

# 고속기록기의 제어운용 소프트웨어 분석 및 개발에 관한 연구

## A Study on Development and Analysis of Control Operation Software of High-Speed Recorder

황철준\*, 오세진\*\*

Chul-Jun Hwang\*, Se-Jin Oh\*\*

### 요약

본 논문에서는 한국우주전파관측망(Korean VLBI Network; KVN)을 통하여 천체의 미약한 우주전파를 고속으로 기록하는 Mark5B 고속기록기 시스템의 제어운용 소프트웨어를 분석하고 VSI(VLBI Standard Interface) 형식의 시각정보를 기록할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 고속기록기 시스템의 제어운용 소프트웨어는 대용량 하드디스크를 제어할 수 있는 RAID 보드를 구동하는 소프트웨어와 네트워크를 통한 제어운용을 할 수 있다. 핵심 제어 소프트웨어가 시스템에서 구동하고 있으면 네트워크로 입력된 명령을 해석하고 실행 후 결과를 다시 네트워크를 통해 출력하도록 구성되어 있다. 이러한 소프트웨어 분석을 통하여 기록된 관측데이터를 상관처리하기 위해 필요한 시각정보를 함께 기록할 수 있는 소프트웨어를 본 논문에서 개발하였다. 개발된 소프트웨어는 데이터를 기록할 때 입력되는 1PPS 신호의 인터럽트를 확인한 후 데이터 기록과 함께 기록시각정보도 함께 데이터 기록시간동안 기록한다. 개발한 소프트웨어의 정상동작을 확인하기 위해 실제 관측을 수행하였으며, 기록한 데이터의 분석을 통하여 그 유효성을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, we developed new time information recording module of VSI (VLBI Standard Interface) format by analyzing the Mark5B recorder control and operation software with 1Gbps speed, which is able to record the weak signal of space radio source, through the Korean VLBI Network (KVN). The control and operation software of high-speed recorder consists of 2 kinds of software, which is that it can operate RAID control board by controlling large capacity HDD drive and the network control and operation. Especially, core software in high-speed recorder is able to output the results after performing and analyzing the input command. Through the analysis of control and operation software, new time information recording module, which is needed to process the observed data for correlation, is developed. New developed time information recording module can record the time information together after checking the interrupt of 1PPS(Pulse Per Second) input signal when the observed data will be recorded. To verify the normal operation of the developed time information recording module, we performed the real observation test and confirmed the effectiveness of developed software through analyzing the recorded observation data.

**Keywords** : KVN, VLBI, Mark5B, VLBI Standard Interface, Control Operation Software, PDATA

### 1. 서론

한국천문연구원에서는 2008년 12월 서울, 울산, 제주에 지름 21m의 전파망원경을 건설하는 한국우주전파관측망(Korean VLBI Network; KVN) 구축사업을 완료하였다[1]. 전파망원경은 은하계 밖의 별탄생 영역이나 AGN(Active Galactic Nuclei)로부터 지구에 도달하는 미약한 전파신호를 수신하는 시스템이다[1]. 전파망원경을 구성하는 시스템으로는 전파신호를 수신하는 수신기 시스템, 아날로그신호를 디지털로 변환하는 고속샘플러, 신호를 대역별로 나누

어 분석하는 디지털 필터뱅크, 그리고 이 데이터를 실시간으로 분석 모니터링하는 디지털 분광기가 있으며, 최종적으로 관측된 데이터를 저장하는 고속기록기로 구성된다[1]. 특히 단일경 관측시스템의 경우 전파망원경 1기를 사용하여 관측을 수행하기 때문에 GPS 수신기로부터 수신한 시각정보(time tag)만으로도 관측을 수행할 수 있지만, 수백 km정도 떨어진 여러 전파망원경으로 동시에 관측하는 VLBI(Very Long Baseline Interferometer)[2]의 경우 각 관측국에서 관측한 데이터에 시각정보의 삽입과 전체 관측 시스템의 동기를 위해 정밀한 원자시계가 필요하다.

단일경 관측이나 VLBI 관측의 경우 전파망원경의 최종 관측데이터는 고속기록기에 기록하게 된다. 특히 VLBI 관측은 여러 전파망원경을 이용하여 천체 관측을 수행하며, 상관센터에서는 전파망원경 사이의 간섭현상을 확인하기 위해 상관처리를 수행하여 전파영상을 합성한다. 따라서 고속기록기에 저장된 데이터는 상관센터로 보내지게 된다.

\*대구과학대학 정보통신계열 교수

\*\*한국천문연구원 전파천문연구부 선임연구원(교신저자)

투고 일자 : 2009. 9. 9    수정완료일자 : 2009. 10. 27

게재확정일자 : 2009. 10. 29

※ 본 논문은 2009년도 대구과학대학 교수역량강화사업에 의해 수행되었음.

KVN에서는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환할 때 1GHz, 2bit 샘플링을 수행한다. 이 경우 데이터량은 총 2Gbps가 되며, 이 데이터를 모두 기록하는 것은 어려움이 따르게 된다. 따라서 샘플링에 의해 확보된 512MHz 대역폭의 1/2을 대상으로 디지털 필터뱅크를 통하여 필터링을 수행하며, 1Gbps로 데이터를 기록할 수 있는 고속기록기 시스템을 사용하고 있다.

KVN에서 사용하는 고속기록기는 Mark5B 시스템으로 2002년부터 한국천문연구원과 함께 미국 MIT Haystack 천문대와 국제 공동 컨소시엄을 통하여 공동 개발하였다 [3]. 이때 초기 Mark5A에서 Mark5B로 개량되었으며, KVN에서는 Mark5B를 사용하고 있다. Mark5B 시스템은 완전한 VSI(VLBI Standard Interface)를 실현한 시스템으로서 국제적인 VLBI 관측 시스템의 호환성을 달성할 수 있도록 구현되었다. 앞에서 설명한 KVN의 모든 관측 시스템도 데이터의 입출력은 모두 VSI 규격에 따라서 설계 제작되었다.

