

KVN 자료획득을 위한 디지털 처리 시스템  
DIGITAL PROCESSING SYSTEM FOR KVN DATA AQUISITION

오세진<sup>1</sup>, 노덕규<sup>1</sup>, 정현수<sup>1</sup>, 한석태<sup>1</sup>, Kiyooki Wajima<sup>1</sup>, Tetsuo Sasao<sup>1,2</sup>,  
Noriyuki Kawaguchi<sup>3</sup>, Kensuke Ozeki<sup>4</sup>, 최한규<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>한국천문연구원 전파천문연구부  
<sup>2</sup>아주대학교, <sup>3</sup>일본국립천문대, <sup>4</sup>(주)ELECS, <sup>5</sup>(주)큐백스

SE-JIN OH<sup>1</sup>, DUK-GYOO ROH<sup>1</sup>, HYUN-SOO CHUNG<sup>1</sup>, SEOG-TAE HAN<sup>1</sup>, KIYOAKI WAJIMA<sup>1</sup>,  
TETSUO SASAO<sup>1,2</sup>, NORIYUKI KAWAGUCHI<sup>3</sup>, KENSUKE OZEKI<sup>4</sup>, AND HAN-GYU CHOI<sup>5</sup>  
<sup>1</sup>Korea Astronomy Observatory, 61-1 Hwaam, Yuseong, Daejeon 305-348, Korea  
<sup>2</sup>Ajou University, San 5, Wonchun, Yeongtong, Suwon 443-749, Korea  
<sup>3</sup>National Astronomical Observatory of Japan, Japan  
<sup>4</sup>Elecs Industry Co., LTD., Japan  
<sup>5</sup>Cubex Co., LTD., Korea

(Received October 19, 2004; Accepted December 3, 2004)

ABSTRACT

This paper describes the digital back-end system for getting the data to analyze the user observation mode by digitalize the analog data after receiving the space radio using the radio telescope. The received analog data will be digitalized by high-speed sampler with 1Gbps for 4 channel frequency band of millimeter wave, and the digital data will be transported through the fiber-optic digital transmission system and WDM(wavelength division multiplex) to observation building. The wideband digital FIR(Finite Impulse Response) filters analyze the data for user observation mode to record the data in high-speed recorder with 1Gbps. In this paper, we introduce the overall system configuration and features combined by various information and communication technology in radio astronomy briefly, which will be adopted by KVN(Korean VLBI Network).

*Keywords:* VLBI, Sampler, Fiber-optic Transmission System, Digital Filter, Symmetric FIR Filter Unit(SFFU), Digital Spectrometer

1. 서론

현재 VLBI(Very Long Baseline Interferometry) 관측에서는 여러 개의 전파망원경을 통해서 관측된 데이터를 각 관측소에 설치된 자기 테이프에 기록한 후 데이터를 재생하여 상관처리를 수행하고 있다. 1970년대에는 데이터의 기록속도가 초당 4Mbit정도이고, 관측대역폭은 2MHz로 제한되어 있었다. 대역폭이 제한되어 있기 때문에, 메이저 천체 중에서도 특히 전파방사 대역폭이 좁은 OH 메이저 천체와 연속파 방사천체의 방사 스펙트럼의 일부 등을 관측대상으로 하였다. 연속파 방사천체에서는 대역폭을 넓게 취하면 그만큼 관측감도가 상승하지만, 그 당시에 있어서는 관측대역폭이 2MHz이기 때문에 밝은 연속파 천체(준성의 일부)만을 관측할 수 있었다. 1980년대가 되어 미국의 Mark 3형 관측장치와 일본의 K3형 관측장치의 출현에 의해 데이터의 기

록속도가 초당 112Mbit(총 관측대역폭은 56MHz)로 고속화되었으며, 미약한 연속파 천체와 넓은 스펙트럼의 메이저 천체 등도 관측할 수 있게 되었다. 또한 넓은 주파수 대역에서 관측할 수 있기 때문에 고정도로 지연시간을 측정할 수 있게 되어 전파망원경 사이의 거리를 1cm 정도로 높은 정밀도로 결정할 수 있게 되었다(Carlson et al., 2001).

