

대용량 VLBI 데이터 전송을 위한 e-VLBI 네트워크 구축 현황

The Status of Configuration on the e-VLBI Network for the Transfer of Mass VLBI Data

송민규, 김현구, 변도영, 노덕규, 오세진

Min-Gyu Song, Hyun-Goo Kim, Do-Young Byun, Duk-Gyoo Roh, Se-Jin Oh

Abstract - The electronic transmission of VLBI data(dubbed e-VLBI) presents a special challenge to the use of high-speed global network. with long-term requirements for simultaneous or near-simultaneous Gbps data streams from antennas worldwide converging in a single processing center, e-VLBI is both a useful and highly synergetic application for global high-speed networks. As broadband access to high speed research and education networks has become increasingly available to radio telescopes around the world the use of e-VLBI has also increased. High bandwidth e-VLBI experiments have been achieved across wide areas e-VLBI has also been used for the transfer of data from "production" experiments

Key Words : e-VLBI, real-time VLBI, correlator, Gbps, data center

1. 서론

VLBI 데이터를 네트워크를 통하여 코릴레이터까지 전송하는 e-VLBI 기술은 VLBI 연구가 시작된 1960년대 후반부터 전파 천문학 분야에서 주 관심의 대상이었다. 미국, 일본, 유럽을 비롯한 VLBI 선진국에서는 그동안 다양한 e-VLBI 실험이 수행되었다.

그 실례로, 안테나를 통해 얻은 VLBI 데이터를 위성통신을 통하여 지상으로 실시간 전송하는 실험이 1977년에 수행되었고 1986년과 1997년에는 VLBI 전용 위성인 TDRSS와 HALCA에 탑재된 전파망원경에서 얻어진 데이터를 지상 데이터센터로 전송하는 실험을 수행하였다. 또한 1979년에는 소용량의 데이터(1Mb/station)를 일반 전화선을 경유하여 소프트웨어 코릴레이터로 전송하는 실험이 MIT의 헤이스텍 관측소에서 성공적으로 이루어졌다.

이후 일본의 NICT(National Institute of Information and Communications Technology)은 네 대의 전파망원경을 256 Mbps의 초고속정보망으로 연결한 KSP(Key Stone Project)를 바탕으로 동경 부근의 지진발생 예보와 지각변화 측정을 수행하고 있다. 최근에는 신속 정확한 관측 수행과 데이터 처리 과정에서의 효율성을 위하여 각 관측소를 Gbps급의 초고속정보망으로 연결하는 리얼-타임 VLBI 네트워크 구축을 완료하였다.

인터넷과 같은 공용 네트워크 기반의 e-VLBI는 제한된 속도 및 QoS 변동으로 인하여 몇 년전까지만 하더라도 VLBI용으로 적합하지 않았고 관측자가 원하는 성능 및 결과를 얻는 것에 다소 한계가 있었다. 하지만 네트워크 기술의 급격한 발전으로 인하여 최근에는 대역폭과 데이터 품질에 있어서 눈부신 향상을 이루고 있으며 향후 수년 이내에 전세계의 모든 VLBI 안테나들이 인터넷으로 연결될 수 있을 것

로 전망되고 있다.

2. e-VLBI의 정의 및 특성

e-VLBI(electronic-VLBI)는 각 관측 사이트에서 얻은 대용량의 VLBI 데이터를 영상합성처리 센터로 전송하기 위하여 초고속 네트워크(high-speed global network)를 이용하는 기술이다. 이는 전세계의 관측소에서 얻어낸 막대한 용량의 데이터를 실시간, 준-실시간 형태로서 데이터센터에 전송할 수 있는 유일한 방법으로 전세계에 걸쳐 구축된 초고속정보망을 적극적으로 활용하는 전파천문 분야에 있어 새로운 방법이라 할 수 있다. e-VLBI의 명확한 이해를 위하여 먼저 VLBI에 대해 알아보도록 한다.

2.1 VLBI 개요

VLBI(Very Long Baseline Interferometry)는 지구 자전축 및 지각운동의 미세한 변화를 측정하기 위한 가장 신뢰할 수 있는 기술로서 30년 이상 전파천문을 비롯한 측지, 지구물리 등 다방면에 걸쳐서 널리 사용되어 온 기술로 초-고분해능의 정밀도를 보장한다. VLBI를 이용하면 일반 광학망원경으로는 관측이 불가능한 천체의 이미지를 얻을 수 있고 수십 micro arcsec 단위의 고분해능 천체 이미지 획득이 가능하다. 또한 수천 km의 기선을 가진 두 전파안테나에서 수 밀리미터의 정확성으로 벡터를 측정할 수 있기 때문에 시간에 따른 기선길이의 변화를 감지할 수 있고 0.1mm/yr의 정확도로 지각운동의 변화를 예측할 수도 있다. 뿐만 아니라 VLBI 활용을 통하여 매우 멀리 떨어진 천체를 기준 프레임으로 규정된 후 mm arcsec단위의 정확도로 이 위치를 측정할 수 있기 때문에 지구 자전을 연구함에 있어서 가장 적합한 기술이며 내핵, 맨틀, 외핵등의 지구의 내부구조를 연구함에 있어서 가

장 효율적인 수단이라고 할 수 있다.