초기에 개발된 Mark5B 고속기록기 시스템을 제어 운용하기 위한 소프트웨어도 포함되어 있으나, VSI 규격을 갖는 관측 시스템에서 시각정보를 처리하는 부분이 제외되어 사용자의 필요에 따라 구현하도록 요구하고 있다. 따라서 본 논문에서는 Mark5B 고속기록기 시스템의 제어 운용 소프트웨어를 분석하고 시각정보를 관측 데이터와 함께 기록할 수 있는 소프트웨어 모듈을 개발하였으며, 데이터의 기록과 함께 시각정보도 함께 저장되는지를 실험을 통하여 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 고속기록기 시스템의 하드웨어 구성에 대해 간단히 소개하고, 3장에서는 VSI 규격에 대해 기술하며, 4장에서는 고속기록기 제어 운용 소프트웨어의 구조와 시각정보 기록 소프트웨어 개발에 대해 기술한다. 5장에서는 실제 데이터기록을 통한 성능 평가 실험결과에 대해 소개하고 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

## II. 고속기록기의 하드웨어 구성

그림 1에 나타낸 것과 같이 Mark5B 고속기록기 시스템 [3-5]의 외형은 Mark5A와 동일하지만, 데이터 입출력을 담당하는 인터페이스 보드를 VLBI 표준 인터페이스인 VSI를 채용하고 있는 점이 큰 차이점이라고 할 수 있다. 본 장에서는 개발이 완료된 Mark5B 시스템의 구성에 대해서 간략히 기술한다.

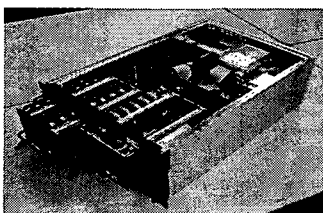


그림 1. Mark5 시스템.  
Fig. 1. Mark5 system.

고속기록기인 Mark5B 시스템은 RAID 구성을 위한 StreamStor 보드, VSI 규격을 갖는 I/O 보드, 8개의 HDD로 구성된 2개의 8-pack으로 구성되어 있다. 이하에 Mark5B의 입출력 시스템에 대해 간략히 기술한다.

Mark5B 시스템의 기능은 Mark5A와 달리 기록과 재생이 분리되어 동작한다. 아래에 기록과 재생기능에 대해 나타내었다.

### (1) DIM(Data Input Module) 동작

Mark5B의 DIM은 우선 입력신호에 포함된 1PPS(Pulse Per Second) 신호를 동기시키고 time-keeping을 수행한다. 그리고 일반적인 데이터 획득시의 파라미터를 설정하며, 데이터 획득을 하는 동안의 동작을 모니터링한다. 나중에 상관처리를 위해 필요한 Phase-cal(Phase calibration) 신호를 추출하게 된다. 또한 Mark5B 시스템의 진단을 위해 test-vector와 ramp 신호를 생성하고 test-vector를 수신하는 동작도 수행한다. Mark5B I/O 보드에 채용된 FPDP(Front Panel Data Port) 버스를 통하여 입력데이터가 처리되는 상태를 확인할 수 있으며, 시각정보의 처리를 위해 PDATA(ASCII stream data)도 DIM에서 수행한다. 간단한 DIM의 구성을 그림 2에 나타내었다.

### (2) DOM(Data Output Module) 동작

Mark5B의 DOM은 DIM과 달리 주로 상관처리를 위해 데이터를 재생하는데 사용된다. 동작모드는 다음과 같이 2가지가 있다. 첫 번째는 DOM SU(Station Unit) 모드로서 이는 현재 MIT Haystack 천문대 및 MPI/JIVE 등에서 사용되고 있는 Mark4 상관계의 SU로 동작할 때 사용되는 모드이다. 두 번째는 일반적인 VSI-H 모드로서 이는 HDD로부터 일반적인 VSI 재생을 할 때, DOM SU 기능은 동작하지 않고 VSI-H 규격에서 규정한 DOM으로 동작하는 모드를 말하며, KVN에서 이 모드를 사용한다. DIM과 마찬가지로 시각정보를 처리하기 위해 QDATA(ASCII stream data)를 제어한다. 간단한 DOM의 구성을 그림 3에 나타내었다.

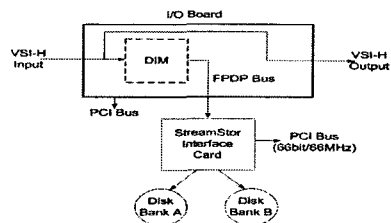


그림 2. 데이터 기록(DIM)의 구성.

Fig. 2. Configuration of data recording(DIM).

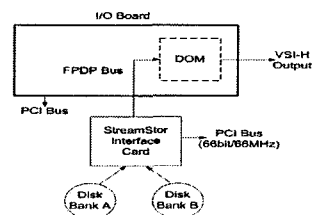


그림 3. 데이터 재생(DOM)의 구성.

Fig. 3. Configuration of data playback(DOM).

### III. VSI 규격

#### 3.1 VSI-H 규격

VLBI 데이터 시스템 사이에 호환성이 없는 것은 VLBI 관측의 실현에 심각한 걸림돌이 되는 것으로 인식되어져 왔다. 2001년부터 제기된 것이 바로 VSI-H(VLBI Standard Interface Hardware)[6] 규격의 국제적인 개발에 관한 것이다. VSI-H를 구현함으로써 관측국과 상관센터 사이의 다양한 VLBI 데이터 시스템의 호환성을 갖게 되며, VLBI 관측 비용을 낮추고 관측효율을 향상시키는데 큰 효과가 있을 것으로 기대된다. VSI-H의 구성도를 그림 4에 나타내었다.

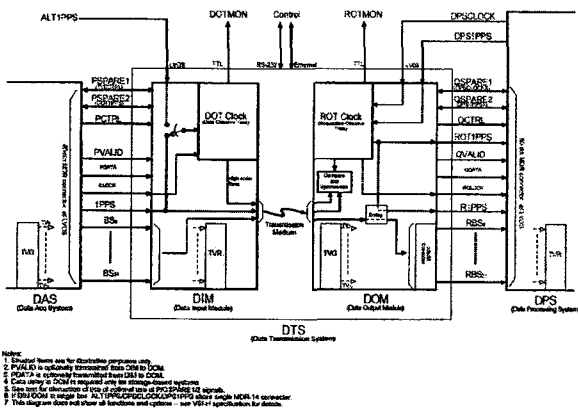


그림 4. VSI-H의 기능적 구성도.  
Fig. 4. Functional diagram of VSI-H.