그러나 아날로그 신호를 디지털 데이터로 변환하는 A/D(Analog to Digital) 변환장치의 속도는 아직도 4Mbit 정도로 그다지 빠르지 않았기 때문에 1채널당 2MHz로 대역 제한된 여러 개의 신호로 나누어 A/D 변환장치를 병렬로 동작하도록 하여 상관처리 후에 합성하는 과정이 필요하였다. 1990년대에서는 미국의 VLBA(Very Long Baseline Array) 형, 일본의 VSOP(VLBI Space Observatory Programme) 형 등의 관측장치가 개발되어 최대 대역폭이 미국의 경우 16MHz, 일본의 경우 32MHz로서 넓은 대역을

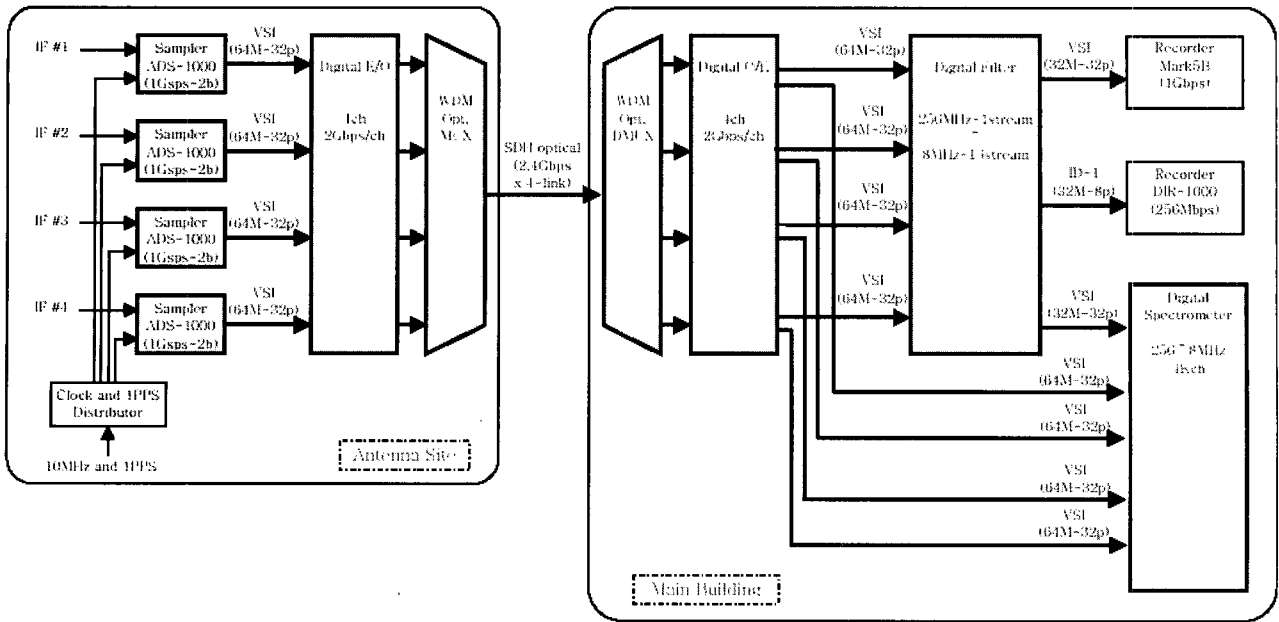


그림 1. 데이터 획득 시스템의 전체 구성도.

1채널에 대해 얻을 수 있었다. 이 때문에 H<sub>2</sub>O 메이저 천체 등으로 잘 볼 수 있는 스펙트럼의 넓은 천체를 여러 개의 협대역 채널로 합성하여 관측하는 것이 가능하게 되었다. 그러나 기록 가능한 총 비트율(bit rate)은 특수한 경우를 제외하고는 초당 256Mbit로서 연속파 천체에 대해서는 감도를 향상시켜야 하는 문제점이 있었다(Kobayashi et al. 2002).

현재 한국천문연구원에서는 국내에서는 최초로 구성되어 있는 세계적 수준의 최첨단 VLBI 관측시스템인 한국우주전파관측망(Korean VLBI Network; KVN) 건설 사업을 2001년부터 2007년까지 총 7개년 사업으로 추진하고 있다(김현구 외, 2003). KVN은 천체에서 오는 우주전파를 합성하여 간섭효과를 갖게 하는 국내 최초의 VLBI 시스템으로서, 이를 통해서 지금 500km에 이르는 초대형 전파망원경을 설치한 것과 같은 효과를 갖는 최첨단 시스템이다. 따라서 이 시스템이 구축되면, 초정밀 측지 및 밀리미터와 대역의 전파천문 관측을 통하여 한반도 및 주변 국가들의 지각운동에 관련된 연구, 외부 은하계나 별 탄생 등 천체의 초미세 구조에 대한 연구뿐만 아니라 정밀 측지연구, 지구회전운동 연구 등 국가적인 기초기반 연구를 수행할 수 있는 기초과학 연구장비가 될 것이다.

