

FirmOS를 이용한 HDD 무결성 검사 시스템 개발에 관한 연구

염재환¹ · 오세진¹ · 노덕규¹ · 정동규¹ · 황주연^{1,2} · 오충식¹ · 김효령¹ · 신재식¹

¹한국천문연구원 전파천문본부, ²SET System

Study on Development of HDD Integrity Verification System using FirmOS

Jae-Hwan Yeom¹ · Se-Jin Oh^{1*} · Duk-Gyoo Roh¹ · Dong-Kyu Jung¹ · Ju-Yeon Hwang^{1,2} · Chungsik Oh¹ · Hyo-Ryoung Kim¹ · Jae-Sik Shin¹

¹Radio Astronomy Division, Korea Astronomy and Space Science Institute, ²SET System

요약 전파천문분야에서 관측데이터의 저장을 위해 대용량 HDD를 RAID로 연결한 디스크 팩을 활용하고 있다. VLBI 관측의 경우 관측속도가 빨라지고 광대역으로 확장되면서 많은 양의 관측데이터를 저장해야 한다. HDD는 사용회수가 많아질수록 고장이 많이 발생하고 있으며, 이것을 찾아서 복구하는데 많은 시간이 소요된다. 또한 고장난 HDD를 계속 사용할 경우 관측데이터의 손실이 발생한다. 그리고 새 HDD를 구입하여 많은 비용도 필요하게 된다. 본 연구에서는 FirmOS를 이용하여 SATA HDD의 무결성 검사 시스템을 개발하였다. FirmOS는 일반 서버보드와 CPU를 갖는 시스템에서 특정목적에만 동작하도록 개발한 OS이다. 개발한 시스템은 FirmOS 기반에서 SATA HDD의 물리적인 영역에 특정 패턴의 데이터를 쓰고 읽는 과정을 수행한다. 그리고 HDD 제어기의 메모리 영역에서 HDD로부터 읽어들이 저장된 패턴 데이터와 비교를 수행하는 방식으로 HDD의 무결성 검사를 확인하는 방법을 채용하였다. 개발한 시스템을 활용하여 VLBI 관측에서 활용하고 있는 디스크 팩의 고장여부를 쉽게 확인할 수 있었으며, 관측효율을 향상시킬 수 있는데 많은 도움이 되고 있다. 본 논문에서는 개발한 SATA HDD 무결성 확인 시스템의 설계, 구성, 시험 등에 대해 자세히 기술한다.

• **주제어** : 초장기선전파간섭계, 32Gbps 고속기록기, HDD, 무결성, FirmOS

Abstract In radio astronomy, high-capacity HDDs are being used to save huge amounts of HDDs in order to record the observational data. For VLBI observations, observational speeds increase and huge amounts of observational data must be stored as they expand to broadband. As the HDD is frequently used, the number of failures occurred, and then it takes a lot of time to recover it. In addition, if a failed HDD is continuously used, observational data loss occurs. And it costs a lot of money to buy a new HDD. In this study, we developed the integrity verification system of the Serial ATA HDD using FirmOS. The FirmOS is an OS that has been developed to function exclusively for specific purposes on a system having a general server board and CPU. The developed system performs the process of writing and reading specific patterns of data in a physical area of the SATA HDD based on a FirmOS. In addition, we introduced a method to investigate the integrity of HDD integrity by comparing it with the stored pattern data from the HDD controller. Using the developed system, it was easy to determine whether the disk pack used in VLBI observations has error or not, and it is very useful to improve the observation efficiency. This paper introduces the detail for the design, configuration, testing, etc. of the SATA HDD integrity verification system developed.