#### 3.2 VSI-H의 목적

- ① 데이터 획득시스템과 상관기 시스템 사이와 같은 다른 종류의 DTS(Data Transmission System)사이를 쉽게 연결할 수 있는 VLBI DTS 표준 인터페이스를 정의하는 것이다.
- ② 일반적인 기록/재생 시스템, 네트워크 데이터 전송, 또는 직접 연결 시스템 등과 호환성을 가지는 것이다.
- ③ DTS의 자세한 특성을 완전하게 숨기고, 뚜렷한 방법으로 데이터 획득에서 상관기까지 데이터가 전송되는 것을 허용하는 것이다.
- ④ VSI가 구현 첫 단계에서 'plug and play'를 완전하게 지원할 의도는 아니지만, 다양한 VLBI 데이터 시스템 사이에 존재하는 호환성이 없는 것을 해결하는데 도움이 되도록 하는 것이다.
- ⑤ 측지와 천문 관련 공동체 사이의 공동 협력에 의해 개발하는 것이다.

#### 3.3 VSI-H의 특징

VSI-H의 특징을 나열하면 다음과 같다.

- 1 Gbps '채널 할당량' 정의
- 32 병렬 비트 스트림을 사용
- 32 MHz(2, 4Gbps의 채널 할당량에 대해 64, 128MHz

로의 확장) 클럭 사용

- 채널 할당에 따른 80핀의 표준연결단자 하나를 가짐
- 표준화된 전기적·시간적 규격을 가짐
- 신호 인터페이스는 모두 LVDS(Low Voltage Differential Signaling)를 사용
- 데이터에 시각 태깅을 하는 방법은 모두 DTS의 내부에서 수행되며 VSI-H에서는 정의하지 않음
- 시험 벡터 생성기/수신기 장착
- 상관기에 직접 연결하기 위한 모델-지연 성능을 간략화함
- 새로운 시스템에 쉽게 적용하기 위해 유연성을 가짐
- 저장미디어 변경이 용이함

#### 3.4 VSI-S 규격

VSI-S(VLBI Standard Interface Software) 규격[7]은 앞에서 소개한 VLBI 데이터 전송 시스템의 VSI-H 규격에서 동작하는 소프트웨어에 대한 규격을 정의한 것이다. VSI-S 규격의 목적은 VSI-H 호환성을 가지는 데이터 전송 시스템을 제어하기 위해 강력하고 신뢰성 있는 통신 규약을 명시하는 것이다. 즉, 다음과 같은 3가지 조건을 만족해야 한다.

- ① 통신 구조와 프로토콜을 명시
- ② 데이터 전송 시스템에 의해 사용될 일반화된 명령과 응답 규칙 모델을 명시
- ③ VSI-H 규격과 함께 일반적인 데이터 전송 시스템을 운영하고 구성하는 기본적인 명령들을 명시

#### 3.5 VSI-S의 통신 모델

VSI-S 규격에 대한 다음 설명은 명령(command), 질문(query), 그리고 각각의 응답(response)에 대한 구조를 이해하는데 유용하다.

o 명령 규칙

먼저 명령의 규칙은 다음과 같다.

$$\langle \text{keyword} \rangle = \langle \text{field 1} \rangle : \langle \text{field 2} \rangle : \dots ; \quad (1)$$

여기서, <keyword>는 VSI-S의 명령 키워드이다. 그리고 필드(field)의 수는 고정되거나 여러 개일 수도 있다. 필드는 콜론(:)으로, 종료는 세미콜론(;)으로 구분된다. 명령 라인에서 토큰 사이의 공백은 무시되지만, 대부분 문자 필드는 숨어있는 공백은 허용하지 않는다. 관측 시스템을 총괄하는 필드 시스템(Field System)과의 호환성을 위해 필드의 길이는 32개의 문자로 제한하며, 예외적으로 관측명령의 경우 64개 문자까지 허용한다.

o 명령응답 규칙

$$! \langle \text{keyword} \rangle = \langle \text{return code} \rangle [ : \langle \text{DTS-specific return} \rangle : \dots ]; \quad (2)$$

여기서, <keyword>는 명령 키워드이다. <return code>의 경우 ASCII 정수로서 다음과 같은 의미가 있다.

0-명령에 대해 성공적으로 완료

1-명령이 초기화 또는 동작중이지만 완료상태는 아님

2-명령이 구현되지 않았거나 DTS와 관련이 없음

3-구문오류

4-실행하는 동안 오류를 발생

- 5-명령요구에 대해 Busy 상태이며 다음에 다시 시도
- 6-명령요구의 혼란 또는 불일치
- 7-명령키워드가 없음
- 8-파라미터 오류

<DTS-specific return>은 특정한 DTS에 하나 또는 그 이상의 추가 필드이며 VSI-S 규격으로 정의된 표준 필드를 의미한다. 이때 필드는 임의의 형태가 될 수 있지만 동작과 오류에 대한 상세한 정보는 제공해야 한다.

- o 질문과 질문응답 규칙
- 질문규칙과 질문응답 규칙은 다음과 같다.

<keyword>?<field 1>:<field 2>:...; (3)

!<keyword>?<field 1(return code)>:<field 2>:<field 3>:...:[DTS-specific return]; (4)

여기서, <return code>의 경우 ASCII 정수로서 다음과 같은 의미가 있다.

- 0-질문에 대해 성공적으로 완료
- 1-질문이 초기화 또는 동작중이지만 완료상태는 아님
- 2-질문이 구현되지 않았거나 DTS와 관련이 없음
- 3-구문오류
- 4-실행하는 동안 오류를 발생
- 5-질문요구에 대해 Busy 상태이며 다음에 다시 시도
- 6-질문요구의 혼란 또는 불일치
- 7-질문에 대한 키워드가 없음
- 8-파라미터 오류
- 9-불확실한 상태

#### IV. 제어운영 소프트웨어 및 시각기록 SW 개발

본 장에서는 Mark5B 시스템을 운용하기 위한 제어 운영 소프트웨어를 분석하고 KVN의 VLBI 관측을 위해 필요한 VSI 규격에서 동작하는 시각기록 소프트웨어의 개발에 대해 기술한다.

