

e-VLBI 구현을 위한 네트워크 모델 설계
THE DESIGN OF NETWORK MODEL FOR THE IMPLEMENTATION OF e-VLBI

송민규, 변도영, 김현구, 오세진, 한석태, 노덕규, 이보안
한국천문연구원

MIN-GYU SONG, DO-YOUNG BYUN, HYUN-GOO KIM, SE-JIN OH, SEOG-TAE HAN,
DUK-GYOO ROH, AND BO-AHN LEE

Korea Astronomy & Space Science Institute, Daejeon 61-1, Korea
E-mail: mksong@trao.re.kr

(Received November 15, 2005; Accepted December 15, 2005)

ABSTRACT

e-VLBI was invented to enhance the efficiency of VLBI (Very-Long-Baseline Interferometry) system by transmitting the data via high speed network. Korean VLBI Network (KVN) has a plan to construct e-VLBI system named e-KVN. High speed backbone network and efficient network model are essential to implement successful e-VLBI system. This paper introduces a network model based on PC cluster technology. The present status of high speed backbone network in Korea is overviewed. We suggest that the network link via Korea Advanced Research Network (KOREN) is one of feasible way for e-KVN. We also describe the principles of e-VLBI and protocol for network transmission such as VSI-E (VLBI Standard Interface - Electronic), RTP (Real-Time Transport Protocol) and RTCP (Real-Time Transport Control Protocol).

Key words : R&E network, advanced network, e-VLBI, Gbps data transfer, radio telescope

1. 서론

근 10년 동안 과학기술에 있어서 이루 말할 수 없는 많은 발전이 있었고 이로 인하여 우리의 생활에 급격한 변화가 있었다. 하지만 그 중에서도 그 양과 질에서 가장 놀라울 정도로 발전하고 우리 삶의 양식에 근본적 변화를 초래한 기술을 하나 꼽으라면 IT(Information Technology)를 선택할 수 있을 것이다. 정보통신 및 초고속 네트워크 기술의 급격한 발전에 의하여 현대인들은 정보의 바다에 살고 있으며 이루 말할 수 있는 다양한 혜택을 누리고 있는데 이는 비단 정보통신 자체에 국한된 것만은 아닐 것이다. 5T(BT, CT, ET, NT, ST)의 연구 및 개발에 있어서 IT의 영향을 받지 않는 것이 없으며 IT와의 융합을 통하여 각 기술이 해당 분야에서 급격한 발전을 이룸에 따라 e-Science라는 과학기술 연구에 있어 새로운 영역이 탄생하게 되었다.

본 논문에서는 e-Science를 구성하는 다양한 분야 중 ST(Space Technology)에 해당하는 e-VLBI 기술에 대해 언급하고자 하며 논문의 서론에서 e-VLBI에 대한 간략한 소개를 한 후 본문에서 e-VLBI 구현에 있어서 필요한 실제적 방안을 네트워크 기술의 관점에서 서술하고자 한다. 그리고 이러한 e-VLBI의 구현을 위한 세계 각국의 활발한 연구 및 네트워크 구축 현황에 대해 알아

본 후 이를 기반으로 향후 e-VLBI를 구현함에 있어서 KVN이 나아가야 할 방향에 대해 알아보하고자 한다.

본 논문은 그 구성에 있어 다음의 순서에 따라 기술되었다. 먼저 서론에 이은 2장에서는 VLBI 및 e-VLBI에 대한 간략한 설명을 할 것이며 3장에서 본 논문의 키워드에 해당하는 e-VLBI의 동작 메커니즘 및 이를 구현하기 위한 네트워크 기술에 대해 살펴본 후, 이를 기반으로 효과적으로 e-VLBI를 구현하기 위한 네트워크 모델에 대해 알아보하고자 한다. 이어 4장에서는 이러한 e-VLBI 구현을 목표로 선진국에서 경쟁적으로 이루어지고 있는 네트워크 구축 현황에 대해 살펴보고자 하며 5장에서 e-VLBI를 KVN 내에 구현하기 위한 네트워크 구축 방안에 대해 기술하기로 한다. 그리고 마지막으로 6장 결론에서 e-Science의 대표적 분야로서 e-VLBI의 성장 가능성 및 그 비전을 제시하기로 한다.

2. e-VLBI 개요 및 특성

VLBI는 지난 30년 이상 전파천문을 비롯한 지구 물리, 측지 등의 여러 학문 분야에서 널리 사용되어 온 기술로서 천체 관측에 있어서 고분해능의 공간 정밀도를 제공하며 지구 자전축 및 지각 운동의 미세한 변화를 측정함

에 있어서 가장 정확한 방법 중의 하나이다. 본 장에서는 이러한 특성을 갖는 VLBI 및 네트워크 기반의 e-VLBI에 대해 살펴본다.

2.1 VLBI의 소개 및 특성

각 전파망원경에서 천체로부터 수신하여 얻은 전파 신호를 서로 합성하면, 그 위상(phase)의 차이에 따라 간섭이 일어나 각 전파망원경 간의 거리에 비례하는 직경의 초대형 전파망원경으로 천체를 관측한 것과 같은 효과를 얻을 수 있는데 이러한 시스템을 전파간섭계라 한다. 전파간섭계는 전파망원경에서 나오는 전파 신호를 합성하는 방법에 따라 크게 두 가지 형태로 분류되는데 그 중의 한 형태로서 전파망원경을 케이블로 직접 연결하여 전파 신호를 합성하는 전파망원경 어레이(array)가 있다. 한편 전파망원경 어레이 보다 더욱 높은 공간 분해능을 얻기 위해서는 상호 거리가 수 백 또는 수 천 km 떨어져 있는 전파망원경을 사용해야 하는데, 이러한 경우 케이블을 이용하여 여러 전파망원경을 직접 연결하는 것이 불가능하기 때문에 각 전파망원경으로부터 얻은 신호를 자기 테이프에 기록한 다음 이 테이프들을 한 곳에 모아서 자료를 합성하는 절차를 거치게 된다. 이러한 장치를 VLBI(Very-Long-Baseline Interferometry: 초장기선 전파간섭계)라 부르며, 이를 통하여 기존의 단일 전파망원경이나 전파망원경 어레이 보다 훨씬 높은 공간 분해능의 천체 이미지를 얻는 것이 가능하다.

