 초당 128MB을 저장하며, 2014Mbps인 경우는 2배로 저장된다. 전파망원경을 이용하여 천체를 관측할 때는 별이 뜨고 지는 시간을 고려하여 약 8시간 정도 관측하면, 총 기록되는 데이터 량은 한 관측국에서 1024Mbps인 경우 약 3.7TB이며, 2048Mbps인 경우는 약 7.4TB이다.

각 관측국의 데이터를 처리하는 상관센터는 VLBI 상관기를 운영하고 있는데, 한국천문연구원에는 대전상관기(Daejeon correlator)[3]가 있다. 대전상관기의 최고 상관처리속도는 최대 16관측국, 초당 8Gbps (2048Mbps x 4입력), 8192 출력채널인데, 25ms 적분시간인 경우 최대 출력속도는 1.4GB/sec이다[4]. 대전상관기의 최고출력속도에 대응하는 데이터 수집장치가 필요한데, 초기에 도입한 데이터 아카이브 시스템은 2009년에 도입되어[3] 지금까지 잘 활용되고 있었으나, 상관기의 최고출력속도인 1.4GB/sec @ 25 msec 적분시간의 경우 데이터 패킷 손실이 발생하였다. 그래서 상관기 입력 4개 중에 3개는 제한을 두어 상관출력속도를 1/4로 제한하였다.

그러나 관측자들의 광대역 관측에 대한 요구가 많아지고, 관측시스템의 기술도 발전되어 초기 관측시스템의 설계대로 관측이 수행되고 있어 데이터처리를 위한 상관처리 시스템의 성능도 초기 설계대로 동작되어야 할 시점에 도달하였다. 따라서 대전상관기의 최고처리속도를 만족하고, 현재 시스템을 대체할 수 있는 새로운 시스템이 필요하게 되었다.

이를 위해 본 연구에서는 대전상관기의 최고출력속도를 만족하는 시스템을 구축하기 위해 10GbE 입출력에 대응하는 다양한 파일 시스템 중에서 최근 RAID 형태이지만, 분산 파일 처리 시스템으로 활발히 활용되고 있는 Gluster FS(File System)[5]를 활용하여 시스템을 구축하고, 대전상관기의 출력속도에 대응하는지 상관처리 시험을 수행하고 결과를 고찰하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 대전상관기에 대해 살펴보고, Ⅲ장에서는 분산 파일 시스템에 대해 기술하며, Ⅳ장에서는 본 논문에서 구축한 상관 수집장치인 VDA의 구성과 실험결과에 대해 고찰한 후 마지막으로 Ⅴ장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

Ⅱ. 대전상관기

그림 1은 2009년에 완성되어 한국천문연구원(대전 위치)에 설치되어 한일상관센터(Korea-Japan Correlation Center, KJCC)에서 운영중인 대전상관기를 나타낸 것이다[4]. 전체 시스템은 KVN(Korean VLBI Network)의 HDD 미디어와 일본국립천문대의 VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry)의 테이프 미디어, 그리고 VERA의 새로운 고속기록기 시스템인 OCTADISK

시스템 등의 고속재생기 시스템들이 있으며, 이들 고속재생기 시스템과 함께 HDD와 테이프 사이의 속도문제와 데이터 형식 변환 등에 대응하기 위한 고속재생 동기처리 시스템인 Raw VLBI Data Buffer (RVDB)[6], 대전상관기의 핵심인 상관처리를 수행하는 VLBI상관서브시스템(VLBI Correlation Subsystem, VCS), 상관결과를 고속으로 저장하고 특정 파일 시스템으로 저장하는 데이터 아카이브 시스템(Peta-sale Epoch Data Archive; PEDA), 전체 상관 시스템의 제어 및 운용을 위한 소프트웨어 부분으로 구성된다 [4].

제어 및 운영 소프트웨어에는 초기 상관처리에서 GPS 시각과 원자시계의 차이와 함께 천체를 관측할 때 발생하는 지연시간을 기준천체에 대해 찾아내는 광역 프린지 탐색 소프트웨어도 포함된다. 또한 상관결과를 관측자들이 분석할 수 있도록 FITS-IDI 형식으로 변환하는 상관후처리 소프트웨어인 CODA/FITS 생성 프로그램도 있다.