##### 4.1 Mark5B 제어 운영 소프트웨어

Mark5B 제어 운영 소프트웨어의 구조를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에 나타낸 것과 같이 Mark5B 제어 운영 소프트웨어는 Main 제어 모듈, 명령어 해석기(Parsing), I/O 제어 모듈, 메시지 제어 모듈, 데이터 파일 제어 모듈, 데이터 구조 변환 제어 모듈로 구성된다. Main 제어 모듈은 TCP/IP 통신을 통해 원격 운영이 가능하도록 하는 부분이다. 명령어 해석기는 원격으로 입력되는 명령어를 해석하고 해석명령을 각 모듈에서 처리하도록 하는 제어 운영 소프트웨어의 핵심 부분이다. 그리고 I/O 제어 모듈은 데이터의 입출력을 담당하며, 인터페이스 보드의 제어를 담당한다. 메시지 제어 모듈은 각 입력된 명령을 수행한 후 출력되는 메시지를 제어하는 부분이다. 데이터 파일 제어 모듈은 입력을 통해 기록되는 데이터에 특정한 헤더 정보를 처리하는 모듈이다. 그리고 마지막으로 데이터 구조 변환 제어 모듈은 기록된 데이터를 일반 리눅스 파일로 변환하는 부분이다.

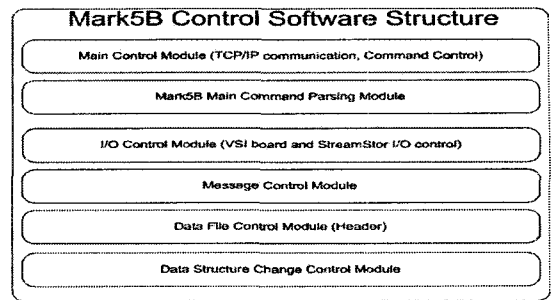


그림 5. Mark5B 제어 소프트웨어 구조.  
Fig. 5. Software structure of Mark5B control.

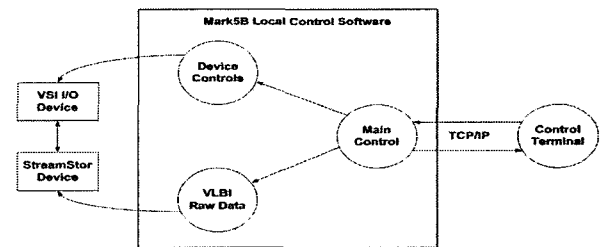


그림 6. Mark5B 제어운영 소프트웨어의 구성.  
Fig. 6. Diagram of Mark5B control and operation software.

그림 6은 Mark5B 제어 운영 소프트웨어 구성을 나타낸 것이다. 그림 6에서 Mark5B 제어 운영 소프트웨어는 TCP/IP를 통한 원격접속이 가능하며, 메인 제어를 통하여 각 디바이스와 VLBI 데이터를 제어한다. 각 디바이스는 VSI 입출력 디바이스를 제어하며, VLBI 데이터를 기록하는 StreamStor 디바이스와 연동하여 제어하도록 구성되어 있다.

그림 7은 제어 운영 소프트웨어를 이용하여 일반적인 운영을 할 때의 프로그램 시퀀스를 나타낸 것이다. 우선 각 디바이스들의 상태를 점검하고 초기화한 후 원격제어를 위한 접속을 기다린다. 그리고 명령에 의해 원격접속한 후 데이터 기록을 위한 여러 가지 파라미터 설정을 완료한다. 데이터의 기록을 위한 명령이 입력되면 기록을 시작한다. 관측자의 관측모드 변경에 따라 데이터의 기록과 중지를 반복해서 수행되며, 전체 데이터 기록이 완료된 후 더 이상의 데이터 기록을 수행하지 않으면 모든 프로세스를 종료한다.

원격접속을 통해 입력되는 명령은 명령어 해석모듈이 Mark5B 시스템에서 명령어를 해석하고, 간단한 응답을 모니터링 터미널로 계속 출력하는 구조이다.

그리고 그림 8, 9, 10, 11에 원격접속의 제어 터미널을 통해 명령어 입력에 대해 정상운영, 명령오류, 파라미터 오류, busy 상태 등의 동작에 대해 각각 그림으로 나타내었다. 그림 8의 정상운영 상태는 앞에서 소개한 프로그램 순서도와 같이 명령의 입력, 파라미터 입력 등을 통하여 정상적으로 명령어 해석, 파라미터 해석을 수행하고 그 실행결과에 대한 메시지를 제어 터미널로 전송하는 일반적인 동작 상태를 설명한 것이다. 그림 9와 10의 경우 입력된 명령이나 설정 파라미터의 구문오류나 프로그램 상의 명령입력

순서가 잘못된 경우에 대해 명령어 입력오류를 제어 터미널로 전송하는 동작 상태를 나타낸 것이다. 그리고 그림 11은 입력된 명령이 실행되고 있는 상태에서 다시 그 실행 명령을 입력했을 경우 그 명령에 대해 busy 상태를 제어 터미널로 전송하는 동작 상태를 나타낸 것이다.

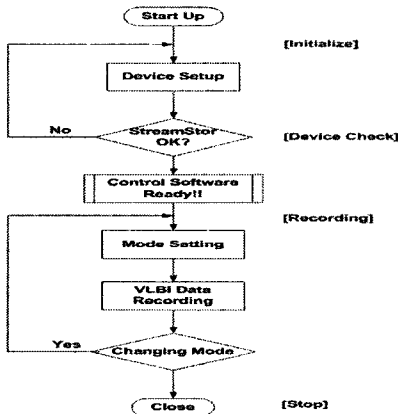


그림 7. 제어 운영 소프트웨어의 동작 순서도.  
Fig. 7. Flowchart of control and operation software.

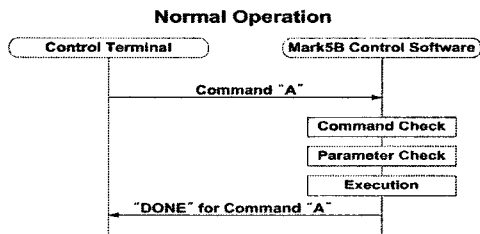


그림 8. 정상운영 상태.  
Fig. 8. Status of normal operation.

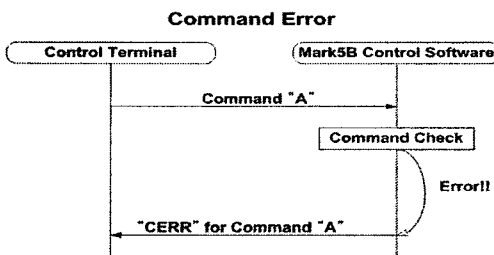


그림 9. 명령 입력 오류.  
Fig. 9. Error of command input.

