

KJJVC를 위한 VLBI 상관서브시스템(VCS)의 개발 및 성능시험에 관한 연구

오세진, 영재환, 노덕규, 박선엽, 강용우, 정현수, 이창훈, 김광동, 김효령
한국천문연구원

A study on the performance evaluation and development of VCS for KJJVC

Se-Jin Oh, Jae-Hwan Yeom, Duk-Gyoo Roh, Sun-Yeop Park, Yong-Woo Kang, Hyun-Soo Chung, Chang-Hoon Lee, Kwang-Dong Kim, Hyo-Ryoung Kim
Korea Astronomy and Space Science Institute

Abstract - 본 논문에서는 한일공동VLBI상관기(KJJVC)의 핵심구성인 VLBI상관서브시스템(VCS)의 개발과 그 시제품의 기본적인 성능시험에 대해 고찰하고자 한다. VCS는 16관측국의 총 120기선과 관측국당 8Gbps의 입력 데이터처리 그리고 총 8192채널의 상관결과를 출력할 수 있는 성능을 가지고 있다. VCS는 FX 형식으로 데이터 입력보드(RDC), 푸리에 변환보드(FTB) 그리고 상관처리보드(CAB)로 구성되며, 푸리에 변환보드와 상관처리보드에서 중요한 기능들이 수행된다. 그리고 VCS는 8Gbps의 입력데이터를 처리하기 위해 데이터 직렬화 방법을 채택하고 최대 지연추적을 위해 인공위성 VLBI를 위한 VSOP2의 관측데이터도 처리할 수 있도록 설계되었다. VCS는 2007년 8월부터 개발이 진행되었으며, 현재 시제품이 완성되어 기본적인 성능시험을 수행하였다. 본 논문에서는 VCS 시제품의 성능시험결과에 대해 간략히 기술한다.

용량의 HDD로 구성된 대용량 데이터 서버로서 일본국립천문대에 의해 전체 상관시스템의 한 부분으로서 개발이 진행되고 있다. 이 시스템은 VLBI상관서브시스템으로 VLBI raw 데이터를 입력하는 임시 데이터 버퍼로 사용된다.

VCS는 RVDB로부터 VLBI 데이터를 수신하고 상관기 제어 및 운용 컴퓨터로부터 주어진 적절한 제어 파라미터와 함께 입력 데이터의 모든 가능한 쌍(pair) 사이의 상관계산을 수행한다. 그리고 상관처리된 결과를 데이터 아카이브 시스템으로 출력하게 된다. 그리고 데이터 아카이브는 데이터 서버의 일종으로서 VCS로부터 상관처리된 데이터 출력을 추출하고 규격화된 파일 시스템으로 출력결과를 저장하는데 사용된다. 마지막으로 전체 시스템에 대한 상관기 제어 및 운용 소프트웨어는 각 시스템의 제어 및 파라미터 설정과 운용에 관련된 소프트웨어로 구성되어 있다.

1. 서 론

한국천문연구원에서는 2001년부터 한국우주전파관측망(Korean VLBI Network; KVN) 구축사업을 진행하고 있다[1]. KVN은 국내에서는 최초의 VLBI관측시스템이며 수신시스템의 광대역화와 초고속망을 이용한 온라인화를 고려하고 있다. 한 시스템이다. 특히 수신시스템은 세계 최초로 4개의 관측주파수를 동시에 수신할 수 있으며, 관측 대역폭은 512MHz이다. 그리고 자료획득시스템(DAS)은 디지털필터를 채용하고 있으며, 현재 고속기록기는 관측데이터를 1Gbps의 속도로 기록할 수 있다. 향후 DAS는 관측 효율의 향상과 실시간 데이터 전송 등의 컴퓨터 시스템의 발전을 고려하여 최대 8Gbps까지 관측 데이터를 처리할 수 있도록 설계 제작되었다.

