

천문관측 데이터를 위한 고속 대용량 저장장치의 개발

오 세 진, 김 광 동, 노 덕 규, 위 석 오, 송 민 규, 김 광 수*, 정 현 열**
한국천문연구원, *경운대학교, **영남대학교
전화 : 042-865-3280 / 핸드폰 : 011-543-0971

Development of High Speed Large Capacity Storage System for Observed Astronomy Data

Se-Jin Oh, Kwang-Dong Kim, Duk-Gyoo Roh, Seok-Oh Wi, Min-Gyoo Song,
Kwang-Soo Kim*, Hyun-Yeol Chung**
Korea Astronomy Observatory, *Kyungwoon University, **Yeungnam University
E-mail : sjoh@trao.re.kr

Abstract

본 논문에서는 한국우주전파관측망(Korean VLBI Network; KVN)을 위해 현재 미국 MIT Haystack 천문대에서 개발되고 있는 천문관측 데이터를 위한 고속 대용량 저장장치에 대해 간략히 기술한다. 현재 개발 중인 Mark 5 시스템은 하드디스크 기반의 Gbps VLBI 데이터 시스템이다. 주요 시스템은 낮은 가격의 PC 기반으로 8개의 탈부착이 가능한 ATA/IDE 형태의 하드디스크 백크를 두 개 가지며 1024Mbps 이상으로 고속기록 및 재생이 가능하다. 뿐만 아니라, Mark 5 시스템은 표준 기가비트 이더넷 연결을 통해 e-VLBI를 지원한다.

I. 서론

전파라고 하는 매체를 이용하여 외부 세계로부터 정보를 획득하기 위한 노력은 1931년 미국의 Jansky가 우주전파를 처음으로 검출한 이래 시작되었다[1]. 이렇게 전파천문학은 이후 꾸준한 기술적 발전을 통해 현재는 sub-millimeter 영역에 이르기까지 주파수 대역이 확장되었을 뿐만 아니라, 초고속 디지털 신호처리 기술을 통하여 보다 넓은 대역폭에 걸쳐 보다 정밀한 관측을 수행할 수 있게 되었다. 그러나 전파는 광학 등에 비해 그 파장이 상대적으로 길기 때문에 공간적 분해능을 높이는 데는 상대적으로 많은 어려움을 안고 있다. 실제로 이러한 공간 분해능을 높이기 위해 안테나 구경을 확장하기 위한 많은 연구가 수행되었다. 그러나 안테나의 구경을 확장하는 일은 중력에 의한 효과로 인하여 많은 어려움을 지니고 있다. 이를 위해 여러 대의 안테나를 연결하여 관측할 경우 그 기선의 길이에 해당하는 구경의 안테나와 상응하는 결과를 얻을 수 있으며, 이는 전파 천문학에 있어 그 공간 분해능

을 크게 개선할 수 있는 방안으로서 간주되어 왔다. 그러나 이는 각 구성 안테나들을 어떻게 동기화할 것인가에 대한 문제가 된다. 이를 위해 유선 또는 무선으로 국부 발진 신호를 공유하는 방법으로 흔히 Array 안테나라고 불린다. 이를 통해 수십 km에 이르는 기선을 확보할 수 있게 되었으며, 1970년대 원자시계에 의해 전파 천문학에 새로운 변화의 계기가 되었다. 이 원자시계를 통해 여러 대의 안테나를 동기화시킬 경우 전 지구적인 또는 지구 외부의 관측소와 지구를 연결하는 초장거리 기선을 확보할 수 있게 되었다. 이를 초장기선전파간섭계 또는 VLBI(Very Long Baseline Interferometer)라고 한다[2]. 이는 고감도 수신기술, 원자시계 및 주파수표준 기술, 초정밀 신호처리 기술 및 소프트웨어가 결합되어 전파 천문학의 발전에 많은 기여를 하였다. 이러한 VLBI는 이미 광학관측을 능가하는 분해능과 정밀도를 갖고 있으며, 천체 관측은 물론 지구 규모의 측지 관측에도 활용되고 있다[1][2].