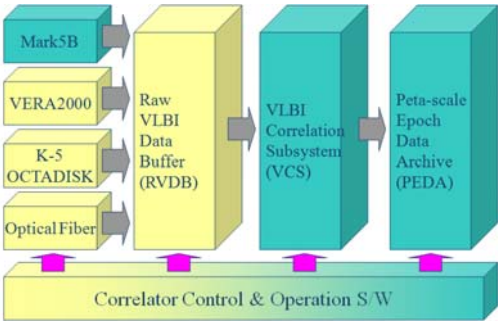

Fig. 1 Configuration of Daejeon hardware correlator

Ⅲ. 분산 파일 시스템

3장에서는 대용량 스토리지를 구성하기 위해 널리 활용되고 있는 분산 파일 시스템(Distributed File System, DFS) 중, 다음의 3가지 종류에 대해 간략히 살펴본다.

3.1 Ceph FS

Ceph[7] FS는 완전한 분산 파일 시스템이다. 이 파일 시스템은 메타데이터 클러스터(Meta Data Cluster, MDS)와 함께 동적 분산 메타데이터 관리를 제공하고, 확장성을 제공하는 오브젝트 스토리지 디바이스(Object Storage Device, OSD)에 데이터와 메타데이터를 저장한다. API(Application Programing Interface) 및 클라이언트(Client) 접근은 CRUSH[8]라는 함수를 통해서 수행된다. 이 파일 시스템은 POSIX(Portable Operating System Interface)와 같은 것을 사용하는데, 동시에 읽고 쓰기를 하는 구성을 허용한다. 로드 밸런싱(Load balancing)이 데이터와 메타데이터 레벨에서 수행되며, 각 메타데이터에 대해 오버로더된 MDS에서 다른 것으로 접근된 빈도를 알기 위해 카운터가 구현되어 있다.

3.2 Lustre FS

러스터(Lustre)[9] 파일 시스템의 구조는 메타데이터 타겟(Meta Data Target, MDT)으로 되어 있는데, 능동/수동 대제동작(failover)과 같은 두 개의 메타데이터 서버(Meta Data Servers, MDS)를 갖고 있다. 데이터는 오브젝트로 분리되고 몇 개의 오브젝트 스토리지 서버(Object Storage Servers, OSS)를 가질 수 있는 여러 개의 오브젝트 스트로지 타겟(Object Storage Target, OST)으로 분산된다. 단일의 광역 이름 공간이 MDS에 의해 제공되고, HDFS(Hadoop Distributed File System)와 같이 OST와 관련된 파일 오브젝트 이름을 구성하기 위한 아이노드(inode)와 확장된 특징을 사용한다. API와 클라이언트 접근은 다른 기능들이 집중화된 분산 파일 시스템(DFS)과 유사한 FUSE(File system in User space)와 같은 사용자 공간으로 마운트해서 수행한다. 로드 밸런싱은 OST가 균형이 되어 있지 않을 때 좀 더 넓은 자유공간과 함께 MDS가 OST를 선택하는 간단한 방법을 사용한다.

3.3 Gluster FS

Gluster FS[5]는 NFS(Network File System)와 CIFS (Common Internet File System)라는 업계의 표준인 네트워크 파일 시스템 프로토콜에 대응하는 분산 파일 시스템이다. 기본이 되는 시스템 구성은 여러 개의 스토리지 서버로 구성되는 분산 시스템이며, 메타데이터 서버(MDS) 등의 집중관리 서버를 가지지 않으며, 각 스토리지 서버에 데이터의 배치 위치를 결

