

초고속네트워크를 이용한 e-VLBI 설계 및 구현

송민규, 김현구, 민영철, 김광동, 노덕규, 오세진

한국천문연구원

The Design of e-VLBI using High-Speed Network

Min-Gyu Song, Hyun-Goo Kim, Young-Chul Minh, Kwang-Dong Kim,

Duk-Gyoo Roh, Se-Jin Oh

KAO(Korea Astronomy Observatory)

1.서론

Abstract - e-VLBI(electronic VLBI)는 각 관측 사이트에서 얻은 대용량의 VLBI 데이터를 영상합성처리 센터로 전송하기 위하여 초고속정보통신망을 이용하는 기술이다. 이는 전세계의 관측소에서 얻어낸 막대한 용량의 데이터를 실시간, 준-실시간 형태로서 데이터센터에 전송할 수 있는 유일한 방법으로서 전세계에 걸쳐 구축된 초고속정보통신망을 적극적으로 활용하는 애플리케이션이라 할 수 있다.

한국천문연구원에서는 연세대, 울산대, 탐라대에 건설되는 20m 전파망원경과 대덕전파천문대의 14m 안테나를 네트워크로 연결하는 e-KVN(Korean VLBI Network) 계획을 추진 중에 있으며 이는 각 관측소에서 얻은 VLBI 데이터를 네트워크를 통하여 1024Mbps로 데이터센터까지 실시간으로 전송하는 것을 그 궁극적 목표로 하고 있다.

본 논문은 크게 5장으로 이루어져 있는데 먼저 1장 서론과 2장에서는 각각 VLBI와 e-VLBI에 대한 간략한 소개와 원리에 대해 알아보도록 한다. 3장에서는 e-VLBI의 작동 메커니즘, 4장에서는 e-KVN의 명세 및 현재 구상하고 있는 e-KVN의 네트워크 토폴로지에 대해 기술하고 5장에서 e-KVN의 전망 및 구축에 있어서 예상되는 문제점 및 향후 보완해야 네트워크 기술에 대해 간략히 언급하는 것으로 결론을 맺도록 한다.

21세기에는우주기술(ST:Space Technology)이 IT 기술 못지 않는 막대한 부가가치를 창출하고 산업전반에 걸쳐 새로운 비전을 제시해 줄 수 있는 산업으로 부각될 것으로 예상되고 있다. 이에 따라 관련 기술의 급격한 발전에 힘입어 보다 멀리, 더욱 선명하게 천체를 관측할 수 있는 초장기선 전파간섭계(VLBI: Very Long Baseline Interferometry)가 등장하게 되었는데 이는 수천Km 떨어진 곳에서 수Cm의 사물을 식별할 수 있는 정밀도를 제공한다.

서로 멀리(수백~수천 km) 떨어져 있는 여러대의 전파 망원경을 동시에 사용하여 천체에서 오는 신호를 서로 합성하면 마치 그 거리에 해당하는 크기의 초대형 안테나를 사용하는 것과 같은 효과를 얻을 수 있는데 이 원리를 이용하여 초정밀의 공간분해능을 얻고자 하는 것이 초장기선 전파 간섭계(VLBI: Very Long Baseline Interferometry)이고 전파망원경과 데이터 처리 센터를 네트워크로 연결하여 각 관측소에서 획득한 데이터를 네트워크를 통하여 데이터센터로 전송하는 것이 e-VLBI 기술이다.

초고속 정보망을 이용하지 않는 기존 방식은 막대한 양의 자료로 인하여 고속의 초고밀도 기록기(HDTV용)가 필요한데 이는 현재 국내에서 개발되지 아니하였고 구입에 있어서도 막대한 경비를 초래한다. 뿐만 아니라 기록기에 대한 규격화된 사양이 없어 각 나라마다 서로 다른 모델이 운영되고 있기 때문에 그 확장성에 있어서 한계가 있다.

하지만 e-VLBI 기술은 이러한 모든 문제를 해결하는 것이 가능하고 전파천문, 지구물리,

측지 분야에서 이전에는 불가능하였던 실시간성과 정확성을 제공한다는 점에서 그 응용범위 및 발전 가능성은 앞으로 더욱 커질 것으로 예측되고 있다.

이러한 중요성을 인식한 미국, 일본, 유럽을 비롯한 선진국에서는 국가차원의 전폭적인 지원아래 대규모 시설을 운영하고 있는데 EVN(European VLBI Network), CMVA(The Coordinated Millimeter VLBI Array), VLBA(Very Long Baseline Array), J-Net(Japanese VLBI Network)을 그 대표적인 예로 들 수 있다.

