

**PC를 이용한 소규모 기가비트 VLBI 관측시스템
SMALL-SCALE GIGABIT VLBI OBSERVATION SYSTEM USING PC**

오세진, 노덕규, 김광동, 정현수, 제도홍, 위석오, 한석태, 김현구
한국천문연구원 전파천문연구부

SE-JIN OH, DUK-GYOO ROH, KWANG-DONG KIM, HYUN-SOO CHUNG, DO-HEUNG JE, SEOG-OH WI,
SEO-TAE HAN, AND HYUN-GOO KIM

Korea Astronomy and Space Science Institute, 61-1 Hwaam, Yuseong, Daejeon 305-348, Korea

E-mail: sjoh@rao.re.kr

(Received November 25, 2005; Accepted December 19, 2005)

ABSTRACT

In this paper, we propose a small-scale Gigabit VLBI observing system for the Korean VLBI Network (KVN) under construction. The system consists of high-speed sampler, IP-VLBI board, PC-VSI board, and software correlator. Radio signal received by receiver is sampled by high-speed sampler at 1 Gsps (Gigabit sample per second) rate with 2 bits quantization. The digitized signal is recorded in PC and the software correlator does the cross correlation. IP-VLBI board will be used for the geodesy VLBI observation, while PC-VSI board is for the astronomical VLBI observation. The PC-VSI board adopts the VSI-H (VLBI Standard Interface Hardware). The proposed system is based on commercial PCs and therefore can be built inexpensively.

Key words: Small-scale gigabit VLBI system, K5, PC-VSI, IP-VLBI, Software Correlator

1. 서론

현재 한국천문연구원에서는 국내에서는 최초로 구성되어지는 세계적 수준의 최첨단 VLBI(Very Long Baseline Interferometer) 관측시스템인 한국우주전파관측망 (Korean VLBI Network; KVN) 건설 사업을 2001년부터 2007년까지 총 7개년 사업으로 추진하고 있으며, 이와 더불어 2004년부터 KVN을 위한 상관기 개발사업도 함께 진행하고 있다. KVN은 천체에서 오는 우주전파를 합성하여 간섭효과를 갖게 하는 국내 최초의 초장기선전파간섭계 시스템으로서, 이를 통해서 지름 500 km에 이르는 초대형 전파망원경을 설치한 것과 같은 효과를 갖는 최첨단 시스템이다. 따라서 이 시스템이 구축되면 초정밀 측지 및 밀리미터파 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 연구 장비가 될 것이다(김현구 외, 2003).

KVN에서는 국내의 3개 지역에 지름 21 m급의 첨단 밀리미터파 VLBI 전용 전파망원경을 설치할 예정이며, 각 관측소에는 수신기, 자료획득시스템(Data Acquisition System; DAS), 고속기록기(Mark5B), 수소메이저 시계 및 제이 컴퓨터 시스템을 설치할 예정이다. 현재 안테나 건설사업과 더불어 각종 연구 장비의 개발이 순조롭게 진행되고 있다. KVN에서는 현재 고려하고 있는 관측 시스템에 앞서 적은 비용과 짧은 기간에 관측 시스템을 구축할 수 있는 방법을 찾고 있다. 이를 위해 본 논문에서는 고속샘플러와 시스템 사이를 연결할 수 있는 인터페이스 장치, 그리고 데이터를 처리할 수 있는 소규모 기가비트(Gigabit) VLBI 관측 시스템을 제안한다.

제안한 시스템은 1 Gsps 샘플링 속도로 2 bits 양자화가 가능하며, VSI-H의 VLBI 표준 규격을 채용한 인터페이스 카드를 기존의 PC 서버에 연결되며, PC 서버에는 고속샘플러로부터 디지털화된 데이터가 기록되며 소프트웨어 상관기를 설치하여 데이터 처리를 할 수 있도록 구성된다.

따라서 본 논문에서는 제안한 시스템의 구성과 각 시스템의 특징, 시스템 구축방법 등을 소개하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 K5 시스템의 배경에서 대해서 기술하고, 3장에서는 PCI 버스를 이용한 IP-VLBI 보드와 PC-VSI 보드에 대해서 상세히 기술한다. 4장에서는 디지털 상관이론과 IP-VLBI에 대한 소프트웨어 상관기에 대해서 기술하며, 5장에서는 KVN의 소규모 기가비트 VLBI 관측 시스템에 대해 소개한 후 마지막으로 6장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

2. K5 시스템

K5 VLBI 시스템은 기존의 자기테이프에 의한 데이터 기록을 기본으로 한 VLBI 관측 처리 시스템을 발전시켜, 일반적인 PC와 하드디스크로의 데이터 기록 및 PC로부터 네트워크를 통한 데이터 전송을 할 수 있도록 개발된 관측처리 시스템이다. 일본의 통신종합연구소(NICT)에서는 지금까지 K5 VLBI 시스템의 하나로써 기존의 다채널 측지 VLBI 실험에 있어서 관측과 상관처리를 수행할 수 있는 시스템을 VSSP(Versatile Scientific Sampling Processor)라는 이름을 붙여 개발을 진행하였다 (Koyama et al., 2003). 이하에 K5 시스템과 지금까지 관측시스템의 발전과정에 대해 간략히 기술한다.

