

VLBI 관측데이터 초고속 전송을 위한 VSI 광변환 송수신 장치의 설계 및 개발

Design and development of VSI Optical Adapter for high speed transmission of VLBI observation data

오세진*, 노덕규*, 염재환*, 정진승*, 정동규*, 오충식*,
Ozeki Kensuke**, Onuki Hirofumi**, Harada Keniichi**

Se-Jin Oh*, Duk-Gyoo Roh*, Jae-Hwan Yeom*, Jin-Seung Jung*, Dong-Kyu Jung*, Chung-Sik Oh*,
Kensuke Ozeki**, Hirofumi Onuki**, Keniichi Harada**

요약

본 논문에서는 VLBI 관측데이터를 광신호로 변환하여 전송할 수 있는 광변환 송수신 장치의 설계·개발과 성능시험에 대해 기술한다. 대전상관기에서 고속재생기(Mark5B, VERA2000)와 동기재생처리장치(RVDB) 사이, RVDB와 VLBI상관서브시스템(VCS) 사이에는 80라인의 구리선으로 구성된 VSI 케이블이 사용되고 있는데, 관측데이터를 LVDS 신호로 전송하며 유효길이는 최대 5m이다. 대전상관기는 16관측국의 자료처리를 수행할 예정이며, 향후 14대의 RVDB 시스템이 도입될 예정이다. 그리고 VSI 케이블의 연결단자의 접속 오류로 인해 데이터 손실도 발생하고 있다. 따라서 본 연구에서는 VSI 케이블의 접속오류로 인한 데이터 손실, RVDB와 VCS 사이의 공간 활용과 시스템의 증설계획, 그리고 장거리 데이터 전송(e-VLBI) 등을 고려하여 VLBI 관측데이터를 광신호로 변환하여 데이터를 효율적으로 송수신할 수 있는 장치를 개발하였다. 본 논문에서는 개발한 광변환 송수신 장치의 성능을 확인하기 위해 고속재생기와 RVDB 사이의 데이터 전송시험을 수행하였으며, 시험결과에서 데이터의 손실 없이 전송되는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper describes the design and development of VSI (VLBI standard interface) optical adapter for transmitting VLBI (Very long baseline interferometry) observation data with optical signal. VSI cable comprised of 80-line is being used for observed data transmission with maximum length of 5-meter between playbacks (Mark5B, VERA2000) and raw VLBI data buffer (RVDB), RVDB and VLBI correlation subsystem (VCS) in Daejeon correlator. It has a plan to conduct the data processing for 16-stations and introduce the 14 RVDB systems in near future. And data loss frequently occurred because of trouble of VSI cable MDR80 connector. By considering the data loss by connector error of VSI cable, RVDB system extension plan, effective space usage and long distance data transmission(e-VLBI), the VSI optical adapter was proposed and developed for effectively transmitting and receiving VLBI data through optical signal. In order to confirming the performance of developed VSI optical adapter, the experiments for data transmission was conducted between playback and RVDB system, and confirmed that data transmission was clearly done without any data loss.

Keywords: Daejeon correlator, VDIF, VSI optical adapter transmitter/receiver

I. 서론

한국천문연구원에서는 일본국립천문대와 공동으로 개발한 한일공동VLBI상관기(Korea-Japan Joint VLBI Correlator,

KJJVC)를 한일상관센터에서 2010년부터 운영하고 있다[1]. KJJVC는 한국천문연구원의 한국우주전파관측망(Korean VLBI Network, KVN)과 일본국립천문대의 VERA(VLBI Exploring of Radio Astrometry) 관측망에서 관측한 VLBI(Very long baseline interferometry, 초장기선전파간섭계) 데이터의 상관처리를 수행하고 있다[2]. KJJVC는 2012년 서울 연세대에서 대전 한국천문연구원으로 이전하여 대전상관기(Daejeon correlator)로 부르고 있다.

먼 우주에 위치한 천체에서 나오는 우주전파를 수신하고

* 한국천문연구원

** Elecs Industry Co. Ltd.

투고 일자 : 2013. 7. 15 수정완료일자 : 2013. 10. 25

계재확정일자 : 2013. 10. 31

이를 디지털신호로 가공하여 분석하는 전파천문학에서는 전파망원경(단일경, 간섭계)을 구축하여 이용하고 있다. 기존에는 전파망원경의 주경에 위치하는 수신기실에서 데이터를 저장하는 관측동까지 동축케이블을 이용하고 있지만, 데이터의 손실보정을 위해 최근에는 광 네트워크 기술을 이용하고 있다[3]. 또한 전파간섭계 또는 VLBI와 같이 수십 내지 수백 km 떨어진 전파망원경으로 동시에 같은 천체를 관측한 후 자료처리를 위해 상관센터로 데이터를 전송할 때도 e(electronic)-VLBI와 같은 광 네트워크 기술을 도입하고 있다[4].

대전상관기는 고속재생기, 동기재생처리장치(Raw VLBI data buffer, RVDB), VLBI상관서브시스템(VLBI correlation subsystem, VCS), 데이터 아카이브(Data archive, DA) 시스템 및 관련 소프트웨어로 구성된다(그림 1)[2]. 대전상관기를 구성하는 시스템 중에서 RVDB와 VCS의 자체 시스템에는 많은 양의 관측데이터를 전송하고 처리하기 위해 기본적으로

성능시험 결과에 대해 기술하고자 한다.