KVN에서는 국내의 3개 지역에 지름 21m급의 첨단 밀리미터와 VLBI 전용 전파망원경을 설치할 예정이며, 각 관측소에는 수신기, 자료획득시스템(Data Acquisition System; DAS), 고속기록기(Mark 5B), 수소메이저 시계 및 제어 컴퓨터 시스템을 설치할 예정이다(김현구 외, 2003).

일반적으로 DAS란 전파 신호처리 시스템에서 수신기에

의해 검출된 신호에 대해 정량적 분석 등을 수행하기 위해 각 사용 목적에 맞도록 입력 신호에 대한 적절한 처리를 수행하고 이를 사용자가 알 수 있는 형식으로 출력하기 위한 장비이다. 즉, 일정한 전파 신호처리 관련 시스템에 있어서 거의 전부라고 해도 과언이 아니다. 이를 위해서 DAS는 수신기에 의해 검출된 신호에 대한 변환 필터링 등을 수행하며 전파천문학 또는 측지 등의 분야에 있어서는 신호에 대한 분석 장비로서 연속파 또는 스펙트럼 검출기 등을 포함한다. KVN을 위한 DAS는 수 GHz의 동작 속도를 갖는 고속 샘플러, 광전송 방식에 따른 샘플 데이터의 송/수신 장치, 최첨단 기술을 집적한 광대역 디지털 필터, 그리고 광대역 실시간 자기상관 분광기 등으로 구성된다(최한규, 2003).

본 논문에서는 이와 관련하여 전파망원경의 후반부에서 우주전파의 데이터 획득에 관한 디지털 처리 시스템의 전체 구성과 각 시스템의 특징에 대해 살펴보고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 KVN DAS의 전체 구성과 특징에 대해 살펴보고, 3장에서는 고속 샘플러에 대해 설명한다. 4장에서는 광 디지털 전송장치의 송수신에 대해 설명하며, 5장에서는 광대역 디지털 필터에 대해 자세히 기술하며, 6장에서는 디지털 분광계에 대해 설명한다. 그리고 마지막으로 7장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. KVN DAS 시스템의 전체구성과 특징

KVN DAS의 전체 구성도를 그림 1에 나타내었다. 그림 1과 같이 KVN DAS는 안테나 측과 관측동 측에 설치할 장치들로 나눌 수 있다. 안테나 측에 설치될 4개의 수신기로

부터 수신된 우주전파는 IF(Intermediate Frequency) 변환기를 통하여 각 채널당 2GHz의 대역폭에 대해 8.5GHz의 중간주파수로 변환된 후 1024Mpsps의 샘플링율과 VSI(VLBI Standard Interface) 인터페이스 장치를 가진 고속 샘플러인 ADS-1000을 통하여 디지털화 된다.

이렇게 디지털화된 데이터는 광 디지털 전송장치의 송신부에서 각 채널별로 2.4Gbps의 SDH(Synchronous Digital Hierarchy)구조의 ATM 셀로 변환되어 광케이블을 통하여 WDM(Wave Length Multiplexer)의 MUX에 의해 4개의 신호를 하나의 광케이블에 실을 수 있도록 변환하여 관측동으로 전송된다. 관측동에 위치한 WDM의 DEMUX를 통해 다시 4개의 신호로 분리되어 광 디지털 전송장치의 수신부에서 수신된 신호는 256MHz 대역폭을 가진 광대역 디지털 필터에서 필터링된 후 VSI 인터페이스를 통하여 고속기록기인 Mark 5B로 데이터를 고속으로 저장하거나, 실시간 자기상관 분광기에서 현재 관측된 데이터를 확인하게 된다. 또한 일본 국립천문대의 VERA와의 공동관측을 위해 VSOP형 DIR-1000 기록기를 위한 포트를 통하여 데이터를 저장하게 된다. 본 논문에서는 그림 1에 나타난 것 중에서 고속 샘플러로부터 기록기까지의 관측 시스템의 중심이 되는 디지털 처리 시스템을 위해 새롭게 설계 제작될 장치들에 대해서 그 개요와 특징을 소개하고자 한다.