VLBI에서 각 전파망원경은 서로 독립되어 운용되기 때문에 전파망원경 간의 거리는 원하는 대로 확장 가능하며 이로부터 분해능의 이점을 누릴 수 있지만 다음 두 가지 점에서 신중을 기해야 한다. 첫째는, 표준 주파수의 정확한 유지이고 둘째는, 대기에 의해 발생하는 위상 요동을 최소화하는 적절한 위상 보정이다. 이 외의 부분은 서로 연결되어 있는 전파망원경 어레이와 원리적으로 유사하다. 표준 주파수의 미세한 차이는 위치 및 지구 운동 등에 엄청난 오차를 가져오고, 위상 보정이 잘 안된 데이터는 천체로부터 온 신호의 간섭성을 떨어뜨리기 때문에 자료의 질적 악화를 가져온다. 그러므로 각 관측소에서 안정된 표준 주파수 유지와 효율적인 위상 보정 방법을 확보하는 것이 VLBI 시스템 운용에 있어 가장 중요하다 할 수 있다. 주파수 표준과 다양한 위상 보정 방법에 대한 자세한 논의는 Thompson et al. (2001)가 저술한 "Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy"의 9장에 자세히 기술되어 있다.

2.2 네트워크 기반 e-VLBI의 필요 및 효율성

기존 방식의 VLBI에서는 각 관측소에서 얻은 데이터를 자기 테이프나 디스크에 기록한 다음 배나 비행기 등의 운송 수단을 통하여 데이터센터로 전송한 후 영상 합성 처리 하였다. 하지만 이 방식은 데이터 기록이나 테이프

운송에 있어서 많은 비효율 및 고비용의 문제를 야기시켰고 무엇보다 관측 결과에 대한 신속한 분석이 불가능하다는 점에서 크나큰 취약점을 갖고 있었다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 등장한 기술이 e-VLBI로서 이를 통하여 Gbps급의 VLBI 데이터를 실시간 또는 준실시간으로 전송하는 것이 가능하기 때문에 데이터 처리에 있어서의 신속성, 분석의 정확성은 물론이고 시스템 운용에 있어서의 경제적 효과 또한 얻을 수 있다. 각 관측소에서 얻어진 VLBI 데이터는 전송 가능한 형태로 변환되어 초고속 네트워크를 통해 데이터센터로 전송되는데 이러한 e-VLBI의 활용을 통해 얻을 수 있는 장점을 간략히 요약해보면 다음과 같다 (Whitney et al. 2003).

- 신속한 데이터 처리 및 분석의 정확성
- 보다 정밀한 관측 가능
- 경제적 시스템 운용
- 간편하고 효율적인 시스템 진단

3. e-VLBI의 동작 메커니즘 및 네트워크 지원 방안

각 관측소에서 얻어진 Gbps급의 대용량 VLBI 데이터를 네트워크로 전송함에 있어서 먼저 이를 지원할 수 있는 시스템 개발 및 네트워크 모델 구현이 이루어져야 한다. 이에 따라 본 절에서는 네트워크 상에서 e-VLBI 구현을 위한 시스템의 기본 구성 및 동작 모드에 대해 먼저 살펴본 후 이를 효과적으로 지원할 수 있는 네트워크 모델에 대해 기술하기로 한다.

3.1 e-VLBI 시스템의 기본 동작 모델

VLBI 시스템에서 전파망원경을 통해 들어온 신호는 고속 샘플러에서 디지털 신호로 변환된다. 이러한 디지털 신호는 데이터센터에서의 상관 처리에 필요한 부가 정보(예: 시각, 관측 주파수 대역, 모드 등)들을 포함한 일정한 형태로 자기 디스크에 기록된다. 각 관측소에서 수집된 데이터를 재생하여 상관기에 입력하기 위해서 데이터를 재생하는 재생기의 출력과 상관기의 입력이 물리적으로 연결될 수 있도록 규격화되어야 하고 각 시스템은 적절히 동기화되어야 한다. 이와 같이 관측소와 데이터센터를 구성하는 다양한 종류의 시스템으로 인하여 발생하는 데이터의 비호환, 시스템 동기의 어려움을 해결하기 위하여 IVS(International VLBI Service)에서 VSI(VLBI Standard Interface)를 제정하게 되었다. VLBI 관측에 참여하는 각 관측소는 VLBI 기술의 표준 규격에 해당하는 VSI를 따르도록 권장되고 있으며 이를 통하여 각 관측소와 데이터센터에 위치한 다양한 시스템 간의 데이터 교환이 가능하며 시스템 운용에 있어서 상호 호환성을 얻을 수 있다. VSI 규격은 하드웨어, 소프트웨어, 네트

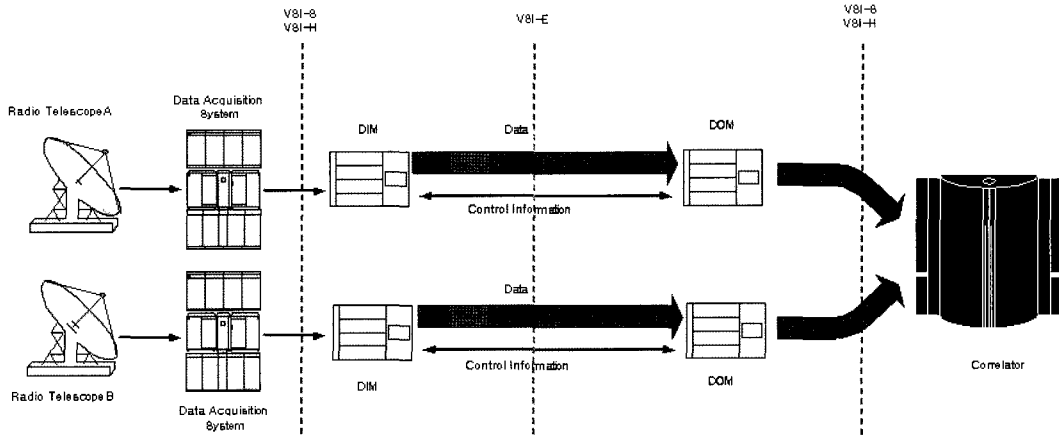


그림 1. e-VLBI 시스템의 구성도

워크에 따라 각각 VSI-H, VSI-S, VSI-E 세 가지로 분류 될 수 있는데 그 역할을 요약해보면 다음과 같다 (Whitney et al. 2000, 2003, 2004).