2.VLBI 개념 및 원리

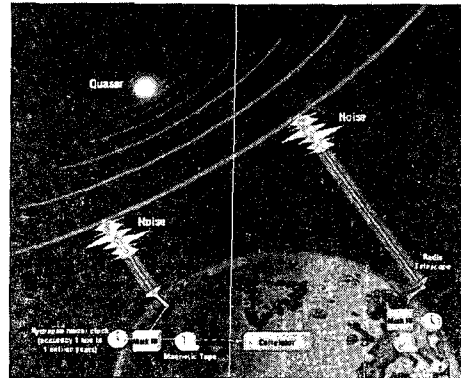
2.1 What is VLBI?

VLBI(Very-Long-Baseline Interferometry)는 지구 자전축 및 지각운동의 미세한 변화를 측정하기 위한 가장 신뢰할 수 있는 기술로서 초고분해능의 정밀도를 보장하며 30년 이상 전파천문을 비롯한 측지, 지구물리 등 다방면에 걸쳐서 널리 사용되어 왔다. 즉 일반 광학망원경으로는 관측이 불가능한 천체의 이미지를 얻을 수 있고 수십 micro arsec 단위의 고분해능 천체 이미지 획득이 가능하다.

수천 km의 기선을 가진 두 전파망원경에서 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 지구 자전을 연구함에 있어서 가장 적합한 기술이며 내핵, 맨틀, 외핵등의 지구의 내부구조를 연구함에 있어서 유일한 수단이라고 할 수 있다.

간섭계는 최대 20여개에 달하는 다수의 전파망원경으로 구성될 수 있는데 각 관측소에서 얻어낸 데이터를 데이터센터에서 영상합성 처리하여 전체 이미지를 얻게 된다.. 그림 1에서는 두 전파망원경으로 구성되는 VLBI 어레이의 동작 메커니즘을 간략히 나타내었다.

2.2 What is e-VLBI ?



기존 방식의 VLBI에서는 각 관측소에서 얻은 그림 1. The schematic of traditional VLBI observation

데이터를 자기테이프나 디스크에 기록한 후 배나 비행기 등의 운송수단을 통하여 데이터센터로 전송한 후 영상합성 처리 하였다. 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 초고속정보통신망(high-speed network)을 통한 VLBI 데이터의 전송방식으로서 이를 정의내릴 수 있다.

각 관측소에서 얻어진 VLBI 데이터는 전송 가능한 IP 패킷으로 변환되어 네트워크를 통하여 데이터센터로 전달되고 데이터센터로 수신된 VLBI 데이터는 영상합성 처리되어 관측자가 원하는 천체 이미지로서 출력된다.

VLBI 데이터를 네트워크를 통하여 데이터센터까지 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 수

행하였다. 또한 1979년에는 소용량의 데이터 (~1Mb/station)를 일반 전화선을 경유하여 소프트웨어 코릴레이터로 전송하는 실험이 MIT의 헤이스텍 관측소에서 성공적으로 이루어졌다.

이후 일본의 CRL(Communication Research Laboratory:전파총합연구소)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.

3. e-VLBI의 작동 메커니즘

e-VLBI는 네트워크 성능에 따라 리얼-타임 VLBI(Real-Time VLBI), 준리얼-타임 VLBI(Quasi Real-Time VLBI), Offline VLBI(FTP VLBI) 세가지로 구분할 수 있으며 각 방식의 동작 메커니즘을 간략히 기술하면 다음과 같다.

▶ Full data buffering-각 관측소에서 얻은 데이터가 디스크에 기록 완료되면 네트워크를 통하여 데이터센터로 전송되는데 데이터센터에 수신된 데이터는 다시 디스크 기록과정을 거친다. 각 관측소에서 입력된 데이터의 기록이 모두 완료되면 영상합성처리가 시작된다. 각 관측소와 데이터센터사이의 네트워크 속도가 디스크에 기록된 데이터 속도보다 매우 느릴 때 Full data buffering 모드를 사용한다.

