

논문 2004-41SC-2-5

전파천문관측용 400MHz 광-대역 상관기 보드의 설계 및 제작

(Development of 400MHz Wide-Band Correlation Board for Radio Astronomy Spectrometer)

이 창 훈*, 최 한 규**, 김 광 동*, 구 본 철***, 변 도 영***, 한 석 태*, 김 태 성*

(Chang-hoon Lee, Han-Kyu Choi, Kwang-Dong Kim, Bon-Chul Koo, Do-Young Byun, Seog-Tae Han, and Tae-Sung Kim)

요 약

본 논문에서는 전파천문 분야에서 특이한 전파원의 서베이 연구나, 외부은하의 스펙트럼 선 관측연구에 필요한 자기상관분광기 형태의 광-대역 전파분광기 제작에 있어서 가장 핵심적인 역할을 하는 상관기 보드를 설계, 제작하였다. 본 연구에서는 미국 국립천문대(NRAO)에서 개발된 QUIANT 상관기 칩을 사용하여 최대 100 MHz의 동작 속도로 최대 400 MHz 대역폭을 갖는 중간주파수 신호를 분광할 수 있는 상관기 보드를 설계, 제작하였다. 제작된 상관기 보드의 성능시험을 위해 1.67 MHz와 0.5 MHz의 구형파를 인가하여 자기상관계수를 구하고, FFT를 취한결과 이론적인 상관결과와 거의 같은 결과를 얻었다.

Abstract

In this paper, we performed the design and the development of the wide-band correlation board to be an important role in the autocorrelation spectrometer's building for the observation study of an extra-galaxy's spectral lines and the survey research of the special radio sources in field of the radio astronomy. In this research, the developed correlation board by using QUIANT correlator chip(made by NRAO) has maximum 100 MHz clock speed and operate at a intermediate frequency with 400 MHz bandwidth. For the performance test we supply the 0.5 and 1.67 MHz rectangular wave, then we obtain the autocorrelation coefficients. The final results, which process by using FFT, get the almost same results compare with the theoretical correlation.

Keywords : Autocorrelation, Spectrometer, Radio Astronomy, QUIANT Correlator chip, Autocorrelation coefficients, FFT, Wide-bandwidth

I. 서 론

밀리미터파 대역의 우주전파 관측연구를 위한 전파망원경 시스템은 안테나, 수신기, 전파분광기, 및 컴퓨터

시스템으로 구성된다. L-밴드 대역의 중간주파수 신호를 분광하는 분광기 시스템은 수 MHz 미만의 저 분해능 분광에 사용되는 필터뱅크와 수 십 kHz의 고 분해능에 사용되는 상관기 시스템이 주로 사용되어 왔다^[1]. 필터뱅크 형태의 분광기는 온도에 따른 수동소자의 특성변화와 유지보수가 어렵다. 따라서 이러한 단점을 해결하기위해서 고속 논리회로 사용과 고속 샘플러 및 이에 적용되는 상관기 칩 등을 이용한 상관기 형태의 광-대역을 커버하는 분광기 시스템 연구개발이 활발하게 되고 있다^[2].

이러한 전파분광기의 개발 추세에 따라서 대덕전파천

* 정회원, 한국천문연구원 대덕전파천문대
(Korea Astronomy Observatory / Taeduk Radio Astronomy Observatory)

** 정회원, 큐백스 주식회사
(CubeX Co. Ltd.)

*** 학생회원, 서울대학교 천문학과
(Dept. of Astronomy, Seoul National University)

접수일자: 2003년8월10일, 수정완료일: 2004년3월2일

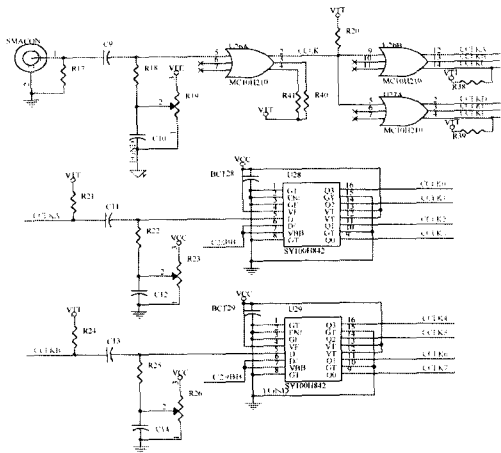


그림 3. 설계된 클럭 분배기 회로.
Fig. 3. The Designed Clock Distributor Circuit.

1. 클럭 분배기의 설계

광-대역 상관기 모듈은 SMA 커넥터를 통하여 10 dBm의 정현파를 클럭 신호로 인가 받는다. 입력된 정현파 신호는 클럭 분배기에서 ECL 레벨로 변환된 후, 1:4로 팬 아웃 되어진다. 또한 전체 모듈을 동기적으로 동작시키기 위해 최대 0.5 ns의 Time Skew를 가진 8개의 TTL 레벨의 클럭 신호와 2개의 ECL 레벨 클럭 신호로 복사되어진다. 다음의 그림 3에서 설계되어진 클럭 분배기의 회로도를 보였다. 여기에서 CCLKA와 CCLKB는 PECL-TO-TTL 변환기 SY100H842에 의해 TTL레벨로 변환된 후, 1:4로 팬 아웃되어 총 8개의 "QUAINT" 칩에 동기된 클럭 신호를 공급한다. 또한 Dual 3-Input 3-Output OR Gate MC10H210을 사용해서 데이터 입출력 버퍼 등에서 사용될 CCLKA, CCLKB, CCLKC, CCLKD, CCLKF의 클럭 신호를 발생하도록 하였다.