- VSI-H: 관측소와 데이터센터에 위치한 다양한 VLBI 시스템에 대한 상호 호환성을 지원하며 물리적 구현 사항을 정의.
- VSI-S: VSI-H 규격을 가진 하드웨어를 적절하게 동작시키기 위하여 그 상위 레벨에서 동작하는 소프트웨어의 표준 규격을 설정.
- VSI-E: 네트워크 상의 데이터 전송, 실시간 상관처리를 수행하는 e-VLBI 구현을 위한 네트워크 관련 표준 규격을 설정.

이러한 세 가지 인터페이스 규격을 기반으로 관측소와 데이터센터에 위치한 샘플러, 광전송장치, 디지털 필터, 상관기, 기록기 등의 다양한 시스템들은 e-VLBI 기능을 수행하는 하나의 시스템으로 조합된다. 데이터 송신부에 해당하는 관측소의 시스템들과 수신부에 해당하는 데이터센터의 시스템들은 각각 DIM(Data Input Module)과 DOM(Data Output Module)으로 동작하며 이러한 구성을 기반으로 네트워크 상에서 VLBI 데이터 전송을 위한 e-VLBI의 기본 모델을 도시해보면 그림 1과 같다 (Whitney et al. 2004).

그림 1은 MIT Haystack 관측소에서 제안된 RTP (Real-Time Transport Protocol), RTCP (Real-Time Transport Control Protocol) 기반의 e-VLBI 네트워크 모델을 나타낸 것으로 전파망원경에 수신된 전파 신호는 VSI-H에 따라 DAS를 거쳐 DIM으로 입력된다. DIM에서 디지털 변조, 필터링 등의 절차를 거친 전파 신호는 관측 데이터로 변환되어 네트워크를 통해 데이터센터의

DOM에 전달되며 이후 최종적으로 상관기에서 영상 합성 처리된다. 아래의 e-VLBI 모델에서는 데이터 전달을 위한 최적의 프로토콜로서 RTP, RTCP를 사용하며 그 특징을 요약하면 다음과 같다 (Comer 2000).

RTP

- RTCP 프로토콜과 함께 활용
- 시각 동기정보 제공
- 수신된 데이터 유무 및 위치 식별
- 시퀀스 넘버 점검을 통한 신뢰성 있는 데이터 전달

RTCP

- 데이터의 실시간 전송 상태 모니터링
- DIM, DOM의 상태 정보 공유
- 네트워크 상태 정보 전달

네트워크 상에서의 신속·정확한 데이터 전송은 e-VLBI 구현에 있어서 핵심이며 실시간 데이터 전송에 있어서 RTP, RTCP가 가진 장점을 활용하면 보다 효율적인 데이터 전송 구현이 가능할 것으로 예상된다. 이러한 e-VLBI 구현은 네트워크의 성능에 따라 실시간 VLBI (Real-time VLBI), 준실시간 VLBI (Quasi Real-time VLBI), FTP VLBI 세 가지로 분류 가능하다. 그림 2, 3, 4는 전파망원경과 기록 시스템, 상관기로 간략화 된 시스템의 구성을 보여주고 있다 (Kondo et al. 2003).

먼저 그림 2의 FTP VLBI는 네트워크 상의 데이터 전달에 있어서 FTP 프로토콜을 활용하는 방식으로서 관측소와 데이터센터의 디스크에 저장된 데이터를 기반으로 데이터의 전송 및 영상 합성 처리를 수행한다.

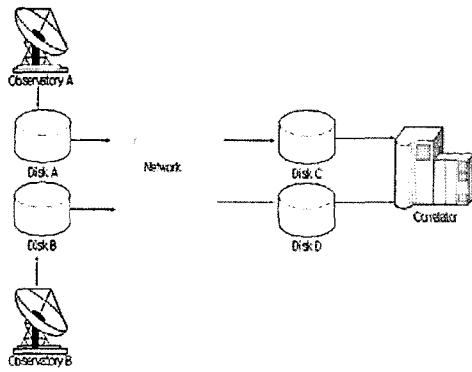


그림 2. FTP VLBI

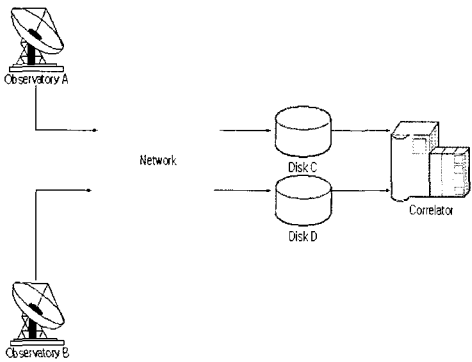


그림 3. 준실시간 VLBI

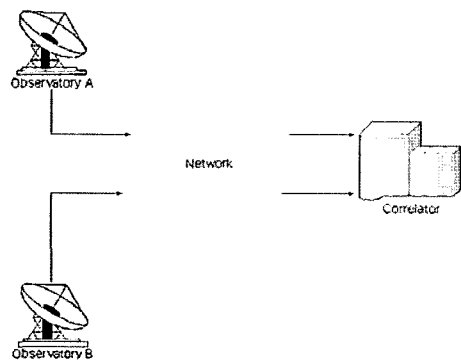


그림 4. 실시간 VLBI

그림 3에서 보여주는 준실시간 VLBI는 관측소에서 얻은 데이터를 RTP, RTCP 프로토콜을 사용하여 데이터센터로 직접 전송하며 이를 통하여 보다 신속한 작업 수행이 가능하다.