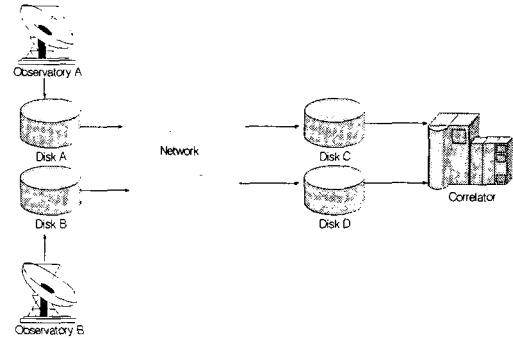


그림 2. Offline VLBI(FTP VLBI)

▶ Direct data transfer- 각 관측소에서 얻은 데이터는 네트워크를 통하여 실시간 전송되어 데이터센터의 디스크에 기록되는데 모든 관측소로부터 전송된 데이터 기록이 완료되면 이후 영상합성처리가 수행된다. 이 방식에서는 full data buffering 방식보다 적은 수의 디스크가 필요하며 소용량의 데이터에 대한 관측결과를 바탕으로 VLBI 장비의 상태를 점검할 수 있다.

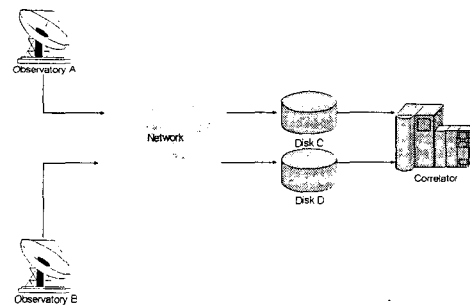


그림 3. Quasi Real-Time VLBI

▶ Full Real-time transfer-각 관측소에서 얻어진 데이터는 영상합성처리를 위하여 네트워크를 통하여 데이터센터로 실시간 전송된다. 이 방식을 적용하기 위하여 모든 관측소와 데이터센터 사이에는 대용량 데이터의 실시간 전송을 지원하는 초고속정보망이 구축되어야 한다

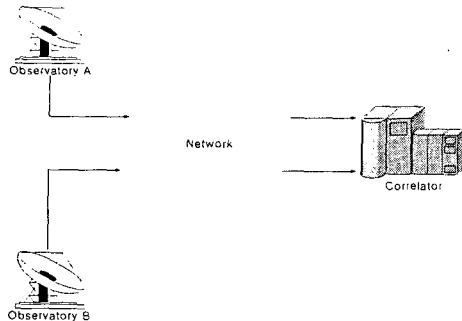


그림 4. Real-Time VLBI

e-VLBI 시스템의 궁극적 목표는 VLBI 데이터를 실시간으로 전송하여 영상합성처리하는 리얼-타임 VLBI이다. 하지만 현재의 네트워크 및 하드웨어 기술로는 리얼-타임 VLBI를 운용함에 있어서 해결해야 할 과제가 많이 남아 있고 유지 비용도 상당히 높기 때문에 준-리얼타임 VLBI나 FTP 프로토콜을 통한 Offline VLBI가 선행되어지는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

4. e-KVN 네트워크 설계

연세대, 울산대, 탐라대에 건설되는 20m 전파 망원경과 대덕전파천문대의 14m 안테나를 광네트워크로 연결하는 e-KVN은 궁극적으로 각 관측소에서 얻은 VLBI 데이터를 초고속정보망을 통하여 1024Mbps 전송율로 데이터센터까지 실시간 전송하는 것을 목표로 하고 있다.

4.1 e-KVN의 개략적 명세

각 안테나의 건설 위치 및 직선거리 그리고 현재 계획하고 있는 네트워크 데이터율의 세부 명세는 다음과 같다.

표1. 각 사이트 주소지

사이트명	지리적 위치
데이터센터	서울 서대문구 신촌동 134 연세대학교 구 어란이생활관 C동
연세전파천문대	데이터센터에서 약 100m 현 물영크 위치
울산전파천문대	울산광역시 남구 무거2동 산 29 울산대학교 현 물영크 위치
탐라전파천문대	제주도 서귀포시 하원동 산 70 탐라대 본관 북동편 300m
대덕전파천문대	대전광역시 유성구 회암동 61-1

표2. 사이트간 직선거리

사이트명	경도(동경)	위도(북위)	고도 [m]	직선거리[km]			
				연세대	울산대	탐라대	대덕
연세전파천문대	126 56 35	27 33 44	260	-	305.2	477.7	135.1
울산전파천문대	129 15 04	35 32 33	120	305.2	-	358.5	194.2
탐라전파천문대	126 27 43	33 17 18	320	477.7	358.5	-	356.0
대덕전파천문대	127 22 19	36 23 53	110	135.1	194.2	356.0	-

