

VLBI 자료처리 시스템의 데이터 전송에서 잡음방지에 관한 연구

A Study on the Noise Reduction Method for Data Transmission of VLBI Data Processing System

손도선*, 오세진*, 염계환*, 노덕규*, 정진승*, 오충식*

Do-Sun Son*, Se-Jin Oh*, Jae-Hwan Yeom*, Duk-Gyoo Roh*, Jin-Seung Jung*, Chung-Sik Oh*

요약

한국천문연구원은 한일상관센터(Korea-Japan Correlation Center, KJCC)에 2009년부터 한일공동VLBI상관기(Korea-Japan Joint VLBI Correlator, KJJVC)를 설치하여 운영하고 있다. 한일공동VLBI상관기는 한국우주전파관측망(Korean VLBI Network, KVN), VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry), JVN(Japanese VLBI Network) 및 공동 관측망 등에서 관측한 VLBI(Very Long Baseline Interferometer) 데이터를 상관처리하고, 과학적 목적을 위해 관측데이터를 처리하는 전용 계산기로 사용된다. KJJVC는 각 구성시스템 사이의 데이터 입출력 규격으로 VLBI 국제표준인 VSI(VLBI Standard Interface)를 따르고 있다. 특히 관측된 데이터를 상관처리하기 위해 고속재생기인 Mark5B 시스템과 동기재생처리장치(Raw VLBI Data Buffer, RVDB) 사이에는 1024 Mbps급으로 데이터가 전송된다. 고속 데이터 전송에 있어 발생하는 전자기 방해(Electromagnetic Interference, EMI)는 관측데이터의 손실을 야기 시키며, 전송 케이블의 길이가 길수록 손실 발생빈도가 많고, 디지털 데이터 신호의 전압레벨을 감소시켜 데이터 인식 오류를 초래한다. 따라서 본 논문에서는 VSI 규격의 통신에서 발생하는 EMI 잡음 정도를 측정하고, 데이터 손실을 최소화할 수 있는 방법으로 1) RC 필터를 사용한 방법, 2) Microstrip 라인을 이용한 임피던스 매칭, 3) Differential line driver를 이용한 신호 복원 방법 등을 제안하였다. 각 제안방법들의 유효성을 확인하기 위해 제안방법들은 시뮬레이션과 실험적인 구현을 통하여 성능시험을 수행하였으며, 각각의 제안 방법이 VSI 규격의 고속 데이터 전송에 유효함을 확인하였다.

Abstract

KJJVC(Korea-Japan Joint VLBI Correlator) was installed at the KJCC(Korea-Japan Correlation Center) and has been operated by KASI(Korea Astronomy and Space Science Institute) from 2009. KJJVC is able to correlate the VLBI observed data through KVN(Korean VLBI Network), VERA(VLBI Exploration of Radio Astrometry), and JVN(Japanese VLBI Network) and its joint network array. And it is used exclusively as computer in order to process the observed data for the scientific purpose KJJVC used the VSI(VLBI Standard Interface) as the VLBI international standard at the data input-output specification between each component. Especially, for correlating the observed data, the data is transmitted with 1024Mbps speed between Mark5B high-speed playback and RVDB(Raw VLBI Data Buffer). The EMI(Electromagnetic Interference), which is occurred by data transmission with high-speed, cause the data loss and the loss occurrence is frequently often for long transmission cable. Finally it will be caused the data recognition error by decreasing the voltage level of digital data signal. In this paper, in order to minimize the data loss by measuring the EMI noise level in transmission of the VSI specification, the 3 methods such as 1) RC filtering method, 2) Impedance matching using Microstrip line, and 3) Signal buffering method using Differential line driver, were proposed. To verify the effectiveness of each proposed method, the performance evaluation was conducted by implementing and simulations for each method. Each proposed method was effectively confirmed as the high-speed data transmission of the VSI specification.

Keywords : VLBI data processing, LVDS communication noises, VSI communication,

I. 서론

최근 전파천문학 분야는 정보통신 기술의 발전과 함께 초고속화, 병렬 처리, 대용량화가 가능하게 되어 다양한 디지털 시스템의 개발이 진행되고 있으며, 특히 고속 데이터 처리기술이 천문학분야에도 큰 기여를 하고 있다고 해도 과언이 아니다. 최근 전파천문학 분야에서 아날로그 신호를 디지털로

* 한국천문연구원

투고 일자 : 2011. 8. 18 수정완료일자 : 2011. 10. 25

계재확정일자 : 2011. 11. 1

변환하는 초고속 샘플러의 경우 8196 MHz-1 bit 속도로 데이터 샘플링을 수행할 수 있으며[1], 대용량 데이터를 저장하는 기록계의 경우 2048Mbps(512Mbyte/sec)로 데이터를 기록할 수 있을 정도로 기술개발이 진행되었다[2]. 그러나 초기 전파천문학을 위한 기술개발은 각 전파천문대에서만 사용할 수 있는 관측장비를 개발하였으며, 특히 VLBI 관측기술[3]과 같이 멀리 떨어진 전파망원경으로 관측한 데이터를 한곳에서 처리할 때 서로 형식이 다른 데이터 규격을 사용할 경우 자료처리를 수행할 수 없는 문제가 있었다. 즉, 이러한 초고속, 대용량 장비가 전파천문학을 위해 개발되었다라도 데이터를 전송할 때 각 장치간의 전송 매커니즘이 다르다면 이를 변환해주는 포맷터(Formatter)도 개발되어야 한다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 IVS(International VLBI Service)를 통하여 VLBI 관측장비 사이의 호환성을 갖는 인터페이스 설계를 추진하였으며, 그 결과로서 VSI의 규격이 2002년에 제정되어, 최근의 관측 장비에서는 널리 사용되고 있다[4].

