

VLBI 전파 관측데이터를 위한 대용량 기록장치 비교에 관한 연구

오세진^{1*}, 염재환¹, 노덕규¹, 정동규¹, 황주연^{1,2}, 오충식¹, 김효령¹

¹한국천문연구원 전파천문본부, ²SET 시스템

A Study on Comparison of Massive Data Recording Equipments for VLBI Radio Observation Data

Se-Jin Oh^{1*}, Jae-Hwan Yeom¹, Duk-Gyoo Roh¹, Dong-Kyu Jung¹, Ju-Yeon Hwang^{1,2},
Chungsik Oh¹, Hyo-Ryoung Kim¹

¹Radio Astronomy Division, Korea Astronomy and Space Science Institute

²SET System

요약 KVN(Korean VLBI Network)에서는 VLBI(Very Long Baseline Interferometry) 관측을 위해 최대 32Gbps 데이터 기록을 위한 기록기로 MIT Haystack 천문대의 Mark6 시스템을 도입하였다. Mark6 기록기는 시스템 2대와 HDD가 총 64개 장착된 경우 최대 32Gbps로 데이터를 기록할 수 있다. 하지만 Mark6의 특징인 독자적인 기록방식을 사용하고 있기 때문에 대용량의 데이터를 가상 파일 시스템을 도입하거나 일반적인 RAID 방식을 사용하고 있는데, 최고 기록속도나 파일 시스템에서 파일을 읽어서 전송할 때 데이터 손실이 발생하는 문제가 있다. JIVE에서 개발한 소프트웨어 기록기인 Flexbuff 시스템은 RAID 구성과 네트워크 업그레이드를 통하여 데이터 기록기로서 동작할 수 있도록 구성할 수 있다. 특히 Mark6 시스템에 설치할 경우 Mark6의 리소스를 잘 활용하여 기존의 Mark6와 비교하여 데이터 손실이 적으면서 안정적으로 최대 32Gbps 속도로 VLBI 관측 데이터를 기록할 수 있다. 본 논문에서는 기존 Mark6 시스템에 jive5ab 소프트웨어를 설치하여 Mark6-Flexbuff로 동작할 수 있음을 제안하고, 데이터 기록시험을 통하여 VLBI 관측 운영에 효율적으로 활용할 수 있음을 시험을 통하여 확인하였다.

• 주제어 : 고속기록기, Mark6, Flexbuff, jive5ab 소프트웨어, 데이터 전송, RAID 구성

Abstract KVN(Korean VLBI Network) introduced the Mark6 system of the MIT haystack observatory as a recorder for data recording up to 32 Gbps for VLBI(Very Long Baseline Interferometry) observation. The Mark6 recorder can record data at up to 32Gbps when two systems and 64 HDDs are installed. However, because of the unique recording method that is characteristic of Mark6, we are introducing a large amount of data into a virtual file system, or using a general RAID method, which causes data loss when reading and transferring files at the highest recording speed or file system have. The Flexbuff system, a software recorder developed by JIVE(Joint Institute for VLBI ERIC), can be configured to operate as a data recorder through RAID configuration and network upgrades. In particular, when installed in the Mark6 system, it can record VLBI data at a maximum speed of 32 Gbps with less loss of data compared to the existing Mark6 by utilizing Mark6 resources well. In this paper, we propose that the existing Mark6 system can be operated as Mark6-Flexbuff by installing jive5ab software, and it is verified through experiment that it can be effectively used for VLBI observation operation through data recording test.

• Key Words : High-speed recorder, Mark6, Flexbuff, jive5ab software, Data transfer, RAID configuration