일본에서 개발된 VLBI 관측처리 시스템 중, 본격적으로 VLBI 관측처리에 이용된 것은 1980년대에 개발된 K3 VLBI 시스템이 최초라고 말할 수 있다. K3 시스템은 미국에서 개발된 Mark3 VLBI 시스템과 같이 고정된 오픈릴 자기테이프를 이용한 시스템이다. 기록 데이터율은 최대로 112 Mbps이고, 짧은 기선을 위한 상관기도 개발되어 국제 실험에 이용되었다. 그 후, 미국에서는 Mark4 VLBI 시스템이 개발되었지만, Mark4 VLBI 시스템은 다기선의 대규모 상관기의 개발에 중점을 두었으며 데이터 기록은 Mark3 VLBI 시스템과 동일한 시스템을 사용하였다. 한편, 일본에서 개발된 K4 VLBI 시스템은 로터리 헤더 방식의 데이터 기록과 카세트테이프 형의 자기테이프를 채용하여 테이프 교환의 자동화와 자기테이프의 기록면 밀도를 크게 향상시켜 시스템의 성능을 개선하였다.

따라서 K3 VLBI 시스템으로부터 K4 VLBI 시스템으로의 이동은 간단히 기기의 성능향상만이 아니라, VLBI 관측처리 방법을 크게 변화시킨 것이라고 말할 수 있다. K5 VLBI 시스템에서도 마찬가지로 K4 VLBI 시스템으로부터 큰 변화를 위한 개발이 목적이었다. K5 VLBI 시스템의 큰 특징 중의 하나는 일반적인 PC를 이용하고 있다는 것이다. 기존의 일반적인 PC는 자기디스크의 용량과 데이터 전송속도의 한계로 인하여 도저히 VLBI 관

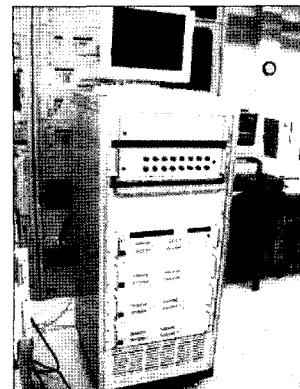


그림 1. K5 시스템

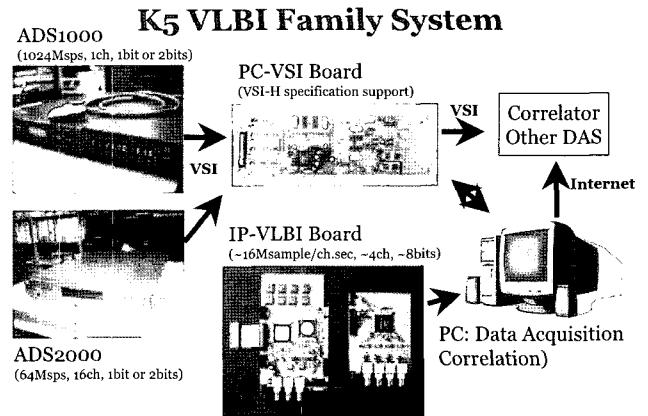


그림 2. K5 VLBI 관측 시스템 집합

측처리에 사용하는 것은 불가능하였지만, 최근 관련 기술들이 많이 발전하여 VLBI 관측처리에 충분히 사용할 수 있게 되었다. 게다가 PC의 성능은 이후에도 급속하게 향상될 것으로 기대되며, 시스템의 비용절감과 함께 가까운 미래에 데이터 기록율이 크게 향상될 것으로 기대된다. 또한 획득된 데이터를 인터넷을 사용한 국제규모의 네트워크로 IP(Internet Protocol)로 전송하는 것이 쉽기 때문에 ATM(Asynchronous Transfer Mode) 네트워크를 이용한 전용 네트워크를 설치하는 것이 가능해져 글로벌 실시간 VLBI 관측처리도 가능할 수 있을 것으로 기대된다. 획득된 데이터는 소프트웨어로 쉽게 처리할 수 있기 때문에, 소프트웨어 상관처리에서는 분산처리 기술을 이용할 수 있으며, 많은 개발비용과 장기간이 소요되어 유연성이 부족한 하드웨어 상관기를 개발하지 않아도 쉽게 대규모 상관기를 구축할 수 있게 될 것으로 기대된다. 그림 1에 일본 NICT에서 개발한 K5 시스템을 나타내었으며, 그림 2에 K5 시스템과 함께 부속되는 시스템을 나타

내었다.

3. PCI 버스를 이용한 관측 보드

이상에서 소개한 것과 같이 NICT에서는 PC를 이용한 VLBI 시스템을 개발하였다(Koyama et al., 2003). 그림 2에 나타낸 것과 같이 시스템은 크게 2가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 IP-VLBI 보드를 이용한 것으로 실시간 처리를 목적으로 한 협대역 시스템이며, 두 번째는 PC-VSI 보드를 이용한 것으로 높은 감도의 관측을 목적으로 한 광대역 시스템이 있다. 여기서 소개한 인터페이스 보드는 샘플링 속도와 채널수가 서로 다르며 지금까지 독립적으로 개발이 진행되어 왔지만 향후에는 통합될 것으로 보고되고 있다(Koyama et al., 2003). 기가비트 속도를 위한 시스템 개발은 2001년도에 시작하여 2002년도에는 1 Gbps의 기록속도로 동작하는 시작품이 완성되어 프린지(Fringe)를 검출하는데 성공하였다고 한다(Koyama et al., 2003). 그 후, 고성능의 PC 부품으로 대체하여 지금은 2 Gbps의 기록속도까지 가능하게 되었다. 이하에 소개한 각 관측 인터페이스 보드에 대해 기술한다.