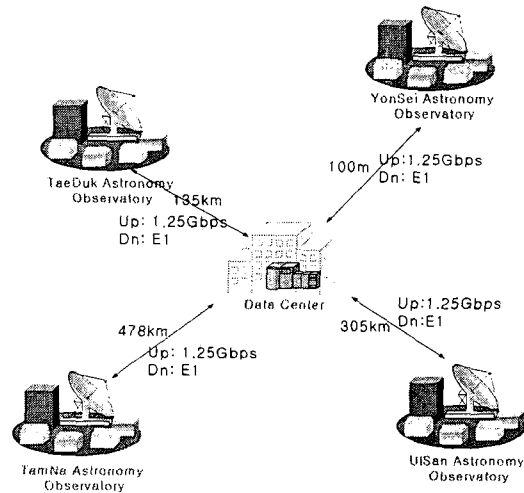


그림 5. e-KVN의 구성도

4.2. e-KVN 백본망의로서의 KOREN

연세전파천문대, 울산전파천문대, 탐라전파천문대 그리고 대덕전파천문대에서 획득한 VLBI 데이터를 연세대 구내의 데이터센터로 전송하는데 있어서 탁월한 성능과 안정된 QoS를 제공하는 백본망은 필수불가결한 요소라 할 수 있을 것이다.

위에서도 이미 언급을 하였지만 e-KVN에서는 1024Mbps의 대용량 VLBI 데이터를 데이터센터에 실시간으로 전송하는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위하여 e-KVN에서는 백본망으로서 KOREN(KOrea advanced REsearch Network)을 활용하고자 한다.

4.3 KOREN 개요

KOREN은 1995년부터 2005년까지 정부재원을 지원받아 구축되고 있는 연구망으로서 차세대 인터넷 기술개발, 초고속응용서비스 개발에

필요한 네트워크 환경을 구축하여 대학, 연구 기관등에게 무료로 서비스를 제공하고 있다.

초고속네트워크 서비스를 효율적으로 지원하기 위하여 서울, 대전 등 6개 대도시에 GigaPoP을 구축하여 ATM교환기, GSR, 중형 라우터 등을 설치·확장하고 있으며 Native IPv6, Multicast, QoS, MPLS등의 차세대인터넷 서비스를 제공하고 있으며 기술발전 추세를 고려하여 지역접속체계(Access Point)를 확대해 나가고 있다.

KOREN의 대략적인 망 구성도를 살펴보면 다음과 같다.

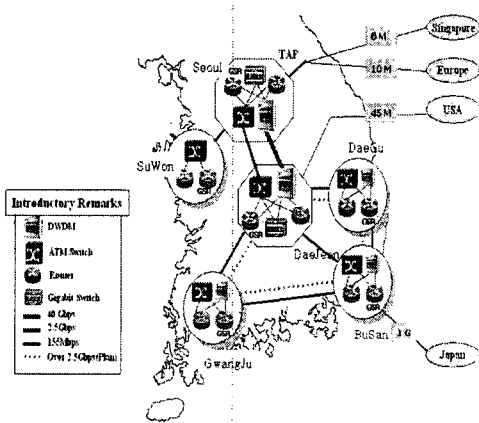


그림 6. KOREN 구성도

위의 네트워크 구성도에서 알 수 있듯이 KOREN은 서울과 대전 두 중계노드를 40Gbps의 DWDM망으로 연결하고 있으며 수원, 대구, 부산, 광주에 GigaPoP을 구축하여 각 지역에서 선도망에 용이하게 접속할 수 있도록 하고 있다.

GigaPoP은 DWDM 전송장비와 ATM 스위치, GSR(기가비트스위치라우터), GES(기가비트이더넷스위치)로 구성되어 다양한 네트워크 환경에서의 선도망 접속 기능을 제공한다.

4.4 e-KVN의 동작 메커니즘

연세, 울산, 탐라 대학 구내의 관측소를 통해 얻은 VLBI 데이터는 10GbE으로 구축된 내부 로컬망과 매트로 이더넷을 통해 KOREN의 백

본망으로 연결된다.

그림 7은 e-KVN의 토폴로지를 간략화한 것인데 이를 기반으로 각 전파천문대의 KOREN 접속방법에 대해 요약하면 다음과 같다.