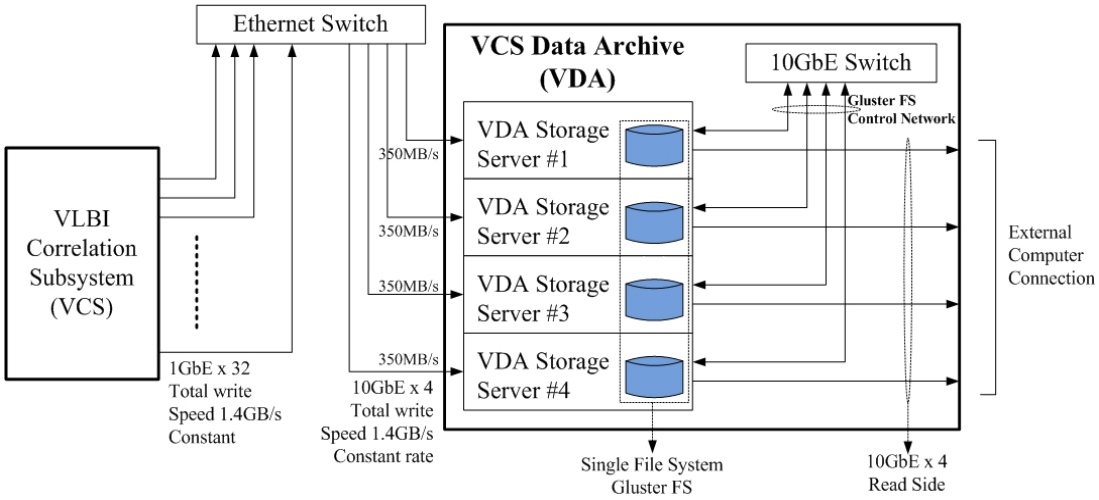

Fig. 2 VCS Data Archive(VDA) block diagram

정하기 때문에 Hash 알고리즘[5]을 공유하여 저장한다. 이 메타 데이터 서버가 필요 없는 구성은 보다 우수한 성능, 선형적인 확장성 및 신뢰성을 보증할 수 있다. 데이터의 배치 위치의 관리와 결정방법은 파일 이름으로부터 산출한 Hash 값으로부터 요구를 받은 서버 노드가 데이터를 저장할 위치가 되는 스토리지 서버를 결정하고, 데이터의 저장을 수행한다.

따라서 Gluster FS는 다른 분산 파일 시스템과 비교하여 추가적인 자료 공유를 위한 서버가 필요 없기 때문에 고속 자료저장을 위한 시스템 구축이 가능하다. 본 논문에서는 Gluster FS를 도입하여 분산 파일 시스템을 구성하는 상관자료 수집장치를 구축하였다.

Ⅳ. 상관자료 수집장치

본 논문에서 구축한 상관자료 수집장치(VCS Data Archive, VDA)의 구성도를 그림 2에 나타내었다. 대전상관기의 핵심부분인 VCS의 출력은 32개의 1 Gbps 출력인데, 이 중에서 8개를 하나의 10Gbps 패킷으로 조합하며, 4개의 10GbE을 통해 VDA로 출력하는 구조를 갖는다. VDA는 4대의 스토리지 서버로 구성되며, 각 서버는 3개의 10GbE 포트가 있는데, 1개는 VCS로부터의 데이터 입력, 1개는 파일 시스템 구성을 위해 사용되며, 나머지는 데이터 출력을 위한 것이다. 표 1에 VDA의 규격을 나타내었다.

Table 1. Specification of VDA

Item	Description
CPU	Intel ZEON, 32 cores
Memory	32 GB
Storage	160 TB(RAID 5, 6)
Interface	10GbE × 8ea, SFP+(4 VCS, 4 external) 10GbE × 4ea, 10GBASE-T(Gluster FS) 1GbE × 4ea, 1GBASE-T(Control)
Speed	Write : Max. 1.4 GB/sec Read : Max. 2.2 GB/sec

4.1 Gluster FS를 이용한 VDA 구성

본 논문에서 Gluster FS를 이용하여 구축한 VDA는 다른 시스템과 달리 데이터의 고속저장을 극대화시키기 위해 VCS로부터 수신한 데이터를 저장하고, 기록할 때의 부하를 균등하게 분산시키기 위해 Gluster FS의 Hash 값을 사용하여 스토리지 서버를 결정하는 방식이 아니라, VCS로부터 수신한 스트로지 서버에 바로 저장하는 방식을 도입하였다.

Gluster FS는 데이터를 읽을 때에도 같은 방식으로, 클라이언트로부터의 요구를 받은 스트로지 서버가 Hash 값의 계산을 수행하고 데이터의 저장된 위치가 되는 스토리지 서버로부터 데이터를 읽어서 클

라이언트로 운송한다.