그림 4의 실시간 VLBI는 RTP, RTCP 프로토콜을 사용하고 데이터를 네트워크로 직접 전송한다는 점에서는 준실시간 VLBI와 유사하지만 데이터센터에서 디스크 저장 절차 없이 바로 데이터를 처리한다는 점에서 가장 효율적인 방법에 해당한다.

e-VLBI 시스템의 궁극적 목표는 VLBI 데이터를 실시간으로 전송 및 처리하는 실시간 VLBI의 구현이며 지금까지의 논의를 통해 이를 위한 전제 조건으로 네트워크 성능 보장, VSI-E 기반의 시스템 개발이 무엇보다 절실하다는 것을 알 수 있었다. 하지만 현재의 네트워크 및 VLBI 시스템 기술로는 Gbps급의 VLBI 데이터를 실시간으로 처리·분석함에 있어 해결해야 할 여러 과제가 남아 있고 네트워크 유지 비용도 상당하기 때문에 단기적으로는 준실시간 VLBI나 FTP VLBI를 선행하는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

3.2 e-VLBI 네트워크 모델

e-VLBI 실험 수행 시 네트워크 상의 대용량 데이터 전송 과정에서 데이터 전송의 자동화 처리, 파일 양식의 변환 등의 작업이 수행되어야 한다. 이에 따라 기록 시스템으로부터 출력된 Gbps급의 데이터를 처리함에 있어 적지 않은 시스템 처리 용량이 요구되며 e-VLBI 구현 과정에서 이를 적절히 지원할 수 있는 네트워크 모델이 구현되어야 할 것이다.

이와 관련하여 그동안 e-VLBI 전문가들 사이에 여러 논의가 있었지만 최근 분산 컴퓨팅을 통한 데이터 처리가 효과적인 대안으로 주목받고 있을 뿐 아니라 컴퓨터 CPU의 고성능화, 초고속 네트워크에 대한 높은 접근성으로 인하여 향후 e-VLBI 네트워크 구현 과정에서 부하 분산 클러스터 기술이 활발히 적용되어질 것으로 예상된다. 실제로 MIT Haystack 관측소에서는 PC 클러스터 구축을 통하여 일본과의 e-VLBI 실험을 수행하였는데 이를 통하여 데이터 처리에 있어서 상당한 효율을 얻을 수 있었다. 그림 5에서는 이와 관련된 네트워크 모델을 도시한 것으로 각 관측소에서는 보다 효율적인 데이터 처리를 통한 e-VLBI의 성능 극대화를 위하여 PC 클러스터를 구축하였고 관련 기술로 LAM(Local Area Multicomputer)/MPI(Message Passing Interface)를 적용한 새로운 e-VLBI 모델이 제시되었다 (Lapsley 2004).

LAM/MPI는 한 네트워크 상에서 여러 운영체제로 실행되는 컴퓨터들을 위한 MPI 프로그래밍 환경 및 개발 시스템으로 MPI는 컴퓨터 클러스터나 병렬 컴퓨터 상에

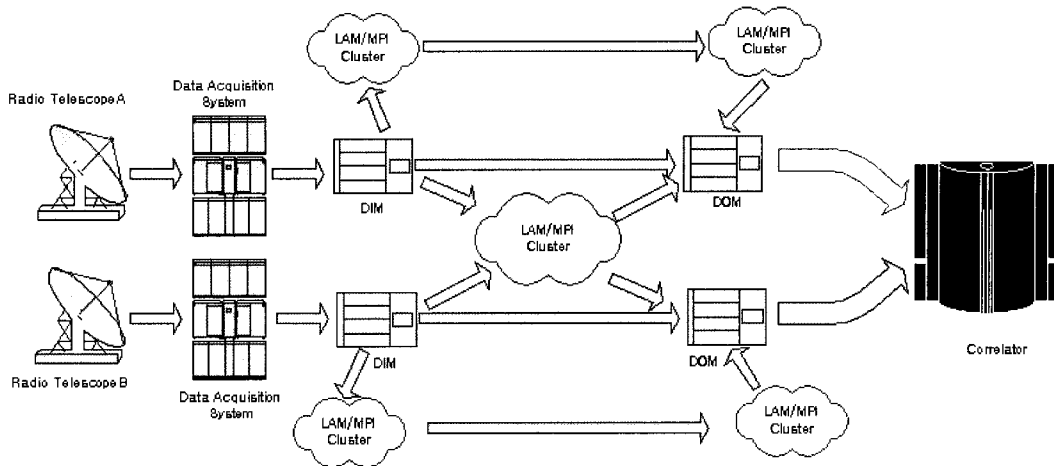


그림 5. 클러스터 기술을 활용한 e-VLBI 네트워크 모델

서 실행 가능한 프로그램 개발에 관련된 API (Application Programming Interface)이며 LAM은 MPI를 지원하는 사용자 레벨, 데몬 기반의 런-타임 환경에 해당한다 (The LAM/MPI Team Open Systems Lab 2004).

클러스터를 구성하는 LAM 기반의 PC에서 MPI 호출을 통하여 분산, 병렬 처리 시스템을 보다 효율적으로 구축할 수 있으며 사용자는 이를 통하여 e-VLBI 운용에 필요한 제어 명령, 데이터 등을 보다 효과적으로 교환하는 것이 가능하다. LAM/MPI기반으로 구성된 PC 클러스터에서 하나의 PC는 마스터로 나머지 PC는 슬레이브로 동작하는데 이러한 메커니즘을 e-VLBI 모델에 적용하면 데이터의 입출력을 관장하는 DIM, DOM은 마스터가 되며 이를 보조하는 PC 클러스터는 슬레이브가 된다. DIM, DOM을 구성하는 시스템 상에서의 막대한 데이터 처리에 있어서 PC 클러스터의 도움을 받을 수 있기 때문에 관측소와 데이터센터에서는 보다 신속하게 데이터 처리를 수행하는 것이 가능하다. 이러한 사실에 근거하여 향후 e-VLBI 분야에서 시스템의 대형화, 데이터의 방대화가 예상됨에 따라 부하 분산 클러스터는 이를 효과적으로 처리할 수 있는 기술로 더욱 많이 활용되어질 것으로 예상되며 사용자는 이를 통하여 실시간 VLBI 구현에 있어 보다 최적화된 시스템을 구성하는 것이 가능할 것으로 전망된다.

4. 각국의 e-VLBI 네트워크 구축 현황

세계 각국에서는 e-Science의 대표적 분야로서 e-VLBI 관련 네트워크 구축에 깊은 관심을 갖고 있는데 본 절에

서는 이 분야의 선진국이라 할 수 있는 미국, 유럽, 일본을 중심으로 네트워크 구축 현황 및 사례에 대해 기술한다.