II. 대전상관기 및 VOA의 필요성

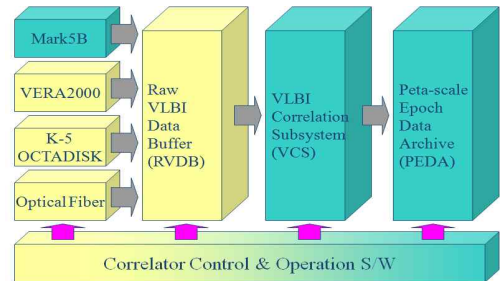


그림 1. 대전상관기 구성도

Fig. 1. Block diagram of Daejeon correlator

그림 1에 나타난 대전 상관기는 고속재생기(Mark5B, VERA2000),

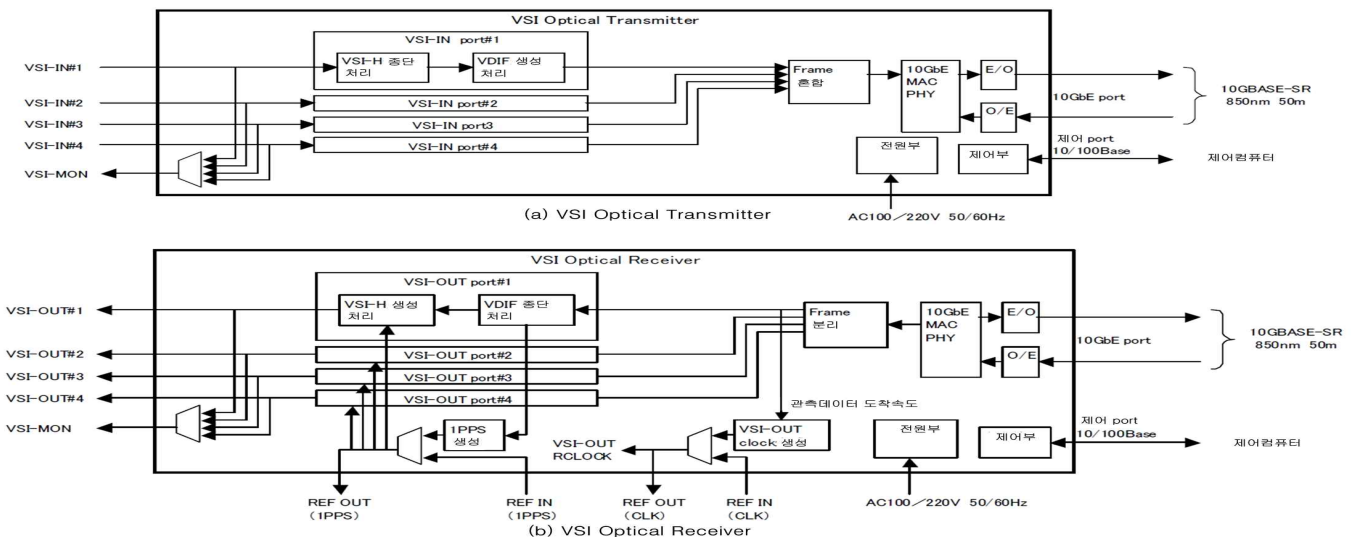


그림 2. VSI 광전송장치의 송신부와 수신부 구성도

Fig. 2. Configuration of transmitter and receiver of VSI optical adapter

광 통신을 채용하고 있다. 그러나 고속재생기와 RVDB 사이, RVDB와 VCS 사이에는 2002년에 국제 VLBI 협회(International VLBI Service, IVS)에서 규정한 MDR(Mini D ribbon)80 편으로 구성된 VSI-H¹⁾ 규격의 케이블을 사용하고 있다. 이 VSI(VLBI Standard Interface) 케이블은 최대 5m이내에서 2048 Mbps까지 데이터를 전송할 수 있는데, 대전상관기의 데이터 처리 용량 및 관측국 수의 증가와 VSI 케이블 연결된 접촉 불량 등에 따른 데이터 손실이 자주 발생하고 있다.

본 논문에서는 상관센터에서 운영하고 있는 대전상관기를 구성하는 시스템들 간의 VSI 데이터 케이블의 길이제한에 따른 전송 효율 저하와 관측데이터의 처리 용량 증가 및 시스템 증설에 따른 공간 활용도를 높이며, 향후 장거리 데이터 전송을 수행하기 위해 VSI 광송수신 장치의 설계·개발과

RVDB, VCS 등이 동일공간에 배치되지만, 향후 16관측국의 자료 처리를 위해 RVDB 시스템이 증설될 경우 VCS 주변에 16대의 RVDB 시스템이 배치되어야 하므로 최대 5m인 VSI 케이블의 연결로 인해 복잡한 구성이 될 것으로 예상된다. 따라서 효율적인 공간 활용과 장비들의 안정된 운영을 위해 VCS와 RVDB 시스템을 분리하여 배치할 예정이다.

또한 고속재생기와 RVDB 사이의 데이터 케이블 연결, RVDB와 VCS 사이의 데이터 케이블 연결에서 VSI 연결단자 사이의 접촉 오류와 케이블 길이 제한에 따른 데이터 손실이 자주 발생하고 있다. 또한 KVN의 각 관측국에서 관측한 VLBI 데이터를 광케이블을 통해 상관센터로 전송하는 시스템으로 활용하기 위해 새로운 시스템의 개발이 필요하다. 따라서 데이터 전송 손실을 보상하고 사용공간을 효율적으로 활용하기 위해 대전상관기의 일부로 사용할 VSI optical adapter(VOA)를 설계하였다.

1) <http://www.vlbi.org/vsi/>

VCS는 최대 16개 관측국을 지원할 수 있으며, 한 관측국당 최대 4 포트(Port)의 2,048Mbps 데이터 스트림(Stream)을 처리할 수 있다. 이러한 상황은 각 관측국이 8,192Mbps의 관측 데이터를 생성해 내는 멀지 않은 미래를 대비한 것이다. 현재는 각 관측국에서 최대 1,024Mbps의 관측 데이터를 생성해 내고 있는데, 이 데이터를 2배속으로 재생하여 2,048Mbps 데이터 스트림으로 취급 처리하고 있어서, 데이터 입력으로 보면 4분의 1의 기능만 사용하고 있는 상황이다.

따라서 VOA는 기본적으로 관측국당 최대 8,192Mbps의 데이터 스트림을 처리할 수 있어야 한다. 이 때 8,192Mbps를 4 ports × 2,048Mbps의 합으로 구성하면, KVN 또는 KVN+VERA 관측망이 목표로 삼고 있는 미래의 광대역 관측 모드를 잘 지원할 수 있을 뿐만 아니라, 1,024Mbps 수준인 현재의 관측 모드에서도 4개의 관측국을 묶어 하나의 VOA에 할당하여 8,192Mbps의 성능을 전부 활용할 수 있고, 현 시점에서의 도입 물량을 최소화할 수 있다.

즉, VOA의 송신장치(Transmitter)는 4개의 2,048Mbps VSI 입력 포트와 1개의 10GbE(Gigabit ethernet) 광출력 포트가 구성되고, VOA의 수신장치(Receiver)는 1개의 10GbE 광입력 포트와 4개의 2,048Mbps VSI 출력 포트가 구성된다.