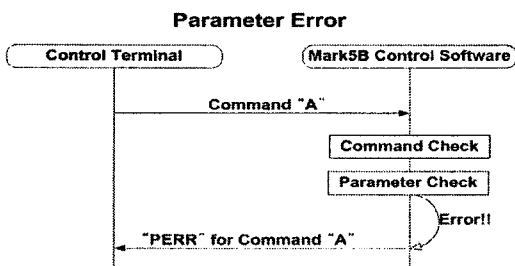


그림 10. 파라미터 입력 오류.  
Fig. 10. Error of parameter input.

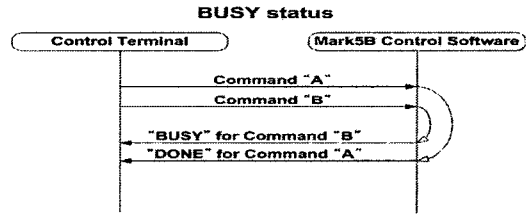


그림 11. 명령 중복에 따른 Busy 상태.  
Fig. 11. Busy status according to same command input.

#### 4.2 시각기록 소프트웨어 개발

VLBI 관측에서 시각정보는 매우 중요하다. VLBI관측은 수백 km 이상 멀리 떨어진 전파망원경이 동일한 전파원(별)을 관측하기 때문에 각 전파망원경에 도달하는 전파에는 지연이 발생하며, 이 지연정보를 포함하는 관측 데이터를 기록하게 된다. 상관기는 관측 데이터에 대한 간섭현상을 이용하여 전파영상을 합성하기 위해 기록된 데이터의 시각정보를 이용한다. 그리고 상관기에는 지연정보를 찾는 작업을 수행하기 때문에 시각정보는 VLBI관측에서 매우 중요한 정보라고 할 수 있다. 현재 KVN에서는 고속샘플러에서 제공되는 시각정보를 활용하고 있으며, 그 규격은 그림 12와 같다. 그림 12에 나타낸 것과 같이 시각정보를 예를 들면, #001,2009001010100, 1024, 64, 2, ACQ, PDATAVP1, PDATAVP2의 형태이며, 각 필드는 VSI ID, Current time, Sampling speed, Clock, Sampling bits, Test pattern, Test1, Test2 이다. 이 시각정보는 그림 13에 나타낸 것과 같이 1PPS 신호에 동기하여 1회/초로 데이터와 함께 출력되며, 이 정보를 고속기록기인 Mark5B 시스템에 저장하게 된다. 이하에 이 시각정보를 관측 데이터와 함께 저장하기 위해 개발된 시각정보 저장 소프트웨어의 개발에 대해 기술한다.

<ADS-1000 FDATA Format A>

#	VSI ID	Time data	SFF	CLK	SFB	Test Pattern	VP1	VP2	LF
<Meaning of Fields>									
#	Field	Meaning	Value	Handling in Digital Filter					
-	Start Of Frame	#	----	----					
-	Delimiter	#	----	----					
	VSI ID	Instrument ID	XXXX (4digit Hex ASCII)	Read with Command					
	Time data	Current Time	YYYYMMDDHHSS	Set to Internal Time Clock					
	SFF	Sampling Frequency (MHz)	512, 1024	Read with command					
	CLK	Output Clock Frequency (MHz)	32, 64	Read with command					
	SFB	Sampling bits	1, 2	Read with command					
	Test Pattern	Current Test Pattern	"A00", "T00", "R00", "T01"	Read with command					
	VP1	Test1	ASCII string	Read with command					
	VP2	Test2	ASCII string	Read with command					
	:	End							

※The values in the above table are subject to ASCII Code.

그림 12. ADS-1000의 시각정보 규격.  
Fig. 12. Time information specification of ADS-1000 sampler.

Mark5B 시스템은 4.1절에 소개한 제어운영 소프트웨어와 VSI I/O 보드의 FPGA 코드를 변경하여 고속기록기와 고속재생기로 활용할 수 있다. 고속기록기의 경우 DIM에 해당하는 FPGA 코드를 설정하고, 고속재생기의 경우 DOM에 해당하는 FPGA 코드를 설정한다. 본 논문에서는 고속기록기 모드에서 시각기록을 위한 소프트웨어를 개발하기 위해 DIM FPGA 코드를 입력하였다.

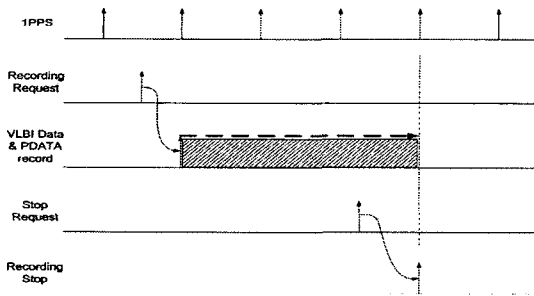


그림 13. 1PPS 신호에 따른 VLBI데이터와 PDATA 기록의 관계.

Fig. 13. Relation of PDATA and VLBI data according to 1PPS signal.

Mark5B 시스템은 2장에서 설명한 것과 같이 VSI 데이터를 처리하기 위한 VSI I/O 보드와 VSI I/O 보드와의 데이터 통신 및 HDD 팩을 제어하기 위한 Streamstor 보드로 구성되어 있다. 고속기록기 제어 소프트웨어는 그림 13에 나타난 것처럼 시간의 동기를 맞추기 위해 계속해서 발생하는 1PPS 신호에 대해 데이터 기록명령이 입력되면 VSI I/O 보드로부터 입력되는 PPS(Pulse Per Second)신호의 상승에지에 VLBI 관측데이터의 기록과 함께 PDATA의 기록을 시작한다. 그리고 기록중지 명령이 임의의 시간(1PPS) 사이에 입력되면 다음 1PPS의 상승에서 데이터의 기록과 PDATA의 기록을 중지한다.

그림 14에 나타난 것과 같이 Mark5B VSI I/O 보드로 입력된 1PPS는 PCI 인터럽트를 거쳐 Driver의 인터럽트 서비스 루틴을 호출한다. Driver와 어플리케이션 간의 인터럽트 확인 과정을 그림 15에 나타난 소스코드에서 확인해보면, 먼저 IOboard.c에서 ioctl()함수를 이용하여 driver인 mk5b.c에 MK5B\_IOCWAITONIRQ를 실행하도록 한다. Driver는 interruptible\_sleep\_on()함수를 호출하여 인터럽트가 입력되기 전까지 무한 대기 모드 상태가 된다. 어플리케이션인 IOBoard.c에서 ioctl()로부터 리턴 되지 않기 때문에 IOBoard.c 역시 무한 대기 모드가 된다.