4.1 미국

미국은 MIT 부설 Haystack 관측소를 주축으로 e-VLBI 관련 연구 및 개발이 진행되고 있다. e-VLBI 연구를 위한 네트워크 현황을 살펴봄에 있어서 DRAGON (Dynamic Resource Allocation for GMPLS Optical Network), Internet2 등의 네트워크를 언급하지 않을 수 없는데 전자가 GMPLS 기반의 동적 자원 할당을 위한 네트워크라면 후자는 우리나라의 KOREN에 해당하는 R&E 네트워크로서 미국은 이 두 첨단망을 기반으로 e-VLBI 연구 활성화를 위한 네트워크 지원에 막대한 투자를 하고 있으며 이러한 결과로 이미 상당수의 관측소가 Gbps 대역의 네트워크로 연결되어 있는 상황이다.

Haystack 관측소를 예로 들면 2.4Gbps에 해당하는 전용 네트워크가 구축 완료된 상태이며 수 년 이내에 10Gbps로 업그레이드 될 것이 예상되고 있다 (Whitney 2005). e-VLBI를 위한 첨단화 된 네트워크 환경을 기반으로 미국은 일본의 NiCT (National Institute of Information and Communications Technology), 유럽 EVN(European VLBI Network)과 활발한 공동 연구를 수행하고 있다.

4.2 유럽

유럽의 경우 그동안 영국, 네덜란드, 독일, 스페인 등 20여개 국가가 참여하는 EVN을 중심으로 e-VLBI 실험이

진행되어 왔다. 네트워크 구축 현황을 간략히 살펴보면 먼저 EVN의 관리 본부에 해당하는 JIVE(Joint Institute for VLBI in Europe)에 lambda 기반 16Gbps 대역폭의 네트워크가 구축 완료되었고 Westerbork, Torun 관측소에 1Gbps, 그리고 Onsala, Jodrell Bank 관측소에 10Gbps 네트워크가 연결된 상태이다 (Garret 2005). 그 밖에 Arecibo와 Cambridge를 비롯한 다수의 관측소에 155Mbps, 128Mbps 대역폭의 네트워크가 연결되어 e-VLBI 실험에 참여하고 있으며 이들 관측소 모두 조만간 Gbps 대역으로 업그레이드 될 것이 예상되고 있다 (Szomoru 2005). 현재는 e-VLBI 기술 개발 및 시스템 구축을 위한 차세대 프로젝트라 할 수 있는 EXPReS(EXpress Production Real-time e-VLBI Service)가 진행 중에 있으며 이를 통하여 유럽 전역에 흩어져 있는 16개의 전파망원경을 Gbps 대역의 네트워크로 연결하여 실시간 e-VLBI를 구현하려고 하고 있다.

4.3 일본

일본에서는 국내 여러 곳에 위치한 전파망원경을 네트워크로 연결하기 위하여 첨단망에 해당하는 Super-Scinet(Super-Science information network)과 GALAXY 네트워크를 활용하고 있다. 막대한 데이터 출력으로 높은 대역폭이 요구되어지는 e-VLBI의 특성을 감안하여 각 관측소 및 데이터센터에 2.5Gbps 대역폭의 초고속 네트워크를 구축하였다 (Uose 2005). 현재 5개 관측소에 위치한 전파망원경이 초고속 네트워크에 연결되어 있으며 네트워크에 연결되지 않은 타 관측소도 2010년까지는 네트워크 구축이 완료될 것으로 예상되고 있다 (Kawaguchi 2005).

5. e-KVN 구현을 위한 네트워크 설계

4장에서 e-VLBI 활용을 위한 외국의 네트워크 구축 현황에 대해 알아보았는데 이를 통하여 e-VLBI 구현에 있어서 초고속 네트워크가 차지하는 절대적 비중 및 그 역할을 알 수 있었다. 본 절에서는 이제 이러한 사실을 우리의 현실에 적용하여 향후 KVN이 e-VLBI를 구현하는데 있어 생각해볼 수 있는 네트워크 구축 방안에 대해 알아보기로 한다. 이에 앞서 먼저 KVN의 간략한 프로파일 기술해보면 다음과 같다.

5.1 e-KVN의 개요

KVN사업본부는 현재 e-KVN에 대한 초기 계획을 수립 중에 있다. 이는 연세대, 울산대, 탐라대에 건설되는 21m 전파망원경과 대덕전파천문대의 14m 전파망원경, 그리고 데이터센터를 초고속 네트워크로 연결하는 것을

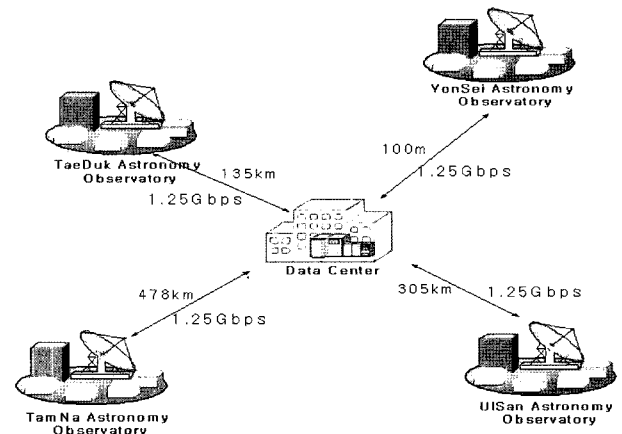


그림 6. e-KVN의 개요

1차 목표로 하며 각 관측소에서 얻은 데이터를 1Gbps의 전송 속도로 데이터센터로 전송하는 것을 2차 목표로 한다. 그림 6은 이를 기반으로 관측소와 데이터센터 그리고 이를 연결하는 네트워크로 구성된 e-KVN의 구성도를 보여주고 있다.

5.2 e-VLBI 구현을 위한 KVN의 진행 상황

e-VLBI 구현을 위하여 KVN 내에서 이루어지고 있는 연구 및 시스템 개발 사항에 대해 살펴보면 다음과 같다.