본 연구는 국내에서 최초로 구성되어지는 세계적 수준의 최첨단 VLBI 관측 시스템인 한국우주전파관측망 건설과 관련하여 천문관측 데이터를 고속으로 저장할 수 있는 대용량 저장장치 기술에 관한 내용이다. 전파 천문학을 위해 지금까지 개발된 대용량 저장장치는 릴 테이프를 이용하고 데이터처리를 수행하였지만, 고속의 데이터 처리의 필요와 기술의 발전으로 인해 하드 디스크 형태의 대용량 저장 장치에 대한 관심이 증대되고 있다. 일반적으로 대용량 저장장치는 데이터 저장장치 관련 시장, 즉 금융기관, 정부기관, 기업체 등의 데이터 백업 장비로서 또는 네트워크 인터넷 관련 업체의 서버 시스템의 데이터 저장장치로서 활용되고 있으나 전파 천문학에서는 하드디스크를 채용한 고속 대용량 저장장치에 대한 기술적 시도는 국내에서 처음으로 시도되고 있다. 이에 본 연구에서는 지금까지 개발된 전파 천문학 관련 데이터의 고속 대용량 저장장치의 기술에 대해 간략히 기술하고자 한다.

II. 전파천문용 고속 저장장치의 국의 동향[3]

현재 수신기로부터 들어온 전파와 데이터 획득 시스템(Data Acquisition System; DAS)을 통해 디지털로 변환된 많은 양의 데이터를 실시간 고속처리와 저장을 위해 사용되고 있는 대용량 저장장치 기술에 대해 미국, 일본, 유럽의 연구동향에 대해 아래에 간략히 기술하였다.

우선, 미국의 경우 1967년부터 아날로그 기록방식을 채택하여 VLBI 관측장비를 개발하여 VLBI 기술이 가능하다는 것을 보여주었다. 이를 바탕으로 반도체 기술과 디지털 기술의 발전으로 인해 1970년대 초기에 디지털 기록방식의 Mk1(Mark) 시스템이 개발되었으며, 이를 일부 개량하여 그 후의 전파 천문학에서 VLBI 관측의 주류가 된 Mk2가 1972년에 개발되었다. 이 시스템은 2MHz 대역의 여러 채널의 관측모드를 가지고 특정 주파수만을 관측하는 전파천문용 관측에는 유효하지만 측지분야에서는 정밀도가 좋지 못했다. 따라서 14 채널 광대역 관측의 Mk3 시스템 개발이 미국 MIT Haystack 천문대와 NASA의 우주비행센터에서 1975년부터 시작되었으며 1980년부터는 본격적인 시험운전이 시작되었다. 최근까지 전 세계에서 가장 널리 사용되고 있는 VLBI용 관측장비는 1990년대에 개발된 Mk4였으나 릴 테이프 방식에서 하드디스크 방식과 고속 데이터 처리기술을 접목하여 개량된 Mk5 시스템이 개발되어 시스템을 대체하고 있다. 지금까지 개발된 Mk 계열의 저장장치를 그림 1에 나타내었다.

한편 일본의 경우 다소 출발은 늦었지만 통신종합연구소(CRL)에서 VLBI 장치의 독자개발을 시작하였다. 1976년에는 Mk2 시스템을 바탕으로 K1 시스템을 개발하였고, 1979년부터는 미국의 Mk3 시스템과 호환성을 지닌 K3 시스템 개발을 시작하였다. 1983년 11월에는 처음으로 미-일간의 시험관측에 성공하였다. K3 시스템의 기록장치는 오픈-릴 형식을 가지며 1989년에 방송용으로 사용하고 있는 회전헤드 기록형식의 기록기를 사용하여 VLBI용 K4 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 Mk3보다 2채널 많은 16채널 64Mbps 기록이 가능하다. 그리고 K4 시스템은 Mk3와 호환성이 있는 자료를 출력할 수 있으며 Mk3 기록기로 복사가 가능하다. 그리고 이 시스템을 일부 개량하여 최대 256Mbps의 기록속도를 가지는 KSP(Key Stone Project)형 K4시스템이 1994년에 완성되어 일본 동경의 지각변동 관측과 우주공간 VLBI관측(VLBI Space Observatory Program; VSOP)에도 응용되고 있다. 최근에는 차세대 VLBI 장치로서 릴 테이프 방식에서 대용량 하드디스크를 채용한 초고속 저장장치와 인터넷과 실시간 상관처리를 수행할 수 있는 K5를 개발하였다.

캐나다와 호주의 경우 가정용 비디오 플레이어 8대를 연결하여 128Mbps 16채널까지 기록할 수 있는 S2 시스템을 개발하여 관측에 사용하고 있다.

마지막으로 유럽의 경우 미국 MIT Haystack 천문대에서 개발하고 있는 Mk X 계열에 기반하여 JIVE, MRO 등의 여러 관측소에서 VLBI 데이터 전송을 위해 하드디스크를 채용하여 PC-EVN 기록 시스템을 개발하기 위해 서로 협력하고 있다. PC-EVN은 일반적인 PC 하드디스크에 리눅스 파일로 VLBI 데이터를 저장하도록 개발되었다. EVN(European VLBI Network)의 경우에는 미국에서 개발중인 시스템과 동일한 방식을 채용하고 있다.