KVN DAS의 디지털 시스템은 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 안테나로부터 관측동까지 디지털 광전송
  - 멀티채널(4개의 입력) 수신기로부터 입력된 데이터를 동시에 처리가능
  - 광대역 샘플링과 디지털 필터링
  - 모든 시스템의 VSI 규격 채용
- 이러한 특징을 가진 KVN DAS를 구현하기 위해 다음과 같은 시스템을 도입할 예정이다.
- 고속 샘플러
  - 광 디지털 전송장치(송신부/수신부), WDM
  - 디지털 필터
  - 디지털 분광계

### 3. 고속 샘플러

고속 샘플러인 ADS-1000은 일본의 NICT(National Institute of Information and Communications Technology)와 Digitallink사 및 VENETEX사와의 공동연구를 통하여 개발되었다(Digital Link Co. Ltd.). ADS-1000을 그림 2에 나타내었으며, 시스템의 특징은 다음과 같다.

- RF 입력은 2.2GHz로 광대역
- 1024Mpsps의 고속 샘플링
- 2비트 양자화를 수행하며, 옵션으로 8비트까지 확장가능
- 0.3ps의 최저 샘플링 jitter를 실현가능

- 완전한 VSI 규격 채용
- 비트 분포의 표시기능에 의해 offset과 full scale 조정이 간단함
- 테스트 신호, TVG(Test Vector Generator) 생성과 자기진단기능
- LCD 표시 장치에 의해 쉬운 운영
- LAN과 RS-232C 제어로 시스템 설정이 가능
- 소형·낮은 소비전력

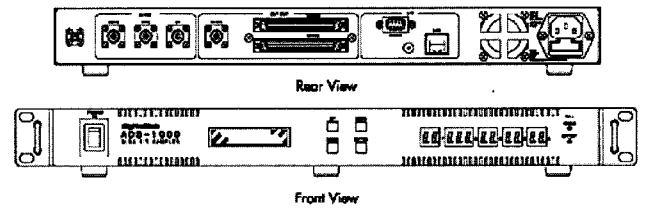


그림 2. 고속 샘플러(ADS-1000).

### 4. 광 디지털 송수신 장치

기존의 관측 시스템에서는 안테나 위의 수신기 시스템에서 전기신호로 변환된 관측 데이터는 아날로그 신호 각각을 광케이블 또는 동축케이블로 관측동까지 전송하여 관측동 내부에 있는 샘플러에 의해 디지털화 하였지만, KVN DAS에서는 안테나 내부의 수신기 다음에 고속 샘플러를 설치하여 디지털화된 관측 데이터를 광케이블에 의해 관측동까지 전송하는 방법을 선택할 예정이다. 광 디지털 전송장치의 구성을 그림 3에 나타내었다. 그림 3과 같이 이 장치는 하나의 광케이블에 2Gbps의 VSI 데이터를 최대 40km까지 손실없이 전송하는 것이 가능하며, 4개의 주파수 채널을 전송하기 위해 4개의 송수신 프레임으로 구성된다. 아날로그 신호 전송과는 달리, 전송 케이블의 특성(전기장) 변동에 대해 신호의 위상이 변화하지 않는 특징을 가지고 있다. 또한 고속 샘플러로부터의 샘플링 클럭을 협대역 디지털 PLL(Phase Lock Loop)에서 수신한 후 Flywheel 효과를 이용하여 클럭이 떨어지는 장애가 샘플러 측에서 발생하여도 안정된 데이터의 획득을 수행할 수 있도록 하는 것이 가능하다. 또한 병렬 광 데이터 전송을 수행할 때는 광케이블 사이의 전송 지연 시간차를 제거하기 위해 Timing 신호를 삽입하는 기능을 가지고 있다.

광 디지털 전송장치는 안테나 측에 송신(TX) 장치, 관측동 측에 수신(RX) 장치를 설치되며, 전송규격은 ATMonSDH(ITU-T G.957(STM-16))을 채용하고 있으며, 설계상 다음과 같은 특징을 가진다.

- 4개의 고속 샘플러로부터 디지털화된 데이터를 4개의 광케이블에 의해 전송하기 위해, 병렬전송으로 문제가 되는 케이블 뒤틀림에 의한 bit 사이의 상관 스큐의 고려가 필요하지 않음
- ATM 규격에 의해 네트워크 망 등의 ATM 전용회선으

