

대전상관기에서 복층패턴 문제의 해결에 관한 연구

A Study on Solving of Double-layer Pattern Problem in Daejeon Correlator

오세진*, 노덕규*, 염재환*, 정동규*, 오충식*, 황주연*

Se-Jin Oh*, Duk-Gyoo Roh*, Jae-Hwan Yeom*, Dong-Kyu Chung*, Chung-Sik Oh*, Ju-Yeon Hwang*

요약

본 논문에서는 한일상관센터에서 운영하고 있는 대전상관기의 복층패턴에 대한 원인과 문제 해결에 대해 기술한다. 대전상관기의 상관결과에서 입력신호의 전력파워가 잡음에 묻힐 정도로 작은 경우에는 잘 보이지 않지만, 전력파워가 큰 경우 입력신호에 특정한 패턴을 가진 신호가 출현하는 문제가 보고되었다. 이는 관측데이터의 상관결과와 소프트웨어 상관기와 비교하여 AIPS 소프트웨어에서 분석할 때 관측결과와 천체신호 진폭이득에는 3% 정도의 영향을 미치고 있음이 확인되었다. 따라서 복층패턴의 문제를 해결하기 위해 주기적으로 발견되는 복층패턴의 원인으로 상관기의 데이터 입력과 직렬화를 담당하는 모듈에서 메모리 관리 영역에 문제가 있음을 발견하였다. 즉, 직렬화 모듈에서 데이터를 직렬화할 때 할당된 각 메모리 영역의 데이터가 반복적으로 읽혀져 직렬화되면서 중복된 데이터가 마지막으로 할당된 메모리의 데이터와 중첩이 되면서 발생하는 것이다. 따라서 직렬화 모듈의 메모리 관련 영역의 FPGA 프로그램을 수정하여 문제를 해결하여, 정상적인 상관결과가 출력되는 것을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper describes the reason and the problem solving for the double-layer pattern of a Daejeon correlator operated in Korea-Japan Correlation Center. When the electric power of an input signal in the correlator is charged small enough to be buried in the noise, it is hard to see a signal with a specific pattern in the input signal, but when the electric power is large, a specific one is reported to be seen. By comparing data from observation with one from software correlator, it was confirmed from the analysis using the AIPS software that the amplitude gain of a source signal was affected about 3%. Therefore, in order to solve the problem of double-layer patterns, we found that a problem in the memory management module responsible for both the data input and the data serialization of the correlator is a cause for the double-layer pattern detected periodically. In other words, while data is serialized and read repeatedly in the memory area assigned to serialize the data from the serialization module, redundant last data is generated and an overlap for the memory allocation is occurred. Therefore, by modifying the program of the FPGA memory sections on serialization module to correct the problem, we confirmed that double-layer pattern is disappeared and correlation results are normally acquired.

Keywords : *Double-layer Pattern, Data Serialize Memory Map, Daejeon Correlator*

1. 서론

대전상관기는 한국천문연구원에서 2006년부터 일본국립천문대와 공동으로 개발을 시작하여 2008년에 개발을 완료하였으며, 현장시험과 조정작업을 통하여 KaVA(KVN and VERA Array)로 관측한 VLBI(Very Long Baseline Interferometry) 데이터에 대해 현재 과학연구용 데이터 처리에 활용하고 있다[1][2]. VLBI에서 상관기는 여러 전파망

원경으로 동시에 관측한 천체의 신호에 대해 각 전파망원경에서의 정확한 지연시간과 지연시간 변화율을 측정하고 천문학자들이 VLBI로 관측한 천체를 분석할 수 있도록 데이터 처리를 수행하는 장치이다. 즉, 여러 전파망원경으로 관측한 천체의 초점을 잡아주는 장치이다[3][4].

대전상관기의 성능조정 작업과 연구관측에 대한 데이터 처리가 완료된 후 AIPS(Astronomical Image Processing System)¹⁾를 이용하여 데이터 분석을 수행하는 과정에서 관측데이터에서 주기적으로 복층 패턴이 발견되고 있는 것이 확인되었다.