Received 23 August 2018, Revised 21 September 2018, Accepted 30 September 2018

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

I. 서론

전파천문학에서 초장기선 전파간섭계(VLBI, Very Long Baseline Interferometry)[1] 관측에서 활용되고 있는 관측데이터 초고속 기록 장치는 관측시스템 중에 중요한 역할을 담당한다. VLBI 관측시스템의 발전으로 인해 광대역 관측을 수행함으로써 천체의 정밀한 모습과 구성 성분에 대한 궁금증을 해결할 수 있는데, 이를 위해서는 광대역 관측데이터를 저장할 수 있는 시스템도 함께 발전해야 한다[2]. 국내의 전파천문 관측 시설 중에 2008년 초기에 정상운동을 시작한 한국우주전파관측망(KVN, Korean VLBI Network)[3]은 256 MHz 대역폭을 처리할 수 있는 1024 Mbps급의 고속기록기인 Mark5B[4]를 도입하여 지금까지 활용하고 있다. 이후에 부대 장비들의 발전에 힘입어 512 MHz 대역폭의 관측데이터를 저장할 수 있는 2Gbps급의 고속기록 시스템이 개발되었고, 최근에는 8Gbps, 16Gbps, 32Gbps 등의 고속기록시스템인 Mark6[5]가 개발되었고, 이를 미국의 주요 전파천문대와 KVN에서는 도입하여 VLBI 관측에 활용하고 있다. 일본의 경우 독자적인 모델로서 1Gbps 급인 DIR2000 테이프 기록기를 개발하였는데, 최근에는 HDD 타입의 4Gbps급 OCTADISK[6] 기록기를 개발하였고 현재 활발히 활용하고 있다. 최근에는 Mark6와 유사한 HDD 기반의 32Gbps급의 OCTADISK2[6]를 개발하여 현재 관측에 활용하고 있다. 유럽의 경우 Mark6 시스템을 비롯하여 독자적인 소프트웨어 기록기인 jive5ab[7]를 개발하여 일반적인 RAID(Redundant Array of Independent Disks)로 구성되고 10GbE 네트워크 입출력이 가능한 서버 시스템에서 구동하는 기록기인 Flexbuff[8]를 활용하고 있다.

KVN에서 도입한 32Gbps급 Mark6 시스템은 미국 MIT 헤이스택(haystack) 천문대에서 개발한 초고속 기록기이며 독자적인 데이터 파일 시스템을 채용하고 있다. 이 파일 시스템은 입력되는 데이터 패킷정보를 독자적인 RAID 시스템에 스퀀터링(scattering)해서 HDD에 기록하는 방식을 사용하고 있으며, 손실되는 패킷정보에 대한 보정을 하지 않으며, 관측데이터의 처리를 위한 재생처리과정에서 흩어진 패킷을 모으는 게더링(gathering) 작업을 수행할 필요가 있으며, 시간이 많이 소요되는 단점이 있다.

본 연구에서는 이 단점을 해결하기 위해 기존에

Mark6로 사용되고 있는 기록기에 소프트웨어 기록기인 jive5ab를 설치하여 Mark6-Flexbuff 시스템으로 활용할 수 있는 방법을 제안한다. 제안방법은 기존 Mark6 시스템에 소프트웨어 기록기의 jive5ab 프로그램을 설치한 후 Mark6 시스템이 아닌 일반적인 서버 시스템으로 동작하는 비교적 간단한 방법인데, 시스템 자체의 성능을 최대한 활용하여 Mark6 시스템의 기능적인 성능보다 우수한 데이터 기록 성능을 얻을 수 있도록 하는 것이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 활용하는 고속기록기에 대해 알아보고 III장에서는 제안하는 Mark6-Flexbuff 기록기에 대해 살펴보고, IV장에서 시험 및 결과에 대해 고찰한 후, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 고속기록기

2.1 Mark6 고속기록기



Fig. 1. Mark6 system

그림 1은 Mark6 시스템을 나타낸다[5]. Mark6 시스템은 일반적인 PC 기반으로 Mark5 시스템과 외형적으로는 동일하다. 그러나 다음의 특징으로 다른 점을 갖고 있다. 그림 1에 나타난 것과 같이 Mark6 시스템은 2개의 5U 새시(Chassis)와 1U의 케이블 새시로 구성되는데, 이중에 맨 위의 새시는 시스템 새시이며, 시스템의 운용을 위한 컴퓨터 시스템을 구성하는 부분이며, 1개의 다른 5U 새시인 디스크 모듈로 데이터의 송수신을 담당하는 케이블과 전원 모듈로 구성된다. 아래쪽의 2개의 디스크 모듈 새시는 확장 새시라고도 하며, 관측데이터를 저장하는 역할을 담당한다. 1U의 케이블 새시는 시스템과 확장 새시 사이에 위치하며, 8개의

mini-SAS 고속 데이터 케이블을 관리하고 연결된 디스크 모듈의 전면 부분과 연결하는 역할을 한다.