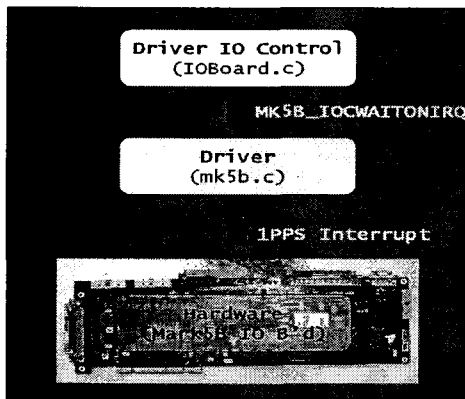


그림 14. 고속기록기의 어플리케이션과 VSI IO 보드 간의 PPS 처리 순서.

Fig. 14. PPS processing sequence between VSI I/O board and application of Mark5B.

```
<IOBoard.c>
fd = open("/dev/mk5b0", O_RDWR);
....
rc = ioctl(fd, MK5B_IOCWAITONIRQ, (void *) &m5bi);
....
```

그림 15. VSI I/O 보드를 I/O 제어하기 위한 소스코드.  
Fig. 15. Source code for control I/O between VSI I/O board.

```
<mk5b.c>
int mk5b_ioctl(struct inode *inode, struct file *filp,
unsigned int cmd, unsigned long arg)
{
    case MK5B_IOCWAITONIRQ:
        ...
        interruptible_sleep_on(&mk5b_queue);
        ...
}
```

```
<mk5b.c>
void mk5b_interrupt(int irq, void *dev_id, struct pt_regs *regs)
{
    ...
    wake_up_interruptible(&mk5b_queue);
    ...
}
```

그림 16. Mark5B VSI I/O 제어 및 인터럽트 소스 코드.  
Fig. 16. Source code for Mark5B VSI I/O control and interrupt.

그리고 그림 16에 나타난 것과 같이 Driver에서 mk5b\_interrupt()는 하드웨어에 입력되는 DPS1PPS에 의한 인터럽트 서비스 루틴이다. 인터럽트 서비스 루틴은 wake\_up\_interruptible()함수를 이용하여 mk5b\_ioctl()에서 설정한 interrupt\_sleep\_on()함수를 리턴 하도록 한다. 어플리케이션과 Driver, 하드웨어 사이의 데이터 전송은 DPS1PPS 신호에 동기하여 위와 같은 루틴을 반복하여 발생한다. 이러한 제어 루틴 분석을 통하여 Mark5B 고속기록기 시스템에서 VLBI 관측데이터의 기록과 함께 시각정보도 함께 저장하는 모듈을 기존의 제어 소프트웨어에 개발하였다.

#### IV. 실험결과

본 연구에서는 Mark5B 제어 운영 소프트웨어의 분석과 이를 통하여 개발한 시각제어 소프트웨어의 정상동작을 확인하기 위해 관측 데이터 기록시험을 수행하였다. 우선 KVN연세전파망원경을 활용하여 Mark5B 고속기록기에 데이터를 기록하는 시험과 이미 일본국립천문대의 VERA(VLBI Explore Radio Astrometry)관측망에서 관측된 데이터를 한일공동VLBI상관기의 부분품인 동기 재생 처리 시스템(Raw VLBI Data Buffer; RVDB)[8,9]으로 재생하여 Mark5B에 기록하는 시험을 수행하였다. 그림 17은 전파망원경으로 관측한 데이터를 안테나의 수신기실로부터 관측동

까지 광전송을 통해 전송하는 것을 나타낸 것이다. 광케이블을 통하여 전송된 데이터는 디지털필터와 디지털분광기로 구성된 KVN 자료획득시스템(DAS)[10,11]에서 분석되고 Mark5B 고속기록기 시스템에 기록된다. 그림 18은 동기 재생 처리시스템(RVDB)과 Mark5B 고속기록기를 연결하여 이미 관측된 데이터를 기록하는 시험 구성도를 나타낸 것이다. 시험을 위해 사용된 관측 천체를 표 1에 나타내었으며, 시험을 수행할 때 관측 데이터와 함께 시각정보도 함께 기록하였다.

본 연구에서 수행한 데이터 기록과 시각정보 기록시험 결과를 그림 19, 20, 21, 22, 23에 각각 나타내었다.

표 1. 시험을 위한 관측 천체.

Table 1. Observation source for experiment.

관측 천체/망원경	관측 주파수	관측대역폭	비고
W49N/KVN	22GHz	256MHz, 128MHz BW	KVNDAS-Mk5B
W-Hya/KVN	43GHz	256MHz BW	
W49N/OH43/VERA	22GHz	256MHz BW	RVDB-Mk5B

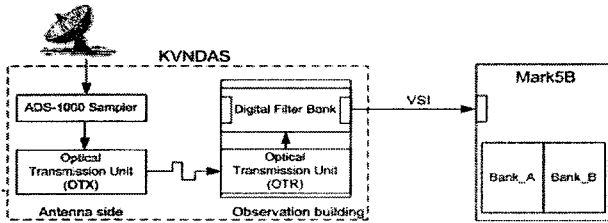


그림 17. KVN DAS와 Mark5B 고속기록기 구성.

Fig. 17. Mark5B recorder and KVN Data Acquisition System(DAS).

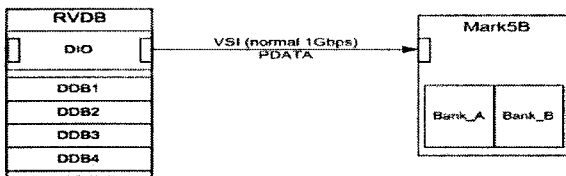


그림 18. 동기 재생 처리시스템(RVDB)과 Mark5B 고속기록기 구성.

Fig. 18. Mark5B recorder and RVDB system.