III. VSI optical adapter의 설계

VOA 송수신 장치는 VSI 형식의 VLBI 관측데이터를 광케이블로 전송하고, 전송된 광신호를 다시 VLBI 형식으로 변환해 주는 역할을 수행하는 장치이다. 그림 2는 본 논문에서 설계·개발한 VOA 송수신 장치의 블록도이며, 표 1은 설계 규격을 나타낸 것이다. 이하의 각 절에서는 그림 2에 나타난 각 블록별 설계 및 기능에 대해 자세히 기술한다.

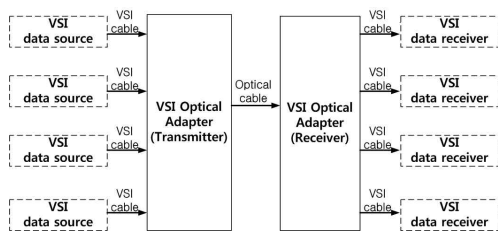


그림 3. VOA를 이용한 데이터 전송 시스템 구성
Fig. 3. Configuration of data transmission system using VOA

그림 3은 VOA를 어떻게 사용할 것인지를 보여주는 예상 연결도이다. VSI 데이터 소스(data source)와 VSI 데이터 수신기(data receiver) 사이에 VOA(Transmitter), Optical cable, VOA(Receiver)의 순서로 물리적으로 연결되나, 논리적으로는 VSI 데이터 소스, VSI 데이터 수신기로 직결된 것처럼 사용할 수 있다. 이를 통해 VSI 케이블의 길이가 최대 5m 이내라는 한계를 극복할 수 있다.

표 1. VOA의 규격
Table 1. VOA specification

분류/항목	내 용
전송거리	최대 50m 또는 그 이상
10GbE 포트/프로토콜	데이터 전송 프로토콜은 Layer 5이상으로 VDIF(VLBI Data Interchange Format) 사용
VSI -IN/OUT 포트	관측 데이터 VSI-IN 포트에서 지원하는 관측데이터 형식 <VSI-IN 포트 VSI-H 입력형식> · 2048Mbps=64MHz clock × 32parallel · 1024Mbps=32MHz clock × 32parallel
	Test Vector VSI-IN 포트에 장착된 TVG(Test Vector Generator)와 TVR(Test Vector Receiver)을 이용한 데이터 전송확인 가능 <Test Vector 형식> · VSI-H 형식, ADS-1000 고속샘플러 형식
VSI 포트 수	송신 입력측(VSI-IN)에 4개의 VSI-H(MDR80) 포트 및 모니터 포트(VSI-MON) 1개
	수신 출력측(VSI-OUT)에 4개의 VSI-H(MDR80) 포트 및 모니터 포트(VSI-MON) 1개
송수신신호	BS[31:0], RCLK, R1PPS, PDATA, PVALD
표시	LED RCLK, PVALD, R1PPS
	LCD 입출력 시각코드(yyyyddhhmmss)

3.1 데이터 전송 프레임 및 프로토콜 설계

VOA 송신장치(그림 2(a))의 VSI-IN 포트로부터 입력된 VSI 관측데이터는 VDIF²⁾(VLBI data interchange format) 프레임(Frame)으로 변환된다. VDIF 형식으로 프레임화된 관측데이터는 10GbE 포트로부터 출력되고, VOA 수신장치(그림 2(b))는 10GbE 포트로부터 관측데이터 프레임을 수신하며 각 VSI-OUT 포트에 프레임을 할당한다. 할당된 관측 데이터 프레임은 VSI 신호로 변환된 후 VSI-OUT 포트에 출력된다.

그림 4는 VOA에서 사용하는 프로토콜의 구조를 나타낸 것이다. 그림 4에서 10GbE 포트에 관측데이터를 전송하는데 사용되는 프로토콜은 VDIF, 관측데이터의 전송제어는 VDIFCP(VDIF control protocol)을 사용하는데 이더넷(Ethernet) 프로토콜 Layer 5이상이며 VDIF 관측데이터를 전송하기 위한 독자적인 프로토콜이다[5]. Layer4이하에는 표준 프로토콜인 Ethernet /IP /UDP를 사용한다. VDIFCP에는 3종류의 프레임이 있는데, MODE1과 MODE2에 따라 사용하는 프레임이 다르다. MODE1은 SR과 RR, MODE2는 SR과 VR을 사용한다. 여기서 SR(Send report)은 관측데이터의 부가적인 정보를 송신측에서 수신측으로 알려주는 것이며, RR(Receiver report)은 관측데이터의 전송품질을 수신측에서 송신측에 알려주는 프레임이다. 그리고 VR(VDIF request)은 수신측으로부터 송신측에 관측데이터를 요청하는 프레임을 나타낸다.

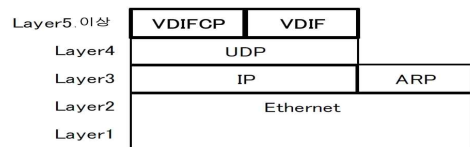


그림 4. 프로토콜 구조
Fig. 4. Protocol structure

2) <http://www.vlbi.org/vdif/>

그림 5는 본 연구에서 설계한 관측데이터의 프레임 구조이다. 그림 5에서 VDIF 형식의 관측데이터는 1,280byte (1,024Mbps일 때 관측시간 10 μ s마다)로 나누어진다. 그래서 1,280byte의 관측데이터마다 Ethernet/ IP/ UDP/ VDIF의 각 헤더가 더해진 후 수신장치로 전송된다. 프레임 분할이 있는 경우 H측/L측의 프레임은 함께 출력된다.

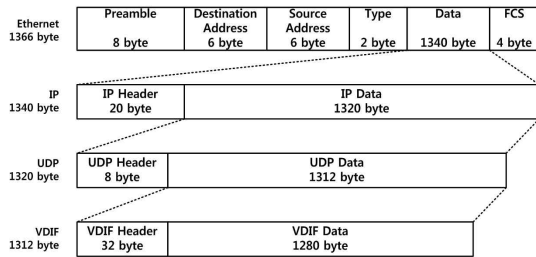


그림 5. 설계한 관측데이터 프레임의 구조
Fig. 5. Frame structure of designed observation data

VDIF는 VSI-H 표준의 관측데이터를 프레임화해서 형식을 변환한 후 전송하는데, 이 프레임화의 방식은 크게 2가지로 구분한다. 첫 번째는 VSI-H 표준의 관측데이터를 2개로 분리해서 각각 H측 프레임/L측 프레임을 1,280byte마다 프레임화해서 전송한다(프레임 분할이 있는 경우). H측과 L측의 프레임은 모두 송출된다. 이 방식은 송신측에서 H측/L측 프레임 각각 속도 제한을 설정할 수 있기 때문에 일반 공중회선망으로 전송대역의 여유가 없는 경우에도 H측 프레임만을 전송하는 것이 가능하다. 두 번째는 H측과 L측으로 나누지 않고 1,280byte마다 프레임화해서 전송한다(프레임 분할이 없는 경우). 이 방식은 VDIF를 제어 컴퓨터와 주고받을 경우 제어 컴퓨터에서의 처리를 단순화하는 것이 가능하다.