파일 시스템의 메타 데이터는 데이터의 저장 위치가 되는 로컬 파일 시스템에서 파일 단위의 일관성을 취하는 구성으로 되어 있다. Gluster FS에 있어서 NFS(Network File System)와 CIFS(Common Internet File System)에 접근일 때는 NFS와 CIFS가 단일 서버로의 접근을 전제로 하고 있기 때문에 클라이언트는 접근 위치가 되는 1대의 스토리지 서버를 미리 선택하고 이후 동일 서버에 접속을 계속한다.

또한 Gluster FS에서는 데이터의 신뢰성을 담보하는 구성으로 데이터의 복제 작성기능을 준비하고 있으며, 복제 작성용 페어(pair)가 되는 스토리지 서버를 미리 결정해 두는 것으로, 결정된 페어 사이에서 데이터의 복제 작성을 시스템으로서 담보하고, 노드 장해로부터 복구를 지원하고 있다.

Gluster FS에서는 NFS와 CIFS라는 표준 프로토콜뿐만 아니라 Gluster FS 전용 클라이언트를 도입한 독자적인 프로토콜에 의한 접근 방법을 지원하고 있다. 이 클라이언트의 사용에 있어서 서버 노드측에서 관리하고 있는 Hash 알고리즘을 클라이언트 측에서도 공유하여 서버 노드가 실행하고 있는 Hash 계산에 근거한 데이터 배치 위치의 결정을 클라이언트 측에서 실행하고 데이터 저장 위치가 되는 스토리지 서버에 직접 접속하는 것이 가능하게 된다.

스토리지 서버를 추가할 때는 노드 추가 전과 후의 2가지 Hash 알고리즘을 일시적으로 사용하는 것을 알 수 있으므로 데이터의 재배치와 노드 추가동작이 수행되는 기능이 준비된다.

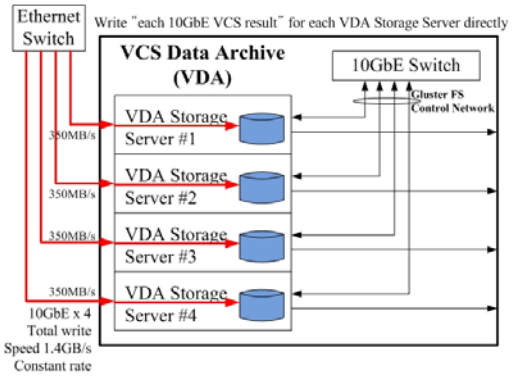

Fig. 3 Data flow diagram during data writing process of VDA from VCS

그림 3은 VCS로부터 전송되는 상관결과를 VDA에 데이터를 기록하는 구성을 나타낸 것이다. 앞에서 설명한 것과 같이 그림 2에서 VCS로부터 데이터를 VDA에 기록할 경우에는 Gluster FS의 Hash 값으로부터 저장할 위치를 결정하는 것이 아니고, VCS의 데이터를 수신한 스토리지 서버에 직접 저장하는 방법을 채택하고 있다. 이와 같은 방법을 도입한 이유는 데이터의 고속저장과 함께 스토리지 서버의 기록속도에 대한 부하를 균등하게 조정하는 것이 가능하기 때문이다. 즉, 기존 Gluster FS는 데이터 저장에 따른 Hash 값을 갖고 있어야 하지만, VDA에서는 각 스토리지 서버로 VCS와 연결된 광케이블을 통해 전송된 각각의 데이터는 그 스토리지에 저장하기 때문에 Hash 값을 저장할 필요가 없게 된다. 그러나 그림 4와 같이 데이터를 읽어 들일 때는 기존 Gluster FS와 같이 특정 스토리지 서버를 통하여 읽을 수 있도록 구성하였다.