* 한국천문연구원

투고 일자 : 2015.8.2

수정완료일자 : 2015.10.29

게재확정일자 : 2015.11.8

1) <http://www.aips.nrao.edu>

천체로부터 지구의 전파망원경에 도달하는 전파신호는 매우 작은 신호가 대부분이다. 그러나 퀘이사(Quasar) 또는 폭발하는 현상을 갖고 있는 천체의 경우 매우 강한 전파신호를 방출하고 있는 경우도 있다. 따라서 매우 약한 천체의 전파신호에서는 주변 잡음에 묻혀서 대전상관기로 데이터 처리한 후 복층패턴이 발견되지 않았으나, 강한 전파신호의 천체에서는 주기적인 신호를 갖는 패턴을 발견하게 되었다. VLBI 시험관측을 통하여 대전상관기로 데이터 처리한 것과 소프트웨어 상관기인 DiFX[5]로 처리한 것을 비교 분석한 결과 이 복층패턴의 영향은 천체신호 진폭이득에서 약 3% 정도의 데이터 손실이 있는 것을 확인하였다 [6].

따라서 이 문제를 해결하여 관측데이터의 상관처리결과에 대한 진폭이득을 높이기 위해 본 논문에서는 대전상관기에서 발생하고 있는 복층 패턴의 원인을 파악하고 그 해결에 대해 기술하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II 장에서는 대전상관기에서의 데이터 입력부분과 데이터 복층 패턴의 원인에 대해 살펴보고, III 장에서는 복층 패턴의 해결방법에 대해 논의하며, IV 장에서는 실험결과에 대해 고찰한 후, 마지막으로 V 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 데이터 복층 패턴의 원인과 해결

2.1 대전상관기의 데이터 입력부분 구성

한일상관센터에서 운영하고 있는 대전상관기의 구성은 그림 1과 같다. 전체 시스템은 KVN의 HDD 미디어와 VERA의 Tape 미디어에 대응하는 고속재생기와 HDD와 Tape 사이의 속도문제와 데이터 형식 변환 등에 대응하기 위한 재생동기처리시스템(Raw VLBI Data Buffer, RVDB)[7], 상관처리를 수행하는 VLBI상관서브시스템(VLBI Correlation Subsystem, VCS), 상관결과를 고속으로 저장하고 특정 파일 시스템으로 저장하는 데이터 아카이브 시스템(Peta-scale Epoch Data Archive; PED A), 전체 상관 시스템의 제어 및 운용을 위한 소프트웨어 부분으로 구성된다.

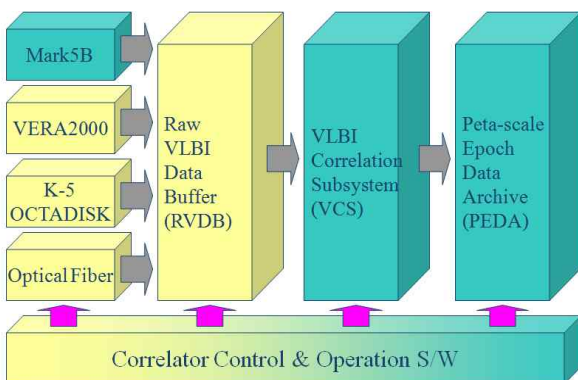


그림 1. 대전상관기의 구성

Fig. 1. Configuration of Daejeon correlator

그림 1의 대전상관기에서 핵심부분인 VCS로의 데이터 입력 부분을 보다 자세히 나타내면 그림 2와 같다. 그림 2는 안테나 유닛, 패치 패널, 상관유닛으로 구성된다. 그림 2에 나타난 것과 같이 데이터 입력 부분인 안테나 유닛은 데이터 승인(Data Accept), 지연제어(Delay Control), FFT를 수행하는 모듈로 구성된다.