한국천문연구원에서 2008년말 구축한 한국우주전파관측망(Korean VLBI Network, KVN)[5]의 경우, 디지털 백엔드(Back-end)이후의 각 구성장비 사이의 연결단자는 모두 VSI 규격을 채용하고 있다. 또한 KVN과 같은 관측국에서 관측한 VLBI 데이터를 과학적 목적으로 활용하기 위해 자료처리를 담당하는 한일상관센터(KJCC)의 한일공동VLBI상관기(KJJVC)[6]를 구성하는 각 시스템 사이에서도 VSI 규격을 채용하고 있다. 이 VSI 규격을 채용한 시스템은 최대 2048 Mbps의 속도로 데이터가 전송되는데 전송 케이블의 길이가 최대 5m로서 제한적이며, 각종 주변의 잡음원으로부터 영향으로 인해 데이터 손실 등의 문제가 발생하고 있다.

현재 VSI 데이터 전송규격[7]에 적용된 기술은 최근 고속 데이터 전송에 각광받고 있는 LVDS(Low Voltage Differential Signaling)[8]이다. 이 기술은 350mV 정도의 작은 전압을 전송선로에 차동모드로 신호화하는 방법으로써 비교적 전자기 방해(EMI)에 강하지만, VSI 전송 케이블의 길이와 주변 환경 등의 외부 요인으로 인해 데이터 손실이 발생할 가능성이 높다. 따라서 본 논문에서는 외부 환경 요인에 의해 VSI 데이터 전송에서 발생하는 문제점을 보완하기 위해 VSI 케이블의 입력단에 Gender 형식의 RC 필터를 적용한 방법, Microstrip line의 임피던스 매칭방법, Differential line driver를 이용한 신호복원 방법 등을 적용한 잡음제거 기술을 제안한다. 본 논문에서 제안한 3가지 잡음제거 기술에 대해 유효성을 확인하기 위해 시뮬레이션과 실제 VSI Buffer Gender 보드를 구현하여 관측데이터의 전송시험을 통하여 주변 환경에 따른 잡음이 현저히 줄어드는 것을 확인한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 VSI 규격과 LVDS 등의 데이터 전송 규격에 대해 살펴보고, III장에서 본 논문이 제안하는 3가지의 EMI 최소화 방안을 소개한다. 그리고 IV장에서는 제안방법의 유효성을 확인하기 위한 실험 및 결과에 대해 기술하고, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 데이터 전송규격

2.1 VSI(VLBI Standard Interface) 규격

2000년대 이전의 국제적인 VLBI 커뮤니티는 각자의 연구기관에서 개발한 다양한 VLBI 시스템들이 다른 연구기관의 시스템들과 규격이 호환되지 않는 문제점이 있었다. 따라서 이후에 이러한 문제점을 해결하기 위해 IVS 관련 연구자들이 주축이 되어 기본적인 자료의 형식을 정하고, 각 시스템의 입출력 연결단자 사이에 호환성을 갖는 인터페이스의 규격이 필요하게 되어 VLBI 표준규격, 즉 VSI를 제정하였다[4]. 이 VSI 규격에는 3가지 규격이 있는데, 하드웨어에 대한 규격을 VSI-H (Hardware), 소프트웨어에 대한 규격을 VSI-S(Software)라고 하며, 인터넷 데이터 전송규격인 VSI-E(Electronic)가 있다[4]. 이 3가지 규격 중에서 실제 데이터의 고속전송과 관련된 것은 하드웨어(VSI-H)에 관한 것으로 새로운 VLBI 시스템을 설계·제작할 때 반드시 데이터의 형식과 입출력 인터페이스 및 전송 속도 등을 정할 때 참고하여야 한다. 특히 VSI-H는 자료 획득시스템(Data Acquisition System, DAS), 자료전송시스템(Data Transmission System, DTS), 데이터처리시스템(Data Processing System, DPS) 사이의 규격을 정의한 것이다.

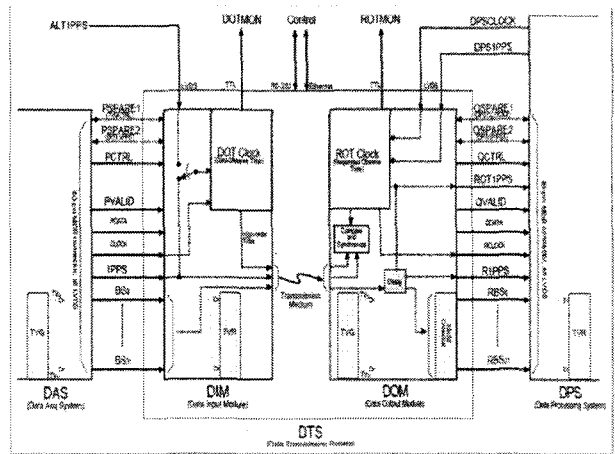


그림 1. VSI-H의 기능적 구성도.

Fig. 1. Functional configuration of VSI-H.

그림 1은 VSI-H의 기능적 구성도를 각 시스템 사이의 연결을 나타낸 것이다. VSI-H 규격에서 주요 특징을 간략히 기술하면 다음과 같다.

- 1024 Mbps 데이터 속도 정의
- 32 Parallel Bit-Stream
- 32 MHz (2048, 4096Mbps 데이터양에 대해 64, 128 MHz로 확장가능) Clock 사용
- LVDS(Low Voltage Differential Signaling) 사용
- 데이터에 시각 태깅을 하는 방법은 모두 DTS의 내부에서 수행되며 VSI-H에서는 정의하지 않음
- Test Vector Generator/Receiver 채용
- 상관기에 직접 연결하기 위한 Model-Delay 기능의 간략화
- 새로운 시스템에 적용하기 쉬운 유연성
- 저장미디어 변경용이

이상에서 기술한 VSI-H의 특징에서와 같이 DAS-DIM(Data Input Module), DOM(Data Output Module)-DPS 사이의 데이터 전송에서 VSI 케이블이 적용되어 이루어지며 이 통신 방식은 LVDS 형식의 신호로 변환되어 전송되어진다[7]. LVDS 형식에 대해서는 다음 절에서 자세히 기술한다.