현재 VDIFCP 프로토콜은 MODE1과 MODE2가 있는데 데이터 흐름에 대해 제어유무가 다르다. 즉, MODE1는 데이터 흐름 제어가 없으며, OCTAVIA와 OCTADISK[6]의 기록시에 지원하며, MODE2는 데이터 흐름 제어가 있으며, OCTADISK의 데이터를 재생할 때 지원한다. 따라서 VOA는 그림 6에 나타난 것과 같이 MODE1의 데이터 흐름 제어를 하지 않는 방식으로 VDIFCP 프로토콜을 사용한다.

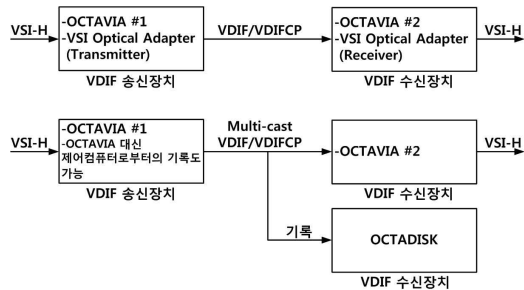


그림 6. MODE1(데이터 흐름 제어 없음)을 사용한 VDIFCP 프로토콜의 사용예
Fig. 6. Example of VDIFCP protocol using MODE1(without data flow control)

3.2 관측데이터의 시계열 보호

10GbE 전송에서 관측데이터 프레임에 손실이 있는 경우에도 VSI-OUT 포트로부터 출력되는 관측데이터의 시계열은 보호되어야 한다. 10GbE로 전송된 관측데이터 프레임에는 1PPS신호가 상승일 때 0부터 프레임마다 증가하는 프레임 시퀀스(Sequence) 번호가 추가된다. 10GbE 포트로부터 관측데이터 프레임을 수신하면 모든 관측데이터는 일단 메모리에 저장한다. 메모리에 저장할 때의 어드레스(Address)를 프레임 시퀀스 번호로 하여 시계열을 보호한다. 만약 10GbE으로 전송된 관측데이터 프레임이 손실된 경우에는 1프레임 분량에 해당하는 더미(Dummy) 데이터(내용은 Invalid 상태)를 삽입하여 시계열을 보존한다. 또한 손실이 발생한 부분의 관측데이터 Valid 상태는 무효로 해서 VSI-OUT 포트의 QVALID로 출력된다. 이에 대한 설명을 그림 7에 나타내었다.

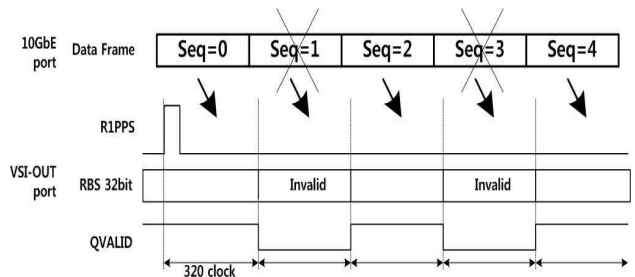


그림 7. 관측데이터 전송할 때 시계열 보호 방법
Fig. 7. Time sequence protection method when observation data transmission

3.3 관측데이터의 전송 대역폭

VOA에서 VSI-H 2,048Mbps \times 4port의 관측데이터를 10GbE 포트에 전송하는데 필요한 대역폭은 다음과 같다. 1 프레임당 이더넷 프레임 비트수는 1,366 byte \times 8 bit = 10,928 bit이다. 1,366 byte에 대한 자세한 구성은 그림 5에서 나타난 것과 같이, 관측데이터 : 1,280 byte, VDIF header : 32 byte, UDP header : 8 byte, IP header : 20 byte, Ethernet header : 26 byte 이다. 그리고 이더넷 프레임의 최저 송신간격(Inter Frame Gap)은 96 bit이고 초당 프레임 수는 200,000[frame]이다. 또한 VSI-H 1port에 필요한 전송대역폭은 (10,928 bit + 96 bit) \times 200,000frame = 2,204.8Mbps이므로 VSI-H 4port에 필요한 전송대역폭을 계산하면 2,204.8Mbps \times 4port = 8,819.2Mbps가 된다.

VSI-H 4port의 관측데이터를 전송하기 위한 관측데이터 제어 프레임 전송대역폭은 최대 1Mbps이하가 된다. 따라서 10GbE 케이블로 전송되는 데이터를 제외하고 남은 전송대역폭은 10,000Mbps-8,819.2Mbps-1Mbps = 1,179.8Mbps가 된다. 표 2에 각 관측데이터 형식에 대한 전송대역폭을 나타내었다.

표 2. VOA의 전송대역폭

Table 2. Transmission bandwidth of VOA

관측데이터 형식	frame수 /1sec	VSI-H 1port	VSI-H 4port	10GbE 여분
2Gbps-normal	200,000	2,204.8	8,819.2	1,179.8
1Gbps-double	200,000	2,204.8	8,819.2	1,179.8
512Mbps-quadruple	200,000	2,204.8	8,819.2	1,179.8
1Gbps-normal	100,000	1,102.4	4,409.6	5,589.4
512Mbps-double	10,0000	11,02.4	4,409.6	5,589.4

3.4 VOA의 VSI-IN/OUT포트에 지원되는 관측데이터

본 연구에서 설계한 VOA 송수신장치의 VSI-IN과 VSI-OUT 포트인 VSI-H MDR80핀 연결단자로 입출력되는 신호를 표 3에 나타내었다. 표 3에 나타낸 것과 같이 VSI-H 규격에서도 지원하지 않는 신호는 VOA 송수신장치에서도 지원하지 않는다.