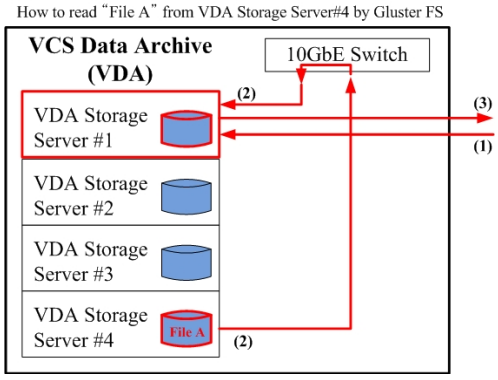

Fig. 4 Data flow diagram during data reading process of VDA from external PC

그림 4는 외부 PC에서 VDA의 데이터를 읽어 낼 때의 데이터 흐름을 나타낸 것인데, 간략히 설명하면 다음과 같다. 그림 3에서 VDA 스토리지 서버 #4에 저장된 File A를 읽어낼 경우 (1) 외부 PC로부터 File A를 읽기 위한 요청을 보낸다. 단, 외부 PC는 Gluster FS을 마운트된 폴더(Folder)로부터 접근할 수 있다. (2) VDA 스토리지 서버 #1에서 File A의 Hash 값을 계산하고, File A를 스토리지 서버 #4에 있는 것이 확인되면 스토리지 서버 #4로부터 File A

를 갖고 온다. (3) File A를 스토리지 서버 #1로부터 외부 PC로 송신하게 된다.

4.2 VCS로부터 데이터 기록 소프트웨어

본 논문에서 VCS의 최고 출력속도는 초당 1.4GB이며, 이 데이터를 VDA는 저장하기 위해 Gluster FS를 활용하였다. 이와 함께 VCS의 고속 데이터를 저장하기 위해 VDA에서 구동하는 수신 데이터 기록 소프트웨어의 경우에도 Gluster FS에 맞도록 설계하였으며, 그 구성은 다음과 같다.

VCS 수신 데이터 기록 소프트웨어는 하나의 VDA 스토리지 서버 당 8개의 프로세스가 있다. 1개의 VDA 기록 프로세스는 VCS의 TCP/IP 1개 연결에 할당된다. VDA 기록 프로세스가 사용하는 CPU 코어도 8개의 프로세스가 중복되지 않도록 하나의 VDA 기록 프로세스가 1개의 CPU 코어를 사용하도록 설정되어 있다. 이 소프트웨어와 우수한 성능을 갖는 하드웨어의 조합에 의해 VDA 스토리지 서버에서 10Gbps 1개당 최대 350 MB/sec의 속도에서도 안정된 기록이 가능하게 된다. 이 구성을 그림 5에 나타내었는데, 스토리지 1대에 8개의 코어를 갖는 CPU 각각에 1개의 TCP/IP 1Gbps 데이터를 중복되지 않게 수신할 수 있도록 할당하는 방법을 채택하여 총 350 MB/sec의 데이터를 수신할 수 있도록 하였다. 따라서 4대의 스토리지로 구성된 VDA에 대해 10GbE 광케이블 4개의 VCS 최고 속도인 1.4 GB의 데이터를 모두 수신할 수 있도록 하였다. 그림 6은 한일상관센터(KJCC)에 설치한 VDA를 나타내었다.

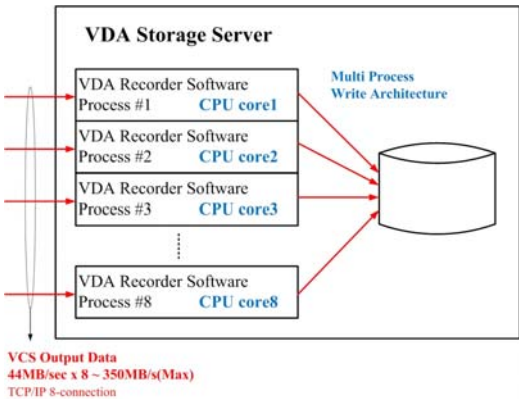

Fig. 5 Diagram of data recording software architecture

Fig. 6 VDA installed at the KJCC

4.3 상관처리 시험

대전상관기의 최고 출력속도인 1.4 GB/sec를 만족하는 상관결과 수집 장치로 도입한 VDA의 성능을 확인하기 위해 상관처리시험을 통하여 데이터 패킷 손실 없이 저장하는지 검증하였다. 대전상관기의 최고 출력속도는 기존 시스템이 받아들일 수 없어서 1/4로 제한한 부분에 대해 최고 출력속도가 출력될 수 있도록 펌웨어 소프트웨어를 수정하였다. 상관처리시험은 KVN의 3 관측국에서 관측된 데이터이며, 8시간 분량의 데이터를 반복하여 하루 동안 상관처리와 함께 저장시험을 수행하였다.