2.2 LVDS(Low Voltage Differential Signaling)

LVDS[8]는 차분신호 시스템으로 송신기에서 서로 다른 2개의 전압을 전송하는 것을 의미하고, 수신기에서 이것들을 비교하여 판단한다. 또한, 정보 부호화에 두전선 간의 전압차를 사용하며, 일반적으로 3.5mA의 작은 전류로 수신기 끝단에 있는 100Ω저항(케이블의 특성 임피던스를 맞춤)을 통과하여 전력이 소모되고 다른 전선을 따라서 반대 방향으로 되돌아간다. 옴(Ohm)의 법칙에 의해 저항 사이에 걸리는 전압은 대략 350 mV이며, 수신기는 이 전압의 극성을 감지하여 논리 레벨의 High와 Low 신호를 판단한다. 그림 2는 LVDS의 전류와 전압 신호의 흐름을 나타낸다[8].

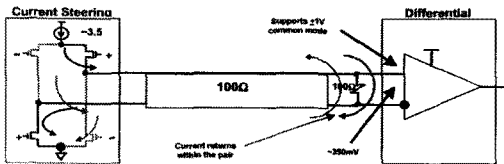


그림 2. LVDS의 신호 흐름. Fig. 2. Signal flow of LVDS.

그림 2에 나타낸 것과 같이, LVDS 신호는 송신단의 차동 증폭기 측에서 출력되어 100Ω의 전송선로를 거쳐 신호가 전달되므로 선로의 임피던스 변화에 상당한 변수를 가질 수 있다. 즉, 선로의 임피던스가 매칭이 되지 않는다면 전송 신호는 감쇠될 가능성이 커지게 된다. 따라서 현재 VLBI 시스템에서 채용하고 있는 VSI 규격의 통신에 사용되는 데이터 케이블은 이러한 임피던스 문제로 인해 신호의 감쇠가 일어나고 있을 가능성이 있다고 판단된다.

2.3 VLBI 시스템 사이의 VSI 통신 문제

LVDS 방식을 적용하고 있는 VSI 통신규격에서 자료 획득시스템(DAS) 역할을 하는 고속재생기(Mark5B)[9]와 데이터처리시스템(DPS) 역할을 하는 동기재생처리장치(RVDB)[2] 사이의 데이터 전송에는 80개의 구리선으로 구성된 VSI 케이블이 사용되고 있다. 그림 3은 한국천문연구원 한일상관센터에서 운영하고 있는 한일공동VLBI상관기(KJJVC)의 구성을 나타낸 것이다[10]. 그림 3에 나타낸 것과 같이 한일공동VLBI상관기는 고속재생기(Mark5B)를 통해 1024 Mbps 속도로 데이터를 재생하고, 데이터동기재생처리장치(RVDB)에서 기록하고, 이 데이터를 상관서브시스템(Correlation Subsystem)에서 상관처리를 수행한 후 그 결과를 데이터 아카이브(Data Archive)에 저장하게 된다. 이때 고속재생기와 RVDB 사이, 그리고 RVDB와 상관서브시스템 사이에 고속으로 데이터를 전송하는데 VSI 케이블이 사용되고 있다. VSI 케이블은 1.5m, 3m, 5m 케이블이

주로 사용되며, 최대 5m 이상의 경우에는 데이터 전송을 수행할 수 없다. 또한 VSI 케이블을 통하여 데이터를 전송할 때 외부의 잡음과 케이블 길이에 따른 임피던스 비매칭으로 추정되는 신호 감쇠로 인해 수신측에서 데이터 손실이 간헐적으로 일어나고 있다.

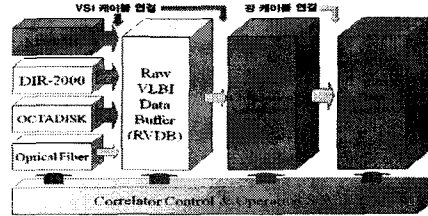
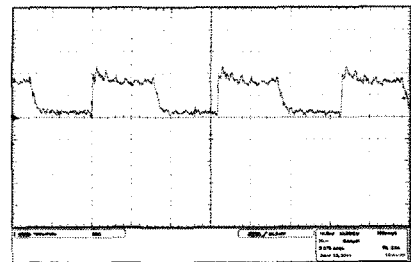
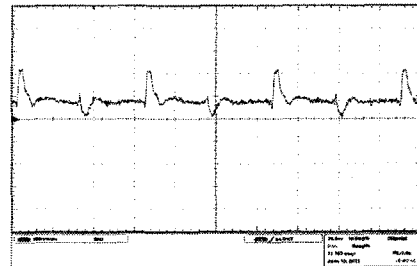


그림 3. 한일공동VLBI상관기의 구성과 데이터 흐름. Fig. 3. Data flow and configuration of KJJVC.



(a) Before transmission(x: time, y: amplitude).



(b) After transmission(x: time, y: amplitude).

그림 4. 관측데이터의 VSI 케이블 전송 전후의 신호. Fig. 4. Signal shape before and after transmission through the VSI cable for observation data.

VSI 케이블의 이러한 문제로 인해 관측데이터의 비트 오류 현상이 발생하는 원인을 파악한 결과, 고속재생기(Mark5B)에서 출력되는 신호는 VSI 케이블을 통하여 전송되면서 상당한 신호의 감쇠가 일어나서 동기재생처리장치(RVDB)의 데이터 수신측에서 데이터 수신 오류가 발생하고 있는 것을 확인할 수 있었다(그림 4). 이는 VSI 케이블의 임피던스 비매칭에 의한 고조파 반사가 발생하여 원래 신호의 감쇠를 일으키고 또한 주변 장비에 의한 노이즈로 인해 전송신호에 노이즈가 포함되어 데이터 오류가 발생한 것으로 판단된다. 그림 4에 나타낸 것과 같이 전송선로 상의 신호감쇠는 오실로스코프에 의해 VSI 케이블 연결단자를 측정한 결과, 데이터 전송 전과 후의 신호 파형을 보고 판단할 수 있다.