표 3. VSI 입출력 포트에서 지원되는 신호

Table 3. Supported signal at VSI input/output port

포트	지원 신호	지원 않는 신호
VSI-IN	BS[31:0] 1PPS PVALID CLOCK PDATA	PCTRL PSPARE1 PSPARE2 Unused
VSI-OUT	RBS[31:0] R1PPS QVALID RCLOCK QDATA ROT1PPS	QCTRL QSPARE1 QSPARE2

표 4는 VOA 송신장치로 입력되는 관측데이터 형식과 속도를 나타낸 것이다.

표 4. 입력 관측데이터 형식

Table 4. Input observation data format

관측데이터 형식	기록속도 [Mbps]	speed up factor	clock speed [MHz]	PPS
2Gbps-normal	2048	1	64	1PPS
1Gbps-double	1024	2	64	2PPS
512Mbps-quadruple	512	4	64	4PPS
1Gbps-normal	1024	1	32	1PPS
512Mbps-double	512	2	32	2PPS

표 4에 나타낸 것과 같이 VSI-IN 포트에 입력할 수 있는 최대 데이터 속도는 2,048Mbps이므로 예를 들어 1,024Mbps로 기록된 데이터를 2배속으로, 512Mbps로 기록된 데이터는 4배속으로도 데이터를 입력하여 전송할 수 있다.

4개의 VSI 포트에 입출력되는 관측데이터의 형식은 동일하다. VOA 송신장치에서는 VSI-IN 포트로부터 입력되는 CLOCK과 1PPS의 주기에 의해 관측데이터 형식이 자동으로 설정된다. 이때 유효한 CLOCK과 1PPS가 입력되지 않은 VSI-IN 포트는 제외시킨다. 또한 유효한 CLOCK과 1PPS가 입력되고 있는 모든 VSI-IN 포트의 CLOCK과 1PPS의 주기가 일치되지 않으면 에러가 발생하며, VOA

송신장치에서 수신장치로의 데이터 전송은 정상적으로 수행되지 않는다. VOA 수신장치에서의 관측데이터 형식은 송신장치의 설정에 의해 자동으로 설정/선택된다. VOA 송수신장치에서 TVG (Test vector generator) 데이터를 전송할 때는 장치 정면 LCD와 Telnet(VSI-S3)으로 제어 컴퓨터에서 관측데이터 형식을 선택할 수 있다.

3.5 송신측 VSI-IN포트clockrate와 동기

VOA 수신장치의 VSI-OUT 포트로부터 출력되는 클록(RCLOCK)의 주파수는 VSI-OUT 포트마다 10GbE 포트를 경유하여 송신장치로부터 전송되는 관측데이터 프레임의 평균 도착간격을 기본으로 제어할 수 있다. 이 기능을 이용하여 VOA 수신장치의 VSI-OUT 포트로부터 출력되는 데이터의 평균속도는 VOA 송신장치의 VSI-IN 포트로부터 입력하는 데이터의 평균속도와 일치시키면, VSI-OUT 포트의 수신버퍼의 오버플로(Overflow)를 방지하여 연속적인 데이터 전송이 가능하게 된다. 제어할 수 있는 주파수 범위는 ±100ppm이다.

3.6 외부클록과 1PPS 동기

VOA 수신장치의 VSI-OUT 포트로부터 출력되는 클록(RCLOCK) 및 1PPS(R1PPS)를 외부 클록 입력 및 외부 1PPS 입력 신호에 동기시킬 수 있다. 여러 대의 VOA 송수신 장치를 사용하여 데이터를 병렬로 전송하는 경우 VOA 송신측 VSI-IN 포트 clock rate 동기기능으로 생성된 VSI-OUT 포트의 RCLOCK의 작은 주파수 편차에 의해 데이터의 위상오차가 발생할 수 있다. 이 경우에는 임의로 1대의 VOA 수신장치를 클록 마스터(Clock master)로 설정하고 나머지 VOA 수신장치를 클록 슬레이브(Clock slave)로 설정하여 클록 마스터가 되는 수신장치만을 송신측 VSI-IN 포트 clock rate 동기기능으로 RCLOCK을 생성하고 클록 슬레이브가 되는 수신장치는 클록 마스터로부터 공급되는 클록에 동기하여 RCLOCK을 생성한다. 또한 R1PPS도 마찬가지로 클록 마스터가 되는 수신장치에서 생성하여 클록 슬레이브인 수신장치는 클록 마스터로부터 공급되는 1PPS에 동기해서 R1PPS를 출력한다. 그림 8은 앞에서 설명한 외부클록과 1PPS 동기방법을 나타낸 것이다.

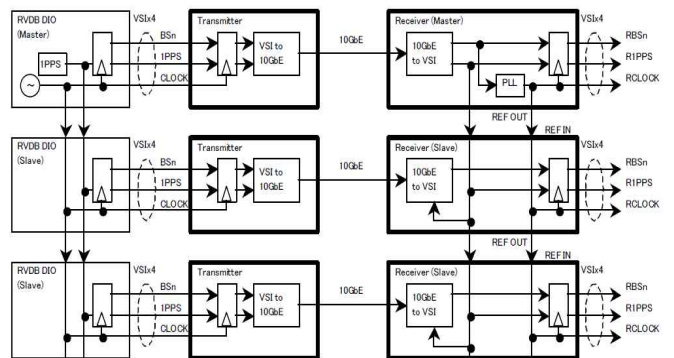


그림 8. VOA 수신장치에서 클록 마스터에 의한 외부클록과 1PPS 동기방법

Fig. 8. Synchronized method for external clock and 1PPS by clock master in VOA receiver

3.7 TVG/TVR기능

VOA 송수신장치의 VSI-IN 포트와 VSI-OUT 포트에는 데이터의 연결성 시험을 수행할 수 있는 TVG와 TVR 기능이 있으며, Test vector 형식은 VSI-H 형식과 ADS-1000 형식을 지원한다. 단, 1PPS 신호에 동기되지 않는 데이터는 TVR에서 확인하지 않는다. 각 장치로부터 출력되는 TVG 패킷은 항상 유효상태(Valid)로 출력된다. 그림 9는 VOA 송수신장치에서 TVG/TVR의 기능을 나타낸 것이며, 표 5는 지원하는 TVG 데이터의 형식이다.