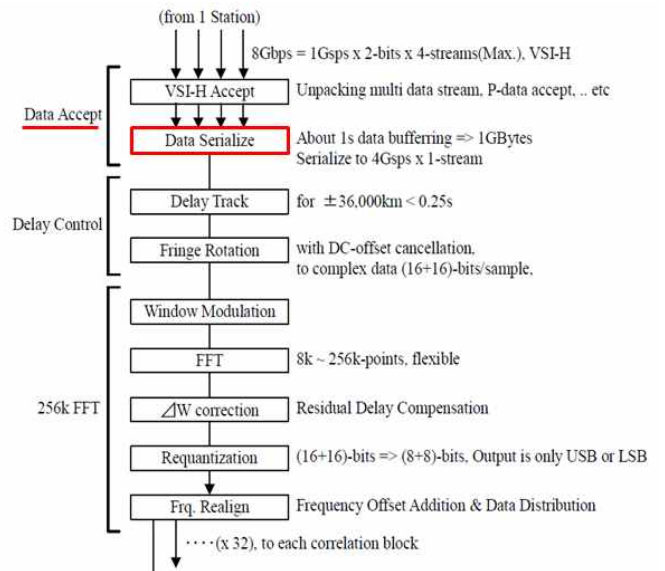


그림 2. VCS 블록도

Fig. 2. Block diagram of VCS

2.2 복층 패턴의 원인

본 논문의 서론에서도 기술한 것과 같이 VCS의 출력에서 상관결과의 진폭(Amplitude)이 상황에 따라 2개의 층으로 출력되는 문제가 있다. 복층 패턴의 주요 발생원인은 그림 2에 나타난 것과 같이 여러 개의 채널을 병렬 기록한 경우, 데이터 승인(Data Accept) 블록의 데이터 직렬화(Data Serialize) 부분에서 각 채널의 스트림을 직렬화 시키는 곳에서 FPGA 내부의 메모리 관리 부분에 문제가 있음을 확인하였다.

데이터 직렬화는 매 샘플링 클럭 단위로 VCS의 안테나 유닛 VSI 입력포트를 통하여 병렬로 들어오는 관측데이터를 사용된 관측모드에 따라 포트 및 스트림 별로 정렬하여 직렬화하는 작업이다. 사용되는 데이터 제어 버퍼(Data control buffer)는 2GB 용량을 갖는 메모리이며, 관측모드별 메모리 매핑은 그림 3과 같다.

데이터 직렬화 모듈에서 직렬화되는 크기는 시간으로 409.6ms이며 출력 속도에 따라 달라진다. 만약 데이터 스트림 별로 가장 빠른 출력 속도가 직렬화 후에 6.4ms/stream 이므로 스트림의 경계와 지속시간에 대해 6.4ms의 경계값을 맞추는 필요가 있다. 즉, 409.6ms는 16streams(max) x 4ports x 6.4ms임을 알 수 있다. 그림 3에서 나타난 것과 같이 409.6ms 분량의 각 입력 병렬 데이터가 2GB 메모리인 데이터 제어 버퍼에서 각 포트별로 직렬화되며, 각 포

트에는 스트림(Stream)의 개수만큼의 데이터가 존재한다. 그리고 2GB 메모리의 데이터 제어 버퍼는 각 포트당 512MB 4개로 구성된다. 각 포트별로 상관모드에 따라 각 스트림에 할당되는 메모리 맵도 그림 3에 나타내었다.