먼저 관측소를 구성하는 다양한 시스템 중 e-VLBI과 직접 연관되며 그 구현에 있어서 핵심적 기능을 수행하는 것으로서 초고속 기록기를 언급하지 않을 수 없는데, 실제로 네트워크와 맞물려 직접 데이터를 전송하는 기능을 수행한다는 점에서 e-VLBI 구현에 있어 그것이 차지하는 비중을 알 수 있다. 이는 3.1절에서 언급된 VLBI 데이터 전송을 위한 세 가지 동작 모드 (FTP VLBI, 준 실시간 VLBI, 실시간 VLBI)를 모두 지원하며 실시간 데이터 처리 기술, 대용량 데이터 저장 기술 그리고 이와 관련된 운용 소프트웨어 기술이 시스템 내에서 구현되어져야 한다. 한국천문연구원은 2001년부터 미국의 MIT Haystack 관측소와 공동으로 Mark5 제작을 수행하고 있으며 내년 상반기 내에는 그 완성품에 해당하는 Mark5B가 개발 완료될 것으로 예상되고 있다 (오세진 2004).

Mark5를 통하여 각 관측소에서는 1024Mbps 속도로 데이터를 기록할 수 있음은 물론 이러한 기록 과정을 거치지 않고 직접 데이터센터로 전송할 수 있다. 따라서 2007년 KVN 완공 이후 네트워크 구축이 본격적으로 시작되면 이미 설치된 Mark5B 시스템을 기반으로 본격적인 e-VLBI 실험이 가능할 것으로 예상된다.

두 번째로는 KOREN에 연결되기 위한 가입자망 구축

계획을 들 수 있다. 각 전파망원경에서 GigaPoP을 통하여 KOREN에 접속하기 위해서는 관측소와 GigaPoP 간 네트워크 구축이 이루어져야 한다. 과거에는 관련 네트워크 규격으로 ATM(Asynchronous Transfer Mode)이 널리 사용되었지만 현재는 GbE(Giga bit Ethernet)으로 급격히 대체되는 추세에 있으며 수년 이내에 10GbE의 상용이 현실화 될 것으로 예상된다. 이에 따라 KOREN(Korea advanced REsearch Network: 광대역통합연구개발망)을 사용하는 가입자들은 보다 빠르고 우수한 성능의 네트워크를 저렴한 가격에 사용하는 것이 가능하다. 비단 네트워크 활용에 있어서의 비용 대 효율의 측면 때문만이 아니라 정밀한 관측 수행을 위한 높은 대역폭의 VLBI 데이터 전송은 반드시 전제되어야 하는 기본 요건이라는 점에서 현재 그룹 내부적으로 10GbE 기반의 가입자망 구축 방안 및 이와 호환되는 Mark5 네트워크 인터페이스 설계안에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있다.

세 번째로 네트워크 회사의 다크 파이버(dark fiber)를 활용한 e-VLBI 전용 네트워크 구축을 들 수 있는데 이는 보다 효율적인 데이터 전송 및 안정적 네트워크 운영을 위하여 반드시 필요한 부분에 해당한다. KOREN과 같은 공용 R&E 네트워크는 그 사용자의 다양성으로 인하여 원하는 대역폭에 대한 지속적인 사용이 불가능하며 네트워크 오류의 발생 확률이 그만큼 더욱 커질 수밖에 없다. 이러한 이유로 현재 일본 NAOJ(National Astronomy Observatory of Japan)의 경우 NTT(Nippon Telegraph & Telephone)로부터 다크 파이버를 저렴한 비용으로 임대하여 e-VLBI 전용 네트워크를 구축하고 있으며 이를 통하여 기존의 e-VLBI 실험에서는 불가능하였던 준실시간, 실시간 VLBI 관측 데이터를 얻고 있다(Kawaguchi 2005). 이처럼 신뢰할 수 있는 데이터 처리, 안정적인 네트워크 운용 등 e-VLBI 전용 네트워크 구축을 통해 얻을 수 있는 다양한 장점으로 인하여 KVN 내에서도 다크 파이버 임대를 통한 네트워크 구축의 필요성이 제기되고 있으며 이에 따라 현재 한국통신, 데이콤 등의 네트워크 관련 회사와의 협조 체제를 만들어 나가고 있다.

네 번째로는 Gbps급의 e-VLBI 데이터 전송에 있어 최적화 된 프로토콜 선정을 위한 Mark5 기반의 실제적 분석, 평가 수행을 들 수 있다. 대용량 VLBI 데이터의 효과적 전달을 위한 프로토콜 선택 및 설계는 현재 e-VLBI 연구에 있어서 가장 집중적으로 연구되고 있는 분야의 하나로서 보다 효율적이고 안정적인 데이터 전송을 지원하는 프로토콜 선택 및 시스템 상에서의 적용을 위하여 현재 KVN에서는 그 시발점으로 Mark 5를 활용한 TCP(Transport Control Protocol), UDP(User Datagram Protocol) 성능 테스트를 준비 중에 있으며 향후에는 이를 애플리케이션 계층으로까지 확장시킬 계

획을 갖고 있다. 이러한 과정을 통하여 어느 것이 e-VLBI 구현을 위한 실제적인 전송 프로토콜로서 적합한지를 검증할 수 있게 될 것이다.

5.3 KOREN을 기반으로 한 e-KVN 설계

연세전파천문대, 울산전파천문대, 탐라전파천문대 그리고 대덕전파천문대에서 획득한 VLBI 데이터를 연세대 구내의 데이터센터로 전송함에 있어서 탁월한 성능 및 안정된 특성을 갖는 백본망은 반드시 전제되어야 한다. 이미 언급을 하였지만 e-KVN에서는 1024Mbps의 대용량 VLBI 데이터를 실시간으로 데이터센터에 전송하는 것을 그 목표로 하고 있으며 본 논문에서는 이를 구현할 수 있는 백본망으로 KOREN의 활용을 제안하고자 한다.

5.3.1 KOREN의 개요

1995년 정보통신부의 “초고속 정보통신 기반구축 종합 추진계획”에 의하여 구축된 KOREN은 최상위 기관인 정보통신부를 중심으로 정보통신연구진흥원, 한국전산원 그리고 네트워크 서비스 업체로 한국통신이 참여하여 운영되는 우리나라의 대표적 R&E 네트워크로서 광대역 서비스의 개발·검증, 기초 과학 분야의 선도적 연구 환경 제공을 위한 비영리 연구망이다. 뿐만 아니라 차세대 정보통신 연구 확산과 응용기술 개발을 그 기본 목표로 하고 있다.