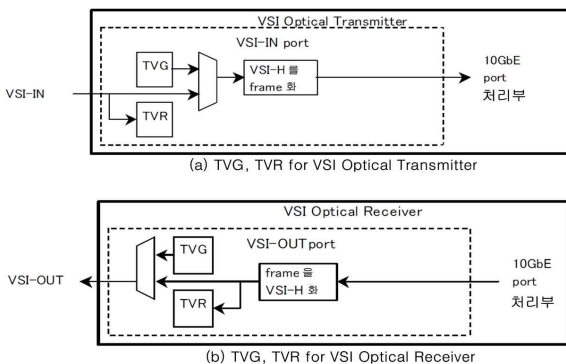


그림 9. VSI 광전송장치 송수신부의 TVG/TVR 기능
Fig. 9. TVG/TVR function for VSI optical adapter

표 5. 지원하는 TVG 데이터 형식
Table 5. Supported TVG data format

Time (clock times after 1PPS)	VSI-H BS[31:0]	ADS-1000 BS[31:0]
1 clock	0xBFFF4000	0x65555555
2 clock	0xCFFF3000	0x5A555555
3 clock	0xEBFF1400	0x56655555
4 clock	0xF0FF0F00	0x55AA5555
5 clock	0xFBFF0440	0x55656555

3.8 PVALID/QVALID 및 모니터용 VSI포트

VOA 송수신장치에서 VSI-IN 포트의 PVALID로부터 입력된 유효/무효정보는 관측데이터 프레임마다 유효상태가 AND 논리로 연산되어져서 10GbE 포트에 출력된다. 하나의 관측데이터 프레임에 포함된 관측데이터는 1,280byte (10,240bit)이므로 VSI-H에서는 32parallel × 320clock 분량이 된다. 그림 10은 VOA 송수신장치에서의 PVALID/QVALID의 원리를 나타낸 것이다.

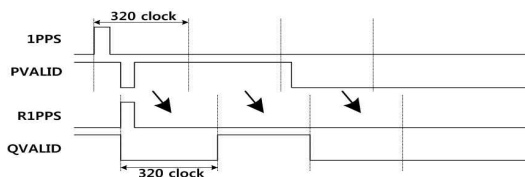


그림 10. PVALID/QVALID 동작설명
Fig. 10. PVALID/QVALID operation explanation

그리고 VOA 송수신 장치에는 VSI 케이블을 통해 데이터 전송이 정상적으로 수행되는지 확인하기 위해 VSI-IN과 VSI-OUT에 있는 4개의 포트 중에서 임의로 하나의 포트를 선택하여 VSI 신호를 모니터링할 수 있는 VSI-MON 포트가 있다. 즉, 데이터가 정상적으로 송수신되고 있는지를 모니터링용 VSI 포트에 다른 시스템을 연결하여 감시할 수 있다.

3.9 관측시각 전송 및 시스템 외관

VOA 송신장치는 VSI-IN 포트의 PDATA로부터 입력된 ADS-1000 형식의 관측시각을 10GbE 포트에 송신한다. VOA 수신장치는 10GbE 포트로부터 수신된 관측시각을 VSI-OUT 포트의 QDATA로 출력한다. ADS-1000 형식의 PDATA[7]는 관측시각과 부가적인 정보를 포함하고 있다. 관측시각은 관측데이터 프레임과 관측데이터 제어 프레임의 양쪽에 전송되며, 부가적인 정보는 관측데이터 제어 프레임에 전송된다. 1초 동안 관측데이터 프레임은 200,000 frame(2Gbps-normal인 경우)이 전송되지만, 관측데이터 프레임에 추가되는 시각은 1초 동안 모든 프레임에 같은 시각이 부여된다.

VOA 수신장치의 VSI-OUT 포트로부터 출력된 시각은 4초전의 시각에 4초 더한 것이므로(입력이 4개이며, 1개 VSI 포트당 1초 할당) VSI-IN 포트에 불연속적인 시각이 입력되면 4초 지연되어 불연속인 시각이 VOA 수신장치의 VSI-OUT 포트로부터 출력된다. 그림 11은 VOA에서 관측시각정보의 제어와 전송에 대해 나타낸 것이다.

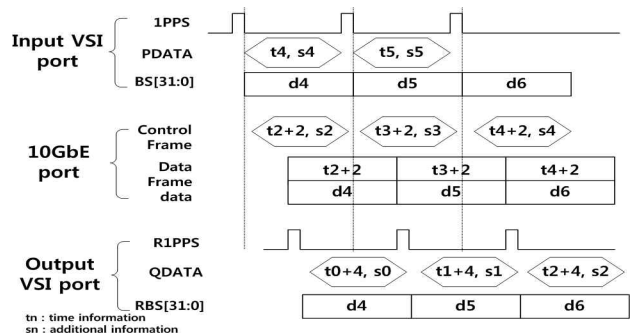


그림 11. VOA에서 관측시각정보의 전송과 제어
Fig. 11. Transmission and control of observation time information in VOA

VOA 송수신장치의 VSI-IN 포트에서 PDATA로 입력되는 관측시각의 타이밍은 관측데이터 형식에 대응하여 그림 12의 타이밍으로 입력된다. 또한 VSI-OUT 포트 QDATA로부터 출력되는 시각부호의 타이밍도 그림 12의 타이밍으로 출력된다. 그림 12는 2Gbps-normal인 경우로서 1초 (1,000msec)인 1PPS/R1PPS 동안 PDATA/QDATA는 최소 10msec에서 최대 500msec이내에 출력되는 것을 나타낸 것이다.

그림 13은 본 연구에서 설계한 VOA 송수신장치의 외관을 나타낸 것이다.