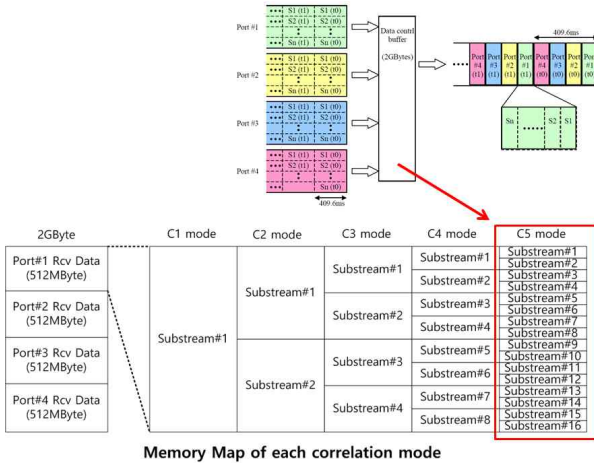
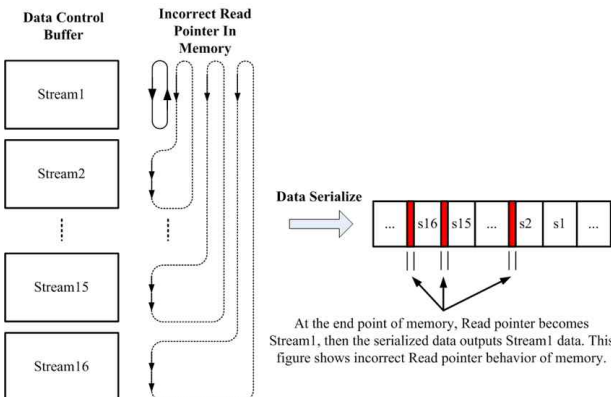
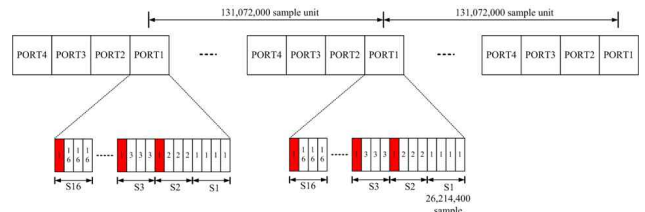


그림 3. 데이터 직렬화 방법 - 각 모드별 버퍼 구성
Fig. 3. Data serialize method - Buffer configuration according to each mode

VCS 안테나 유닛에는 프로그래밍을 통한 FPGA 펌웨어(Firmware)로 데이터 직렬화가 구현되어 있다. FPGA에서 메모리상의 읽기 포인터(Read pointer) 조작 부분에서 각 스트림의 선두를 가리켜야 할 순간에 첫 스트림의 선두를 가리키는 코딩으로 인하여, 1번 스트림 이외의 모든 스트림의 선두에 1번 스트림의 데이터가 들어가는 비정상적인 상황이 발생하게 되었다. 따라서 1번 스트림에 비해 입력 파워 차이가 큰 스트림에서는 혼입된 1번 스트림의 데이터의 영향으로 상관출력에서 주기적으로 다른 파워가 출력되어 복층패턴으로 나타나게 된 것이다. 그림 4는 16 스트림 구조를 갖는 C5 상관모드에서의 복층 패턴의 원인을 나타낸 것이다.