그림 7은 대전상관기의 4개의 10GbE 출력 중에 1개 에 대해 VDA에서 최고 출력데이터를 쓰고/읽는 과정의 속도를 계산하여 그래프로 나타낸 것이다. 그림 7에 나타낸 것과 같이 상관출력을 쓰는 과정에서 초기에는 속도가 보다 안정된 것을 알 수 있으며, 시간이 지날수록 속도가 조금 느려지는 현상을 볼 수 있다. 그러나 데이터를 쓰는 동안, 전체적인 평균 속도는 도입한 시스템의 규격에 맞게 350MB/sec의 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 나머지 3개의 10GbE의 경우에도 동일한 성능을 보이는 것을 시험을 통해 확인하였다.

이상의 실험결과를 바탕으로 새롭게 도입한 VDA 시스템은 대전상관기의 최고 출력속도에 대응하기 때문에 향후 광대역 관측데이터의 상관처리에 잘 활용될 것으로 기대된다.

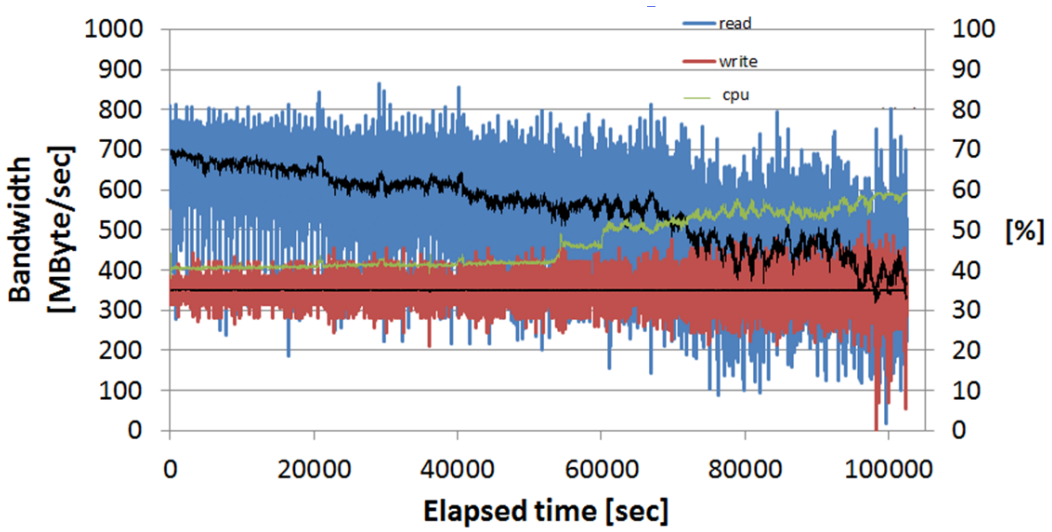

Fig. 7 Data write and read experimental result from VCS for 24 hours

V. 결 론

본 논문에서는 대전상관기의 전체 성능을 달성하기 위해 Gluster FS를 활용한 상관자료 수집장치의 구축과 시험에 대해 소개하였다. 관측자들의 정밀한 이미지 맵 관측을 위해 8Gbps 급의 KVN VLBI 관측도 수행되고 있으며, 향후 한일간의 KaVA 관측망에서도 8Gbps 관측이 수행될 것으로 기대된다. 따라서 이러한 요구에 대응하고, 노후 장비의 대체와 대전상관기의 최고 성능을 만족시키기 위해 새로운 상관자료 수집장치의 도입이 필요하게 되었다. 대전상관기의 최대 상관결과 출력속도는 25.6ms 적분시간에 대해 초당 1.4GB/sec인데, 기존에 도입한 상관자료 수집장치는 대전상관기의 최대 상관출력 속도에 대응하지 못해 출력속도를 1/4로 제한하여 활용되었다. 이번에 도입한 상관자료 수집장치는 대용량 스토리지 구축에서 널리 활용되고 있는 수정된 Gluster FS 적용과 상관결과 저장 소프트웨어의 개발하였으며, Gluster FS에 최적화로 상관자료 수집장치를 구축하여 대전상관기의 4개 광출력에 대해 최대 1.4GB/sec의 기록속도를 만족하는 것을 확인하였다. 향후 도입한 시스템을 활용할 경우 관측자들의 정밀한 전파천문 관측연구에 많은 도움이 될 것으로 기대한다.