3.1. IP-VLBI 보드

NICT에서는 그림 3과 4에 나타낸 것과 같이 4채널의 비디오 컨버터 출력신호를 샘플링한 후 IP를 이용하여 네트워크로 데이터를 전송할 수 있는 IP-VLBI 보드를 개발하였다(Kondo et al., 2000). 이 보드는 현재 PC에 일반적으로 사용되고 있는 PCI 버스에서 동작하고, 운영체제는 Window2000, FreeBSD, 및 Linux를 이용할 수 있다. IP-VLBI 보드는 표 1에 나타낸 것과 같이 40 kHz에서 16 MHz까지의 다양한 샘플링율을 지원하고, 샘플링 비트수는 1 비트에서 8 비트 중에서 선택하는 것이 가능하다. 현재 하나의 보드에 128 Mbps까지의 기록 데이터율로 안정하게 동작하는 것으로 확인하였으며, 이후 PCI 버스의 속도향상과 자기 디스크의 기록속도의 개선에 의해 곧 빠른 256 Mbps 이상의 데이터율에도 대응할 수 있을 것으로 기대된다. 이 IP-VLBI 보드를 설치한 시스템을 4대 사용하여 16채널 관측을 수행할 수 있도록 구성한 시스템이 VSSP 시스템이다. 이 VSSP 시스템은 간단히 관측 데이터의 획득만을 위한 것이 아니고, 상관처리도 같은 시스템을 이용하여 가능하고, 또한 VLBI만이 아닌 분광관측과 샘플링의 정확한 시각정보와 높은 안정성의 샘플링이 필요한 많은 과학계측에 이용할 수 있는 시스템의 개발을 목적으로 한 것이다. 이 시스템에 의해 현재 전체 기록율은 512 Mbps를 안정하게 달-

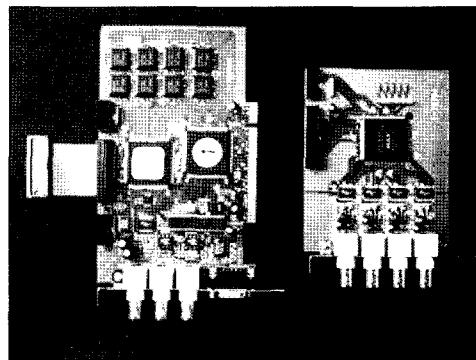


그림 3. IP-VLBI 보드

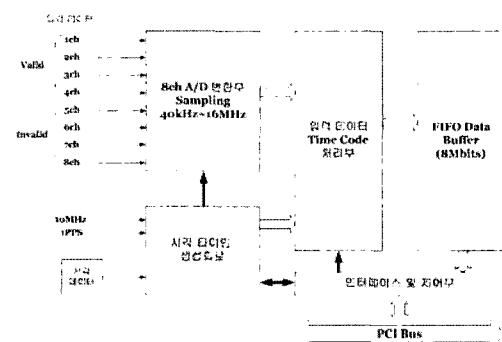


그림 4. IP-VLBI 보드 구성

표 1. IP-VLBI 보드의 규격

Item	Contents
Reference signals	10 MHz + 10 dBm, 1 PPS
Number of input channels	Only main board : 1ch Auxiliary board : max 4ch
A/D resolutions	1, 2, 4, 8 bits
Sampling frequencies	40 kHz, 100 kHz, 200 kHz, 1 MHz, 2 MHz, 4 MHz, 8 MHz, 16 MHz
Data Buffer	8 Mbit

성하고 있으며, 기록용량은 초기에는 1.92 TB(Tera Byte)였지만, 지금은 4 TB이상은 무난히 달성할 수 있으며, 이것은 가까운 미래에 컴퓨터 시스템의 기술혁신과 함께 점차 개량될 것으로 기대된다. 이 VSSP 시스템은 값이 비싼 포맷터(Formatter) 장치가 따로 필요하지 않기 때문에 다채널로 비교적 낮은 데이터율에서도 관측처

리에 사용될 수 있다.

3.2. PC-VSI 보드

1 Gbps 이상으로 고속 샘플링 데이터의 기록/재생을 위한 VLBI 표준 인터페이스(VLBI Standard Interface; VSI)의 하드웨어 사양에 맞춘 인터페이스 보드의 개발이 NICT에서 수행되어 현재 완료되었다(Kimura et al., 2002, 2003, 2005).

KVN에서는 도입하는 모든 시스템은 VSI 표준 사양을 기본으로 할 예정이다. 따라서 우선 대규모 하드웨어 자료획득시스템(DAS)을 도입하기 전 소규모로 자료획득시스템을 구축하기 위한 일환으로 VSI 규격과 높은 전송속도를 보이는 PC-VSI 보드를 채용하였다. 이에 본 논문에서는 PC-VSI 보드의 주요 기능과 특징에 대하여 아래에 소개하고자 한다.

PC-VSI 보드는 2 Gbps/1 Gbps/512 Mbps의 관측 데이터 획득을 처리할 수 있다. 입력 데이터로는 VSI 데이터/QDATA/VSI 신호상태를 처리할 수 있도록 설계되어 있다. PC-VSI 보드에 내장된 각 기능을 아래에 나타내었다.

• DIM(Digital Input Module) 기능

① VSI 데이터 획득 기록 기능

1 Gbps의 입력 데이터, QDATA, VSI 신호상태를 획득하고 기록매체에 기록한다. 데이터 획득은 2 Gbps 획득/ 1Gbps 획득/ 짹수자료획득(512 Mbps)/홀수자료획득(512 Mbps) 등이 있으며, 짹수자료/홀수자료 획득의 경우는 2대의 PC에 각각 획득한 것을 병합하여 관측데이터로 한다. 기록매체의 형식은 RAID로 하고 있지만, 향후의 고속기록매체가 등장할 경우를 고려하여 고정되어 있지는 않다. 연속기록시간은 기록매체에 따라 달라진다. 2 Gbps의 경우는 관측 데이터를 메모리에 기록한 후 데이터 획득을 수행하기 때문에 비실시간 모드이고 1 Gbps의 경우는 실시간 모드로 데이터를 처리할 수 있다. 그러나 실시간 모드는 1초 정도의 데이터만을 획득할 수 있다.