(a) Read pointer error

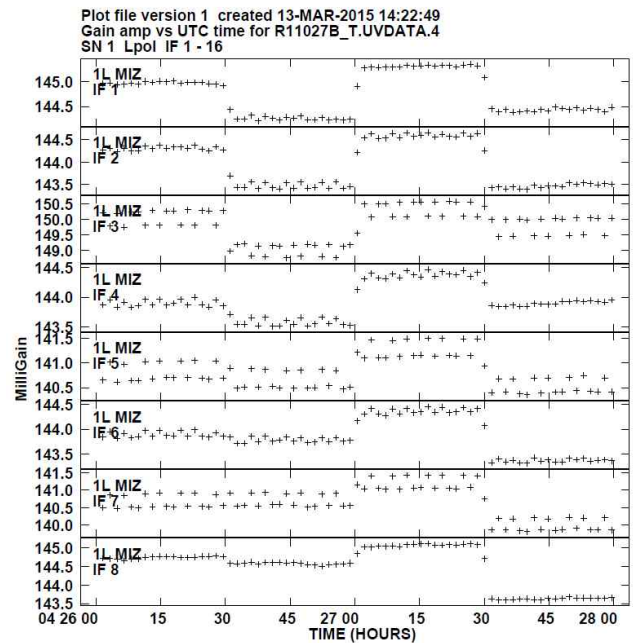


(b) Sample number per each stream in C5 correlation mode

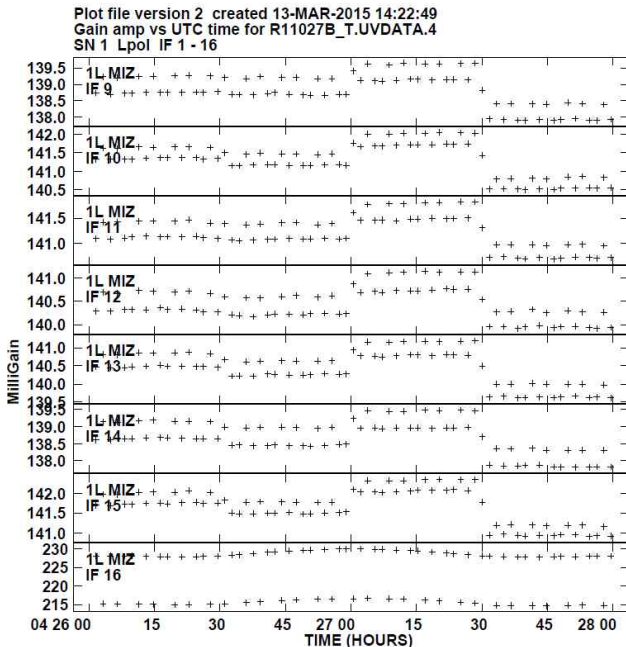
그림 4. 기존 펌웨어의 데이터 직렬화 방법 (오류)
Fig. 4. Data serialize method of original firmware(Error)

그림 4(b)에 나타난 것과 같이 메모리 읽기 오류에 따라서 스트림 1을 출력하게 되는 최대 샘플 수는 약 6.4Msample이다. 그림 4(b)에서 데이터 직렬화의 메모리 읽기 오류는 입력 파워의 차이와 각 스트림의 지연설정이 다른 경우 메모리 읽기 오류 장소가 변한다.

그림 5는 그림 4에 나타난 데이터 직렬화의 메모리 읽기 오류를 가진 펌웨어로 상관처리를 수행한 결과이다. 그림 5에는 모두 16개의 스트림을 나타내었으며, 스트림 1, 2, 4, 6, 8을 제외한 나머지 스트림들에서 특정 패턴을 갖는 복층패턴을 나타나고 있는 것을 알 수 있다. 복층패턴이 나타나지 않은 스트림은 복층패턴이 나타나는 스트림에 비해 상대적으로 입력 파워가 낮아서 잡음에 숨겨져 있는 경우로 사료된다. 스트림 별로 입력 파워에 차이가 나는 것은 관측대역을 디지털 필터링을 통하여 16개 대역으로 분할하였기 때문이다. 따라서 상대적으로 강한 입력 파워인 경우 복층패턴이 구분되는 것을 확인할 수 있다.



(a) Stream 1 to 8



(b) Stream 9 to 16

그림 5. 데이터 직렬화 메모리 조작 오류에 따른 상관결과
Fig. 5. Correlation result according to the memory reading pointer error of data serialize

III. 복층패턴 문제 해결 및 시험

3.1 복층패턴의 해결

II 장에서 소개한 복층패턴의 문제에 대해 VCS 안테나 유닛에 입력되는 관측데이터의 스트림 별 입력 파워를 우선 조사하였다. 그림 6은 VCS 안테나 유닛에서 스트림 별 입력 파워의 예를 나타낸 것이다. 입력 스트림 별 파워가 다른 것은 512 MHz 관측대역에 대해 디지털 필터를 통하여 256 MHz 대역을 추출한다. 상관모드 C5(16MHz BW x 16streams)인 경우 256 MHz 대역을 다시 16개의 대역으로 분할하여 필터링을 하기 때문에 16개 대역중 시작 부분과 끝 부분은 입력 파워가 다른 관측대역에 비하여 상대적으로 낮은 것이다. 관측 천체 중에 퀘이사와 같이 천체가 세기가 큰 경우 앞에서 설명한 관측 대역별 시작과 끝의 경우가 상대적으로 입력 파워가 낮으나 대부분의 천체는 매우 미약한 신호이므로 입력 파워가 앞에서 설명한 것과 같은 구성을 갖지는 않는다. 그림 6의 경우도 입력 파워가 스트림 별로 시작과 끝이 낮은 구성은 보이지 않는다.