Mark6 시스템은 일반적인 표준 PC 플랫폼과 COTS(Commercial Off-the-Shelf)를 기본으로 한다. 새시, 디스크 모듈, 전원분배기 등은 COTS를 사용하지 않고 있다. Mark6 시스템은 3가지 물리적인 인터페이스를 지원한다. 첫 번째는 데이터 포트와 10GbE 포트인데, 이 포트들은 10GbE 광케이블 또는 CX-4 카퍼 10GbE 인터페이스를 지원한다. 두 번째는 디스크 어레이로서 32개의 SATA(Serial ATA) 디스크까지 지원하며, 데이터를 읽고 쓰기 위해 8개 디스크가 하나의 모듈로 구성된 4개의 디스크 팩을 지원한다. 향후 SSD(Solid State Disk) 디스크도 지원할 수 있다. 마지막으로 mini-SAS를 지원하는데, 이는 호스트 PC 플랫폼의 디스크 제어 카드로부터 디스크 모듈로의 데이터 인터페이스는 mini-SAS 케이블로 연결되어 있다. 각각의 mini-SAS 케이블은 4개의 디스크 드라이브를 지원하고 8개의 디스크 모듈이 하나로 구성된 디스크 팩 하나에 2개의 mini-SAS 케이블이 필요하다.

2.2 Flexbuff 시스템

앞 절에서 기술한 Mark6 시스템은 Mark5 시리즈의 외형을 그대로 받아들여 기존에 사용한 디스크 팩 모듈을 재활용할 수 있도록 하였다. 그리고 JIVE에서 개발한 Flexbuff 시스템은 일반적인 COTS로 구성된 서버에 대용량 HDD를 여러 개 장착하여 RAID로 구성하고 리눅스 OS를 설치한 시스템이다. 그림 2는 Flexbuff 시스템을 나타낸다[8]. 시스템의 구성을 Mark6와 비교해보면 시스템의 외형은 다르지만 리눅스 OS 기반과 COTS 구성은 유사하다. 그러나 Mark6 시스템과 Flexbuff 시스템의 차이는 데이터 기록 소프트웨어가 다르다. MIT 헤이스택 천문대에서 개발한 Mark5 및 Mark6 시스템의 기록 소프트웨어는 Mark5A, DIMino, drs, dplane(cplane) 등이지만, JIVE의 Flexbuff 시스템은 기능적으로 Mark5, Mark6를 모두 지원하면서 다음장에서 기술하는 jive5ab 소프트웨어로만 구성된다.



Fig. 2. Flexbuff system

2.3 Mark6와 Flexbuff 시스템 비교

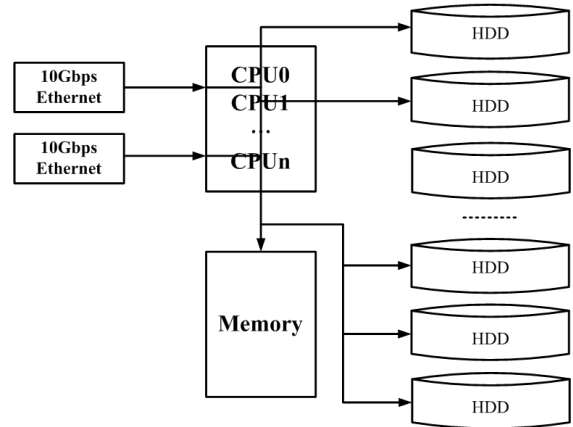


Fig. 3. Basic data flow in Mark6 and Flexbuff system

그림 3은 Mark6와 Flexbuff 시스템에서 기본적인 데이터 흐름을 나타낸 것이다. 두 시스템은 매우 성능이 우수한 여러 개의 CPU를 장착하고 있으며, 대용량 메모리와 하드디스크로 구성된다. 데이터는 우선 하나 또는 그 이상의 10Gbps 네트워크 카드를 통해 입력되고 메모리에 저장된다. 그리고 동시에 그 데이터들은 가용성이 있는 하드디스크에 뿌려지듯이 저장된다. 이렇게 데이터를 저장하는 방식을 비교해보면 두 시스템 사이의 차이는 없는 것을 알 수 있다. 그러나 두 시스템의 내부 구성 및 방법의 차이를 나열하면 표 1과 같다.