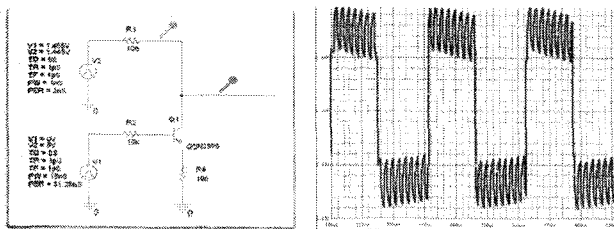
III. 제안하는 신호 복원 방법

잡음 방지 대책으로는 그 회로의 사용 용도와 주변환경 등에 의해서 상당히 많은 방법이 적용되고 있으며 전원 회로, 디지털회로, 신호 전송라인 등에서의 잡음 대책 방법을 그 특성에 따라 다르게 적용된다. 일반적인 방법으로는 회로 주변의 shield처리, 절연체로 molding 처리, 잡음 대책 부품(EMI filter)등을 사용해서 잡음을 제거하게 되며, 디지털 회로의 경우 임피던스 매칭을 하고, 차동신호 전송의 경우 커먼 모드 초크코일 등을 사용하여 잡음을 감소시킨다.[11] 본 논문에서는 VSI 케이블을 통하여 관측데이터를 고속으로 전송할 때 발생하는 데이터 손실을 최소화하기 위해 RC 필터를 사용한 방법, Microstrip line을 이용한 임피던스 매칭, Differential line driver를 이용한 신호복원 등의 3가지 방법을 제안하며, 이하에 제안방법과 이를 이용한 구현방법 등을 간략히 기술한다.

3.1 RC 필터를 이용한 잡음 제거

VSI 통신의 클럭(Clock) 신호는 32 MHz의 디지털 정현파로 출력되는데 이것을 LVDS Driver를 통해 2개의 반전된 신호로 변환되어 전송된다. 데이터가 VSI 케이블을 통해 전송되는 과정에서 클럭 신호에 더해지는 외부 전자파 노이즈를 최소화하기 위한 첫 번째 제안방법은 일반적으로 사용되고 있는 RC 필터를 적용하는 것이다. 이상적인 RC 필터의 파라미터 값을 찾기 위해서 실험에서는 32 MHz, DC 1.2V~1.4V의 전압 변화 레벨을 갖는 클럭 파형에 대해 PSpice 시뮬레이션을 통하여 결정하였다.

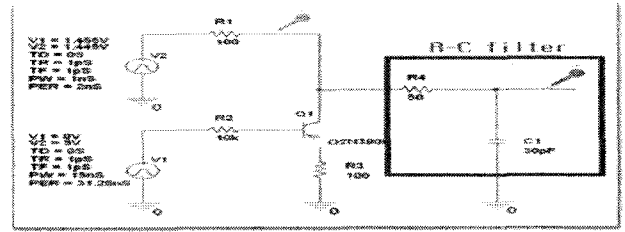
그림 5는 DC 1.3V를 중심으로 High 신호는 1.4V, Low 신호는 1.2V의 정현파에 노이즈가 포함된 가상의 클럭 파형을 발생하는 회로와 출력을 나타낸 것이다.



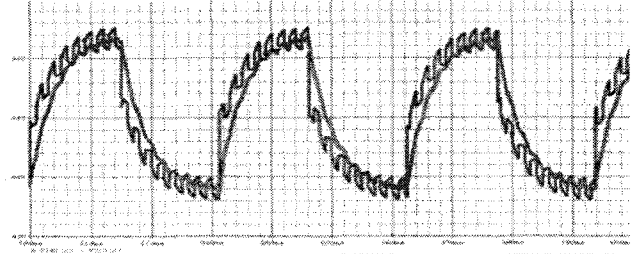
(a) Noise generation circuit. (b) Output signal(x: time, y: amplitude).
그림 5. 잡음 발생회로와 출력 파형.

Fig. 5. Noise generation circuit and its output signal.

그림 6은 그림 5의 노이즈 발생회로의 출력파형 결과를 개선하기 위해 클럭 출력단에 RC 필터를 적용한 회로와 그 출력을 나타낸 것이다. 이때 출력단에는 50Ω의 직렬 저항과 병렬로 30pF의 커패시터를 RC 필터의 파라미터로 시뮬레이션을 통하여 결정하였다. 그림 6의 시뮬레이션 결과에서 그림 5의 출력파형보다 신호의 감쇠가 적고, 신호에 포함된 노이즈 성분도 감소되는 것을 확인할 수 있었다.



(a) Noise generation circuit by adopting RC filter.



(b) Output signal(x: time, y: amplitude).

그림 6. RC 필터를 적용한 잡음 감소회로와 출력파형.
Fig. 6. Noise reduction circuit by adopting RC filter and its output signal.

그림 7은 시뮬레이션으로 얻은 RC 필터의 파라미터 값을 적용하여 구현한 테스트 보드를 나타낸 것이다.

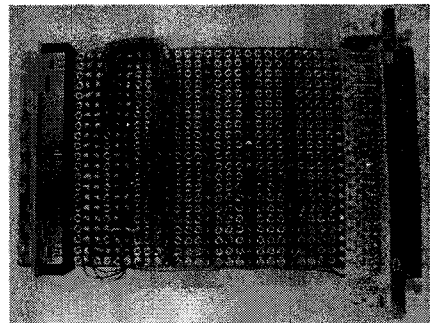


그림 7. RC 필터를 적용하여 구현한 테스트 보드.

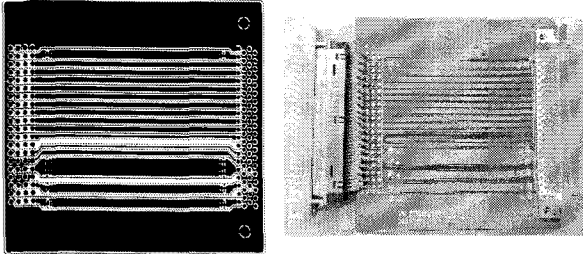
Fig. 7. The implemented test board by adopting RC filter.