VLBI에서 하나의 간섭계는 최대 20여개에 달하는 다수의 전파망원경으로 구성될 수 있는데 각 관측소에서 얻어낸 데이터를 데이터센터에서 영상합성 처리하여 천체 이미지가 얻어지게 된다. 그림 1에서는 두 전파망원경으로 구성되는 VLBI 어레이의 동작 메커니즘을 간략히 나타내었다.

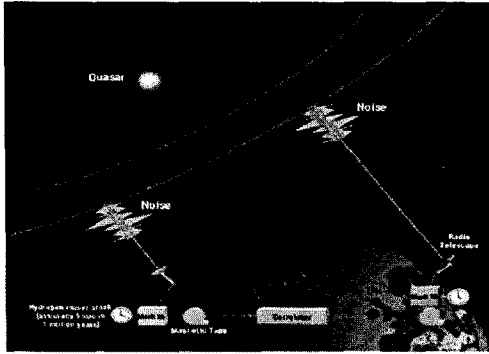


그림 1. VLBI 기술의 개략적 메커니즘

2.2. 네트워크 기반의 e-VLBI

기존 방식의 VLBI에서는 각 관측소에서 얻은 데이터를 자기테이프나 디스크에 기록한 후 배나 비행기 등의 운송수단을 통하여 데이터센터로 전송하였다. 하지만 이 방식은 데이터 기록이나 테이프운송에 있어서 많은 비효율성과 고비용의 문제점을 야기시켰고 무엇보다 관측 결과에 대한 신속한 분석이 불가능하다는 점에서 크나큰 취약점을 갖고 있었다. 이러한 문제점을 극복하기 위한 기술로서 등장한 것이 e-VLBI이며 이는 Gbps급의 VLBI 데이터 전달에 있어서 초고속 네트워크(high-speed network)를 활용한다. 각 관측소에서 얻어진 VLBI 데이터는 전송 가능한 파일 형태로 변환되어 초고속정보망을 통해 데이터센터로 전달되는 과정을 거쳐 되는데, 이후 네트워크를 통해 데이터센터로 수신된 VLBI 데이터는 영상합성 처리되어 관측자가 원하는 천체 이미지로서 출력된다.

3. e-VLBI 네트워크 구축 현황

천문학을 비롯한 지구물리, 측지 등의 분야에서 e-VLBI를 통해 얻을 수 있는 연구 성과 및 그 파급효과를 인식하여 현재 미국, 유럽, 일본 등의 국가에서는 기술 개발 및 시스템 구축에 박차를 가하고 있으며 실제로 이를 위한 막대한 투자와 연구지원이 이루어지고 있다. 이러한 노력의 결실로 이미 VLBI 선진국에서는 자신들의 독자적 기술영역을 확보해나가고 있는 상황이며 이를 전파천문학, 지구물리, 측지 등의 미시적 학문분야부터 네트워킹, 신호처리 등의 산업전반에 적용하여 괄목할 만한 성과를 달성하고 있다. 본 장에서는 이와 관련하여 미국, 유럽, 일본 등 VLBI 선진국에서 이루어지고 있는 e-VLBI 연구 활동 및 네트워크 구축 현황을 개략적으로 기술하고자 한다.

3.1 미국 : 보스턴부터 워싱턴까지의 e-VLBI 네트워크 구성

2001년 중반 헤이스택 관측소는 DARPA의 협조를 받아

700Km의 거리를 두고 있는 위치해 있는 그린벨트 소재의 NASA/GSFC와 Gbps급의 대용량 데이터 전송을 위한 e-VLBI 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 웨스트포드로부터 워싱턴,DC까지의 네트워크는 여러 서브네트워크로 구성된다. 헤이스택 관측소로부터 MIT 링컨 실험실까지의 네트워크 구성은 로컬 네트워크 GLOWnet을, MIT 링컨 실험실로부터 워싱턴 DC까지의 네트워크로는 연구용 전산망인 Bossnet을 사용하였다. 또한 워싱턴 DC로부터 30Km 떨어진 그린벨트 소재의 NASA/GSFC까지 네트워크 구성을 위하여 공용 네트워크 MAX를 이용하였다.