Table 1. Comparison between Mark6 and Flexbuff

Mark6	Flexbuff
4 removable diskpacks	fixed disks(≥ 32)
/mnt/disks/...	/mnt/disk...
striped in single file/disk	striped in file per block
extra headers in stream	just the real data

Mark6 시스템은 4개의 탈부착이 가능한 디스크 팩을 갖고 있다. 그리고 데이터의 마운트 포인트도 /mnt/disks/...와 같은 형태로 디스크 아래 각 디스크 팩의 번호와 디스크 시퀀스 번호를 기입하는 방식을 채택하고 있다. 또한 데이터는 단일 파일로 디스크에 기록되며, 데이터는 헤더 정보를 포함한다.

Flexbuff 시스템은 고정된 32개 이상의 하드디스크로 구성된다. 데이터의 마운트 포인트는 /mnt/disk...와 같은 형태로 각 하드디스크 번호로만 마운트된다. 데이터는 마운트된 디스크에 블록단위의 파일로 기록되

며, 헤드정보가 없는 실제 데이터만 저장한다.

III. Mark6-Flexbuff 기록기

3.1 jive5ab 소프트웨어

jive5ab 소프트웨어는 하드웨어 고속기록기의 제한적인 문제점을 해결하기 위해 JIVE에서 개발한 소프트웨어이다[7]. 이 소프트웨어는 기존의 MIT 헤이스택 천문대에서 개발한 Mark5 고속기록기 시리즈와 Mark6 고속기록기의 기록 제어 운영 소프트웨어의 기능을 모두 포함하고, 특정 하드웨어가 아니고 일반적인 PC 또는 RAID로 구성되고 10GbE 네트워크 카드가 장착된 경우 이 소프트웨어를 설치하면 자체적으로 특정 하드웨어를 인식하고, 하드웨어가 없으면 독립적으로 동작할 수 있도록 구성된 소프트웨어 기록기이다. 특히 기존의 Mark5 시리즈 및 Mark6 시스템에 설치하여도 Mark5 시리즈에 특화된 하드웨어를 인식하고 기록 제어를 수행할 수 있어 Mark5 자체 지원 소프트웨어에 문제가 있을 경우 대응할 수 있기 때문에 이를 대체할 수 있는 장점이 있다. 그리고 원격 시스템에 jive5ab 소프트웨어가 설치된 경우 원격으로도 제어가 가능하도록 시스템이 설계되어 있어 VLBI 관측시스템과 같이 원거리에 설치된 시스템을 효율적으로 운영할 수 있다. 다음 절에서는 본 논문에서 제안한 jive5ab 소프트웨어를 Mark6 시스템에 설치하여 필요에 따라 Mark6와 Flexbuff 시스템을 동시에 활용할 수 있도록 시스템의 구조 및 소프트웨어 운영 방법에 대해서 기술한다.

3.2 Mark6-Flexbuff 시스템

jive5ab 소프트웨어는 MIT 헤이스택 천문대에서 개발한 Mark6 시스템의 기록제어 운영 소프트웨어인 cplane/dplane[9]과 비교하여 차이점은 미리 알고 있는 데이터 형식만 기록할 수 있으며, 데이터 형식을 구분하는 것도 쉽게 정의할 수 있다. 그리고 cplane은 1개 이상의 네트워크 카드에 대해 1개의 기록만 가능한데, 특히 jive5ab는 1개 이상의 네트워크 카드에 대해 기록이 시작되는 스트림 제어에 대해 1개 이상의 기록을 수행할 수 있는 점이 다르다.

그림 4는 Mark6 시스템에서 dplane 소프트웨어를 이용한 데이터 기록방식을 설명한 것이다. 먼저 Mark6에서 기록이 시작되면 소프트웨어는 각 디스크에 싱글(single) 파일을 연다. 약 10MB 블록 단위의 데이터는

네트워크로부터 읽히지며, 첫 번째 가능한 파일로 저장된다. 네트워크 페이로더(payload) 앞에 블록 시퀀스 번호를 포함하는 작은 블록 헤더를 기록한다. 다음 블록도 입력되면 디스크에 같은 방식으로 저장된다. 기록이 종료될 때까지 계속하여 파일들로 채워지는 방식이다. 그림 4에 나타난 것과 같이 Mark6 시스템은 각 디스크 팩의 각 디스크 번호에 데이터 블록 헤더와 VLBI 데이터가 저장되는 방식을 채택하고 있다.