3.2 50Ω Microstrip Line을 적용한 임피던스 매칭

고주파 신호를 고속으로 전송하기 위해서는 전송선로의 종단에서 임피던스 매칭을 반드시 고려하여야 한다. 고주파 대의 신호는 전송 중에 발생하는 선로의 임피던스 차에 의해 반사가 일어나며, 이것은 전송효율을 떨어뜨리는 원인이 된다. 또한, 디지털 신호의 임피던스 매칭은 아날로그 고주파 신호의 임피던스 매칭 방법인 LC lumped 소자를 이용하여 매칭하는 것과 달리 Microstrip Line과 같은 PCB 패턴의 선폭을 이용해 전송라인의 임피던스를 매칭해 주는 방법을 적용하는 것이 바람직하다. 따라서 본 논문의 두 번째 제안방법은 VSI 케이블의 입력단과 출력단에 Gender 형식의 임피던스 매칭용 PCB 보드를 설치하여 기기의 보드와 VSI 케이블간의 임피던스를 매칭해주는 방법을 제안한다. 그림 8은 제안한 방법을 적용하여 실제로 Differential 100Ω 라인으로 설계된 임피던스 매칭용 Gender 보드이다.

그림 8의 (b)는 Differential 100Ω 라인으로 제작된 임피던스 PCB 보드이며, 왼쪽은 입력, 오른쪽은 출력을 각각 나타낸다. PCB 기판의 패턴 Line에 연결된 Micro 연결단자는 신호 측정용 Test Point 단자이다.

Layer	Material	Thickness	Dielectric Constant	Loss Tangent
1	FR-4	0.127mm	4.5	0.02
2	Copper	0.035mm		
3	FR-4	0.127mm	4.5	0.02
4	Copper	0.035mm		
5	FR-4	0.127mm	4.5	0.02
6	Copper	0.035mm		
7	FR-4	0.127mm	4.5	0.02
8	Copper	0.035mm		



(a) Design drawing. (b) Impedance Gender board.

그림 8. Differential 100Ω으로 설계된 임피던스 보드.

Fig. 8. Impedance Gender board using differential 100Ω.

3.3 Differential Line Driver를 이용한 신호 복원

LVDS 신호전송의 특성상 전압레벨 변화가 작고 전류감지의 차동회로를 이용하므로 선로가 길어질수록 신호의 감쇠가 커지는 것은 분명하다. 따라서 마지막으로 VSI 케이블의 수신단에 LVDS 소자를 이용해 전송 중에 전압레벨이 감쇠된 신호를 복원(Buffer)해주는 방식을 적용하여 수신단의 기기가 정확한 신호를 입력 받을 수 있는 방법을 제안한다. 제안방법은 3.2절에서 제안한 Microstrip line의 임피던스 매칭방법이 적용된 Gender 보드와 동일한 규격을 갖는 PCB 기판을 사용하여 LVDS(수신), LVDT(송신)소자를 배치하여 LVDS 신호를 TTL 신호로 변환한 후 다시 LVDS 신호로 변환해 출력하는 방법이다. 따라서 3.2절에서 제안한 Microstrip line의 임피던스 매칭방법의 장점을 도입하였다. 그림 9는 설계한 VSI Buffer 보드 회로도이며, 그림 9에서 윗부분의 4개 IC 소자는 LVDS 신호의 수신단이며, 아랫부분의 4개 IC 소자는 TTL 신호를 LVDS 신호로 변환해주는 소자이다.

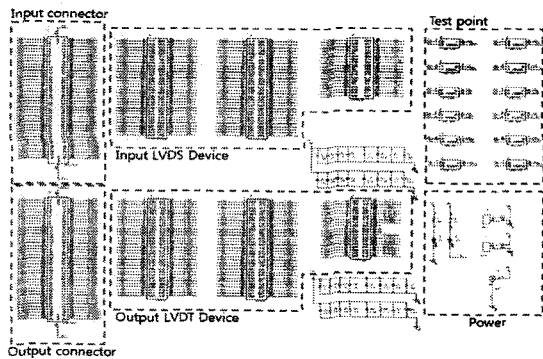


그림 9. LVDS 신호 VSI Buffer 보드 회로도.

Fig. 9. Schematic of LVDS signal VSI Buffer board.

그림 9의 설계 회로도를 바탕으로 회로를 구성하고, 3.2절의 두 번째 제안방법의 임피던스 선로(Differential 100Ω 라인)를 부가적으로 적용하여, LVDS 신호 레벨의 복원 효과와 VSI 케이블상의 임피던스 비매칭 부분을 완화하기 위한 입력과 출력단의 임피던스 라인을 삽입하여 제작하였다. 그림 10은 제안방법을 적용하여 제작한 VSI Buffer 보드를 나타낸 것이다. 왼쪽은 MDR 80핀의 데이터 입력 연결단자로서 입력된 데이터는 LVDS 신호를 Buffering 후에 오른쪽의 MDR 80핀 연결단자로 복원된 LVDS 신호가 출력된다. MDR 80핀의 연결단자와 LVDS Driver IC 사이에 연결된 배선은 Differential 100Ω 라인으로 설계하였다.

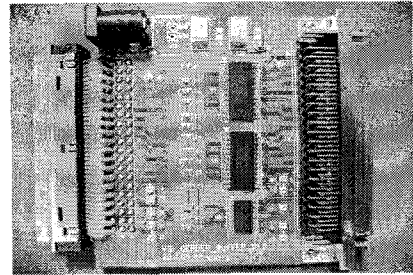
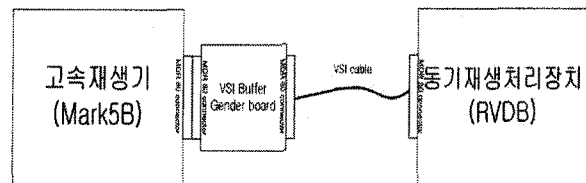


그림 10. 제작된 VSI Buffer 보드.