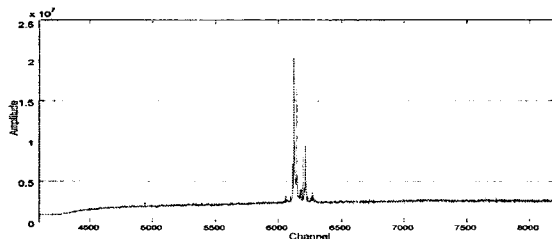
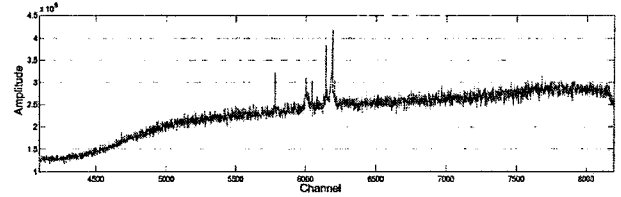
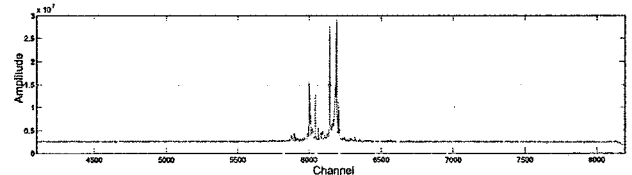


그림 19. Mark5B 시스템에 기록된 W49N 천체의 자기상관결과(256MHz BW).

Fig. 19. Auto-correlation result of W49N source recorded in Mark5B (256MHz BW).



(a) W49N, (0-128MHz BW).



(b) W49N, (129-256MHz BW).

그림 20. Mark5B 시스템에 기록된 W49N 천체의 자기상관결과(128MHz BW).

Fig. 20. Auto-correlation result of W49N source recorded in Mark5B (128MHz BW).

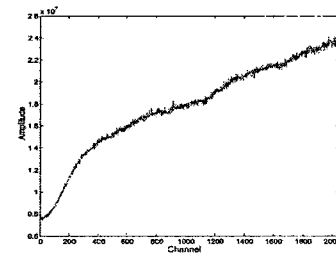
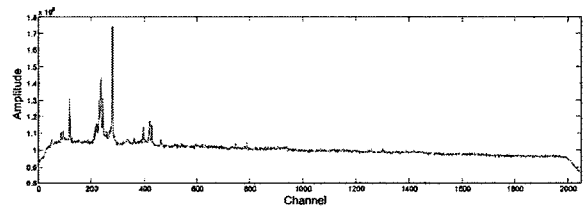
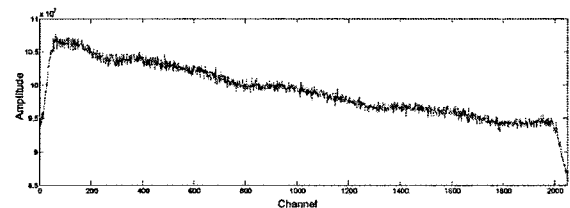


그림 21. Mark5B에 기록된 관측천체 W-Hya의 자기상관결과(256MHz BW).

Fig. 21. Auto-correlation result of W-Hya source recorded in Mark5B (256MHz BW).



(a) W49N(A beam).



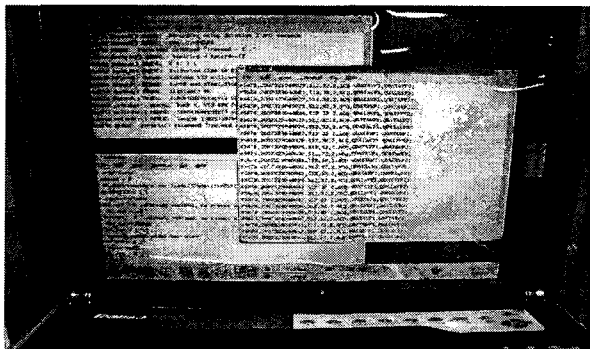
(b) OH43(B beam).

그림 22. RVDB로 재생하여 Mark5B에 기록한 W49N/OH43 천체의 자기상관결과.

Fig. 22. Auto-correlation result of W49N/OH43 source recorded in Mark5B by playing back from RVDB.



(a) Recording time code.



(b) Display of recorded time code.  
그림 23. 시각정보 기록시험결과.

Fig. 23. Time code recording result.

그림 19, 20, 21, 22에 나타난 실험결과는 현재 전파천문 관측을 위해 널리 사용되고 있는 전파의 세기가 강한 전파원을 선택한 것이며, 관측결과와 스펙트럼 형태는 잘 알려져 있다. 본 연구에서는 단순히 시스템의 성능검증을 위해 수행한 시험이므로 천체의 구조나 물질 등과 같은 전파원의 비교 분석은 수행하지 않았다. 그래서 이미 알고 있는 결과를 바탕으로 전파원의 스펙트럼 모양이 동일한지 여부를 확인하는 시험을 통하여 시스템의 동작상태를 확인하는 것으로 시험범위를 한정하였다.

그림 19는 KVN의 관측모드 중 관측주파수 스트림 1개를 기록하는 모드 1(256MHz BW)을 설정하여 별탄생 영역에서 전파의 세기가 매우 강한 Spectral Line의 W49N 천체를 관측하여 기록한 결과이다. 기록된 관측데이터에 대해 자기상관처리를 수행하였으며, 그 결과를 Matlab 프로그램으로 분석한 후 그림으로 나타낸 것이다.

그림 20은 KVN의 관측모드 중 관측주파수 스트림 2개를 기록하는 모드 2(128MHz BW)를 설정하여 W49N 천체를 대상으로 기록한 후 분석한 결과를 그림으로 나타낸 것이다. 그림 20은 그림 19의 주파수 대역폭 1/2씩 출력하도록 디지털 필터를 조정하는 것과 같은 것이다. 그림 19와 20에서 Mark5B 제어 운영 소프트웨어를 이용하여 전파의 세기가 강한 천체를 대상으로 관측 데이터를 Mark5B에 기

록하는 시험이 정상적으로 수행되는 것을 확인하였다. 그리고 그림 21은 KVN의 관측모드 1(256MHz BW)에 대해 Spectral Line의 W-Hya 천체를 관측하여 Mark5B 시스템에 기록한 결과이다. 실제 관측 데이터를 대상으로 한 데이터 기록시험에서 본 연구에서 개발한 시각정보 저장 소프트웨어를 통하여 시각정보도 함께 기록되는 것을 확인하였다. 특히 그림 22와 23은 본 연구에서 Mark5B 제어 운영 소프트웨어를 분석하여 시각정보를 기록하는 모듈의 성능을 확인하기 위해 일본국립천문대의 VERA 관측망으로 관측한 데이터를 RVDB에서 재생하여 Mark5B 시스템에 다시 기록하여 기록 데이터의 동일성과 시각정보의 전송/기록을 확인하는 시험 결과를 나타낸 것이다. 그림 22의 실험 결과에 사용된 VERA 관측데이터는 2개의 천체를 동시에 관측할 수 있는 시스템 특징 때문에 주파수 대역폭을 1/2씩 할당하여 2개의 천체(W49N/OH43)를 관측한 것이다. KVN의 경우 관측모드2에 해당하며, 기록된 데이터에 대해 자기상관처리를 수행한 결과를 그림 22에 나타내었다. 그림 23은 전송된 시각정보를 기록한 내용이며, 정상적으로 동작되는 것을 확인하였다.