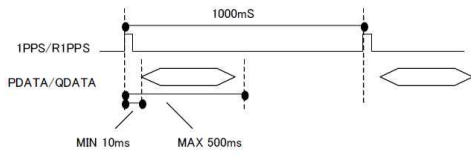
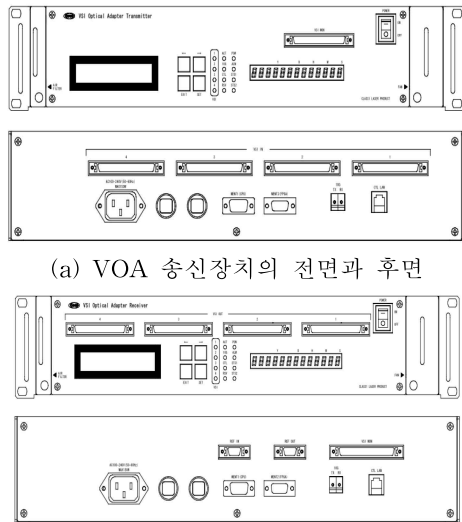


그림 12. P/QDATA의 타이밍 제어
Fig. 12. Timing control of P/QDATA



(a) VOA 송신장치의 전면과 후면

(b) VOA 수신장치의 전면과 후면

그림 13. 설계한 VOA 송수신장치의 외관모습
Fig. 13. Birds-eye view of designed VOA transmitter/receiver

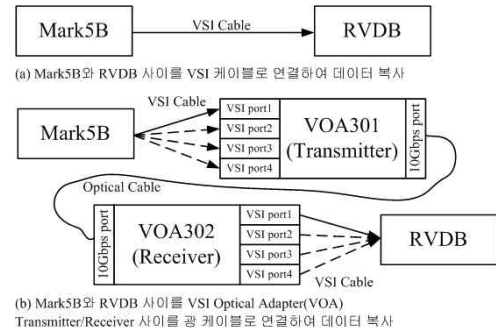
IV. 실험결과

본 연구에서 설계하고 개발한 VOA 송수신장치의 성능 시험을 수행하였다. 우선 VOA 송수신 장치간의 연결성 시험을 위해 TVG 패턴 데이터를 이용하여 데이터 전송시험을 수행하였다. 그리고 실제 관측데이터를 고속재생기인 Mark5B 시스템과 개발한 VOA 송수신장치를 연결하고 동기재생처리장치인 RVDB로 데이터가 정상적으로 전송되는지를 확인하는 시험을 수행하였다.

그림 14는 본 연구에서 개발한 VOA 송수신 장치를 시험하기 위한 모습을 나타낸 것이다. 각 장치간의 연결성 시험의 경우 그림 15(b)의 시험구성에 대해 일정한 패턴을 갖는 TVG 데이터를 Mark5B에서 재생하여 VOA 송신장치와 수신장치를 거쳐 RVDB의 OCTAVIA에서 TVR check 기능으로 확인하였다. 즉, VOA 송수신 장치에도 TVG 패턴 데이터를 확인하는 기능이 있으므로 VOA 송신장치는 Mark5B의 TVG 패턴, VOA 수신장치는 VOA 송신장치의 TVG 패턴, RVDB의 OCTAVIA는 VOA 수신장치의 TVG 패턴을 각각 확인할 수 있는 것이다. 이 TVG 패턴으로 각 장치간의 케이블 연결 상태나 데이터가 정상적으로 전송되었는지를 확인하는데 매우 유용하게 활용하고 있다. 연결성 시험결과를 표 6에 나타내었다.



그림 14. VOA 송수신(Transmitter/Receiver) 장치 시험
Fig. 14. Experiment of VOA Transmitter/Receiver



(a) Mark5B와 RVDB 사이를 VSI 케이블로 연결하여 데이터 복사

(b) Mark5B와 RVDB 사이를 VSI Optical Adapter(VOA) Transmitter/Receiver 사이를 광 케이블로 연결하여 데이터 복사

그림 15. Mark5B와 RVDB사이에 VOA를 연결한 시험 구성도
Fig. 15. Experiment configuration by connecting VOA between Mark5B and RVDB

표 6. TVG/TVR을 이용한 장치간의 연결성 시험

Table 6. Connectivity experiment between equipments using TVG/TVR

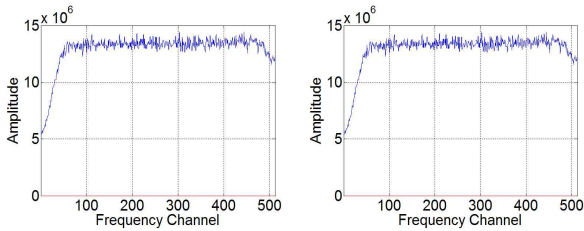
TVG(송신)	TVR(수신)	패턴정상여부
Mark5B	VOA 송신장치	패턴 정상
VOA 송신장치	VOA 수신장치	패턴 정상
VOA 수신장치	OCTAVIA	패턴 정상

그리고 실제 관측 데이터를 이용하여 전송시험에서는 그림 15에 나타낸 것과 같이 Mark5B와 RVDB 사이를 VSI 케이블로 연결한 경우(그림 5(a))와 Mark5B와 RVDB 사이를 VOA 송신장치와 수신장치를 10GbE으로 연결하고, VOA 송신장치 4개의 VSI 포트에 각각 같은 데이터를 4회 재생하여 VDFCP 프로토콜로 전송된 각 포트의 데이터를 RVDB에 저장한 후, Mark5B와 RVDB 사이를 VSI 케이블만 연결하여 저장한 데이터와 스펙트럼의 모양으로 비교하였다. 실험에 사용된 관측데이터는 2011년 1월 25일에 KVN으로 연속파 천체(Continuum radio source)인 J1927+7358을 관측한 것이다. 천체의 진과관측은 1,024 Msps(Mega sample per second), 2bit로 샘플링된 후 2,048Mbps의 데이터량은 디지털 필터로 16 MHz 대역폭에 16 stream으로 필터링하여 1,024Mbps의 기록속도를 갖는 Mark5B 고속기록기에 저장한 것이다. 비교를 위해 그림 16에 나타낸 것은 오전 4시 30분부터 1초 동안의 데이터를 캡처하여 Matlab으로 자기상관처리한 것이다.

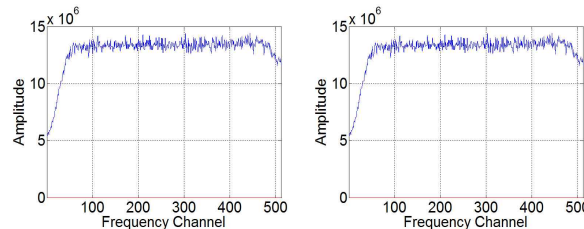
그림 16에 나타낸 것과 같이 VSI 케이블로 직결한 경우(그림 16(a))와 비교하여 VOA 송수신 장치의 각

VSI-IN/OUT 포트를 경유하여 10GbE으로 전송된 경우(그림 16(b)~(e)) 시험 데이터는 VSI 케이블로 복사된 데이터와 완벽하게 일치하는 것을 확인하였다.