• **Key Words** : VLBI, 32Gbps high-speed Recorder, Harddisk Drive, Integrity, Firmware OS

Received 01 November 2017, Revised 13 December 2017, Accepted 20 December 2017

* Corresponding Author Se-Jin Oh, Radio Astronomy Division, Korea Astronomy and Space Science Institute, 776 Daedukdae-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Korea. E-mail: roypark1984@gmail.com

I. 서론

최근 VLBI (Very Long Baseline Interferometry) 관측에 활용하고 있는 데이터 기록방식은 하드디스크(Hard Disk Drive, HDD)를 사용하고 있는데, 1024 Mbps 기록속도는 2008~2015년까지 주류를 이루었다[1]. 그러나 최근에는 8192 Mbps 기록속도와 함께 32 Gbps 급으로 대폭적인 성능향상을 이루고 있다[1][2]. 따라서 이와 같은 기록속도의 증가에 따라 관측데이터의 저장에 사용되는 HDD도 대용량화 되고, 기록 데이터의 양도 방대하여 데이터 처리와 관리에 많은 시간이 소요된다. 특히 관측 데이터의 기록에 활용된 HDD는 시간이 지남에 따라 열화현상과 고장이 발생하게 되며, 이를 유지 관리하기 위한 노력과 비용이 필요하다.

본 연구에서는 HDD의 무결성 검사를 통하여 HDD의 열화 및 고장부분을 손쉽게 검출하여 문제가 있는 HDD를 추출하여 관측효율을 높일 수 있는 시스템을 개발하였다. 개발한 시스템은 FirmOS (Firmware OS)를 이용하여 HDD의 특성 중에 기본이 되는 섹터(Sector) 단위로 HDD가 가진 메모리위에 특정 패턴의 데이터를 읽고 쓰기를 반복하고, 응답에 대한 시간설정을 통하여 섹터의 고장여부를 확인할 수 있는 알고리즘으로 구성된다. 본 연구에서 개발한 HDD 무결성 검사 시스템을 활용하여 HDD를 검사한 결과 RAID로 구성된 디스크들의 고장여부를 쉽게 확인할 수 있어서 관측 디스크 팩의 관리와 관측효율이 향상되는 것을 확인하였으며, 본 연구에서는 개발한 시스템의 구성, 제안한 알고리즘, 그리고 시험결과 등에 대해 간략히 기술하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 II장에서는 FirmOS의 구성과 구동방법에 대해 기술하며, III장에서는 본 논문에서 개발한 HDD 무결성 검사 시스템의 알고리즘에 대해 소개한다. 그리고 IV장에서는 개발한 시스템을 이용한 시험결과에 대해 고찰한 후 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. Firmware OS

그림 1은 FirmOS의 구성을 나타낸 것이다. FirmOS

는 Firmware OS의 약자이며, 임베디드(Embedded) OS와 유사한 개념으로써 본 연구의 선행연구를 통하여 개발하였다[3]. FirmOS의 목적은 일반적인 컴퓨터 운영체제는 사용하는 메인보드, CPU, 메모리, 네트워크 카드 등의 많은 주변장치들을 관리하기 위한 리소스 분배와 스케줄 관리 등을 수행하기 때문에 시스템 자체의 성능을 완벽하게 활용하지 못하는 단점이 있는데, 이를 해결하기 위해 임베디드 형식과 유사하게 주어진 환경에서 최소한의 규격으로 사용자가 원하는 업무를 수행할 수 있도록 구현한 것이다. 즉, FirmOS는 일반 CPU를 사용하지만, 시스템의 최고 성능을 발휘할 수 있게 해 준다.

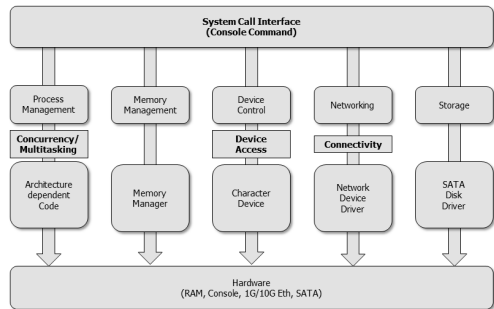


Fig. 1. FirmOS architecture

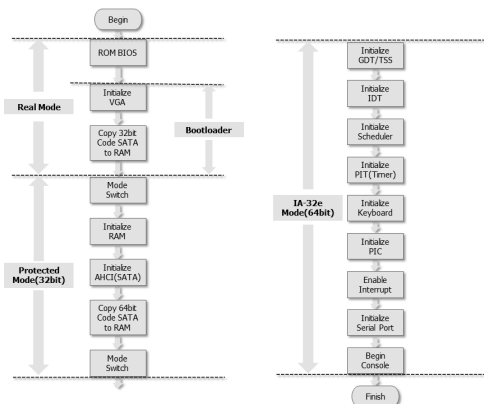


Fig. 2. FirmOS operation

그림 1에 나타난 FirmOS는 일반적인 OS의 구조를 갖고 있다. 그림 1에서 CPU를 포함하는 하드웨어에는 RAM, Console, 1G/10G 이더넷, HDD 제어부인 Serial ATA로 구성된다. 그리고 시스템 요청 인터페이스는 Console Command를 통하여 하드웨어를