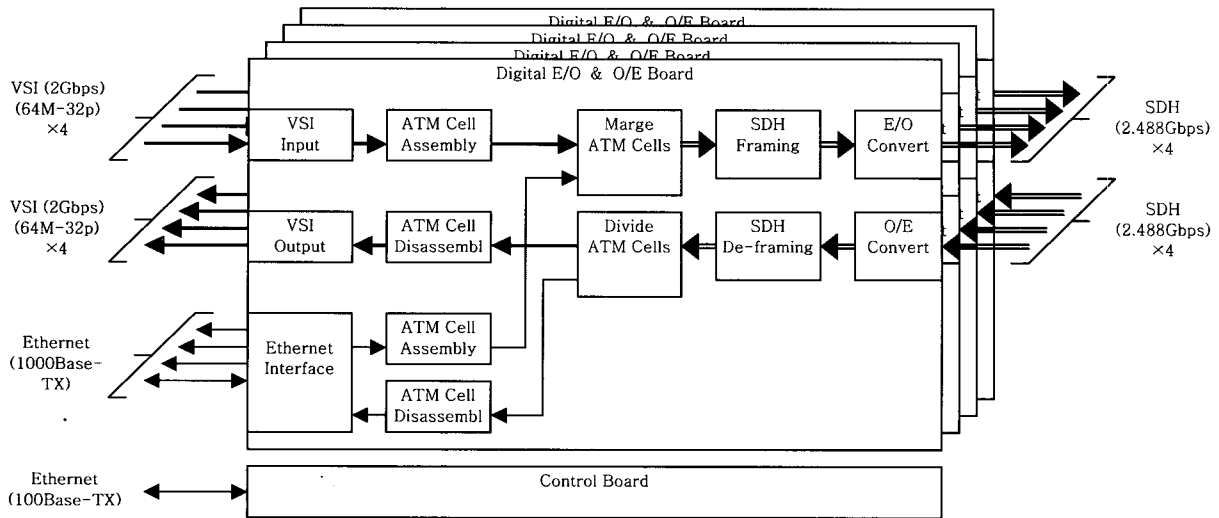


그림 3. 광 송수신 장치의 구성.

하여 광 모듈에 의해 E/O 변환을 수행하여 관측동의 광 디지털 전송장치의 수신부(RX)에 송신하는 기능을 가진다.

5. 디지털 필터

KVN의 다양한 관측목적을 위해 샘플러로부터 1Gbps로 입력된 데이터를 512MHz 대역폭의 샘플링 데이터로부터 256MHz~8MHz까지의 여러 가지 대역으로 필터링을 할 필요가 있다.

그림 5에 나타난 것과 같이 디지털 필터는 임의의 관측 대역 및 스트림을 구성하기 위해 512MHz로부터 16MHz를 잘라내는 16개의 디지털 필터 유닛으로 구성되어 있으며, 이것을 병렬처리 하여 동작시킴으로서 최소의 디지털 필터 유닛으로 여러 개의 필터 특성을 구현할 수 있는 방법을 채용하고 있다. 또한 관측 데이터를 Mark 5B 고속 기록기, 일본 VERA의 협대역 기록기(DIR-1000; K4-VSOP), 디지털 분광계 등에 데이터를 분기하기 위해 각 장치 대응의 출력 인터페이스도 장착되어 있다.

필터를 디지털화하는 것에 대한 장점은 아래와 같은 점이 있다.

- 1) FIR 필터를 채용하는 것에 의해 직선위상특성을 얻는다.
- 2) 컴퓨터로부터의 계수 다운로드에 의해 대역특성을 임

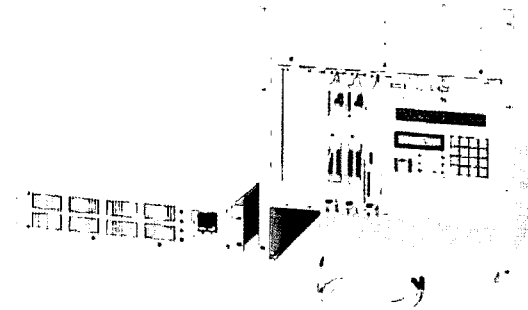


그림 4. 광 디지털 전송장치(TX 장치).

로의 접속성이 좋음

- STM-16 채용에 의해 범용의 통신용 광모듈과 프레임 LSI의 채용이 가능

광 디지털 전송장치의 특징을 표 1에 나타내었다.

안테나 상부에 설치될 광 디지털 전송장치의 송신부(TX)의 외관을 그림 4에 나타내었다. 광송신부에 사용된 반도체칩은 샘플러로부터 입력된 2Gbps의 관측 데이터를 ATM cell-SDH(Synchronous Digital Hierarchy)로 매핑을 수행

표 1. 광 디지털 전송장치 특징.