② 관측 스케줄 기능

관측시작시각/관측종료시각/관측시간을 스케줄 파일에 등록하여 관측을 계획한다. 2 Gbps의 경우는 관측시간과 간격에 있어서는 관측 스케줄링은 가능하다.

③ 관측중의 표시기능

관측시작 : 관측시작시각 표시

관측 중 : 기록 중의 관측시각(현재시각에서는 없음), VSI 신호상태 표시

관측종료 : 관측종료시각, 관측시간량 표시

④ PC-VSI 보드의 진단기능

보드의 메모리 기능체크, 레지스터 내용 체크를 수행한다.

• DIM/DOM(Digital Output Module) 공통기능

① 기록 데이터 입출력 기능

기록되어 있는 VSI 데이터, QDATA, VSI 신호상태를 표시한다.

② VSI 기기 체크 기능

기록되어 있는 VSI 데이터, QDATA, VSI 신호상태를 체크한다. ADS-1000 등의 VSI 기기로 RS-232C 또는 LAN을 경유하여 VSI 명령을 송신하고 VSI 기기의 동작을 확인하는 것도 가능하다.

③ 다른 PC로의 데이터 전송기능

기록되어 있는 VSI 데이터를 1000BaseT의 LAN을 경유하여 다른 PC로 전송한다.

• VSI 데이터 획득 기록기능

① 획득 대상 데이터/VSI 신호

획득 대상이 되는 신호와 데이터는 다음과 같다.

표 2. 획득대상 신호와 데이터

VSI		VSI(MDR-80)
기기로부터의 입력		
Data	32 bit	
Clock	8M/16M/32M/64M Hz	
QDATA	114 Kbyte serial	
QControl	QVALID, QCTL, QSPARE1, QSPARE2, 사용하지 않는 PIN은 향후 VSI-H 사양추가를 위해 둠.	

② 획득 방식

획득 방식은 스케줄링 획득과 매뉴얼 획득의 2종류가 준비되어 있다. 스케줄링 획득은 스케줄링에 등록되어 있는 스케줄에 따라 획득을 수행하는 방식이다. 매뉴얼 획득은 수동 명령에 의해 획득의 시작/종료를 수행하는 방식이다. 두 방식 모두 획득 시작 전에 획득을 수행할 모드 등의 설정을 할 필요가 있다.

③ 스케줄 파일

스케줄 파일은 스케줄링 획득에 사용되는 파일로서 사용자가 형식에 따라 작성하면 된다. 2대의 PC에 데이터 획득을 수행할 경우는 같은 스케줄 내용의 스케줄 파일

을 사용할 필요가 있다. 형식은 아래와 같다. 파일명은 임의로 설정할 수 있다. 1행 안에 있어서 세미콜론(;) 후는 코멘트가 기록되며 시각, 초는 0~9의 반각을 입력해야 한다. 1행 안의 시작 문자는 필히 선두(1 칼럼마다)에서 기술되어야 하며 명령과 시각의 사이에 공백이 있어야 하며 마지막 행에는 end 문자를 넣어야 한다.

명령 시각 초 ; 코멘트는 1000개 이상까지의 명령을 스케줄 할 수 있다.

표 3. 스케줄 파일의 예

```
; 2월 5일 관측용 스케줄 파일 1st/Nov/2005
Editor Se-Jin Oh
dimrec 2005310150000 16 ; 테스트 관측용
dimrec 2005310160000 32 ; 천체 1
dimrec 2005310151500 32 ; 천체 2
dimrec 2005310160000 300; 천체 2
dimrec 2005310171530 32 ; 천체 1
end ; 종료
```

④ 획득 기록경로

드라이버에 의해 획득 데이터가 메모리에 설정되며, 매초 다른 동작과 관련되는 것은 없고 데이터 설정처리는 반복된다. 응용에 있어서는 적절한 시기의 메모리로부터 데이터 기록을 수행한다. RAID 시스템이 변경될 경우에도 재구성할 수 있도록 설계되어 있으며, 데이터 획득 기록경로에 대한 그림을 아래에 나타내었다.

4. 소프트웨어 상관기

4.1. 디지털 상관이론

상관함수는 일반적으로 시간영역에서 두 입력신호의 상관(correlation)을 측정하는 것을 의미한다(이창훈 외, 2002). 즉, 기준신호에 대해 일정한 거리, 시간, 혹은 속도 만큼 지연된 신호와의 상호 연관성을 수학적 지표로 나타낸 것이다. 즉, 두 개의 랜덤(Random) 프로세스 $X(t)$ 와

$Y(t)$ 를 비교하기 위해서는 두 신호 혹은 프로세스의 성질을 가장 잘 나타내 주는 상호 상관함수(cross correlation) R_{XY} 를 도입하는 것이 일반적이다. 이 상관함수는 다음과 같이 표현되는 기댓값이다.