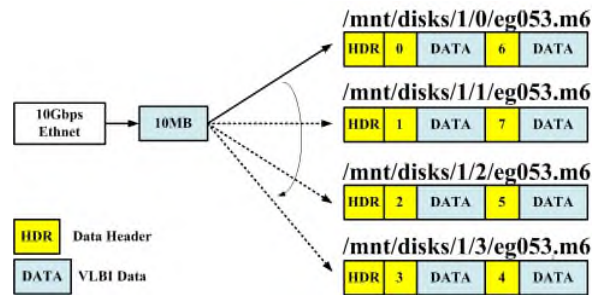


Fig. 4. Data recording method with dplane software on Mark6 system

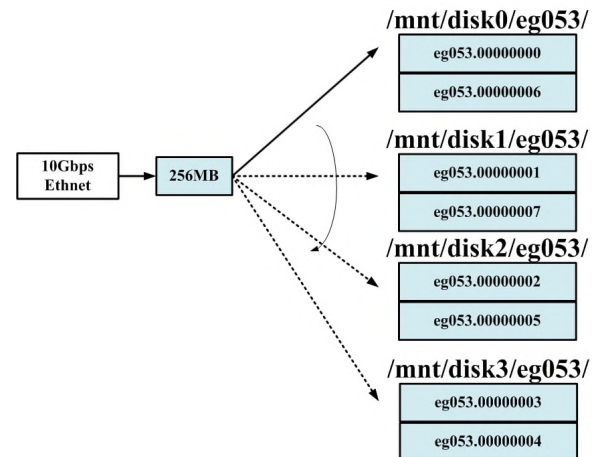


Fig. 5. Data recording method with jive5ab software on Flexbuff system

그림 5는 Flexbuff 시스템과 jive5ab 소프트웨어를 이용한 경우 데이터 기록 방식을 나타낸 것이다. Flexbuff 시스템은 256MB 단위의 데이터를 저장하고, 사용할 수 있는 디스크를 선택하고 모든 256MB 단위의 데이터를 파일로 기록한다. 이때 파일 이름은 블록 시퀀스 번호를 인코딩한다. 다음 블록 데이터가 캡처되면 같은 방법으로 데이터 처리를 수행한다. 즉, 블록 시퀀스 번호를 갖는 파일이 생성되고 256MB 데이터로 채워진다. 이와 같은 방식으로 기록이 종료될 때까지

Flexbuff 시스템은 파일들로 채워지는 방식이다. 그림 5에 나타낸 것과 같이 고정된 Flexbuff 시스템의 디스크 번호 각각에 파일명으로 인코딩된 헤더정보가 없이 256MB 단위의 블록 VLBI 데이터만 기록되는 방식을 채택하고 있다.

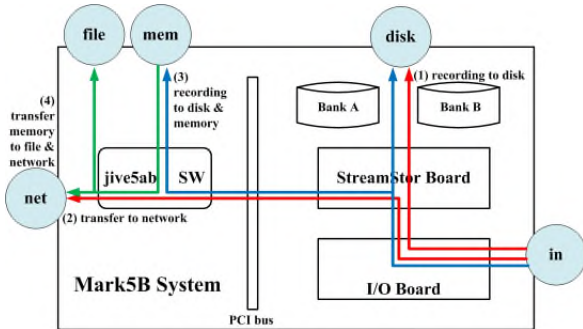


Fig. 6. Functional example of jive5ab software on Mark5B system

그림 6은 Mark5B 시스템에서 jive5ab 소프트웨어의 기능적 예를 나타낸 것이다. 그림 6에서 데이터가 I/O 보드를 통하여 입력되면, 첫 번째는 jive5ab 소프트웨어는 인식된 StreamStor 보드[4]를 통하여 디스크에 데이터를 기록하거나, 두 번째는 입력된 데이터를 디스크에 기록하지 않고 네트워크를 통하여 전송하거나, 세 번째는 입력된 데이터를 디스크 또는 메모리에 기록한다. 네 번째는 메모리에 저장된 데이터를 파일로 저장하거나, 네트워크로 전송할 수 있는 다양한 기능적인 설명을 나타낸다.