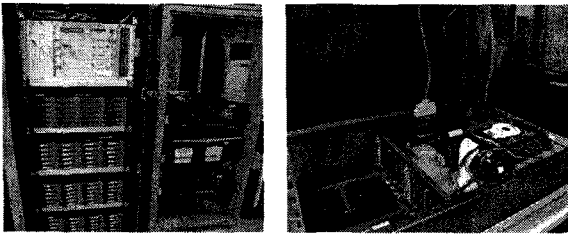
Fig. 10. Implemented VSI Buffer board.

IV. 실험 결과

고속 데이터 전송에서 발생할 수 있는 잡음 방지를 위해 제안한 본 논문의 3가지 방법의 유효성을 확인하고자 실제 VLBI 관측데이터를 이용하여 고속재생기(Mark5B)의 재생 속도가 1024 Mbps인 VSI 케이블의 데이터 전송라인에서 얼마나 잡음이 제거되는지 실험을 수행하였다. 사용된 관측 데이터는 천체로부터오는 신호를 관측한 것으로 천체의 고유한 정보를 포함하고 있다. 따라서 제안방법을 적용하여 관측데이터에 포함된 데이터 신호에서 노이즈 감소 및 데이터 손실을 보다 정확하게 확인하기 위해 관측데이터에 포함되어 1024 Mbps(32 MHz clock x 32 parallel bit-stream)의 속도를 구현하는 32 MHz 클럭신호를 대상으로 시험하였다. 그림 11(a)는 제안방법의 유효성을 확인하기 위해 구성한 시험 구성도를 나타낸 것이며, 그림 11(b)는 실제 한일상관센터의 고속재생기(Mark5B)와 동기재생처리장치(RVDB)를 나타낸 것이다. 그리고 그림 11(c)는 고속재생기(Mark5B)의 출력단에 제안방법으로 제작한 테스트 보드를 실제 장착하여 시험한 예를 나타낸 것이다.



(a) Test configuration.

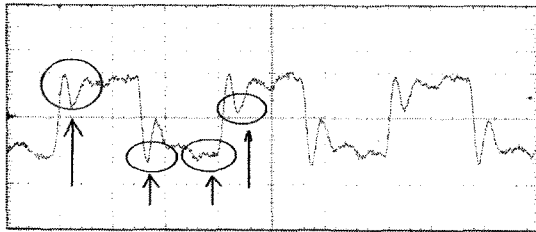


(b) RVDB and Mark5B. (c) Mark5B with buffer board.

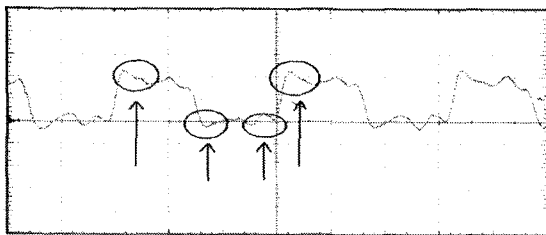
그림 11. 실험 구성도 및 실제 사용된 시스템.

Fig. 11. Experiments configuration.

먼저 첫 번째 제안방법인 RC 필터를 적용하여 제작한 보드(그림 7)를 고속재생기(Mark5B)에 장착하여 실제 관측 데이터를 재생한 후 신호라인에 포함된 노이즈가 얼마나 감소되는지를 오실로스코프로 파형을 측정하였으며, 그 결과를 그림 12에 나타내었다. 그림 12에 나타낸 것과 같이 RC 필터를 적용하기 전과 후의 결과에서 RC 필터를 적용한 경우 신호의 상승 Edge 후 발생하는 첫 번째 고조파가 상당히 감소되는 것을 확인하였으며, 신호의 하강 Edge 후 발생하는 노이즈도 약 20mV 정도 감소하는 것을 확인하였다.



(a) Before adopting RC filter(x: time, y: amplitude).



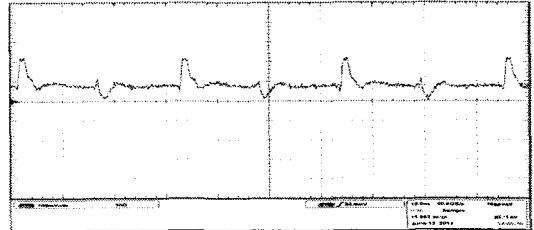
(b) After adopting RC filter(x: time, y: amplitude).

그림 12. RC 필터 적용 전(a)·후(b) 노이즈 변화.

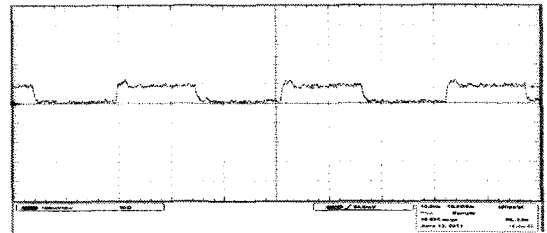
Fig. 12. Noise signal variation before(a) and after(b) adopting RC filter.

그림 13은 제안방법 2인 Microstrip line을 이용한 임피던스 매칭방법을 적용하여 제작한 테스트 보드(그림 8)를 이용하여 고속 데이터 전송 시험한 결과를 나타낸 것이다. 그림 13(a)와 같이 임피던스 매칭을 적용하기 전에는 VSI 케이블의 임피던스 차이로 인해 신호가 상당히 왜곡되는 것을 오실로스코프를 통하여 확인하였다. 그러나 임피던스 매칭을 적용한 경우 그림 13(b)와 같이 데이터 전송후의 신호전압레벨이 원신호의 약70%까지 복원되는 것을 확인하였다. 이 실험을 통하여 제안방법인 Microstrip line을 이용한 임피던스 매칭이 신호의 감쇠를 줄이는데 효과적임을 확인하였다.