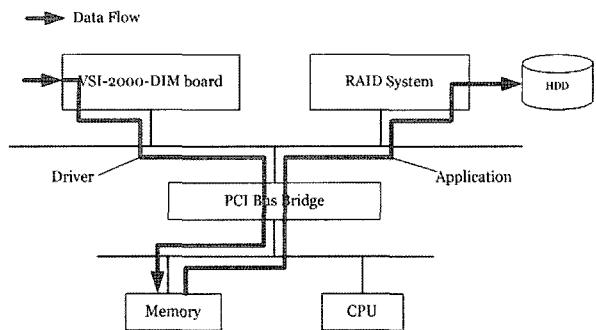


그림 5. PC-VSI 보드의 데이터 기록 경로

$$\begin{aligned} R_{XY}(\tau) &= E[X(t)Y(t-\tau)] \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} X(t)Y(t-\tau) dt \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 τ 는 time lag이다. 이러한 결과가 -1과 1사이의 값을 갖도록 규격화하기 위해서 상관계수 $\rho(\tau)$ 를 다음과 같이 도입할 수 있다.

$$\rho(\tau) = \frac{R_{XY}(\tau)}{\sqrt{\sigma_X^2 \sigma_Y^2}} \quad (2)$$

여기서 σ^2 는 variance이다. 이 식에서 ρ 가 1인 프로세스를 correlated라 하고, 0인 경우를 uncorrelated라 하며, -1인 경우를 anti-correlated라 정의한다.

이렇게 정의되는 상관함수에서 $X(t)$ 와 $Y(t)$ 가 같은 프로세스라 하면, 이때의 $R_{XX}(\tau)$ 로 표시되는 상관함수를 그 프로세스의 자기상관함수라고 한다. 이 자기상관함수를 Fourier 변환하면 그 프로세스의 power spectral density를 얻게 된다.

4.2. 상관기의 종류

상관기에는 그림 6에 나타낸 것과 같이 2가지 종류가 있다(Kondo et al., 2004). 하나는 XF형의 상관기로서 이것은 시간 영역에서 먼저 상호상관처리를 수행하고 주파수 영역으로 변환하기 위해 Fourier 변환을 수행한다. XF형 상관기는 지연 lag의 수를 감소시킴으로써 고속의 처리속도를 달성하기 위해 개발되었다. 백색잡음의 상관함수는 매우 뾰족한 형태로 표현되기 때문에, 32 lag 또는 이보다

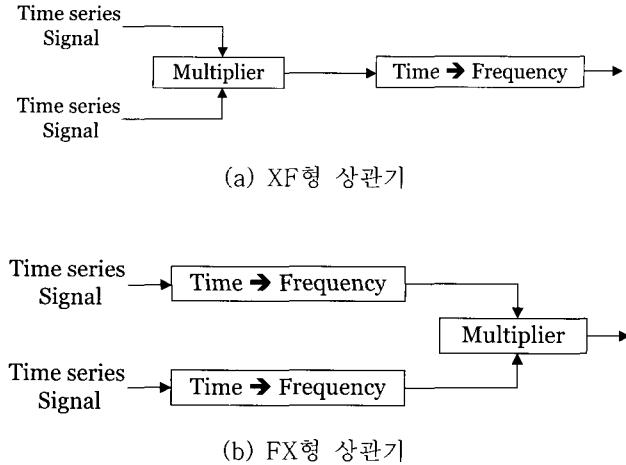


그림 6. 상관기의 종류

작은 지연 lag의 수를 감소할 수 있다. 따라서 XF형 상관기는 주로 측지 VLBI 시스템(KSP, K3, Mark4 상관기)에 사용되고 있다. 다른 하나는 FX형 상관기로서 시간 영역의 2개의 데이터 스트림(Data stream)이 우선 Fourier 변환을 통하여 주파수 영역으로 변환된다. 그리고 곱셈기(Multiplier)를 이용하여 상호 스펙트럼을 구하게 된다. 마지막으로 Fourier 역변환을 수행하여 상호상관을 최종적으로 구하게 된다. 이 FX형 상관기는 긴 지연 lag를 쉽게 처리할 수 있고 높은 스펙트럼 분해능이 필요한 천문응용 분야의 데이터 처리에 사용된다. K5 소프트웨어 상관기는 FX/XF형 상관기가 모두 C 프로그램 형식으로 구축되어 있다.

4.3. IP-VLBI 대상의 상관처리

IP-VLBI 시스템을 실현하기 위한 주요기술로서는 무엇보다도 소프트웨어 상관기를 이용한 상관처리가 가능하다는 것으로써, 이는 로컬 디스크 데이터와 네트워크 데이터를 다루기 용이하기 때문이다. 만약 로컬 디스크에서 데이터를 읽을 수 있다면 이는 오프라인 처리가 된다. 만약 인터넷을 통해 데이터를 획득한다면 이는 FTP(File Transfer Protocol) 처리 또는 준 실시간 또는 실시간 처리가 된다. 따라서 특정한 하드웨어를 사용하지 않고 두 개의 데이터 스트림을 상관처리하기 위해 소프트웨어량의 상관처리는 수행할 수 없지만, 기존의 대용량 하드웨어 상관기를 구축하는 것보다는 저렴한 비용과 시간으로 구현할 수 있어 매우 유용할 것으로 기대된다. 그리고 소프트웨어 상관기를 구축하는데 있어서 가장 중요한 알고리즘이 분산처리에 의해 시스템이 구현되었다는 것이

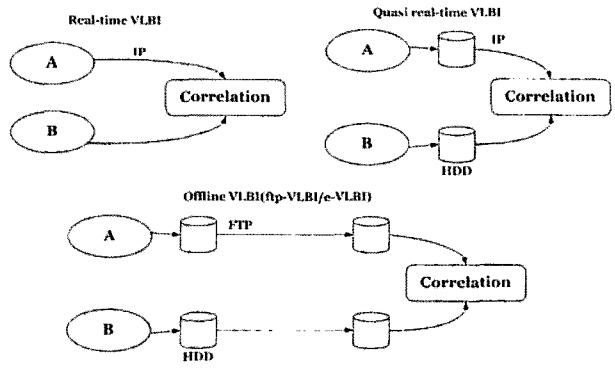


그림 7. IP-VLBI 보드를 채용한 시스템의 동작 모드

다. 이것은 컴퓨터 시스템의 속도에 의존하고 있는 소프트웨어 상관기의 속도를 개선하기 위한 방법으로 널리 사용되고 있다. 즉, 입력된 데이터 스트림은 짧은 시간 성분으로 분해되고 상관처리는 분해된 데이터의 각 쌍에 대해서 수행하는 방법을 채택하고 있다.