그림 6의 jive5ab 소프트웨어 예와 같이 Mark6 시스템에도 jive5ab 소프트웨어를 설치하고 탈부착 가능한 4개의 디스크 팩을 RAID로 구성하거나, 2개는 일반 RAID, 나머지 2개는 Mark6에서 사용할 수 있도록 구성하는 것이 가능하다. 그러나 데이터의 패킷 손실을 줄이거나 기록속도를 보장하기 위해서는 모든 디스크 팩을 하나의 RAID로 구성하거나, 2개씩 나누어서 RAID로 구성하는 것이 가능하다. 본 연구에서는 기록속도의 확보와 데이터 손실을 줄이기 위해 그림 7에 나타낸 것과 같이 2개의 디스크 팩을 하나의 RAID로 구성하였으며, 10Gbps 광 네트워크의 개선작업도 진행하였다. 그리고 일반적으로 Flexbuff를 활용하고 있는 관측국은 별도의 COTS 부품을 활용하여 시스템을 구성하고 있으나, 본 연구에서는 Mark6 시스템에 공용으로 jive5ab 소프트웨어를 설치하여 병행하여 활용하는 것을 제안한 것이다. 이때 사용하는 디스크 팩의 용도에

따라 변경하는 번거로움이 있지만, 이는 여분의 디스크 팩을 보유하고 있으면 효율적으로 운영할 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 시험 및 결과

본 논문에서 제안한 jive5ab 소프트웨어를 Mark6 시스템에 설치하여 Mark6-Flexbuff로 시스템을 운영하는 방법에 대해 실험실에서 데이터 기록실험을 수행하였으며, 그 데이터의 상관처리 결과에 대해 기술한다.

4.1 데이터 기록시험

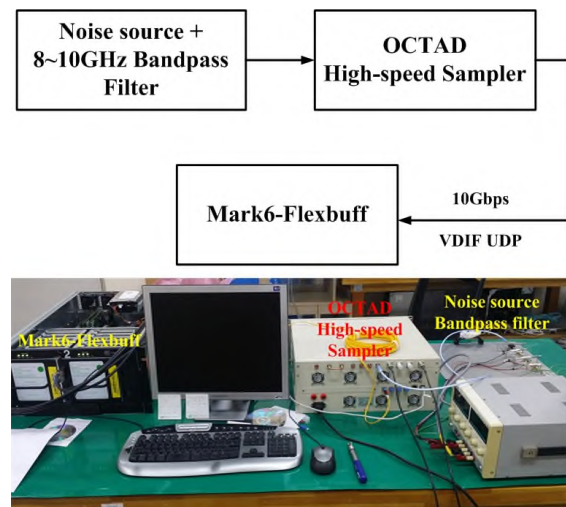


Fig. 7. Experimental configuration on data recording on Mark6-Flexbuff system with noise signal and OCTAD high-speed sampler

그림 7에 나타낸 것과 같이 제안한 Mark6-Flexbuff 시스템의 유효성을 확인하기 위해 관측시스템과 유사한 환경을 실험실에서 구성하고, 데이터 기록을 수행하였다. Mark6-Flexbuff 시스템의 기본적인 데이터 입력속도는 10Gbps이므로 KVN에서 도입한 초고속 샘플러인 OCTAD[10][11] 시스템의 출력 1개를 활용하였다. OCTAD 초고속 샘플러에는 잡음 신호와 8-10 GHz의 2 GHz 대역폭을 생성하는 필터를 통과한 신호가 입력된다. 그리고 OCTAD 초고속 샘플러는 2GHz 대역폭의 신호 중에 원하는 대역을 선택하여 샘플링한 후 VDFIF 규격[12]의 8Gbps UDP 패킷 데이터를 출력하면 Mark6-Flexbuff 시스템은 UDP 패킷을 인지하여 저장하게 된다. 실험데이터는 약 30분정도 잡음 신호이며, 이를 생성하고 기록기에 저장하였다.

4.2 시험결과

우선 Mark6 시스템으로 동작할 때의 데이터 손실률을 확인하기 그림 7의 구성을 활용하여 OCTAD 고속 샘플러와 Mark6 시스템을 연결하여 시험하였다. OCTAD의 출력 포트 1은 8Gbps이며 Mark6 시스템은 2개의 디스크 팩을 Mark6 파일시스템으로 설정하였으며, 데이터 기록은 30초, 1시간, 3시간 동안 진행하였다.

Table 2. Mark6 data loss rate

	Bank34(packet error rate)		
	30sec	1hour	3hours
Total #	3,511,542	448,351,727	1,345,524,458
error #	7,137	72,839	20,6571
loss rate	0.2%	0.02%	0.02%

표 2에 나타난 것과 같이 Mark6 시스템의 자체 파일 시스템을 이용한 데이터 기록의 경우 짧은 시간보다 장시간 기록할 경우 패킷 손실률이 작은 것을 알 수 있다. 그러나 데이터 패킷의 손실이 발생하고 있는데, 이 정도의 데이터 패킷 손실률은 전체 관측데이터에는 영향을 주지 않으나 손실이 발생하는 것은 문제가 된다.