이상의 실험을 통하여 Mark5B 시스템과 전체 KVN DAS 시스템과의 연결을 통하여 기록실험과 RVDB와 Mark5B 시스템의 연결을 통한 기록실험으로 제어 운영 소프트웨어의 분석과 이를 통하여 개발한 시각정보 기록 모듈이 정상적으로 동작하고 있는 것을 확인하였으며, 향후 KVN의 정상적인 VLBI 관측과 상관센터의 상관처리를 원활히 수행할 수 있을 것으로 기대된다. 향후에는 Mark5B 시스템의 안정된 운영을 위해 소프트웨어의 사용 환경을 개선할 예정이다.

## VI. 결론

본 논문에서는 한국우주전파관측망(KVN)을 통하여 천체의 미약한 우주전파를 고속으로 기록하는 고속기록기 시스템의 제어운용 소프트웨어를 분석하고 VSI 규격의 시각정보를 기록할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 고속기록기 시스템의 제어운용 소프트웨어는 대용량 HDD를 제어할 수 있는 특별한 RAID 보드를 구동하는 소프트웨어와 네트워크를 통한 제어운용을 할 수 있도록 구성되어 있다. 특히 핵심코어 소프트웨어가 시스템에서 구동되면서 관련 명령이 입력되면 명령을 해석하고 실행 후 결과를 출력하도록 구성되어 있다. 그리고 소프트웨어 분석을 통하여 기록된 관측데이터를 처리하기 위해 필요한 시각정보를 함께 기록할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다. 개발된 소프트웨어는 데이터를 기록할 때 입력되는 1PPS 신호의 인터럽트를 확인한 후 데이터 기록과 함께 기록시각정보도 함께 데이터 기록시간동안 기록하도록 구성하였다. 소프트웨어의 분석과 함께 개발한 소프트웨어의 정상동작을 확인하기 위해 실제 관측 데이터를 대상으로 데이터 기록시험을 수행하였으며, 특히 시각정보가 정확히 전송/기록되는지 확인하기 위해 이미 관측된 데이터를 다시 재생하여 Mark5B 시스템에 기



록한 결과 전송된 시각과 기록된 시각이 정확히 일치하는 것을 확인하였다. 이를 통하여 KVN을 이용한 VLBI 관측과 관측된 VLBI 데이터를 상관센터에서 정상적으로 상관처리를 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

**참고문헌**

[1] 김봉규, "한국우주전파관측망 구축," 한국천문연구원 2008년도 연구보고서, pp. 1-5, 2008.12.

[2] Thompson, A. R., Moran, J. M., & Swenson, G. W.Jr. *Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy*, 2nd Ed., (New York:John Wiley & Sons), 289, pp. 33-37, 2001.

[3] A. R. Whitney, "Mark 5 Disc-based Gbps VLBI Data System," Proc. of the 6th European VLBI Network Symposium, pp. 41-44, 2002.

[4] 오세진, 노덕규, 김광동, 송민규, 제도홍, 위석오, 김태성, Alan R. Whitney, "관측데이터의 고속기록을 위한 대용량 저장시스템," 천문학논총, Vol. 19, No. 1, pp. 85-94, 2004.

[5] 오세진 외, "1Gbps급 대용량 데이터처리를 위한 고속기록/재생 시스템 구축에 관한 연구," 2006년도 정보 및 제어학술대회 발표대회 논문집, pp. 404-406. 2006.

[6] MIT Haystack Observatory, "VLBI Standard Interface Specification (VSI-H)," pp. 4-32, 2002. 12.

[7] MIT Haystack Observatory, "VLBI Standard Interface Software Specification," pp. 3-24, 2003. 2.

[8] 오세진, 노덕규, 염재환, 정현수, 이창훈, 김광동, 김효령, Tomoaki Oyama, Noriyuki Kawaguchi, Kensuke Ozeki, "한일공동VLBI상관기에서 관측 데이터의 동기재생처리를 위한 RVDB 시스템 개발과 성능시험," 천문학논총, Vol 23, No. 2, pp. 1-18, 2008.

[9] 오세진, 노덕규, 염재환, 정현수, Tomoaki Oyama, Noriyuki Kawaguchi, "고속재생기와 초고속 동기재생처리시스템의 연결성 시험에 관한 연구," 2009년도 한국신호처리시스템학회 하계학술대회 논문집, 제10권, 제1호, pp. 196-199, 2009.

[10] 오세진, 노덕규, 정현수, 한석태, Kiyooki Wajima, Tetsuo Sasao, Noriyuki Kawaguchi, Kensuke Ozeki, 최한규, "KVN 자료획득을 위한 디지털 처리 시스템," 천문학논총, Vol. 19, No. 1, pp. 101-107, 2004.

[11] 정구영, 노덕규, 오세진, 염재환, 강용우, 이창훈, 정현수, 김광동, "FPGA를 이용한 전파천문용 디지털 필터 설계에 관한 기본연구," 신호처리시스템학회 논문지, 제 9권, 제1호, pp. 62-74, 2008.



**황 철 준(Chul-Jun Hwang)**

1996년 2월 영남대 전자공학과(공학사)  
1998년 2월 영남대 전자공학과(공학석사)  
2002년 2월 영남대 전자공학과(공학박사)

2000년 3월 ~ 현재대구과학대학 정보통신계열 교수  
※주관심분야 : 디지털신호처리, 음성신호처리, 멀티모달 시스템



**오 세 진(Se-Jin Oh)**

正會員  
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 선임연구원  
※주관심분야 : 디지털신호처리, 상관기 및 천문관측기 개발, 음성처리, DSP 응용