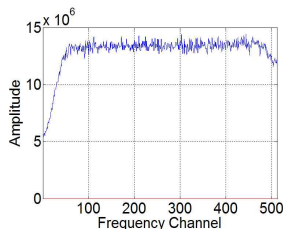
이상의 시험결과로부터 본 연구에서 개발한 VOA 송수신 장치는 LVDS 신호를 사용하기 때문에 유효거리가 5m인 VSI 케이블로 전송되는 데이터를 장거리에서도 데이터를 전송하는데 유효함을 확인하였으며, 향후 우주전파 관측 자료의 데이터 전송에도 사용될 것으로 기대된다.



(a) 기준데이터 (b) VSI port1을 경유한 데이터



(c) VSI port2를 경유한 데이터 (d) VSI port3를 경유한 데이터



(e) VSI port4를 경유한 데이터

그림 16. 관측 데이터 재생시험 결과 비교 : (a) Mark5B와 RVDB를 VSI 케이블로 연결한 경우, (b)~(e) Mark5B와 RVDB 사이에 VOA 송수신 장치를 연결한 경우.

Fig. 16. Comparison result of observation data playing back experiment: (a) in case of connection by VSI cable between Mark5B and RVDB, (b)~(e) in case of connection by VOA transmitter/receiver between Mark5B and RVDB.

V. 결론

본 논문에서는 데이터의 손실과 운용효율을 높이기 위해 개발한 VOA 송수신 장치를 설계·개발하고 데이터 전송시험을 수행하였다. VOA 송수신장치는 4개의 VSI 포트에 입력되는 VSI 데이터를 VDIFCP 프로토콜로 프레임화하여 이더넷 신호로 변환하여 10GbE 포트로 데이터 전송한다.

VOA 수신장치는 10GbE 포트로 입력된 이더넷 신호를 VDIF 프레임 데이터로 변환한 후 다시 VSI 데이터로 변환하여 각 4개의 VSI 포트에 전송한다. 개발한 VOA 송수신 장치의 성능시험을 위해 실제 천체 관측데이터를 대상으로 데이터 전송시험을 수행하였으며, VOA 송수신 장치를 사용한 경우와 그렇지 않은 경우에 대해 전송된 2 종류의 데이터가 완벽하게 일치하는 것을 확인하였다.

본 연구에서 개발한 VOA 송수신 장치는 VSI 케이블을 사용할 경우 자주 발생하는 연결단자의 접촉 오류문제와 5m 길이제한에 대한 문제를 해결하였으며, e-VLBI 등과 같은 장거리 데이터 전송 등에 활용될 수 있으며, 향후 대전상관기에서 RVDB 장치의 확장에 따른 배치 공간을 효율적으로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] 노덕규, 오세진, 염재환 외 15명, “2008년도 한일공동 VLBI상관기 및 수신기 개발 결과보고서,” 한국천문연구원, pp. 3-100, 2008.
- [2] 오세진, 노덕규, 염재환 외 6명, “VLBI상관서비스시스템 본제품의 제작현장 성능시험,” 신호처리시스템학회 논문지 제12권, 제4호, pp. 322-331, 2011.
- [3] Se-Jin Oh, Duk-Gyoo Roh, Kiyooki Wajima 외 15명, “Design and development of a high-speed data acquisition system for the Korean VLBI Network,” Publication of Astronomical Society of Japan, Vol. 63, pp. 1229-1242, 2011.
- [4] 송민규, 변도영, 김현구, 오세진, 한석태, 노덕규, 이보안, “e-VLBI 구현을 위한 네트워크 모델설계,” 천문학 논총, 제20권, 제1호, pp. 63-71, 2005.
- [5] Elecs Industry Co. Ltd., “觀測データ伝送プロトコル VDIF/VDIFCP仕様書,” 2010.
- [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] Digitallink corporation, “ADS-1000 sampler manual,” 2002.



오 세 진(Se-Jin Oh)

正會員

1996년 2월 영남대 전자공학과(학사)
1998년 2월 영남대 전자공학과(석사)
2002년 2월 영남대 전자공학과(박사)

2001년 9월 ~ 2002년 12월 대구과학대학 교수
2010년 6월 ~ 2011년 5월 한국천문연구원 그룹장
2002년 12월 ~ 현재 한국천문연구원 선임연구원
※주관심분야 : 디지털신호처리, VLBI상관기 개발, 천문 관측기기개발



노 덕 규(Duk-Gyoo Roh)

正會員

1985년 2월 서울대 천문학과(이학사)
1994년 8월 동경대 천문학과(이학석사)
1997년 8월 동경대 천문학과(박사수료)

1985년 4월 ~ 현재 한국천문연구원 책임연구원
2005년 11월 ~ 2009년 3월 한국천문연구원 그룹장
※주관심분야 : 전파천문, VLBI상관기 개발



염 재 환(Jae-Hwan Yeom)

2005년 8월 한양대 정밀기계공(석사)
2005년~현재 한국천문연구원 선임연구원

※주관심분야 : 디지털신호처리, VLBI상관기 개발



정 진 승(JinSeung Jung)

正會員

2008년 2월 경남대 전자공학과(공학사)
2010년 2월 경남대 전자공학과(공학석사)
2010년 8월 ~ 현재 한국천문연구원 연구원

※주관심분야 : 디지털신호처리, FPGA 설계, 천문관측 기기 개발



정 동 규(Dong-Kyu Jung)

2004년 8월 충남대 천문학과(이학사)
2006년 8월 충남대 천문학과(석사수료)
2012년 1월 ~ 현재 한국천문연구원 연구원

※주관심분야 : VLBI상관처리, 천문관측기기 개발



오 충 식(ChungSik Oh)

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

2009년 4월-2010년 11월 한국천문연구원 박사후연수원
2010년 12월 - 현재 한국천문연구원 선임연구원
※주관심분야 : 전파천문, Astrometry, VLBI상관처리



오제키 켄스케(Kensuke Ozeki)

Elecs Industry Co. Ltd. 연구원

※주관심분야 : VLBI관측기기 개발, VLBI상관기 개발



오누키 히로후미(Hirofumi Onuki)

Elecs Industry Co. Ltd. 연구원

※주관심분야 : VLBI관측기기 개발, VLBI상관기 개발



하라다 켄이이치(Keniichi Harada)

Elecs Industry Co. Ltd. 주임연구원

※주관심분야 : VLBI관측기기, 광전송 시스템, 초고속 샘플러 개발