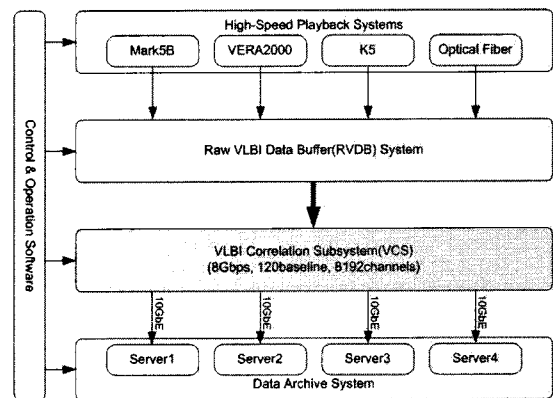
이와 함께 한국천문연구원에서는 KVN과 일본국립천문대의 VERA 관측망 JVN(Japanese VLBI Network) 및 CVN(Chinese VLBI Network)을 포함한 동아시아 VLBI관측망(EAVN)의 데이터를 처리할 수 있는 온라인, 광대역화된 초고속 VLBI 상관처리 시스템인 한일공동VLBI상관기(Korea-Japan Joint VLBI Correlator; KJJVC)의 설계·제작을 진행하고 있다[2]. 현재 진행중인 상관처리 시스템은 KVN에서 설계한 자료획득시스템의 최대 처리속도인 8Gbps를 갖도록 개발하여야만 가까운 미래의 상관처리 요구에 대응할 수 있을 것이다. 8 Gbps의 처리속도가 실현될 경우, 현시점의 최고기록속도 1Gbps의 관측데이터에 대하여 8배속 처리가 가능하게 되어 VLBI 상관기의 큰 걸림돌인 상관처리 대기시간이 줄어들며, VLBI관측의 원천적인 문제점인 좁은 시야를 적어도 8배 넓힐 수 있는 길이 열리게 되는 부대효과를 거두게 된다.

본 논문에서는 2007년 8월부터 KJJVC의 핵심인 VLBI상관서브시스템(VLBI Correlation Subsystem; VCS)의 설계제작을 진행하였으며, 2008년 8월에 시제품의 개발이 완료되었다. 따라서 VCS 시제품의 성능을 확인하기 위해 시스템의 기능 및 성능시험을 수행하였다. 이하 본 논문에서는 KJJVC와 VCS에 대해 간략히 살펴보고 VCS 시제품의 성능시험 결과에 대해 기술한다.

2. 한일공동VLBI상관기 개발

2.1 시스템 구성

그림 1에 현재 개발을 진행 중인 상관기 시스템의 개략적인 구조를 나타내었다[3]. 전체 상관시스템은 고속재생 동기처리 시스템인 Raw VLBI Data Buffer(RVDB), 상관처리를 수행하는 VLBI상관서브시스템, 상관처리결과를 저장하는 데이터 아카이브 시스템, 전체 상관시스템의 제어 및 운용을 위한 소프트웨어 부분으로 구성된다. RVDB에는 향후에 사용될 광케이블과 Mark5B, VERA2000, K5 등과 같이 VSI 인터페이스를 채용하고 있으며 공동 VLBI 관측망에서 사용될 다양한 VLBI 데이터 재생 시스템이 있다. 이 시스템들은 동일한 시스템이 아니므로 최대 데이터 기록/재생 속에는 미묘한 차이가 발생한다. 기존의 VLBI 데이터 재생 시스템 사이에 존재하는 차이점과 이질성을 통합하기 위해 Raw VLBI 데이터 버퍼를 개발하였다. 이 시스템은 다양한 종류의 VLBI 데이터 인터페이스와 대



〈그림 1〉 한일공동VLBI상관기 구성.

2.2 VLBI상관서브시스템

〈표 1〉 VCS 규격.

Items	Contents
# of stations & inputs/station	16, Max. 4 inputs
Max. # of correlations/input	120 Cross + 16 Auto
Observation frequency	(VSOP2) 45GHz, 130/86/43/22 GHz
Largest baseline length	36,000km(0.12sec)
Maximum data output rate	1.4 GBytes/sec
Digitization for each input	1 Gbps by 2bit/sample
Interface	VSI-H
Input data rate	2 Gbps / 1 Gbps
Architecture	FX type, with FPGA
FFT points	256k/128k/64k/32k/16k/8k Adjustable
Correlation output data interface	10Gbit Ethernet

VCS의 주요 규격[3][4]을 표 1에 나타내었다. VCS는 각 안테나에 대해 8Gbps의 입력 데이터를 받아들일 수 있고 최대 16관측국에 대해 120 상호상관, 16 자기상관처리를 수행할 수 있다. VCS의 구조는 FX 형이며, 22GHz에서 0.05km/sec의 분해능을 유지하기 위해 FFT를 가변할 수 있는 구조를 갖는다. 최대 지연율은 ±36,000km이고 최대 프린지 추적은 1.075kHz이다. 그리고 상관출력에 대해 처리할 수 있는 주파수 채널은 8,192개이다. VCS의 구조는 FX 형태이며, 이는 Fourier 변환을 먼저 수행하고 상관처리된 곱셈 과정을 수

행한다. 이 FX 구조는 상호상관을 수행하기 전에 각 안테나로부터 추출한 신호에서 다른 주파수 성분은 넓은 대역폭에 대해 하나의 상관 결과 내에 채널화를 유연하고 쉽게 정렬할 수 있도록 할 수 있다.