이상의 국의 연구개발 동향을 배경으로 미국 MIT Haystack 천문대에서 개발중인 한국우주전파관측망(KVN)에서 사용할 한국형 전파천문관련 초고속 대용량 저장장치인 Mk5를 중심으로 개발 배경, 성능, 구성에 대해 좀더 자세히 기술한다.

III. Mk5 시스템[4-7]

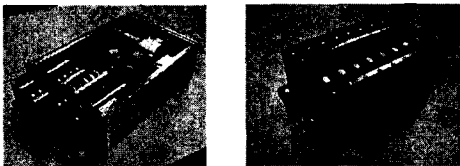
미국 MIT의 Haystack 천문대에서 개발되고 있는 Mk5 시스템은 마그네틱 디스크 기술에 기반하여 높은 속도를 가진 VLBI 고속 대용량 저장장치 시스템이다. 저가의 PC를 사용한 Mk5 시스템은 최대 1024Mbps의 속도로 기록/재생하고 저가의 착탈식 ATA/IDE 디스크 8개를 지원하고 있으며, e-VLBI(Electronic-VLBI)와의 호환성을 가지고 표준 기가비트 급의 인터넷과도 연결할 수 있다. 또한 실시간 e-VLBI를 위해 데이터를 직접 송수신하는 방식과 준(quasi) 실시간 처리를 위해서는 디스크어레이를 통해 저장하는 방식을 사용하고 있다. 현재 국외의 천문대와 연구기관의 지원으로 현재 미국 MIT Haystack 천문대에서 2002년 10월에 새로운 버전의 Mk5A 시스템이 개발되었으며, 이는 Mk4 시스템, VLBA DAS, 상관기 등의 시스템과 호환성을 가지도록 개발되었다. 또한 2004년 3월에는 VSI(VLBI Standard Interface) 기반의 Mk5B 시스템이 개발될 예정이다. 개발된 Mk5A의 prototype을 그림 2에, 구성도를 그림 4에 각각 나타내었으며, 시스템의 특징을 정리하면 다음과 같다.

- 기존의 테이프 방식을 대체하는 하드디스크 형태의 VLBI용 고속 저장장치
- 기록 및 재생 속도가 최소 1024 Mbps 이상
- 가능한 변형되지 않은 COTS(Commercial-Off-The-Shelf) 부품 사용
- 장래 기술발전에 따라 모듈화 및 기능향상(업그레이드)이 용이
- 운용이 확실하며 유지비가 적게 들고 이동이 용이
- VLBI 표준인터페이스 규격인 VSI 규격에 일치시킴으로써 호환성 문제를 해결
- e-VLBI 지원이 용이

현재 릴-테이프의 가격과 상용 PC용의 하드디스크의 가격은 거의 비슷한 수준에 접근하고 있으며, 곧 하드-디스크의 가격(기가-비트 당)이 곧 훨씬 저렴하여질 것으로 예측되고 있다. 아래 그림 3은 테이프와 디스크의 가격 비교를 보여준다.



그림 1. Mark 계열의 고속 저장장치.



(a) Mk5A 본체 (b) 8-pack의 하드디스크
그림 2. Mk5A의 Prototype.

Mk5 시스템은 다음과 같은 두 가지 단계로 개발되고 있다.

- 1) Mk5A : 이 시스템은 상판기 또는 스테이션에서 VLBA 마그네틱테이프 또는 Mk4로의 데이터 전달할 수 있다. Mk4/VLBA 포맷터로부터 8,16, 32, 64 트랙으로 기록하고 같은 Mk4/VLBA 포맷터에서 재생할 수 있다. 따라서 1024Mbps에서 Mk4 테이프 유닛과 512Mbps에서 VLBA 테이프 유닛을 대체할 수 있다.
- 2) Mk5B : 이 시스템은 1024Mbps 이상의 속도로 외부 포맷터가 필요 없으며 VSI-호환성을 가진다. 또한 Mk4/VLBA 상판기에 존재하는 다양한 모드와 호환성을 가진다.