이 e-VLBI 실험을 통하여 NASA/GSFC에 위치한 안테나로부터 헤이스택 관측소의 데이터센터까지 1Gbps 데이터율의 VLBI 데이터를 전송할 수 있었다.

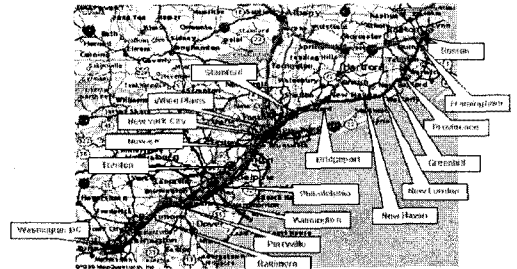


그림 2. 보스턴부터 워싱턴 D.C까지의 e-VLBI 네트워크 구성

2002년 10월 6일에는 웨스트포드 소재의 안테나와 NASA/GSFC 소재의 GGAO 안테나 사이에 초고속 네트워크를 구성하여 VLBI 데이터를 초고속으로 전송하는 e-VLBI 실험이 성공적으로 수행되었다. 데이터는 각 관측소에서 Mark 5P 시스템 두 대의 각 디스크에 512Mbps로 기록되었다. GGAO 안테나에서 얻어진 데이터는 헤이스택 관측소의 디스크에 평균 788Mbps의 속도로 전송되었고 웨스트포드 안테나에서 얻은 데이터는 기가비트 이더넷의 로컬 네트워크를 통하여 전송되었다. 이후 데이터는 헤이스택 관측소의 Mark 4 코릴레이터에서 영상합성 처리되었다.

2002년 10월 24일에는 VLBI 데이터로부터 리얼-타임으로 영상합성처리를 수행하기 위하여 GGAO 안테나에서 전송된 데이터를 헤이스택 관측소의 디스크에 실시간으로 전송하는 실험이 수행되었다.

3.2 미국: 태평양을 경유한 일본과 미국간의 e-VLBI 네트워크 실험

2002년 10월 15일 일본의 카시마에 위치한 34m 안테나와 웨스트포드에 위치한 20m 안테나 사이에서 e-VLBI 실험이 수행되었다. 그림 3은 이 실험에 사용된 초고속 네트워크의 구성도를 보여주고 있는데 태평양을 횡단하는 미국과의 초고속 네트워크 연결을 위하여 GALAXY 네트워크는 NTT 관할의 연구용 전산망 GEMnet에 연결되었다. GEMnet는 30Mbps 속도로 미국과 연결되는 국제 통신망으로서 미국의 Abilene 네트워크와의 연결에 있어서는 20Mbps의 유효 대역폭을 제공한다. 헤이스택 관측소는 BOSSnet과 GLOWnet을 경유하여 Abilene 네트워크에 접속된다.

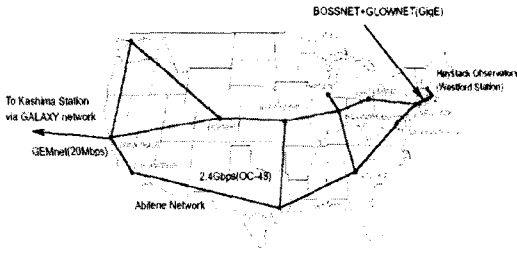


그림 3. 웨스트포드와 카시마 간의 e-VLBI 실험을 위하여 구성된 초고속 네트워크

3.3 일본 : 실시간 VLBI 데이터 전송을 위한 초고속 네트워크 구성

일본은 세계 최초로 인터넷 프로토콜을 이용한 VLBI 데이터 전송에 성공하였는데 여러 IP 스트림에 대한 병렬 전송 방식을 사용하여 네트워크 상에서 최대 255Mbps까지의 데이터 전송율을 얻을 수 있었다. 이는 분할된 IP 스트림을 송수신 처리하는 PC 대수를 증가시킴으로써 구현 가능하였다.

우스다 관측소의 64m 안테나를 통해서 얻어진 데이터는 IP 전송 시스템을 통하여 데이터센터가 위치해있는 무사시노(NTT R&D Center)로 실시간 전송(128Mbps) 되는 것이 가능하다. 또한 카시마 34m 안테나를 통해 얻어진 데이터는 ATM 방식을 통하여 무사시노로 전송되었다. 데이터센터에서는 Cross-Correlation 수행을 통하여 프린지를 검출하며 이와 관련된 네트워크 구성 및 시스템 설정은 그림 4에 나타나 있다.