그림 6에 나타난 것과 같이 입력 데이터를 조사한 결과 특정 패턴이 스트림 별로 출력되고 있는 것을 알 수 있다. 이 특정 패턴은 상관적분시간에 따라서 패턴이 달라지는 것이 실험으로 확인하였다. 따라서 상관적분시간과 관련이 있는 메모리 관리 부분에 문제가 있을 것으로 판단되어 제작사와 협의하여 상관데이터를 입력부분에서 각 모듈별로 메모리 관리 영역을 조사하였으며, VCS를 구성하는 각 시

스템의 구현이 정확히 수행되었는지도 함께 조사하였다. 특히 FPGA의 회로설계 부분 중에 메모리 관리 부분을 중심으로 코딩 오류 확인과 FPGA 코딩 결과를 확인하는 스크립트를 통하여 하나씩 수행하였다.

VCS 안테나 유닛의 데이터 직렬화 모듈에서 메모리의 읽기 포인터 조작시 존재하였던 코딩 오류를 수정하여, 설계 위치대로 각 스트림의 선두를 정확히 가리키도록 변경하고, 새 버전의 펌웨어로 업그레이드하여 문제를 해결하였으며, 실험을 통하여 확인하였다.

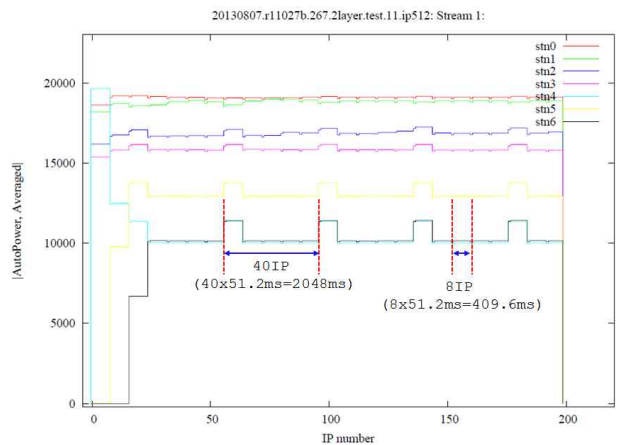


그림 6. VCS 안테나 유닛의 스트림 별 입력 파워 예
Fig. 6. Example of input power according to the stream of VCS antenna unit

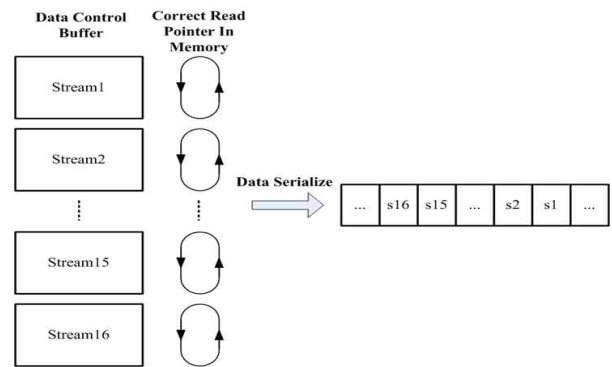
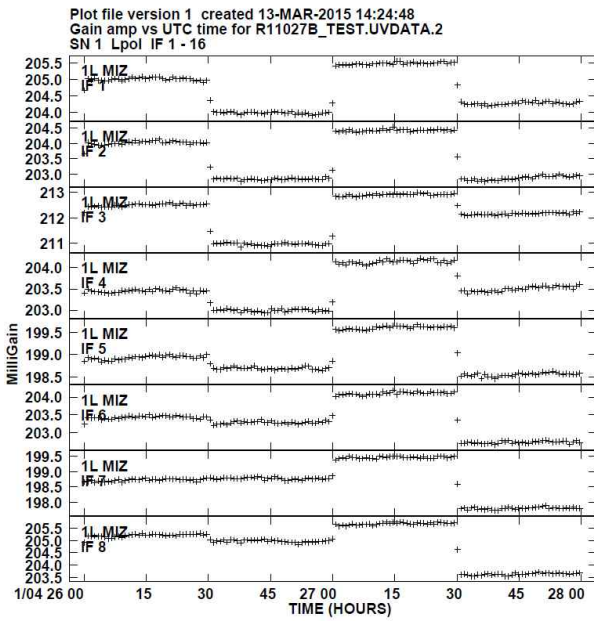