전송속도	2Gbps×4ch
광전송 형식	ATM/STM-16c (2.488Gbps)
광파장	1.3 μm
입력 인터페이스	VSI, 고속 샘플러 표준(64MHz-32bit : 2bit-16병렬-4ch-64MHz ECL)
출력 인터페이스	VSI, 디지털 필터 표준(32MHz-64bit : 2bit-32병렬-4ch-32MHz ECL)

표 2. KVN 디지털 필터 장치의 특성.

필터형식·tap 수	FIR 필터·1024 tap
계수 설정	컴퓨터로부터 임의의 tap 계수를 다운로드
계수 어장	13bit
입력 데이터 대역	512MHz(1024Msps·2bit)·4ch
출력 데이터 대역	256/128/64/32/16/8MHz
출력 데이터 스트림 수	1/2/4/8/16
출력 데이터 bit 수	2bit 또는 1bit
출력 데이터 bit rate	1024Mbps
입력 인터페이스	VSI(64M-32병렬)
출력 인터페이스	VSI(32M-32병렬)×2, ID-1( DIR-1000 32M-8병렬)
컴퓨터 인터페이스	Ethernet(10Base-T)

의로 변경하는 것이 가능하다.

3) 특성이 안정적이다.

또한 단일 광대역(512MHz) 데이터로부터 복수(16개)의 협대역(16MHz) 필터뱅크로 대역을 잘라내는 구성을 취하는 것에 의해 아래와 같은 장점을 가진다.

- 1) 베이스밴드 변환기, 아날로그 필터 등의 IF 계가 1 계통이다.
- 2) 공통의 설비로 광대역·1 스트림으로부터 협대역 16 스트림까지의 구현이 가능하다.

디지털 필터를 소형으로 최적화하기 위해 다음과 같은 점도 고려되고 있다.

- 1) 계수의 대칭성을 이용한 symmetric 구성에 의한 승산부를 tap 수의 1/2로 감소
- 2) 메모리에 의한 lookup table을 이용한 계수 승산방식에 의해 승산부의 규모를 감소
- 3) 협대역 필터를 시계열 방향으로 병렬 동작시켜 협대역

부터 광대역까지 동일 하드웨어의 적용이 가능

KVN 디지털 필터의 특성을 표 2에 나타내었다.

5.1. FIR 필터의 병렬처리

디지털 필터에 사용된 FIR 필터의 병렬처리를 위한 필터의 알고리즘(Iguchi et al., 2002, Iguchi et al., 2000)은 식 (1)과 나타낼 수 있고, 필터의 구성도는 그림 6과 같다.

$$y(32m) = \sum_{k=0}^{31} \sum_{j=0}^{N/64-1} h(32j+k) * [x(32m-32j-k) + x(32m-N+32j+k+1)] \quad (1)$$

식 (1)의 오른쪽 항에서 첫 번째  $\sum$  항은 32개의 병렬처리로 구성되고, 두 번째의  $\sum$  항은 그림 7에 나타낸 것과

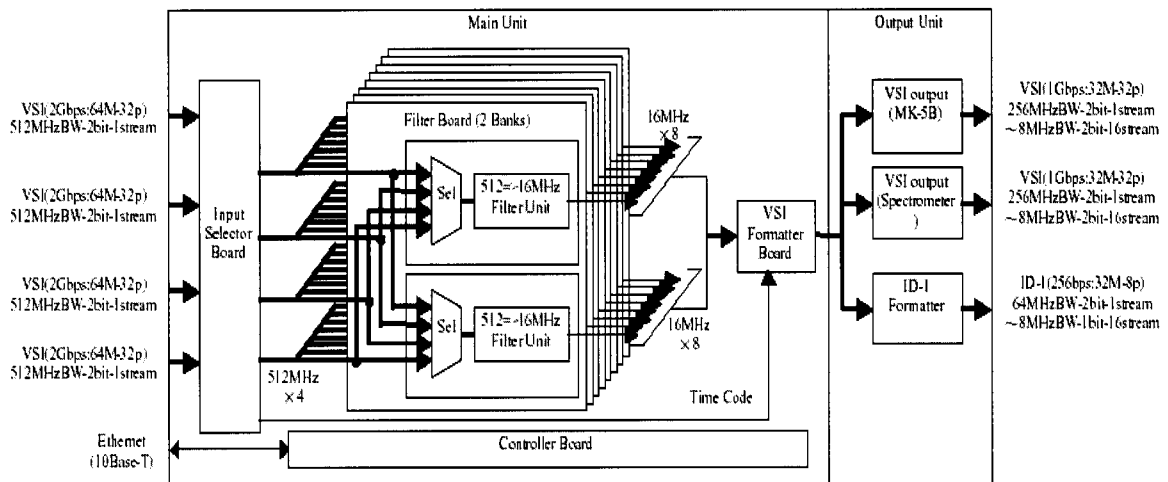


그림 5. 디지털 필터의 구성도.