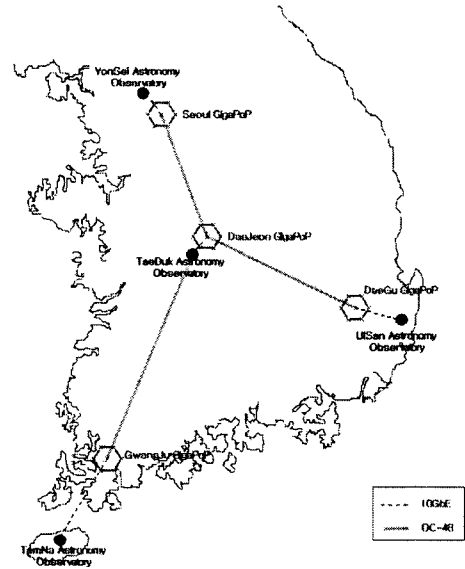


그림 7. KOREN을 기반으로 한 e-KVN 토폴로지

▶ 연세대

연세대 구내의 전파망원경으로부터 획득한 VLBI 데이터는 10GbE으로 구성된 로컬망을 통하여 1024Mbps로 데이터센터로 전송된다.

▶ 울산대

울산대 구내의 전파망원경을 통해 획득한 VLBI 데이터는 10GbE으로 구성된 로컬망 및 매트로 이더넷을 통하여 대구 GigaPoP의 GES에 도달하고 GSR의 2.5Gbps POS인터페이스를 통하여 서울 GigaPoP으로 전송된다.

▶ 탐라대

탐라대 구내의 전파망원경을 통해 획득한 VLBI 데이터는 10GbE으로 구성된 로컬망 및 매트로 이더넷을 통하여 광주 GigaPoP의 GES로 연결되고 GSR를 통하여 2.5Gbps POS 인터페이스로 KOREN 백본망에 접속한다.

4.5 e-KVN 네트워크 설계 및 MPLS를 고려한 최적화

연세, 울산, 탐라 전파천문대, 그리고 대덕전파천문대에서 획득한 데이터는 10GbE으로 구성된 구내통신망 및 메트로망을 거쳐서 GigaPoP으로 전송된다. 각 GigaPoP에서 데이터는 GES와 GSR를 통하여 KOREN 백본망으로 전송되는데 이 과정에서 대전 GigaPoP을 경유해야 한다. 여기에서도 마찬가지로 GSR를 통하여 교환/전송된다.

서울 GigaPoP의 GSR에 도달한 VLBI 데이터는 GES을 통하여 10GbE 기반의 메트로망과 연세대 구내통신망을 통하여 데이터센터로 전송된다.

이러한 시나리오를 바탕으로 좀더 세부적인 e-KVN의 네트워크 구성도를 그려보면 다음과 같다.

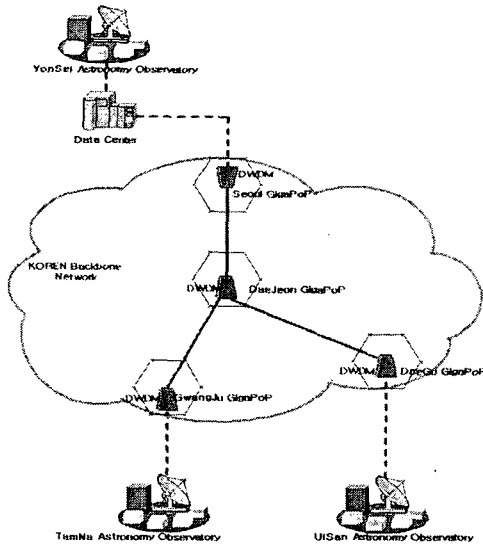


그림 8. A Detailed e-KVN Topology

VLBI의 데이터 전송에 있어서 신뢰할 수 있는 QoS 보장과 데이터 전달의 정확성은 e-KVN에 있어서 상당한 비중을 차지하는데 이를 구현하기 위한 프로토콜로서 e-KVN에서는 MPLS가 구현되어야 할 것이다.

이를 통하여 기존의 라우터에 고속의 ATM 스위칭 기술을 접목시킴으로써 다양한 링크레벨기술(Packet over SONET/SDH, ATM, Frame Relay, GbE, 10GbE)의 수용과 효율적인 IP 트랜스포트 인프라스트럭처 구축을 할 수 것으로 예상하고 있으며 무엇보다 VLBI 데이터 QoS에 있어서 핵심 기능을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

따라서 기존 POS에서 문제점으로 지적되었던 낮은 QoS와 비연결 기반의 데이터 전송의 문제점을 어느정도 해결할 수 있을 것으로 예측하고 있다. MPLS를 적용한 POS를 통하여 KOREN에서 VLBI 데이터를 1024Mbps로 전송하는 네트워크를 설계하면 다음과 같다.