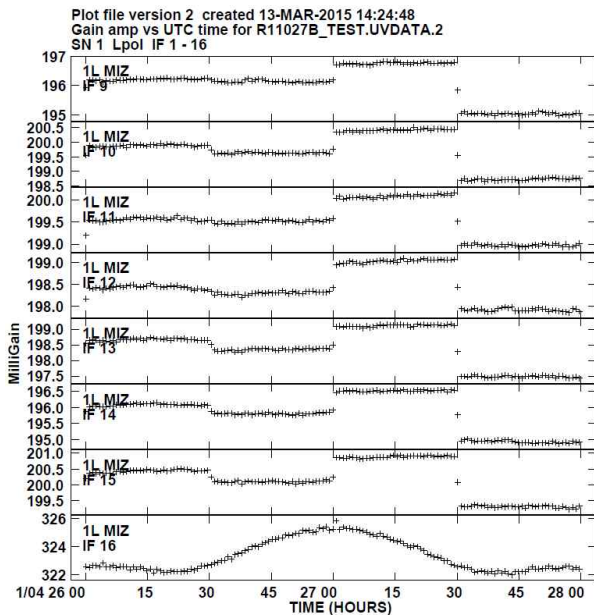
그림 7. 데이터 직렬화에서 수정된 메모리 읽기 포인터
Fig. 7. Modified memory read pointer in data serialize method

3.2 복층패턴 해결 후 시험결과

3.1절에서 기술한 것과 같이 VCS에서 나타난 복층패턴의 원인인 데이터 직렬화 메모리 읽기 포인터 오류를 해결한 후 시스템의 정상적인 동작여부를 확인하기 위해 관측시험 데이터를 대상으로 상관처리를 수행하였으며, 그 결과를 그림 8에 나타내었다.



(a) Stream 1 to 8



(b) Stream 9 to 16

그림 8. 데이터 직렬화 메모리 조작 오류를 해결한 후의 상관시험결과

Fig. 8. Correlation test result after correction of memory reading pointer error in data serialize

그림 8은 VCS 안테나 유닛의 데이터 직렬화 모듈에서 메모리 조작 오류인 읽기 포인터 오류를 수정한 후 상관시험 결과를 나타낸 것이다. 그림 5의 메모리 조작 오류가 있는 경우와 비교하여 각 스트림에 나타나던 복층 패턴이 사라진 것을 확인할 수 있으며, 전체적으로 이득 진폭(Gain amplitude)은 메모리 오류 전보다 약 40~100 정도 이상 상승

하는 것을 확인할 수 있다.

이상의 시험결과를 통하여 대전상관기의 VCS에서 발생한 복층패턴의 원인이 된 데이터 직렬화 메모리 읽기 포인터 오류가 해결되어 VLBI 관측데이터에 대해 소프트웨어 상관기와 비교결과에 대해 3% 정도의 천체신호 진폭이득 감소에 대한 영향이 해결된 것으로 판단된다.