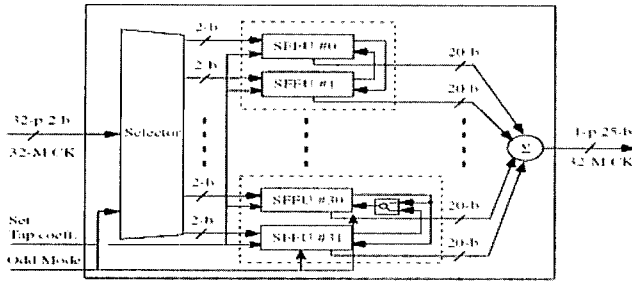


그림 6. 16 병렬처리 FIR 필터의 구성도.

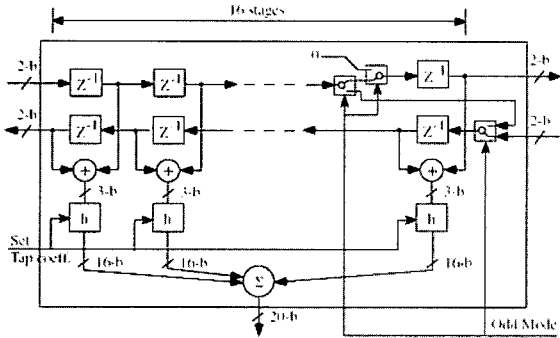


그림 7. 대칭 FIR 필터 유닛(SFFU)의 구성도.

같이 대칭 FIR 필터 유닛(Symmetric FIR Filter Unit; SFFU)을 나타낸 것이다.

6. 디지털 분광계

KVN에서는 전파천문 관측연구 분야의 연속선(continuum)과 스펙트럼 라인(spectrum line)의 관측과 특정 전파원의 관측을 위해 디지털 분광계로서 광대역/협대역 디지털 분광계를 도입하고자 한다. 그림 1에 나타낸 KVN의 데이터 획득 시스템의 전체구성도에서 광대역/협대역 디지털 분광계를 도입할 경우 그림 8과 같이 구성할 수 있다. 기존의 협대역

디지털 분광계를 설치하면 디지털 필터에서 처리된 결과를 분석함으로써 협대역 신호를 처리할 수 있었지만, 광대역/협대역 디지털 분광계의 경우 디지털 필터로 입력되기 전의 각 채널의 신호를 광대역 분광계에서 처리하고, 디지털 필터의 출력은 협대역 디지털 분광계로 입력하여 분석함으로써 동시에 광대역/협대역 신호분석을 수행할 수 있는 장점이 가지고 있다.

그림 9에는 도입하고자 하는 광대역/협대역 디지털 분광계의 내부 구성도를 나타내었다. 이 분광계의 특징은 광대역/협대역을 지원하고, 자기상관(auto-correlation)과 상호상관(cross-correlation)을 동시에 수행할 수 있는 2개의 FX 보드를 장착하고 있어 4 채널의 신호를 동시에 분석할 수 있다. 또한 최대 대역폭은 512MHz를 가진다.

7. 결론

본 논문에서는 KVN 시스템의 수신기로부터 수신된 우주전파를 디지털화하여 저장장치인 고속기록기에 저장하도록 하는 디지털 자료획득 시스템에 대해 소개하였다. KVN의 디지털 자료획득 시스템은 우선 KVN에서 관측하고자 하는 4개의 주파수 대역(22, 43, 86, 129GHz)에 대해 4대의 고속샘플러에 의해 디지털화되며, 이 데이터는 광 디지털 전송장치의 송신부를 통해 안테나에서 관측동으로 광케이블을 통해 전송된다. 관측동에 설치된 광 디지털 전송장치의 수신부를 통해 수신된 데이터는 광대역 디지털 필터에서 관측에 필요한 대역에 따라 필터링을 수행한 후 고속기록기에 데이터를 저장한다. 현재 KVN에서는 일본 국립천문대의 VERA에서 사용하고 있는 디지털 처리 시스템을 KVN의 관측모드에 맞추도록 개량하여 2006년도 상반기에 도입할 예정이다.