Mark6-Flexbuff 시스템의 성능을 확인하기 위해서 그림 7의 구성을 이용하여 실험하였다. 실험에 활용한 데이터는 총 2GHz 대역폭을 가지며, OCTAD 초고속 샘플러로 4Gbps, 2bit 샘플링을 통하여 생성한 8Gbps VDIF UDP 패킷 데이터이다.

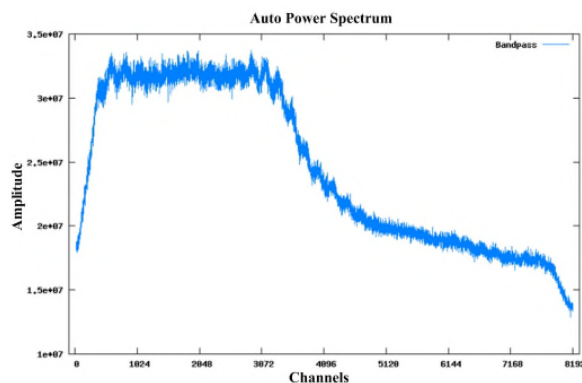


Fig. 8. Auto power spectrum recorded in Mark6-Flexbuff system with 8Gbps

그림 8은 잡음 신호와 필터를 통하여 생성한 2GHz

대역폭에 대해 샘플링을 통하여 생성한 8Gbps VDIF UDP 패킷 데이터의 자기상관 전력 스펙트럼을 나타낸 것이다. 상관처리는 DJROY 소프트웨어 상관기[13]를 이용하였다. Mark6-Flexbuff 시스템에 약 30분 동안 저장된 데이터의 패킷 손실은 발생하지 않는 것을 확인하였다. 그리고 그림 8에 나타난 것과 같이 기록된 데이터의 스펙트럼도 잘 표현되는 것을 확인하였다.

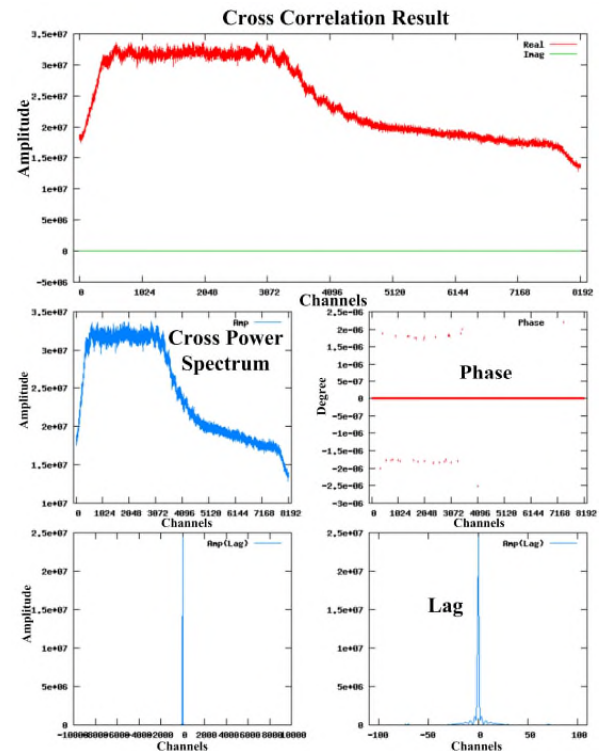


Fig. 9. Cross correlation result for recorded data on Mark6-Flexbuff system

그림 9는 실험에 사용한 잡음신호로 생성한 스펙트럼 신호의 교차상관결과를 나타내었다. 그림 8의 자기상관결과와 마찬가지로 하나의 신호에 대한 교차상관 결과는 자기상관 전력 스펙트럼과 같은 결과임을 알 수 있다. 위상과 지연영역에서의 정보도 예상대로 잘 표현되는 것을 알 수 있다. 그리고 표 2의 시험결과와 비교하기 위해 KVN연세전파천문대에 설치하여 8시간 동안 본 연구에서 제안한 Mark6-Flexbuff 시스템에 관측데이터를 기록한 결과 데이터 손실 없이 관측데이터가 정상적으로 기록되는 것을 확인하였다.