요청한다. 하드웨어의 요청에는 우선 멀티태스킹과 병행을 담당하는 프로세스 관리, 메모리를 담당하는 메모리 관리, 디바이스 접속을 담당하는 디바이스 제어, 네트워크의 연결성을 담당하는 네트워크 관리, SATA 디스크를 관리하는 스토리지 관리 등이 있다.

Ⅲ. HDD 무결성 확인 시스템

3.1 무결성 검사 알고리즘

본 연구에서는 대용량 VLBI 관측데이터를 저장하는 HDD를 검사하기 위한 알고리즘을 제안한다. 그림 3에 나타난 VLBI 관측 저장 시스템[4]에서 대용량 VLBI 관측데이터는 Mark5B[5] 또는 Mark6[6] 고속기록기에 저장되는데, 기록속도는 일반적으로 1024/2048/8192/ Mbps 이며, 최근에는 32Gbps까지 기록할 수 있다[7]. 이렇게 고속으로 저장하기 위해 HDD는 어레이를 구성하게 되는데, 고속기록기의 특징상 자체 개발된 RAID 구성이나 일반적으로 널리 활용되는 RAID 0, 5, 6 등을 활용한다.

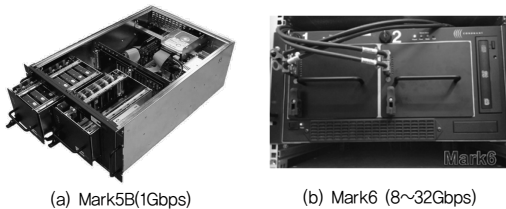


Fig. 3. VLBI high-speed recorder system

RAID로 구성된 각각의 HDD에 기록되는 관측데이터는 HDD의 사용빈도에 따라 성능이 열화하게 되는데, 물리적인 영향에 의해 HDD의 섹터(Sector) 또는 헤드(Head)에 문제가 발생하는 경우가 많다. 하지만, 이 물리적인 현상을 확인하는 것은 어려우며, RAID로 구성된 경우 어느 한 HDD가 문제일 때 그 디스크의 데이터는 손실되게 된다. VLBI 관측데이터는 천체로부터 오는 신호를 기록한 것이므로 대부분은 천체신호를 포함한 잡음 신호이지만, 데이터의 손실이 발생하고, 관측데이터의 신뢰도에 많은 영향을 미치게 된다. 또한 디스크의 오류가 발생하면 관측하는 중에 데이터를 정상적으로 기록하지 못해 여러

전파망원경을 동시에 활용한 VLBI 관측에 문제가 생겨 높은 분해능의 관측자료를 확보할 수 없게 된다.

본 연구에서 제안한 HDD의 무결성 검사 알고리즘은 FirmOS와 연동하여 검사시간을 줄이기 위해 CPU와 HDD 사이의 데이터 교환 방식이 아닌 HDD 자체를 하드웨어로 취급하였으며, FirmOS의 기능을 활용하여 하드웨어 자체의 성능을 최대한 활용한 알고리즘이다. 본 연구에서는 HDD에 기록된 정보를 확인하는 것이 아니고, HDD를 하나의 하드웨어로 취급하며, HDD의 기본동작원리를 활용하였다[8]. HDD는 스피indle모터(Spindle Motor)가 고속회전을 하면서 액츄에이터(Actuator)의 암(Arm)과 헤드(Head)가 비행하면서 플래터(Platter)에 데이터를 기록하게 되는데, 접촉이 발생하면 플래터에 흠집에 생겨 데이터 손실이 발생하거나 헤드가 어느 속도 이상일 때 정상동작하지 않으면 속도오류 등이 발생하여 HDD에 데이터를 기록하지 못하게 된다. 그리고 HDD 후면의 PCB 회로는 두뇌와 같은 역할을 담당하는데, 이 회로기판에는 HDD의 구성을 제어하는 부분이 있는데, 이 제어회로를 검사할 때 활용한다.