KOREN은 과거 1995년부터 2000년까지 초고속 정보통신 기반 구축을, 2001년부터 2003년까지 초고속 정보통신망 고도화를 목표로 발전되어 왔으며 2004년부터 차후 2010년까지는 BcN(Broadband convergence Network)의 확고한 기반 조성을 위한 네트워크 인프라 구축을 중심으로 사업이 진행될 예정이다. 이에 따라 KOREN은 향후 연구시험망, 시범서비스망, 연구지원망 등에 대한 통합 네트워크 인프라로서 자리매김함은 물론 미래 네트워크 기술 및 서비스 개발을 위한 첨단 연구개발망으로 발전하게 될 것이다(한국전산원 2005).

5.3.2 KOREN 기반의 e-KVN 네트워크 모델

KOREN의 백본망 네트워크는 DWDM(Dense Wavelength Division Multiplexing) 기반의 2.5Gbps ~ 40Gbps 광대역 통신망으로 이루어지며 각 이용 기관은 전국 6개 도시(서울, 대전, 대구, 부산, 광주, 수원)에 위치한 GigaPoP을 통하여 KOREN에 연결된다. 국내 뿐 아니라 국내외의 다양한 연구망과 직접 연동하여 해외 기관과의 연구 활동을 위한 네트워크 서비스도 적극 지원하고 있는데 대략적인 망 구성도를 도시해보면 그림 7과 같다(한국전산원 2004).

이는 KOREN 홍보를 위하여 작성된 브로셔에서 발췌

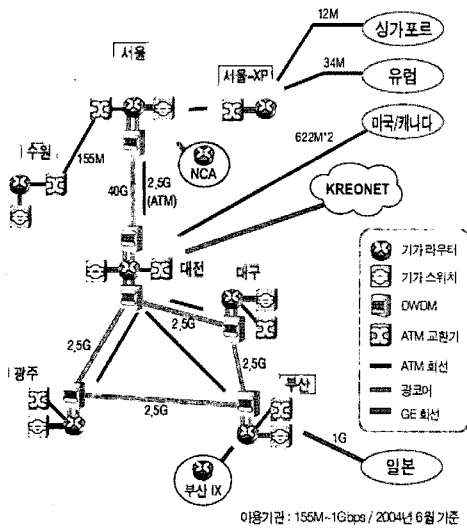


그림 7. KOREN의 네트워크 구성 현황. (www.koren21.net의 KOREN 브로셔 참조)

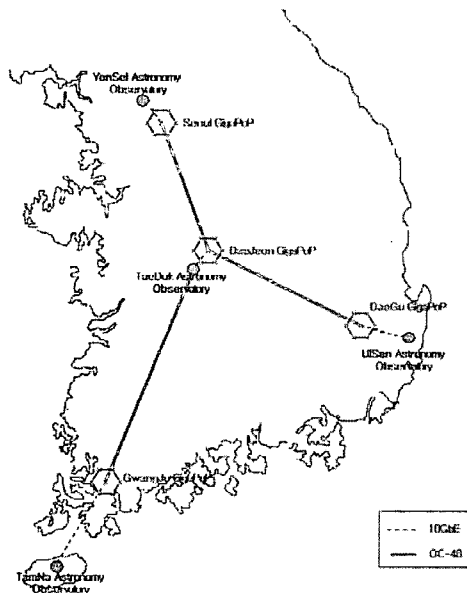


그림 8. e-KVN의 구성도

된 KOREN의 네트워크 구성도로서 e-KVN 구축을 위한 KOREN 활용에 있어 서울, 대전, 대구, 광주 지역에 위치한 GigaPoP에 주목할 필요가 있다.

KVN을 구성하는 연세, 울산, 탐라, 대덕전파 천문대는 GigaPoP을 관문으로 KOREN에 접속하여 e-KVN을 구성하는 각 노드를 형성한다. 이를 기반으로 향후 예상되는 e-KVN의 개략적인 구성도를 도시해보면 그림 8과 같다.

그림 8로부터 연세 (데이터센터 포함), 울산, 탐라, 대덕전파천문대는 각각 서울 GigaPoP, 대구 GigaPoP, 광주 GigaPoP 그리고 대전 GigaPoP에 접속하여 KOREN

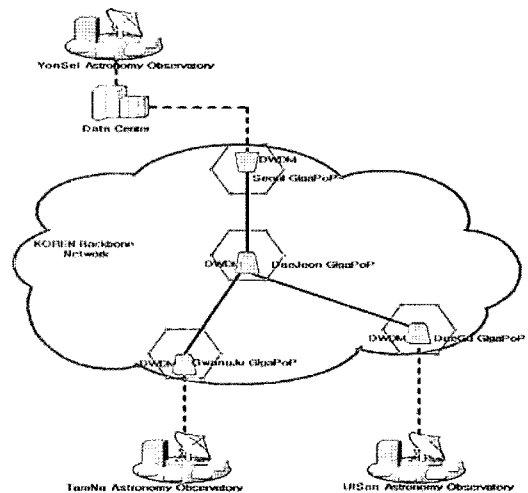


그림 9. KOREN을 기반으로 구성된 e-KVN 토폴로지

을 백본망으로 하는 e-KVN이 설계 가능함을 알 수 있으며 이러한 네트워크를 기반으로 각 관측소에서 전송된 VLBI 데이터는 데이터센터에서 수신되어 영상 합성 처리된다. 이러한 메커니즘을 기반으로 향후 예상되는 e-KVN 토폴로지를 도시해보면 그림 9와 같다.

그림에서 빨간색 점선으로 표시된 것은 각 사이트에서 GigaPoP으로 연결되기 위한 GbE 기반의 내부 네트워크에 해당하며 파란색 실선은 (서울 대전 간 40Gbps를 제외하면 2.5 Gbps) DWDM 기반의 백본망을 나타내는데, 향후 네트워크 기술의 발전으로 그 네트워크 대역폭이 더욱 증가될 것으로 예상됨에 따라 e-KVN의 백본망, 그리고 대용량 VLBI 데이터를 전송하기 위한 수단으로서 KOREN은 전혀 부족함이 없을 것으로 예상된다.