그러나 신호전압레벨이 원신호의 약70%정도만 복원되는 점을 해결하기 위해 제안방법 3의 Differential line driver를 이용하여 신호를 buffering하여 복원하는 방법을 적용하였으며, 이 방법으로 제작한 보드(그림 10)를 이용하여 시험을 수행하였으며, 그 결과는 그림 14에 나타내었다. 제안방법 3인 Differential line driver를 이용한 신호복원 방법에는 제안방법 2를 적용하여 VSI Buffer 보드를 제작하였다.



(a) Before adopting Impedance matching.

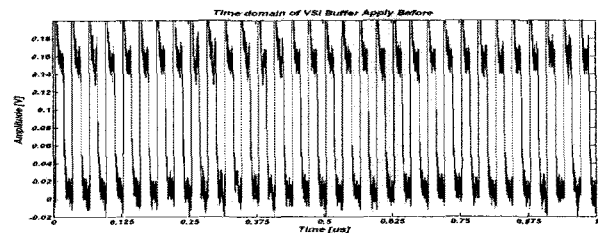


(b) After adopting Impedance matching.

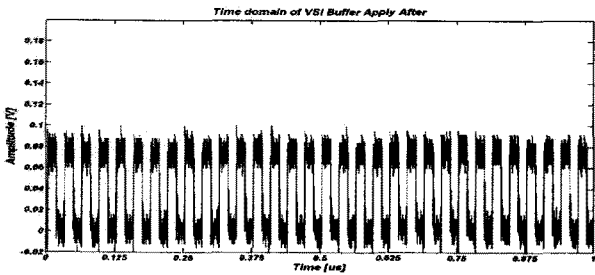
그림 13. 임피던스 매칭 적용 전(a)·후(b) 잡음 신호 변화(x: time, y: amplitude)

Fig. 13. Noise signal variation before(a) and after(b) adopting Impedance matching.

그림 14는 VSI 규격을 통한 데이터 통신에서 32 MHz 클럭 LVDS 신호를 측정된 파형으로 VSI Buffer 보드를 적용하기 전과 후의 시간영역에서 신호파형을 나타낸 것이다. 그림 14(a)의 경우 VSI Buffer 보드를 적용하기 전의 데이터 신호에 포함된 32 MHz 클럭에 고조파가 다수 포함된 것을 알 수 있다. 그리고 그림 14(b)와 같이 VSI Buffer 보드를 통과한 신호는 전송선로 상의 Termination 효과와 임피던스 매칭 효과에 의해 고조파 노이즈가 현저히 감소된 것을 확인할 수 있다. 그림 14의 결과를 실제 주파수 영역에서 고조파의 감소가 어느 정도 수행되는지 정확하게 확인하기 위해 Matlab 프로그램을 이용하여 40k-point의 FFT를 수행하였으며, 그 결과는 그림 15에 나타내었다.



(a) Before adopting VSI Buffer Gender board.

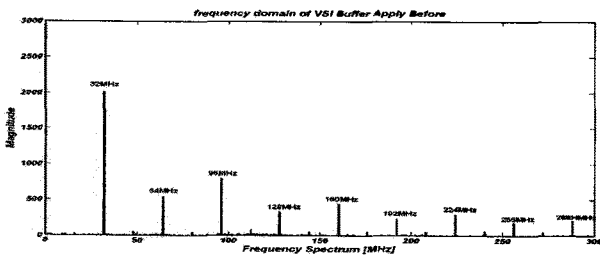


(b) After adopting VSI Buffer Gender board.
 그림 14. 시간 도메인 상의 VSI Buffer 보드 적용 전(a)·후(b) 신호 변화.

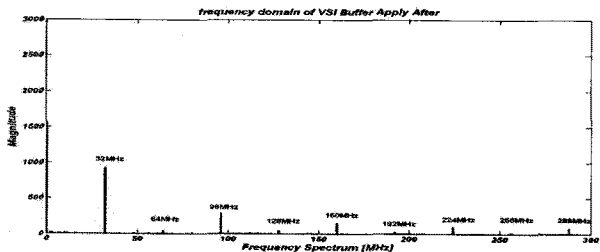
Fig. 14. Signal variation before(a) and after(b) adopting VSI Buffer Gender board at time-domain.

그림 15에 나타낸 것과 같이 주파수 영역에서 VSI Buffer 보드를 적용하기 전과 후의 결과를 보면, 기본 클럭으로 사용되는 32 MHz 신호가 가장 강하게 나타나고, 클럭 신호가 갖는 정현파의 특성상 홀수 고조파가 포함되어 있고, 기본 주파수 이외의 고조파는 VSI Buffer 보드를 적용한 경우 적용전보다 평균적으로 약50%(-6dB) 정도 감소되는 효과가 있음을 확인하였다. 또한 짝수 고조파는 거의 영향이 없을 정도로 사라지는 효과도 확인하였다.

이상의 실험결과로부터 본 논문에서 제안한 3가지 방법이 VLBI 데이터 처리 시스템에서 VSI 케이블을 통해 데이터를 고속전송할 때 발생하는 신호감쇠와 전송효율을 향상시킬 수 있음을 확인하였으며, 제안 방법들이 유효함을 확인하였다. 향후 관측데이터를 고속으로 전송할 때 제안방법을 적용한 VSI Buffer 보드를 활용할 경우 데이터 손실 등이 감소될 것으로 기대된다.



(a) Before adopting VSI Buffer board.



(b) After adopting VSI Buffer board.

그림 15. 주파수 도메인에서 VSI Buffer 보드 적용 전(a)·후(b) 신호 변화.

Fig. 15. Signal variation before(a) and after(b) adopting VSI Buffer board at frequency domain.