HDD의 무결성 검사 알고리즘은 우선 HDD의 플래터에 나누어진 섹터(Sector) 단위별로 전체 플래터에 특정 패턴의 데이터를 쓰고 읽기를 수행한다. 제어 회로를 통하여 특정 패턴 데이터가 정상적으로 쓰고 읽기를 성공적으로 수행하면 다음 섹터로 이동하고, 만약 문제가 생기거나 설정한 시간 안에 쓰고 읽은 데이터가 제어회로에서 검출되지 않으면 문제가 발생한 섹터 번호를 출력하고 다음 섹터로 이동하도록 한다. 그리고 이와 같은 동작을 전체 플래터의 섹터별로 수행하여 HDD에 얼마나 많은 문제 섹터 또는 헤드 속도 오류가 발생하는지 확인하도록 하였다. 본 연구에서 제안한 HDD 무결성 검사 시스템의 알고리즘은 쓰기 및 읽기로 구성된다. 먼저 HDD 쓰기 검사 시스템 알고리즘은 다음과 같으며 그림 4에 플로차트로 나타내었다.

1. FirmOS가 8개의 SATA HDD의 초기화 및 정보 읽기
 - 2-1. 각 HDD 별로 섹터(Sector)들에 대해 순차적으로 특정 패턴 데이터 쓰기
 - 2-2. 각 HDD 별로 섹터별로 기록한 특정 패턴 읽기 수행

3. 각 HDD 별로 쓴 패턴 데이터와 FirmOS를 통해 기록한 데이터와 일치 여부 확인
- 4-1. 패턴이 불일치하면 오류 발생 섹터정보 표시
- 4-2. 일치하면 다음 섹터로 이동
5. 만약 쓰기 작업이 지정한 시간내에 완료되지 않으면 오류 섹터 정보 표시하고 종료 또는 다음으로 이동
6. 이 작업을 HDD의 모든 섹터에 대해 수행
7. 종료

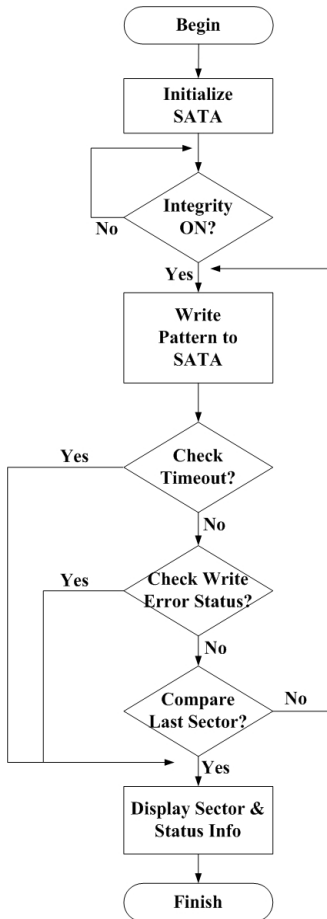


Fig. 4. HDD Integrity checking algorithm for writing pattern

그리고 HDD 읽기 패턴 알고리즘을 나타내면 다음과 같으며, 그림 5에 플로차트로 나타내었다.

1. FirmOS가 8개의 SATA HDD의 초기화 및 정보 읽기

2-1. 각 HDD 별로 섹터(Sector)들에 대해 순차적으로 특정 패턴 데이터 읽기

2-2. 특정 패턴 데이터의 비교를 수행하고, 맞으면 다음단계로, 아니면 오류 섹터와 상태정보를 표시하고 종료

3. 각 HDD로 읽은 데이터에 대한 Time out 설정을 확인하고, 설정한 시간보다 길 경우 오류 섹터와 상태정보를 표시하고 종료하며, 아니면 읽기 오류 상태를 확인하는 단계로 진행