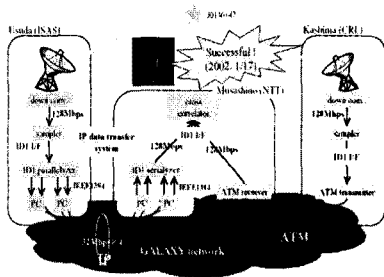


그림 4. IP 기반의 실시간 데이터 전송을 위한 e-VLBI 네트워크 구성

3.4 유럽 : 각 관측소에서 JIVE 데이터센터까지 GEANT에 기반한 e-VLBI 네트워크 구성

EVN(European VLBI Network)에서는 최근 VLBI 데이터를 전송하는 여러 관측소와 데이터센터 간에 Gbps 용량의 초고속 네트워크를 구축하여 최대 16개의 데이터 스트림을 동시 처리할 수 있게 되었다. NREN(National Research and Education Networks)과 연구 및 교육용 네트워크인 GEANT에서 수 Gbps의 초고속정보망 구축이 완료되면 보다 정밀하고 신뢰할 수 있는 데이터를 얻을 수 있고 다양한 분야에서의 e-VLBI 실험이 가능할 것으로 전망된다.

네덜란드에서는 최근 암스테르담으로부터 JIVE와 EVN 데이터센터가 위치해있는 드링글루까지 SURFnet을 업그레이

드 함으로써 초고속정보망 구축을 완료하였다. 2002년 8월에는 드링글루에 위치한 ASTRON/ JIVE와 SARA 사이에 광네트워크를 구축하였는데 DWDM 방식을 채택하여 기가비트 이더넷과 람다(lambda) 네트워크를 사용할 수 있도록 하였다. 2002년 7월 영국과 네덜란드에서는 케이사 DA193 관측을 위한 5GHz 대역의 e-VLBI 실험이 수행되었는데 VLBI 데이터는 FTP 프로토콜을 통하여 암스테르담으로 전송되어 기가비트 이더넷 인터페이스로 연결된 PCEVN의 시스템 디스크에 256Mbps로 기록되었다. 아래는 유럽에서의 e-VLBI 지원을 위한 초고속 네트워크의 현황에 대해 간략히 보여주고 있다.

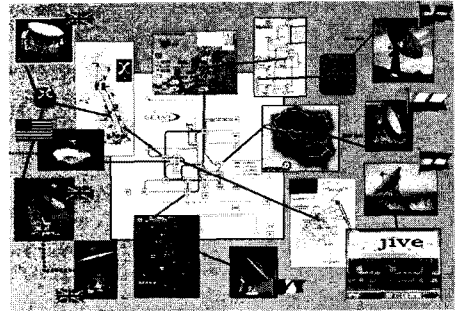


그림 5. GEANT로 연결된 유럽전역의 전파망원경

5. 결론

본 논문을 통하여 전파천문학분야에서 네트워크 기반의 새로운 기술이라 할 수 있는 e-VLBI에 대해 살펴보고 이를 통한 천체 관측에 있어 보다 효율적이고 신속 · 정확한 결과를 얻기 위하여 해외 선진국에서는 어떠한 계획을 수립하고 연구를 진행하고 있는지 미국, 일본, 유럽의 e-VLBI 현황 파악을 통하여 대략적으로 설명하였다. 이들과 같은 e-VLBI 분야의 선진국에서는 이미 수 Gbps 대역의 VLBI 데이터를 초고속네트워크를 실시간으로 데이터센터로 전송한 후 영상 합성처리하는 기술 개발을 진행중에 있으며 1Gbps 대역에서의 실시간 VLBI 시스템은 상용화되어 운영중에 있다. 무엇보다도 네트워크의 광대역화 및 초고속화에 따라 VLBI 네트워크의 글로벌화(globalization of VLBI Network)가 급속도로 이루어지고 있는데 현재 전세계적으로 자국내의 실시간 전파 관측망 구축을 넘어 국가간, 대륙간으로 확장시키는 움직임이 나타나고 있으며 네트워크 기술의 발전에 힘입어 이러한 추세는 더욱 가속화될 것으로 예상된다.

참고문헌

- [1] Alan R. Whitney, Kevin Dudevior, Hans Hinteregger, "The Gbps e-VLBI Demonstration Project", Draft, 2003. 2.
- [2] Arpad Szomoru, "e-VLBI and EXPRES", 4th e-VLBI workshop, Draft, 2005. 7.
- [3] Koyama Yasuhiro, Kondo Tetsuro, Kimura Moritaka, "e-VLBI developments at NICT, Japan", 4th e-VLBI workshop, Draft 2005. 7.
- [4] Alan R. Whitney, "High-Speed e-VLBI Demonstration: Haystack Observatory to NASA/GSFC, IVS 2002 General Meeting Proceedings, pp.137-141