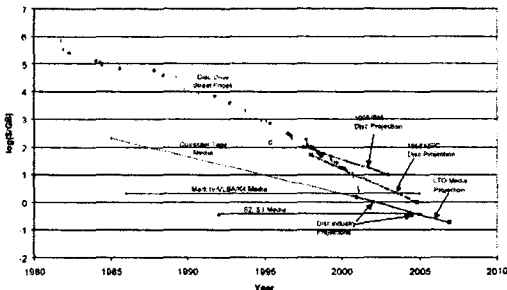


그림 3. 테이프와 디스크의 가격비교.
(Whitney A. 2001, IVS TOW meeting)

그리고 IDE 형의 하드디스크를 사용하게 되면 아래와 같은 장점이 있다.

- IDE 인터페이스는 SCSI보다 쉽게 시장에서 즉시

구입 가능하다.

- 항상 최신제품으로 구매할 수 있으며, 구매가격이 저렴하고 값비싼 테이프 드라이버를 살 필요가 없어 추가장비가 필요 없으며, 따라서 호스트 시스템이 저렴하다.
- 어느 데이터에도 빠른 랜덤 액세스가 가능하다.
- 본질적으로 재생시에 상관기로 즉각적인 동기화를 할 수 있다.
- 재생시 에러가 없고, 헤드스택이 많아서 교체해 줄 필요가 전혀 없다.

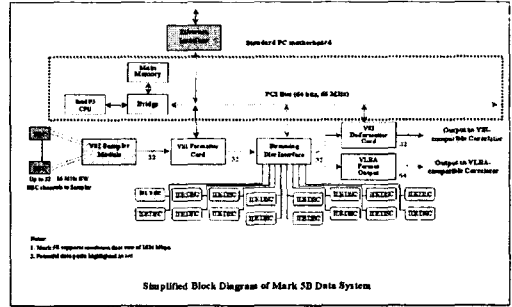


그림 4. Mk5 시스템의 구성도.

또한 상용화된 기존의 PC 부품들을 사용한 새로운 하드디스크 타입의 저장장치는 그 제품가격도 기존 제품의 10분의 1정도이며, 데이터 기록 오차도 없고 빠른 데이터 액세스와 그리고 유지비용도 매우 저렴할 것으로 예측되어 차세대 VLBI 저장장치로 각광을 받을 것으로 생각된다.

3.1 동작원리

Mk5의 기반은 COTS(Commercial Of-The-Shelf)와 일반적인 형태의 인터페이스 카드의 조합을 이용한 표준 PC 형태이다. 시스템의 핵심은 Conduant Corp에서 제작한 StreamStor 디스크 인터페이스 카드로서 이는 고속 실시간 데이터 수집과 재생을 할 수 있다. 이 카드는 그림 5에 나타낸 것과 같이 3가지의 물리적 인터페이스 즉, 삼각 연결을 지원한다.

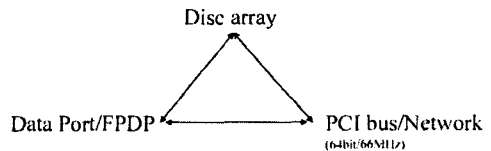


그림 5. 삼각 연결.

- 1) Data Port/FPDP : 이 포트는 32비트 카드탑 버스로서 'Front Panel Data Port' 인터페이스 사양으로 공업용 표준을 지원한다. 이는 입출력에 대해 고속 실시간 데이터를 전송하는 양방향 포트이다. 모든 FPDP 동작은 32비트 버스를 사용한다.
- 2) Disc Array : 이 포트는 8개의 master/slave로 읽

고 쓰기를 위한 8개의 표준 IDE 디스크로서 2개의 어레이 뱅크를 지원한다.

- 3) PCI 버스 : 이것은 호스트 PC 형태로 표준으로 연결되어 있는데 StreamStor(Conduant Co. Ltd.) 카드는 64bit/66MHz를 지원한다. 그리고 표준 32bit/33MHz 버스를 지원한다.

Mk5의 삼각 연결은 데이터가 두 개 혹은 세 개의 버스로 이동되도록 구성되어 있다. StreamStor 카드는 하나의 연결경로와 VLBI에 데이터에 대해 최대 속도가 약 1024Mbps로 사용되고 있는 경우에도 임의의 두 포트 사이의 최대 전송률을 1600Mbps를 유지한다.