그림 7에는 IP-VLBI를 장착한 시스템의 동작 모드를 나타내었다. 실제로 관측시스템의 최종목표는 실시간 동작이지만, 오프라인 동작(FTP 기반 동작) 또는 준 실시간 동작도 시스템을 개발하는데 과도기적인 목표이다. 시스템이 오프라인으로 동작할 때에도 IP-VLBI 보드를 채용한 K5 시스템은 정상적으로 동작된다. 현재 KVN에서는 기가비트 고속샘플러(ADS-1000), PC-VSI 보드를 도입하여 소규모의 관측시스템을 구축할 예정이며, 이를 대상으로 한 소프트웨어 상관기 시스템을 구축하고자 일본 NICT와의 연구교류협정을 통한 소프트웨어 상관기 프로그램과 관련 소프트웨어를 제공받아 KVN에 적합한 시스템으로 개수작업을 진행하고 있다.

5. 소규모 기가비트 VLBI 관측 시스템

5.1. 시스템 사양 및 구성

본 논문에서 시스템을 구축하기 위해 사용된 PC의 구성 요소를 표 5에 나타내었다. 여기서 메인보드는 초고속 PCI 버스를 이용하기 위하여 선택하였다. PCI 버스(66 MHz/64 bit) 하나는 샘플러로부터 입력되는 데이터를 PC-VSI 보드에서 획득하기 위한 것이며, 다른 하나는 (133 MHz/64 bit) 데이터를 저장하기 위한 RAID 카드 용이다. 4 GB의 메모리는 FIFO 버퍼, 운영체제의 오버

표 4. K5의 사용 가능한 소프트웨어

Utility Name	Function
autoobs	do observation(data acquisition) according to a schedule file(SKED format)
datachk	check data validity
extdata	extract one channel data from a VSSP out
monit	monitor signal input level
sampling	make observation for one scan
signalcheck	check reference and 1PPS signals
skdchk	check schedule file and to calculate required storage size display spectrum
speana	display VSSP board time
timedisp	set VSSP board time
timesettk	synchronize board time to 1PPS signal
timesync	
vlbtkc	client program for real-time operation send command to server(set sampling frequency, A/D resolution, data span etc.) gather VSSP out data
vlbtkts	measure network data transfer speed server program for real-time operation do offline observation do remote observation
fx_cor	FX type software correlation
cor	XF type software correlation(fastest version)
mk5tok5	mark5 to k5 format conversion

표 5. 소규모 기가비트 DAS의 PC 구성요소

Item	Contents
Mother board	Tyan Thunder K8WE / S2895
PCI-bus	133 MHz/64 bit*2, 66 MHz/64 bit*2, 33 MHz/32 bit*2
CPU	AMD Opteron 240 /1.4 GHz/4Core
Memory	4 GB
Raid	HighPoint Rocket Raid 1820A (8-port Serial ATA)
HDD	Western Digital 320 GB*8
Network	Gigabit ether *1(on board)
VSI-H	PC-VSI2000DIM Interface card

헤드(overhead) 등을 위해 사용되었다. 2 Gbps의 최대 데이터율은 8개의 하드디스크를 장착한 RAID-0 모드에서 구현되었다.

본 논문에서 제안한 소규모 기가비트 VLBI 관측 시스템의 구상도를 그림 8에 나타내었다(오세진 외, 2005). 그림 8에 나타낸 것은 고속샘플러, PC-VSI 보드, RAID

기록장치를 장착한 일반적인 PC 서버와 KVN에서 채택한 고속기록기인 Mark5B 시스템으로 구성된다. 즉, 방법 1은 고속샘플러, PC-VSI 보드, 소프트웨어 상관기 서버로 구성하는 것이며, 방법 2는 고속샘플러, 고속기록기, PC-VSI 보드, 소프트웨어 상관기 서버로 구성하는 것이다. 현재 Mark5B 고속기록기의 경우 미국 MIT