4. 마지막 섹터인지 비교하고, 아니면, HDD로부터 특정 패턴을 읽는 단계로 이동하고, 맞으면 오류 섹터와 상태정보를 표시하고 종료

5. 종료

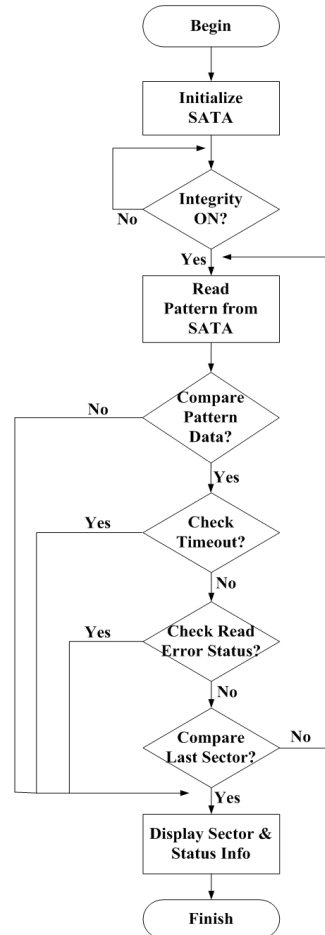


Fig. 5. HDD Integrity checking algorithm for reading pattern

IV. 시험 및 고찰

4.1 시스템 구성

본 연구에서 개발한 HDD 무결성 검사 시스템의 구성을 그림 6에 나타내었다. 그리고 시스템의 규격은 표 1에 나타내었다.

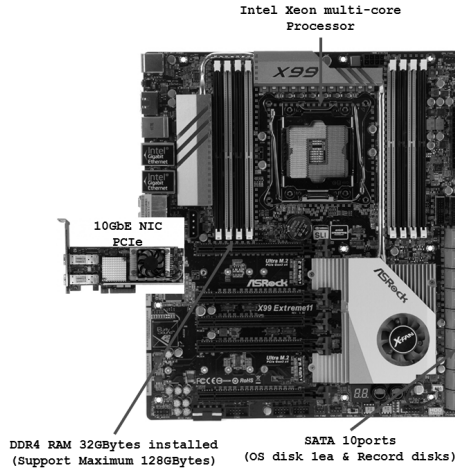


Fig. 6. System configuration

Table. 1. System specification

Item	Remark
Target Processor	Intel Xeon
Target Board	Asrock X99 extreme11 DDR4 RAM 32GB
Operating System	Firm OS Include Scheduler Support Multi-core No file system DRAM/SATA control directly(w/o device driver)
Build Environment	Gcc, NASM(boot code)

표 1에 나타낸 것과 같이 본 논문에서 개발한 HDD 무결성 검사 시스템은 인텔 Xeon CPU를 사용한다. 일반적인 PC의 CPU이지만 본 연구의 사전 연구에서 개발한 FirmOS[3]는 일반 CPU에서 구동되지만 임베디드 형식을 갖는 것이 특징이다. 그리고 메인보드는 Asrock X99이며, 32GB 메모리를 장착하고 있다. 이 FirmOS는 디바이스 드라이버를 갖고 있지 않다. 그리고 HDD도 파일 시스템이 없는데, 이는 HDD를 하드웨어로 인식하도록 설계하였다. FirmOS와 무결성 검사 소프트웨어는 gcc 컴파일러를 사용

하였고, FirmOS의 부팅을 위한 부트코드(Boot code)는 nasm의 어셈블러를 활용하여 구현하였다. 그림 7은 실제로 표 1에 나타낸 시스템을 활용하여 HDD 무결성 검사를 수행하고 있는 모습을 나타낸 것이다.



Fig. 7. Operation of HDD Integrity verification system

4.2 시험결과

본 연구에서 개발한 HDD 무결성 검사 시스템으로 한국천문연구원의 한일상관센터에서 운영하고 있는 VLBI 관측용 디스크팩을 대상으로 HDD 무결성 검사를 수행하였다. VLBI 관측을 위한 디스크 팩은 8개의 HDD를 한 묶음으로 한 RAID 구성이며, 각 디스크를 팩에서 분리하여 그림 7과 같이 각 디스크에 대해 검사를 수행한다. 관측에 활용하고 있는 HDD는 가격이 조금 저렴하지만 용량이 많은 3 또는 4TB이다.