REFERENCES

[1] Takahashi F., Kondo T., and Koyama Y., *Very Long Baseline Interferometer*, Ohmsha, 2000, pp. 35-55.

[2] Thompson, A. R., Moran, J. M., and Swenson, G. W.Jr., *Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy*, 2nd Ed., (New York:John Wiley & Sons), 2001, pp. 289.

[3] Duk-Gyoo Roh, Se-Jin Oh, and Jae-Hwan Yeom et al., "2008 Annual Report on Korea-Japan Joint VLBI Correlator and Receiver Development," Korea Astronomy and Space Science Institute, pp. 3-100, 2008.

[4] Se-Jin Oh, Duk-Gyoo Roh, and Jae-Hwan Yeom et al.(2011, October), Performance Evaluation for VLBI Correlation Subsystem Main Product, Journal of The Institute of Signal Processing and Systems, 12(4), pp. 322-331.

[5] http://www.gluster.org

[6] T. Oyama et al., "The development and performance of a new 4 Gbps disk recorder and eVLBI systems using a 10GbE network," 2008 General Meeting of IVS, 2008. 3.

[7] Weil, Sage A., et al., "Ceph: A Scalable, High-performance Distributed File System," Proceedings of the 7th Symposium on Operating Systems

Design and Implementation, USENIX Association, 2006.
[8] Weil, S., Brandt, S.A., Miller, E. L., Maltzahn, C., “Crush: Controlled, Scalable, Decentralized Placement of Replicated Data,” Proceedings of SC’06, 2006. 11.
[9] http://lustre.org

저자소개

염 재 환 (Jae-Hwan Yeom)
2005년 8월 한양대 정밀기계공학과(공학석사)
2005년 9월~현재 한국천문연구원 선임연구원
※관심분야: 디지털신호처리, VLBI상관기 개발

오 세 진 (Se-Jin Oh)
1996년 2월 영남대 전자공학과(공학사)
1998년 2월 영남대 전자공학과(공학석사)
2002년 2월 영남대 전자공학과(공학박사)
2001년 9월~2002년 12월 대구과학대학 교수
2002년 12월~현재 한국천문연구원 책임연구원
※관심분야: 디지털신호처리, VLBI상관기 및 천문관측기기 개발

노 덕 규 (Duk-Gyoo Roh)
1985년 2월 서울대 천문학과(이학사)
1994년 8월 동경대 천문학과(이학석사)
1997년 8월 동경대 천문학과(박사수료)
2005년 11월~2009년 3월 한국천문연구원 그룹장
1985년 4월~현재 한국천문연구원 책임연구원
※관심분야: 전파천문, VLBI상관기 개발

정 동 규 (Dong-Kyu Jung)
2004년 8월 충남대 천문학과(이학사)
2006년 8월 충남대 천문학과(석사수료)
2012년 1월~현재 한국천문연구원 연구원
※ 관심분야: VLBI상관처리, 천문관측기기 개발

황 주 연 (Ju-Yeon Hwang)
2006년 2월 전남대 자원공학과(공학사)
2014년~현재 한국천문연구원 연구원
2014년 1월~현재 SET 시스템 연구원
※관심분야: VLBI상관처리, 천문관측기기 개발

오 충 식 (Chung-sik Oh)
2002년 2월 서울대 천문학과(이학사)
2006년 3월 일본 동경대 천문학과(이학석사)
2009년 3월 일본 동경대 천문학과(이학박사)
2009년 4월~2010년 11월 한국천문연구원 박사후연수원
2010년 12월~현재 한국천문연구원 선임연구원
※관심분야: Astrometry, VLBI상관처리

김 효 령 (Hyo-Ryoung Kim)
1990년 2월 서울대 천문학과(이학사)
1996년 2월 부산대 지구과학과(이학석사)
2003년 8월 부산대 지구과학과(이학박사)
2006년 6월~2008년 12월 한국천문연구원 전파천문연구부 부장
1990년 6월~현재 한국천문연구원 선임연구원
※관심분야: 전파천문 SW 개발, VLBI상관처리