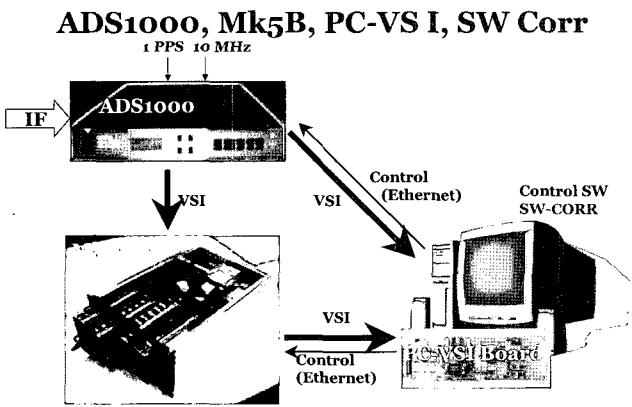


그림 8. 제안한 소규모 기가비트 자료획득시스템 구성도

haystack 관측소와 세계 여러 나라가 개발에 참여하는 국제 컨소시엄을 구성하여 개발하고 있으며 현재 KVN도 이 컨소시엄에 참여하고 있다. Mark5 고속기록기의 개발은 프로토타입(prototype)을 시작으로 A형과 B형으로 구분되는데, A형은 테이프 형태의 VLBA 기록기와 Mark4 기록기와 호환성을 가지도록 설계되어 있으며 현재 VLBI 표준으로 채택된 VSI-H 형식을 채용하지 않아 KVN에서 채택하고자 하는 VLBI 표준을 만족하지 못한다. B형은 A형과 동일한 성능을 보유하면서 VLBI 표준을 준용하도록 설계되어 있으며, 현재 프로토타입 설계를 마친 상태이며 현재 시험평가가 진행 중에 있다. 개발 주체인 MIT haystack 관측소에서는 2005년 말에 개발을 완료할 예정이라고 한다. 따라서 그림 9에 나타낸 본 논문에서 제안한 소규모 기가비트 VLBI 관측 시스템은 Mark5B 고속기록기를 사용하도록 구성하고 있으나 현재 시스템의 개발 지연으로 인해 우선 방법 1로 시스템을 구성하였으며, 향후 Mark5B가 완료되면 방법 2도 구현할 예정이다.

그림 9에 나타낸 것과 같이 소규모 기가비트 VLBI 관측 시스템은 IF 신호를 샘플링하는 고속샘플러(ADS-1000)와 샘플링 데이터를 PC로 저장하는 PC-VSI 보드, 그리고 RAID 기록장치를 장착한 PC서버 1대로 구성된다. 관측 때에 IF 신호, 10 MHz, 1 PPS 신호를 A/D로 입력하는 것만으로 통상의 VLBI 관측이 가능하다. 여기서는 내부에서 제공되는 기준신호를 사용한다. ADS-1000은 1채널의 A/D 변환부를 가지며, 1024 Msps의 속도로 2bit 양자화가 가능하며 주로 천문 관측용으로 개발되어 현재 많은 기관에서 사용되고 있다.

고속샘플러의 최대 전송속도는 2048 Mbps이며, 이 데이터를 PC에 저장하기 위해 66 MHz/64 bit의 PCI 버스를 이용한 데이터 획득하기 위한 보드가 사용된다. 이 보드에서 획득된 데이터는 RAID로 구성된 하드디스크에 기록된다. 이렇게 관측된 데이터는 디스크만 상관센터로 전달 또는 네트워크를 사용한 데이터의 전송을 수행하기도 하고, PC 서버에 소프트웨어 상관기를 설치하여 데이터 처리를 수행하기도 한다. 이 시스템에서는 A/D로 샘플링된 데이터는 VSI 케이블을 통하여 PCI 버스에 접속된 PC-VSI 보드로 전송되며 시간적으로 연속동작 하도록 되어 있다. 자료획득을 위한 PC-VSI 보드는 내부에 1024 Mbit의 버퍼를 2면 가지고 있으며 1 Gbps의 관측에는 1초마다 내부 버퍼를 바꾼다. 이 내부 버퍼의 데이터는 폭발적으로 PC의 메인 메모리의 DMA(Direct Memory Access)를 이용하여 전송된다. 이때의 속도는 66 MHz/64 bit의 PCI 버스의 이론한계인 4 Gbps에 가까운 속도로 수행되며 1 Gbit의 데이터라면 0.25초 정도의 시간이 걸린다고 한다. 이 사이의 처리는 2회로 분할된 동작과 1회의 DMA 전송만으로 실행된 CPU에는 전체 부하가 발생되지 않기 때문에 높은 부하에서도 안정적인 동작이 가능하다. 이 메인 메모리는 여러 용용으로부터 동시에 참조할 수 있고, 데이터 기록 중에 자기상관처리와 네트워크로의 데이터 전송도 병렬로 실행할 수 있다.

실제 본 논문에서 구현된 시스템을 그림 10에 나타내었다.

5.2. 관측과 처리모드

기존의 테이프 기반의 시스템으로부터 PC-VSI 보드는 매우 다양한 관측모드를 가능하게 하였다. 실제 그림 9에 나타낸 것과 같이 CPU, PC-VSI 보드, 초고속 네트워크, 하드디스크, 메모리의 상호작용에 의해 다양한 관측모드가 가능하게 된 것이다. 이것은 짧은 시간의 FIFO(First In First Out)와 저장장소로 동시에 사용되기 때문에 가능하다. 그림 9에 나타낸 것과 같이 PC-VSI 보드를 이용한 경우에 지원되는 기본적인 모드를 아래에 간략히 나타내었다.

- 모드 1 : 오프라인 자체 관측

이 관측모드는 기존의 테이프 기록기와 유사하다. 고속샘플러의 샘플링 데이터는 RAID에 기록되고 디스크 팩 교환이 수행된다. 관측이 끝나면 착탈식 디스크 팩은 상관국의 PC로 이동된다. 이 관측모드는 일반적인 모든 VLBI 관측국에서 기록기를 대체하는데 사용된다.