3. 성능시험결과

3.1 시험항목

〈표 2〉 VCS 시제품 성능시험 항목.

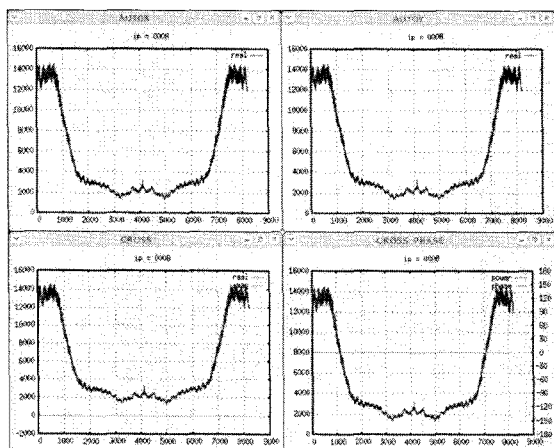
Function	Item
Data Acceptance	Input Data Rate
	Playback Speed
	VALID Polarity
	Stream Constitution
Input Data Control	Port selection
	Stream selection
Spectral Analysis	FFT points
	Scaling
	Window Modulation
	Frequency Offset Addition
	DC-offset Cancellation
Correlation and Accumulation	Auto Correlation
	Cross Correlation
	Frequency binning
	Integration Period*
Delay Compensation	Delay Control
	Fringe tracking
	Delay Offset
Correlation Processing with real observation data	Cross-Correlation

VCS 시제품의 성능을 확인하기 위해 수행한 시험항목을 표 2에 나타내었다[5]. VCS 시제품의 성능시험 중에서 Spectral Analysis, Correlation and Accumulation, Delay Compensation, 그리고 실제 관측데이터를 이용한 상관처리를 가장 중점적으로 수행하였다.

3.2 주요시험 결과

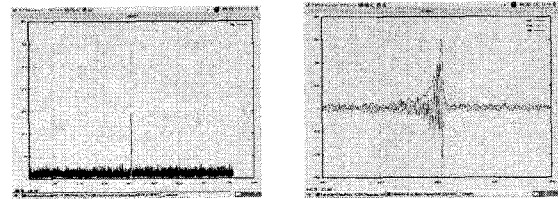
표 2에 나타난 성능시험항목에서 스펙트럼 분석의 경우 VCS 시제품이 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다. 특히 Scaling의 경우 제작에서 수행한 기능시험에서 출력되지 않았던 Noise 스펙트럼을 성능시험 과정에서 Scaling factor와 Noise 입력신호의 레벨을 조절하여 스펙트럼 출력을 확인하였으며, 이 문제점을 분석한 결과 VCS 시제품의 FFT 연산후 재양자화 과정에 문제가 있음을 확인하였다. 그리고 Delay compensation 시험항목에서도 VCS 시제품이 정상적으로 동작하는 것을 확인하였다. Delay control의 경우 simulation 데이터를 만들어 인위로 1500km, 3000km에 해당하는 dummy 데이터를 삽입하여 테스트 하였으며, 정상동작을 확인하였다. 그러나 Fringe tracking의 Bit-jump 항목에서는 simulation 데이터와 VCS 시제품의 데이터 처리방법의 차이로 정상적으로 동작되지 않음도 확인하였다.

Correlation과 Accumulation 시험항목에서 일본 Tsukuba 32m 안테나에서 획득한 Noise 신호에 대해 수행한 Auto/Cross correlation 결과를 그림 2에 나타내었다. 그림 2에서 AUTOX, AUTOY는 X와 Y입력에 대한 자기상관결과, CROSS는 X와 Y의 상호상관결과, 그리고 CROSS PHASE는 상호상관결과의 위상을 각각 나타낸 것이다. 그림 2에서 X와 Y에 동일한 데이터에 대해 자기상관 및 상호상관을 수행하였기 때문에 자기상관인 AUTOX, AUTOY의 결과는 동일하며, 상호상관인 CROSS의 경우 실수(real) 값에 대한 결과만 출력되고 허수(imaginary) 값에 대한 상호상관결과는 출력되지 않는다. 또한 CROSS PHASE의 경우도 phase가 0가 되는 것을 확인할 수 있어 VCS의 상관처리는 정상적으로 동작되는 것을 확인하였다.



〈그림 2〉 VCS 시제품의 Auto/Cross Correlation 시험결과.