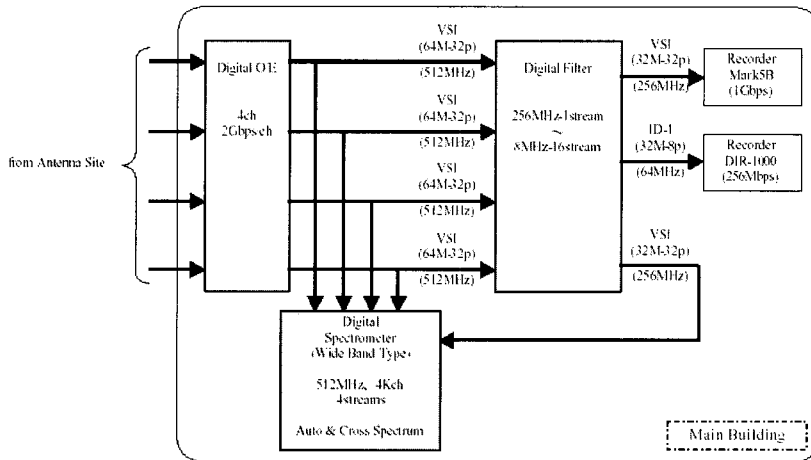


그림 8. 디지털 분광계의 구성도.

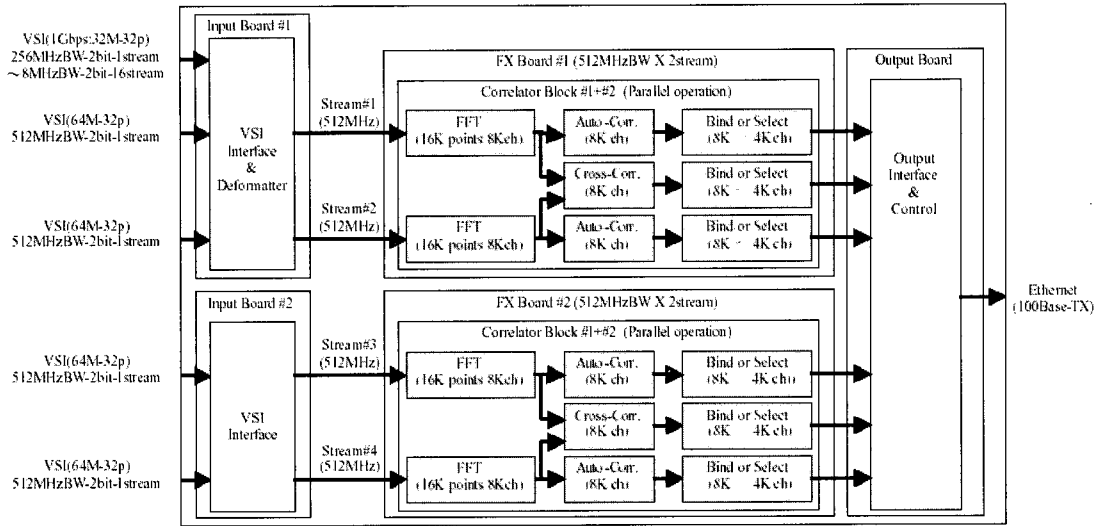


그림 9. 광대역/협대역 디지털 분광계의 내부 구성도.

참고문헌

김현구 외, 2003, 한국우주전파관측망 건설사업  
 최한규, 2003, 한국우주전파관측망 자료획득시스템 개발  
 Carlson, B. 2001, NRC-EVLA Memo 014  
 Digital Link Co. Ltd., Gigabit Sampler ADS-1000 Operating Manual  
 Escoffier, R. and Webber, J. 2002, ALMA Memo 441  
 Iguchi, S., & Kawaguchi, N. 2002, IEICE Trans. Commun., E85-B, 9, 266  
 Iguchi, S., Kawaguchi, N., Kamenno, S., Kobayashi, H., & Kiuchi, H. 2000a, IEICE Trans. Commun., E83-B, 2, 406  
 Iguchi, S., Kawaguchi, N., Murata, Y., Kobayashi, H., Fujisawa, K., & Miki, T. 2000b, IEICE Trans. Commun., E83-B, 11, 2527  
 Kobayashi, H., et al. 2002, in New Technologies in VLBI, ed. Y.C. Minh (Daejeon, Korea: Korea Astronomy Observatory), ASP, 306, 367  
 Thompson, A. R., Moran, J. M., & Swenson, G. W. Jr. 2001, Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy, 2nd Ed., (New York: John Wiley & Sons), 289