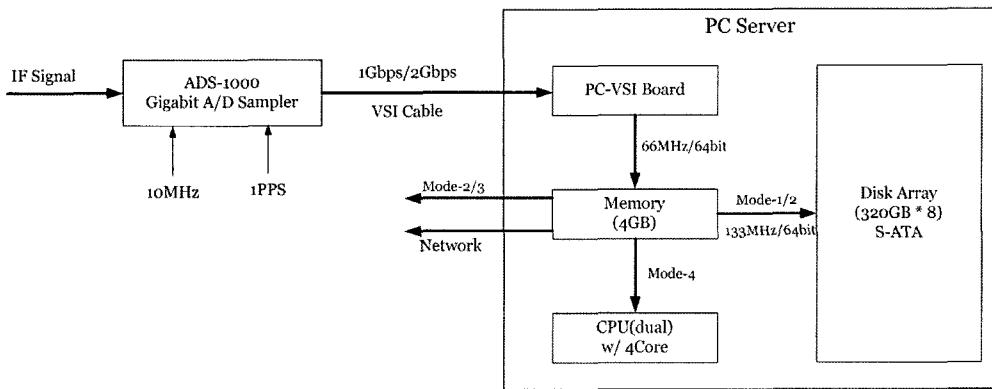


그림 9. PC-VSI 보드와 관측 모드의 구성

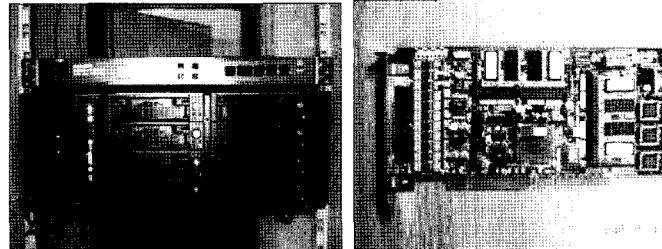


그림 10. 실제 구현된 모습

• 모드 2 : 프린지 확인 관측

만약 관측국이 네트워크로 연결되어 있다면, 관측 데이터의 일부분을 즉시 프린지 확인을 위해서 다른 관측국으로 전송된다. 대부분의 관측에서 실시간 상관처리는 필요하지 않지만, 관측을 하는 동안 사용자는 저속의 네트워크를 이용해서라도 관측된 샘플 데이터의 일부분에 대한 조사를 하기 원한다. PC-VSI 시스템은 동시에 데이터를 기록하고 저장할 수 있도록 설계되어 있다.

• 모드 3 : 실시간 관측

관측국이 초고속 네트워크에 연결되어 있다면, 모든 샘플된 데이터는 실시간으로 네트워크를 통하여 전송된다. 만약 관측 목적이 광대역을 필요하지 않는다면, 전체 데이터율은 CPU에서 재샘플링 기술에 의해 압축된다.

이 모드는 인공위성의 위치를 찾는 VLBI 관측과 같은 진급한 관측에 매우 중요하다.

• 모드 4 : 단일경 관측

분광관측에서 들어오는 데이터는 디스크에 기록하지 않고 바로 처리된다. RFI(Radio Frequency

Interferometer)와 스위칭(switching) 관측이 충분하지 않지만 PC-VSI 시스템에서의 데이터는 민감도 증가와 RFI 제거 알고리즘을 적용하여 데이터 처리를 수행한다.

6. 결론

본 논문에서는 PC를 이용한 소규모 기가비트 VLBI 관측 시스템 구축에 대해 소개하였다. 현재 한국천문연구원에서는 KVN 구축사업이 순조롭게 진행되고 있다. 이를 위해 실제로 수신기, 고속샘플러, 디지털필터, 고속기록기 등의 관측 시스템을 준비하고 있지만 많은 시간과 경비가 소요 된다. 실제 하드웨어 시스템의 도입이 되는 기간에 다양한 실험을 위한 준비가 필요하다고 생각된다. 따라서 본 논문에서는 비교적 저렴한 비용으로 고속샘플러, IP-VLBI 보드, PC-VSI 보드, 컴퓨터, 소프트웨어 상관기 등을 이용한 소규모 VLBI 관측 시스템 구축을 제안하였다. IP-VLBI 보드를 이용한 경우는 측지 VLBI 관측에 사용되며, 고속샘플러, PC-VSI 보드를 이용한 경우는 천문 VLBI 관측에 사용되며 우주전파를 1 Gps, 2 bit로 디지털화하며 VSI-H

표준을 따른 PC-VSI 보드를 통하여 PC 하드디스크에 기록할 수 있다. 이렇게 기록된 관측 데이터는 소프트웨어 상 관기에서 상관처리가 수행된다. 본 논문에서는 고속샘플러, PC-VSI 보드, Mark5B, PC 서버를 연결하는 시스템을 구성하고자 하였다. 그러나 Mark5B 시스템 개발의 지연으로 이를 제외한 소규모 기가비트 VLBI 관측 시스템을 구현하였다. 향후에는 구현한 시스템을 이용한 평가 및 관측실험을 수행하고자 한다.

참고문헌

- 김현구 외, 2003, 한국우주전파관측망 건설사업 계획서
- 오세진 외, 2005, “IP-VLBI 보드를 이용한 소규모 VLBI 관측시스템 구축,” 신호처리합동학술대회 논문집
- 오세진 외, 2005, “Current status of KVN backend system,” 2005 Japan-Korea VLBI Meeting
- 이창훈 외, 2002, “400MHz autocorrelation spectrometer,” 한국우주과학회지, 19, 4, 327-340
- Kimura et. al., 2002, “The implementation of the PC based Gigabit VLBI system,” IVS Technology Development Center News, 21, 31-33
- Kimura et. al., 2003, “PCを用いた2ギガビットVLBIシステム,” Proc. of VLBI Symposium 2003 and Japan-Korea VLBI meeting, 16-19
- Kimura et. al., 2005, “Development of the software correlator for the VERA system,” IVS Technology Development Center News, 26, 26-27
- Koyama et. al., 2003, “K5システムによる測地VLBI実験,” Proc. of VLBI Symposium 2003 and Japan-Korea VLBI meeting, 1-4
- Kondo et. al., 2000, “Development of the new real-time VLBI technique using the Internet Protocol,” IVS Technology Development Center News, 17, 22-24
- Kondo et. al., 2004, “Current Status of the K5 Software Correlator,” IVS Technology Development Center News, 25, 23-27