VCS 시제품의 실제 관측 데이터에 대한 상관처리를 확인하기 위해 실제 관측 데이터 (OJ287, 8GHz 관측주파수, Usuda-Tsukuba 기선)에 대해 Fringe Search를 수행한 후 약 1024ms동안 적분한 결과를 그림 3에 나타내었다.



〈그림 3〉 실제 관측 데이터(OJ287)에 대한 VCS 시제품의 First Fringe 영상(좌: 1024msec, 우: 확대)

그림 3으로부터 1024msec의 적분시간에 대해 VLBI상관처리를 수행한 결과 이상과 같은 Fringe를 획득하였으며, 실험을 통하여 VCS 시제품의 VLBI상관처리 기능도 정상적으로 동작하고 있음을 확인할 수 있었다.

3.3 결과 고찰

VCS 시제품 제작 및 성능시험의 목적은 한일공동VLBI상관기의 본제품 제작에 앞서 핵심 부분품을 실제로 구현하여 설계대로 작동하는지 여부를 확인하고 미흡한 부분이 발견될 경우 보완함으로써 본제품의 완성도를 높이는 데 있다. 기능 및 성능 시험 항목과 결과를 표 1에 정리하였다. 1기선 상관처리에 핵심적인 기능인 Spectral Analysis, Correlation and Accumulation, Delay Compensation 등에서 설계된 기능이 잘 작동함을 확인하였고, 최종적으로 실제 관측 데이터를 이용한 상관처리 시험에서 예상되는 상관결과(fringe)를 얻었다. 저속 운용 모드, 데이터 입력 포트 선택 기능, 채널 합산 기능 등 일부 부수적인 기능들에서 시험하지 않았거나 미확인된 부분이 있으나, 전체적으로 만족할 만한 결과를 얻었다고 판단된다. 특히, 재양자화 부분의 부정합을 발견하고 보완책을 본제품 제작시에 반영하기로 한 점은 시제품 제작을 통해 얻은 중요 성과로 평가된다.

4. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 한일공동VLBI상관기의 핵심 구성시스템인 VLBI상관서브시스템(VCS)의 성능시험을 수행하였다. 제작사의 기능시험 종료 후 KASI와 NAOJ에서 준비한 성능시험 항목에 대해 제작사인 Elecs(사)를 방문하여 VCS 시제품에 대한 기본적인 기능 및 성능에 대한 시험을 수행하였다. 전체적으로 성능시험 항목에 대한 결과를 분석한 결과 만족할 만한 결과를 얻었다. 성능시험에서 수행하지 못한 부분도 남아 있지만, 이 부분은 다른 부분과 비교하여 중요도는 낮으며 향후 추가적인 성능시험을 수행하여 결과를 도출할 예정이다. 간략히 남아 있는 항목을 요약하면 다음과 같다. Narrow Band Mode의 경우 공장시험에서 수행한 Wide Band Mode와 비교하여 input buffer의 read address control만 다르므로 향후 VCS의 프로 그래밍을 수정한 후 수행할 예정이다.

그리고 기능시험과 성능시험과정에서 관명된 Re-quantization 문제는 제작사와 함께 공동으로 문제를 해결하기로 하였다. 이를 위해 작성한 Software Simulator를 이용하여 Re-quantization 문제를 해결할 수 있는 방안을 찾기로 하였으며, 그 결과로 3가지 방안을 제시하였다. 제안방법 중 가장 적절한 방법을 우선 VCS 하드웨어에 구현한 다음 실험을 통하여 유효한 방법인지를 확인할 필요가 있다. 앞에서 설명한 수행 예정 평가항목인 Scaling, Multi-binning에 대해서는 위에서 설명한 Re-quantization 문제에 의한 영향이 크기 때문에 검정하는데 어려움이 따르지만, Re-quantization 문제의 해결 방법이 결정되면 쉽게 해결될 것으로 기대된다.

〈참고 문헌〉

- [1] 김효령 외, "한국우주전파관측망 건설", 한국천문연구원 2007년도 사업 보고서, 2007. 12.
- [2] 노덕규 외, "한일공동VLBI상관기 및 수신기 개발", 한국천문연구원 2007년도 일반사업보고서, 2007. 12.
- [3] 오세진 외, "동아시아VLBI관측망을 위한 VLBI상관기 개발현황", 제2회 천문관측기기 워크숍 논문집, 제2권, pp. 53-64, 2008. 7.
- [4] Se-Jin Oh et. al., "Design and development of VLBI correlation subsystem for KJJVC", Proc. of 2008 SCIS & ISIS joint workshop, 2008. 9.
- [5] 오세진 외, "VLBI상관서브시스템 시제품 성능시험 결과", 한국천문연구원 VCS 시제품 성능시험 결과보고서, 2008.