6. 결론

VLBI는 수 백~수 천km 떨어진 전파망원경에서 동일한 천체를 관측하여 얻은 데이터를 기록 매체에 기록하여 데이터센터에서 처리·분석하는 기술이다. 우주를 보는 가장 강력한 눈으로서 그동안 천문학 분야는 물론이고 지구 내부 및 지각 운동 연구에 있어 가장 정확하고 신뢰할 수 있는 기술로서 널리 활용되어 왔으나 데이터 전달에 있어서의 비효율성은 VLBI의 가장 큰 단점이며, 걸림돌로 작용한 것이 사실이었다. 이러한 문제에 대한 근본적인 해결책으로서 등장한 것이 네트워크 기술을 활용한 e-VLBI이며 이를 통하여 VLBI는 보다 강력하고 업그레이드 된 형태로 한 단계 도약할 수 있는 계기를 마련하게 되었다.

본 논문을 통하여 우리는 이러한 e-VLBI의 개념 및 원리 그리고 네트워크를 기반으로 한 동작 메커니즘에

대해 살펴보았으며 이를 적절히 지원할 수 있는 네트워크 모델은 물론 e-VLBI 지원을 위한 세계 각국의 네트워크 구축 현황에 대해서도 알아보았다. 뿐만 아니라 우리나라의 대표적 R&E 네트워크에 해당하는 KOREN을 활용하여 e-VLBI 실현을 위한 e-KVN의 네트워크 구축 방안에 대해서도 논의하였다.

e-VLBI 구현에 있어 가장 큰 관건은 적은 유지 비용으로 대용량의 초고속 네트워크를 원하는 대로 사용하는 것이라 할 수 있는데 이를 위하여 각국의 VLBI 연구기관에서는 R&E 네트워크의 적극적 활용은 물론 네트워크 회사와의 긴밀한 협조를 통하여 e-VLBI 연구를 위한 네트워크 구축에 만전을 기하고 있으며, 이러한 사실을 본 논문을 통해 확인해 볼 수 있었다.

이와 같은 네트워크 기술과의 연관성 및 그로 인해 얻을 수 있는 효율성으로 인하여 e-VLBI는 e-Science의 주요한 학문 분야로서 성장 및 발전함에 있어서 전혀 부족함이 없을 것이라 생각하며 네트워크 기술의 발전에 비례하여 e-VLBI는 향후 보다 정확하고 더욱 강력해진 우주를 보는 눈으로서 그 기능을 충실히 수행할 수 있을 것으로 전망된다.

참고문헌

- 오세진, 2004, 한국우주전파관측망 건설사업(4차년도) 보고서, 204
- 한국전산원, 2004, BcN 연구개발망 Brochure, (Seoul:NCA, <http://www.koren21.net/introduction/images/brochure01.pdf>)
- 한국전산원, 2005, KOREN 사업개요, (Seoul:NCA), <http://www.koren21.net/introduction/introduction.php>
- Comer E. D., 2000, Internetworking with TCP/IP Principles, Protocols, and Architectures, 4th Edition, Chapter 29, 539
- Garrett M., 2005, First e-Evn Science and Future Astronomy projects via EXPRoS, 4rd e-VLBI Workshop at Sydney, http://www.atnf.csiro.au/vlbi/evlbi2005/presentations/evlbi_Workshop1/garrett_e-VLBI.ppt
- Kawaguchi K., 2005, Optical Fiber connected VLBI Network in Japan, 4th eVLBI Workshop at Sydney, http://www.atnf.csiro.au/vlbi/evlbi2005/presentations/evlbi_Workshop1/Optical%20Fiber%20connected%20VLBI2.ppt
- Kondo T., Koyama Y., Nakajima J., & Sekido M., 2003, ASP Conf. Ser. 306, 205
- Lapsley D., 2004, An Application of Cluster Computing to e-VLBI, 3rd e-VLBI Workshop at Makuhari, http://evlbi.haystack.mit.edu/twiki/pub/EVLBI/ExternalMeetings/Cluster1_p.ppt
- Szomoru A., 2005, e-VLBI and EXPRoS, 4th eVLBI Workshop at Sydney, http://www.atnf.csiro.au/vlbi/evlbi2005/presentations/evlbi_Workshop1/arpad_evlbi4_2.ppt
- The LAM/MPI Team Open Systems Lab, 2004, LAM/MPI User's Guide Version 7.1.1, 11, <http://www.lam-mpi.org/download/files/7.1.1-user.pdf>
- Thomson A. R., Moran J. M., & Swenson G. W. Jr., 2001, Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy, 2nd Edition, Chapter 9, 332
- Uose H., 2005, High speed network environment for Japanese e-VLBI group, 4th eVLBI Workshop at Sydney, http://www.atnf.csiro.au/vlbi/evlbi2005/presentations/evlbi_Workshop1/4th_e-vlbi_ws_uose.ppt
- Whitney R. A., Dudevoir A. K., & Hinteregger F. H., 2003, The Gbps e-VLBI Demonstration Project, ftp://web.haystack.edu/pub/evlbi/demo_report.pdf
- Whitney R. A., et al., 2000, VLBI Standard Hardware Interface Specification-VSI-H, MIT Haystack Observatory, http://web.haystack.edu/vsi/2000_08_07_vsi-h_final_rev_1.pdf
- Whitney R. A., et al., 2003, VLBI Standard Software Interface Specification-VSI-S, MIT Haystack Observatory, http://web.haystack.edu/vsi/2003_02_13_vsi-s_final_rev_1.pdf
- Whitney R. A., et al., 2004, Draft Proposal for VSI-E - Rev 2.7, MIT Haystack Observatory, <http://evlbi.haystack.mit.edu/twiki/pub/EVLBI/WebDocs/VSI-E-2-7.pdf>
- Whitney R. A., 2005, e-VLBI Development Program at MIT Haystack Observatory, 4rd e-VLBI Workshop at Sydney, http://www.atnf.csiro.au/vlbi/evlbi2005/presentations/evlbi_Workshop1/e-VLBI%20Australia%20workshop%20Jul%2005.ppt