이상의 자기상관, 교차상관 결과에서 입력신호의 스펙트럼이 패킷 손실 없이 제안한 Mark6-Flexbuff 시스템에 정상적으로 기록되는 것을 확인하였으며, 실험을

통하여 제안 시스템의 유효성을 입증하였다.

V. 결론

본 논문에서는 VLBI 전파 관측데이터를 위한 대용량 기록 장치를 비교하고, jive5ab 소프트웨어를 기존 Mark6 시스템에서 설치하여 Flexbuff 시스템으로 활용할 수 있도록 제안하였다. KVN에서는 VLBI 관측을 위해 최대 32Gbps 데이터 기록을 위한 기록기로 MIT 헤이스택 천문대의 Mark6 시스템을 도입하였다. Mark6 기록기는 독자적인 기록방식을 사용하고 있기 때문에 대용량의 데이터를 가상 파일 시스템을 도입하거나 일반적인 RAID 방식을 사용하고 있는데, 최고 기록속도나 파일 시스템에서 파일을 읽어서 전송할 때 데이터 손실이 발생하는 문제가 있다. 하지만 유럽에서 개발하여 널리 사용되고 있는 Flexbuff 시스템은 일반적인 RAID 구성과 네트워크 성능개선을 통하여 소프트웨어 데이터 기록기로서 성능이 우수한 것으로 보고되고 있다. 본 논문에서는 기존 Mark6 시스템에 jive5ab 소프트웨어를 설치하여 Mark6-Flexbuff로 동작할 수 있음을 확인하였고, 실험실에서 수행된 8Gbps 데이터 기록 시험을 통하여 VLBI 관측 운영에 효율적으로 활용할 수 있음을 시험을 통하여 확인하였다.

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] A. R. Whitney, "Mark 5 Disk-Based Gbps VLBI Data System," in *New Technologies in VLBI*, edited by Y. C. Minh, ASP Conference Series, Vol. 306, Astronomical Society of the Pacific, San Francisco, CA, 2003.
- [5] <http://www.haystack.edu/tech/vlbi/mark6/index.html>
- [6] T. Oyama et al., "The development and performance of a new 4Gbps disk recorder and eVLBI systems using a

- 10GbE network," 2008 General Meeting of IVS, 2008. 3.
- [7] Harro Verkouter, "jive5ab command set version 1.7," Joint Institute for VLBI in Europe, November 22, 2016.
- [8] P. de Vicente, L. Barbas, J. Gonzalez, "Using VDIF in astronomy VLBI observations at the 40m RT. Flexbuff and eVLBI operations," February 20, 2016.
- [9] MIT Haystack observatory, "Mark6 system user's manual," November 19, 2013.
- [10] Elecs Industry Co. Ltd., "RF Direct Sampler OCTAD Series," 2015.
- [11] Se-Jin Oh, T. Oyama, and Jae-Hwan Yeom et al.(2016, December), A Study on the Test Results and Wideband Observing of the Korean VLBI Network, Journal of The Institute of Signal Processing and Systems, 17(2), pp. 83-92.
- [12] <http://www.vlbi.org/vdif>
- [13] Jae-Hwan Yeom, Se-Jin Oh, Duk-Gyoo Roh et al.(2009, December), Development of Software Correlator for KJJVC, Journal of Astronomy and Space Science, 26(4) pp. 567-588.

저자 소개

오 세 진 (Se-Jin Oh)



1996년 2월 : 영남대 전공학과(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

염 재 환 (Jae-Hwan Yeom)



2005년 8월 : 한양대 정밀기계공학과(공학석사)
2005년 9월~현재 : 한국천문연구원 선임연구원
관심분야 : 디지털신호처리, VLBI상관기 개발

노 덕 규 (Duk-Gyoo Roh)



1985년 2월 : 서울대 천문학과(이학사)
1994년 8월 : 동경대 천문학과(이학석사)
1997년 8월 : 동경대 천문학과(박사 수료)

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 (Chungsik Oh)



2002년 2월 : 서울대 천문학과(이학사)
2006년 3월 : 일본 동경대 천문학과(이학석사)
2009년 3월 : 일본 동경대 천문학과(이학박사)

2009년 4월 ~ 2010년 11월 : 한국천문연구원 박사후연구원
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