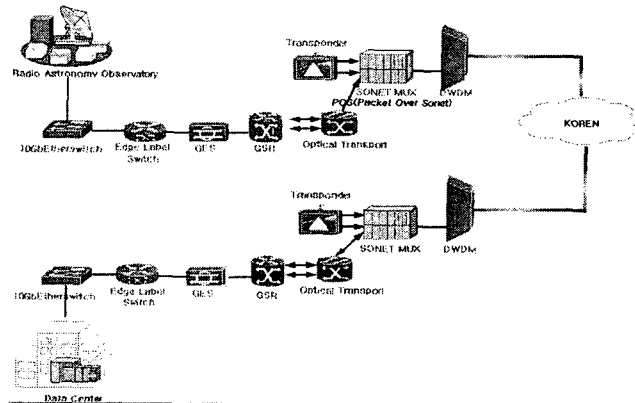


그림 9. KOREN을 활용하여 재구성된 e-KVN

5. 결론

e-VLBI은 막대한 용량(Gbps 대역)의 VLBI 데이터를 초고속정보통신망을 통하여 실시간으로 전송하는 애플리케이션으로, 최소 Gbps의 데이터를 필요로 한다는 점에서 여타의 다른 애플리케이션과 차별화되고 구현에 있어서도 네트워크 기술 및 초고속정보통신망이 절대적 비중을 차지한다는 것을 알 수 있었다.

e-KVN에서는 각 관측소에서 데이터센터까지 최소 1024Gbps의 실시간 데이터 전송을 목표로 하고 있는데 이를 위한 백본망 및 메트로/구내통신망으로서 각각 KOREN과 10GbE의 사용을 계획하고 있다.

또한 POS나 이더넷을 통한 데이터 전송에 있어서 안정적인 QoS를 보장하기 위하여 MPLS를 지원하는 GES, GSR을 사용하고자 하며 이를 통하여 ATM에 버금가는 네트워크 신뢰도를 얻을 수 있을 것으로 예측하고 있다.

e-KVN은 2007년 완공을 목표로 하고 있으며 구현에 있어서 아직 많은 시간적 여유가 있는 것이 사실이다. 본 논문에서는 이러한 시간적 여유 및 급속도로 발전하는 네트워킹 기술을 감안하여 e-KVN 설계에 있어서 10GbE 및 MPLS 프로토콜이 적용된 GES 및 GSR을 구성요소로 제안하였다.

향후 백본망에서의 데이터 전송방식은 기존의 IPoS에서 IPoW(IPoWDM)을 거쳐서 All IP 기반의 전광통신망으로, 또한 구내통신망 및 메트로망에서 이더넷 기술의 발전에 따라 10GbE를 거쳐 100GbE으로의 진화가 예측되고 있다. 이에 따라 e-KVN의 네트워크 사양도 업그레이드 되어 보다 큰 용량의 실시간 데이터를 더욱 안정적으로 처리할 수 있는 형태로 진화될 것이다.

[참고문헌]

- [1]Dr. Brian Smith, Dr. R. E. Spencer, Mr. D. C. Brown, Dr. M. Bentley, "Optical Fibre Communications Between Radio Telescopes in the European VLBI Network", TMR-LSF RTD Sub Project 4, 2000. 06
- [2]김치동, "고품질 인터넷망 구축 및 서비스 제공 계획", 정보통신부 정보화기획실, 2002. 07
- [3]"메트로이더넷 시장보고서", KRG Market Report
- [4]윤병남, 조정호, "유무선 통합을 위한 통신망 진화방안에 관한 연구", 한국전산원 연구개발보고서, 2001. 12
- [5]윤병남, 김치하, "공공기관의 효율적인 초고속통신망 구축방안 연구" 한국전산원 연구개발보고서, 2002.01
- [6]Steven Bernstein, Lorraine Prior, James Calvin, Vineet Mehta, "Glownet and Bossnet Gigabit Network Infrastructure for e-VLBI" e-VLBI Workshop, 2002.04
- [7]Steven Parsley, "VLBI Participation in Next Generation Network Development", eVLBI

Workshop, 2002.04

[8]T.Charles Yun, "Internet2:Presentation to Astronomy Community at Haystack", www.internet2.edu, 2002.04

[9]K.Dudevoir, "Possible Real-time Data-transmission Protocols for e-VLBI", MIT Haystack Observatory,

[10]서은일, "초고속선도망(KOREN) 소개 및 멀티캐스트 연동/ 서비스 제공", KT