본 연구에서 개발한 HDD 무결성 검사 시스템을 이용하여 고장이 의심되는 HDD를 대상으로 무결성 검사를 수행하였다. HDD의 용량에 따라 검사시간은 조금씩 차이가 있다. 따라서 시험결과는 고장빈도가 많은 HDD는 검사 후 사용불가 판정을 내리는 빈도가 높다. 그리고 고장 의심은 가지만 실제 PC 환경의 윈도우 시스템에서는 문제없이 구동되는 경우도 있지만, 고속으로 데이터를 저장해야 하는 VLBI 관측의 경우 하드웨어 레벨에서는 문제가 되는 경우가 자주 있는데, 이때는 검사에서 오류와 정상 판정을 내리는 빈도는 약 60:40% 정도를 보이고 있다. 그리고 4TB HDD에 대한 무결성 검사에 소요되는 시간은 약 10시간정도 필요한데, 이는 섹터별로 특정 데이터 패턴을 쓰고 읽는 과정에 많은 시간이 필요하기 때문이다. 이 경우에는 가능하면 VLBI 데이터 저장을 위해서는 사용하지 않는 것이 좋을 것으로 판단된다. 이상의 시험결과는 HDD 무결성 검사

시스템에서 문제가 있는 섹터(Sector)/트랙(Track) 정보를 표시하여, 위치와 오류 정보를 표시하도록 구현하였다. HDD의 문제로 인하여 정상적으로 수행된 VLBI 관측이 데이터 처리 과정에서 정상적으로 읽지 못하는 경우 그만큼의 시간과 경비가 소요되기 때문에 HDD 무결성 검사를 통하여 관측시간에 대한 보상을 수행할 수 있을 것으로 사료된다.

V. 결론

본 논문에서는 VLBI 관측시스템에서 활용하고 있는 대용량 HDD의 성능검사를 위해 FirmOS 기반의 HDD 무결성 검사 시스템을 개발하였다. FirmOS는 일반적인 PC 환경에서 구동할 수 있도록 설계 구현되었으며, 과거 DOS와 같이 그래픽 환경은 아니지만 임베디드와 같이 작은 운영체제이다. 본 연구에서 개발한 HDD 무결성 검사 시스템은 FirmOS를 이용하여 SATA HDD의 물리적인 영역에 특정 패턴의 데이터를 쓰고 읽는 과정을 수행한다. 그리고 HDD 제어기의 메모리 영역에서 HDD로부터 읽어들이고 저장된 패턴 데이터와 비교를 수행하는 방식으로 HDD의 무결성 검사를 확인하는 방법을 제안하였다. 개발한 시스템을 활용하여 VLBI 관측에서 활용하고 있는 디스크 팩의 고장여부를 쉽게 확인할 수 있었으며, 관측효율을 향상시킬 수 있는데 많은 도움이 되고 있다. 향후에는 제안한 시스템을 이용하여 HDD를 검사할 때 많은 시간이 소요되는 점을 개선할 예정이다.

REFERENCES

[1] Thompson, A. R., Moran, J. M., and Swenson, G. W.Jr., *Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy*, 3rd Ed., (New York:John Wiley & Sons), 2017, pp. 289.

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

[3] J.H.Yeom, S.J.Oh, D.G.Roh, D.K.Jung, C.S.Oh, and H.R.Kim, "Development of an Embedded

FirmOS for Data Acquisition System of Radio Astronomy," Proceeding of the 12th IEMEK Symposium on Embedded Technology, pp. 54-56, May 2017.

[4] 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.

[5] <http://www.haystack.edu/tech/vlbi/mark6/index.html>

[6] 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.

[7] 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, *ournal of The Institute of Signal Processing and Systems*, 17(2), pp. 83-92.

[8] https://ko.wikipedia.org/wiki/hard_disk_drive

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 천문관측 기기 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 (Chungsik 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 전파천문
연구부 부장
1990년 6월~현재 한국천문연구원 선임연구원
※관심분야: 전파천문 SW 개발, VLBI상관처리



신 재 식 (Jae-Sik Shin)

1989년 2월 한남대 회계학과(학사)
2016년 2월 한남대 멀티미디어과(공학석사)
1991년~2003년 소프트웨어 개발
2004년~2013년 한국천문연구원 전산팀장
2014년~현재 한국천문연구원 책임기술원
※관심분야: VLBI 관측 프로그래밍, VLBI-WEB 인터
페이스 개발