IV. 결론

본 논문에서는 대전상관기의 복층패턴에 대한 원인과 해결에 대해 기술하였다. 대전상관기의 상관결과에서 입력신호의 전력파워가 잡음에 묻힐 정도로 작은 경우에는 잘 보이지 않지만, 전력파워가 큰 경우 입력 신호에 특정한 패턴을 가진 신호가 출현하는 문제가 발생되었다. 이는 관측 데이터를 상관결과를 비교하기 위해 소프트웨어 상관기로 처리한 결과와 비교하여 3% 정도의 이득 감소가 있음을 확인하였다. 따라서 복층패턴의 문제를 해결하기 위해 주기적으로 발견되는 복층패턴의 원인을 조사한 결과 상관기의 데이터 입력과 직렬화를 담당하는 모듈에서 메모리 관리 영역에 문제가 있음을 확인하였다. 이는 데이터를 직렬화할 때 할당된 각 메모리 영역의 데이터가 반복적으로 읽혀져 직렬화되면서 중복된 데이터가 마지막으로 할당된 메모리의 데이터와 중첩이 되면서 발생하는 것이다. 따라서 직렬화 모듈의 메모리 관련 영역의 FPGA 프로그램을 수정하였으며, 상관시험을 통하여 복층패턴이 사라진 것을 확인하여, 대전상관기의 상관결과에 대한 신뢰도 향상에 기여한 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 노덕규, 오세진, 염재환 외 15명, “2008년도 한일공동 VLBI상관기 및 수신기 개발 결과보고서,” 한국천문연구원, pp. 3-100, 2008.
- [2] 오세진, 노덕규, 염재환 외 6명, “VLBI상관서비스시스템 본제품의 제작현장 성능시험,” 신호처리시스템학회 논문지 제12권, 제4호, pp. 322-331, 2011.
- [3] Takahashi F., Kondo T., and Koyama Y., *Very Long Baseline Interferometer*, Ohmsha, pp. 35-55. 2000.
- [4] Thompson, A. R., Moran, J. M., and Swenson, G. W.Jr., *Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy*, 2nd Ed., (New York:John Wiley & Sons), pp. 289, 2001.
- [5] Deller, A. T., Brisken, W. F., Phillips, C. J., et al., DiFX-2: A More Flexible, Efficient, Robust, and Powerful Software Correlator, PASP, Vol. 123, pp. 275, 2011.
- [6] Sang-Sung Lee, Chungsik Oh, Duk-Gyoo Roh, Se-Jin Oh et al., “New Hardware Correlator in Korea: Performance Evaluation using KVN observations,” *Journal of the Korea Astronomical Society*, Vol. 48, pp.

1~13, 2015 April.
 [7] T. Oyama et al., "The development and performance of a new 4Gbps disk recorder and eVLBI systems using a 10GbE network," 2008 General Meeting of IVS, 2008. 3.



황 주 연(Ju-Yeon Hwang)

2006년 2월 전남대 자원공학과(공학사)
 2014년 ~ 현재 한국천문연구원 연구원
 ※주관심분야 : VLBI상관처리,
 천문관측기기 개발



오 세 진(Se-Jin Oh)

正會員
 1996년 2월 영남대 전자공학과(학사)
 1998년 2월 영남대 전자공학과(석사)
 2002년 2월 영남대 전자공학과(박사)
 2001년 9월~2002년 12월 대구과학대학 교수
 2010년 6월~2011년 5월 한국천문연구원 그룹장

2002년 12월 ~ 2014년 12월 한국천문연구원 선임연구원
 2015년 1월 ~ 현재 한국천문연구원 책임연구원
 ※주관심분야 : 디지털신호처리, VLBI상관기 개발,
 천문관측기기개발



노 덕 규(Duk-Gyoo Roh)

正會員
 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, VLBI상관기 개발



염 재 환(Jae-Hwan Yeom)

正會員
 2005년 8월 한양대 정밀기계공(석사)
 2005년~현재 한국천문연구원 선임연구원

※주관심분야 : 디지털신호처리, VLBI상관기
 개발



정 동 규(Dong-Kyu Jung)

2004년 8월 충남대 천문학과(이학사)
 2006년 8월 충남대 천문학과(석사수료)
 2012년 1월 ~ 현재 한국천문연구원 연구원
 ※주관심분야 : VLBI상관처리, 천문관측기기
 개발



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
 박사후 연수원

2010년 12월 - 현재 한국천문연구원 선임연구원
 ※주관심분야 : 전파천문, Astrometry, VLBI상관처리