3.2 호환성

Mk5 시스템은 기존의 VLBI 시스템과 호환성을 가지도록 설계되었다. 예를 들어 데이터가 VSI 호환 인터페이스로 기록되고 이를 Mk4/VLBI 상관기에서 재생할 수 있다. 반대로 데이터가 기존의 Mk4/VLBI 시스템에 의해 기록되고 VSI 호환의 기록기/상관기에서 재생될 수 있다. 또한 캐나다와 호주에서 개발된 S2 기록기의 인터페이스는 Mk5B에서의 데이터 기록을 쉽게 할 수 있을 것으로 기대된다. 현재 개발중인 Mk5B는 VSI 호환과 Mk4/VLBI 상관기에서도 데이터를 재생할 수 있도록 개발 중이다. 이와 같이 다양한 고속 기록기 시스템에서의 호환성은 널리 사용되고 있는 기존의 VLBI 시스템을 사용하는데 매우 효과적일 것으로 기대된다.

3.3 동작 모드

Mk5 시스템은 기본적으로 세 가지 동작모드를 가진다.

- 1) Idle : 시스템이 idle(즉, 기록과 재생이 아님)일 때, DIM(Data Input Module)을 들어오는 데이터는 FPDP 버스를 통해 통과하고 DOM(Data Output Module)에서 얼마동안 지연된 후 재생된다. 이는 'pass-through' 모드와 같고 여러 대의 Mk5 시스템이 그림 6과 같이 서로 연결된 경우 전체 데이터 용량을 증가시킬 때 사용된다.
- 2) Record : 이 모드는 FPDP 버스에서 데이터를 디스크에 기록하는 것을 제외하고는 'idle'모드와 동일하다.
- 3) Playback : 디스크에 이미 기록된 데이터가 FPDP 버스로 다시 재생되고 DOM으로 전달된다. 이 모드에서는 재생속도는 DOM에 의해 제공되는 클럭에 의해 제어되며 기록된 클럭속도에는 독립적이다.

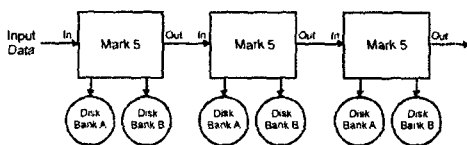


그림 6. 직렬 연결된 Mk5 시스템에 의한 기록.

IV. e-VLBI 지원

Mk5 시스템은 초고속 네트워크를 통해 여러 나라의 VLBI 데이터 시스템과 쉽게 연결할 수 있다. 이는 Mk5 시스템이 표준 PC 형태와 표준 네트워크와의 연결을 지원하도록 개발되고 있기 때문이다. 초고속 네트워크를 사용하기 위해서는 적어도 다음 2가지의 경우를 만족해야 한다.

- 1) Direct Station to Correlator: 네트워크간의 연결이 이루어지면, 데이터는 스테이션에서 상관기까지 1Gbps 이상의 속도로 실시간 전송과 실시간 상관처리 또는 상관기의 디스크에 저장할 수 있어야 한다.
- 2) Station Disc to Correlator Disc : 만약 상관기의 데이터 처리를 위해 데이터를 실시간으로 전송할 때 네트워크 연결이 잘 안될 경우에는 스테이션의 디스크에 데이터를 기록한 후 상관기로 전송할 수 있어야 한다.

V. 결론

본 논문에서는 한국우주전파관측망(KVN)을 위해 현재 미국 MIT Haystack 천문대에서 개발되고 있는 천문관측 데이터를 위한 고속 대용량 저장장치에 대해 간략히 기술하였다. 현재 개발중인 Mk5 시스템은 하드디스크 기반의 Gbps VLBI 데이터 시스템으로서 낮은 가격의 PC 기반으로 8개의 착탈식 ATA/IDE 형태의 하드디스크 뱅크를 두 개 가지며 1024Mbps 이상으로 고속기록 및 재생이 가능하다. 또한 표준 기가비트 이더넷 연결을 통해 e-VLBI를 지원한다. 천문관측용 대용량 저장장치는 향후 천문학 발전의 새로운 도약으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 민영철, "전파천문학," 동양문화사, 1996.
- [2] 규백스(주), "한국우주전파관측망 자료회독시스템 개발," 2003년 8월.
- [3] 한국천문연구원 KVN사업본부, "2003년도 간섭계전파천문 여름학교," 2003년 8월.
- [4] A. R. Whitney, "Mark 5 Disc-based Gbps VLBI Data System," Proc. of the 6th European VLBI Network Symposium, pp. 41-44, 2002. 6.
- [5] "VLBI Standard Software Interface Specification --VSI-S," under development.
- [6] FPDP Specification, available at <http://www.fpdpc.com/>.
- [7] "Mark IIIA/IV/VLBA Tape Formats, Recording Modes and Compatibility - Rev 1.2," by Alan R. Whitney, 28 Sep 2000, Mark 4 memo 230, available at <ftp://dopey.haystack.edu/pub/mark4/memos/index.html>.