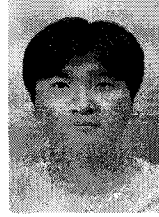
V. 결론

본 논문에서는 전파천문학 등의 VLBI 관측시스템과 데이터 처리 시스템에서 각 구성 시스템 사이의 고속 데이터 전송에 사용되는 VSI 케이블의 노이즈와 케이블 길이에 의해 신호레벨 감소에 따른 데이터 손실을 최소화하기 위해 1) RC 필터를 적용한 방법, 2) Microstrip line을 이용한 임피던스 매칭, 3) Differential Line Driver를 적용한 신호복원 방법 등을 제안하였다. 우선 VSI 통신 규격에 사용되는 LVDS 신호의 특성을 파악하고, 주변 환경에 의해 발생하는 케이블간의 노이즈를 최소화하기 위해 50Ω과 30pF의 RC 필터 파라미터를 사용하여 노이즈를 감소하였다. 그리고 Microstrip line을 이용한 임피던스 매칭방법과 Differential line driver 방법을 통하여 VSI 케이블의 임피던스 매칭용으로 Differential 100Ω Line의 임피던스 보드를 적용하여 고주파 반사에 의한 신호 감쇠를 줄이고, 기기와 동일한 LVDS 소자를 사용하여 데이터 신호를 Buffering하는 방법을 통하여 감쇠된 신호전압레벨을 동일한 조건에서 반복 실험해본 결과 평균적으로 대략 70%까지 복원하여 관측 데이터의 손실이 상당히 개선되는 것을 확인하였다. 향후에는 제안한 3가지 방법을 하나의 보드에 집적하고 최적화된 노이즈 감쇠용 Gender 보드를 제작하여 VSI 데이터를 분기할 수 있는 VSI divider를 제작할 예정이다.

참고문헌

- [1] Takeshi Okuda, Satoru Iguchi, "Performance Measurements of 8-Gbps 1-bit ADCs Developed for Wideband Radio Astronomical Observations," Publications of Astronomical Society of Japan, Vol. 60, pp. 315-325, 2008.
- [2] T. Oyama 외 7명, "The development and performance of a new 4Gbps disk recorder and eVLBI systems using a 10GbE network," 2008 General Meeting of IVS, pp. 68, 2008. 3.
- [3] Takahashi F., Kondo T., and Koyama Y., *Very Long Baseline Interferometer*, Ohmsha, pp. 35-55, 2000.
- [4] 염재환, 오세진, 노덕규, 정구영, 강용우, 정현수, 이창훈, 김광동, "초고속데이터전송 및 확인을 위한 VSI Data Checker(VDC)의 개발," 한국천문연구원 기술보고서 No.07-004-069, pp. 1-28. 2007.
- [5] 김봉규 외 20명, "2008년도 한국우주전파관측망 구축사업 결과보고서," 한국천문연구원, pp. 45-80, 2009.
- [6] 노덕규 외 15명, "2008년도 한일공동VLBI상관기 및 수신기 개발 결과보고서," 한국천문연구원, pp. 3-5, 2008.
- [7] VLBI Standard Interface specification, <http://vlbi.org/vsi/>
- [8] Fairchild Semiconductor Corporation MS500503, "LVDS Description and Family Characteristics," Data Sheet, pp. 1-2, 2000.

- [9] A. R. Whitney, "Mark 5 Disc-based Gbps VLBI Data System," Proc. of the 6th European VLBI Network Symposium, pp. 41-44. 2002.
- [10] 오세진, 노덕규, 염재환, 정현수, 이창훈, Hideyuki Kobayashi, Noriyuki Kawaguchi, Kazuyuki Kawakami, "VLBI상관서비스시스템 시작품의 개발에 관한 연구," 천문학회논문, 제24권, pp. 1-17. 2009.
- [11] 박선호 편저, "EMC/EMI 대책부품의 적용 실무 전자회로의 노이즈 대책 기술", 국제테크노 정보연구소, pp.159-189, 2008.



오 충 식(ChungSik Oh)

2002년 2월 서울대 천문학과(이학사)
 2006년 3월 동경대 천문학과(이학석사)
 2009년 3월 동경대 천문학과(이학박사)
 2009년 4월-2010년 11월 한국천문연구원 박사후연수원
 2010년 12월 - 현재 한국천문연구원 선임연구원
 ※주관심분야 : 전파천문, VLBI상관처리



손 도 선(Do-Sun Son)

2008년 2월 경남대 전자공학과(공학사)
 2010년 2월 경남대 전자공학과(공학석사)
 2011년 1월 ~ 현재 한국천문연구원 연구원
 ※주관심분야 : FPGA 설계, 천문관측기기 개발



오 세 진(Se-Jin Oh)

正會員

1996년 2월 영남대 전자공학과(공학사)
 1998년 2월 영남대 전자공학과(공학석사)
 2002년 2월 영남대 전자공학과(공학박사)
 2001년 9월 ~ 2002년 12월 대구과학대학 전임강사
 2002년 12월 ~ 현재 한국천문연구원 선임연구원
 2010년 6월 ~ 2011년 5월 한국천문연구원 그룹장
 ※주관심분야 : 디지털신호처리, 천문관측기기개발



염 재 환(Jae-Hwan Yeom)

2005년 8월 한양대 정밀기계공(공학석사)
 2005년 10월 ~ 현재 한국천문연구원 선임연구원
 ※주관심분야 : 디지털신호처리, DSP & FPGA
 응용



노 덕 규(Duk-Gyoo Roh)

1985년 2월 서울대 천문학과(이학사)
 1994년 8월 동경대 천문학과(이학석사)
 1997년 8월 동경대 천문학과(박사수료)
 1985년 4월 ~ 현재 한국천문연구원 책임연구원
 2005년 11월 ~ 2009년 3월 한국천문연구원 그룹장
 ※주관심분야 : 전파천문, VLBI상관처리



정 진 승(JinSeung Jung)

2008년 2월 경남대 전자공학과(공학사)
 2010년 2월 경남대 전자공학과(공학석사)
 2010년 8월 ~ 현재 한국천문연구원 연구원
 ※주관심분야 : 디지털신호처리, FPGA 설계,
 천문관측기기 개발