2. 상관기 배열의 설계

앞서 서론에서 언급했다시피 광-대역 상관기의 구성은 본 논문에서 다루고 있는 광-대역 상관기 모듈이외에 다양한 모듈들로 구성되어진다. 광-대역 상관기 개발의 최종 목표는 400 MHz의 실시간 신호 처리 대역폭을 갖는 시스템이며 이를 위해 병렬 분산 처리 기법과 환형 메모리 버퍼 기법을 사용하고 있다. 즉, 400 MHz의 신호 대역폭에 해당되는 시스템 동작 속도는 샘플링 정리에 따라 800 MHz이나, 자기 상관 계수를 계산하는 "QUAINT" 칩의 경우 최대 동작 속도가 100 MHz로 제한되어 있으므로, 병렬 분산 처리 방식에 의해 800 MHz의 신호를 실시간으로 처리하기 위해서는 8x8 행렬의

8192 Ch W-Corr Board Block Diagram

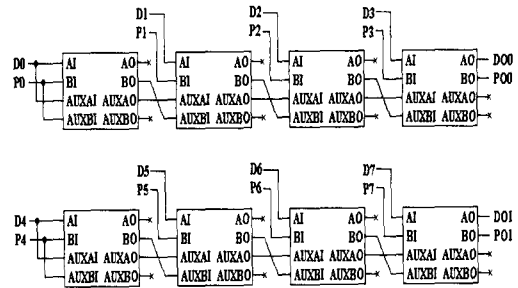


그림 4. "QUAINT"칩 배열 구성 블록선도.
Fig. 4. The Block Diagram of QUAINT Chip's Array Configuration.

"QUAINT"칩 배열이 필요하다. 그러나 여기에 환형 메모리 버퍼 기법을 도입하면, 8x1 행렬의 "QUAINT"칩 배열만으로 입력 신호의 손실 없이 800 MHz 신호를 실시간으로 처리할 수 있게 된다. 따라서 본 논문에서 다루고 있는 광-대역 상관기 모듈에는 8x1 행렬로 "QUAINT"칩 배열이 구성되어져 있다. 다음의 그림 4에 설계되어진 "QUAINT"칩 배열 구성의 블록선도를 보였다.

위의 그림에서 보듯이 "QUAINT"칩은 실제로는 두 개의 4x1 행렬로 구성되어 있다. 이는 단순히 데이터의 입력을 편리하게 하기 위한 것이다. 또한 종속으로 연결되어지는 배선의 길이를 줄임으로써 외부 잡음의 유입 및 간섭을 최소화하기 위한 목적을 가지고 있다. 각 칩은 서로 다른 입력 포트로부터 데이터를 전송받을 수도 있으며, 이전 칩과 종속 연결되어 데이터를 인가받을 수도 있도록 설계하였다. 이러한 설계는 차후에 광-대역 상관기가 보다 다양한 모드(400MHz/1024ch, 200MHz/2048ch, 100MHz/4096ch, 50MHz/8192ch 등)로 사용될 수 있도록 해준다.

3. 데이터 입출력 버퍼의 설계

광-대역 상관기에서 각 모듈 간의 데이터 전송은 고속 데이터 전송 시, 손실을 최소화하고 외부 잡음 유입을 차단하기 위해 기본적으로 ECL 레벨로 이루어지도록 하였다. 따라서 광-대역 상관기 모듈은 환형 메모리 버퍼 모듈로부터 ECL레벨 신호를 인가받게 된다. 입력되어진 신호는 동기 전송을 위해 ECL 플립플롭인 MC10H176을 지나 MC10H125에 의해 TTL 레벨로 변환되어져 "QUAINT"칩 배열에 입력되어진다.

이와는 달리 광-대역 상관기 모듈의 출력은 TTL 버

퍼인 SN74F541를 거쳐 최종 출력되어진다. 이는 출력의 경우 최대 전송 속도가 20 MHz 이하이고 전송 거리가 비교적 짧음으로 인해 ECL과 TTL간의 변환 과정을 생략하여 설계되어졌다.

4. 제어신호 입출력 포트의 설계

광-대역 상관기 모듈은 마이크로프로세서 모듈에 의해 제어되어진다. 광-대역 상관기 모듈은 직렬 제어 포트와 병렬 제어 포트를 갖도록 설계하였다. 여기서 직렬 제어 포트는 모듈의 동작 모드를 설정하기 위한 것으로 각 8개 칩이 직접 입력과 보조 입력 중 어떤 입력을 선택할 것인지를 결정해준다. 이에 반해 병렬 제어 포트는 본 모듈의 동작을 제어하기 위한 것으로 자기 상관 계수를 계산하기 위한 지연 채널 형성 개시 및 종료, 시스템 리셋, 적분의 개시 및 종료 등의 기능을 담당하게 된다. 이상의 제어신호 입출력 포트의 규격을 표 1에 보았다.

다음의 그림 5는 설계 완성된 광-대역 상관기 모듈의 전체 설계도이다. 그림에서 좌측 하단이 클럭 분배기이고, 하단 중앙이 입력 데이터 버퍼, 상단이 출력 데이터 버퍼 및 제어 신호 입출력 포트이다. 또한 그림에서 알 수 있듯이 중앙 부위에 상관기 배열이 구성되어져 있다. 계산되어진 자기 상관함수 결과 및 제어 신호 입출력은 DIN41612규격의 두 개의 96핀 커넥터를 통해 이루어지며, 데이터의 입력은 32핀 3M 커넥터, 클럭은 SMA 커넥터를 통하여 이루어지게 된다. 또한 설계되어진 모듈은 ECL 레벨 신호를 구동하기 위한 종단 전압인 -2VDC를 자체적으로 발생 공급하도록 하였다.

Ⅲ. 광-대역 상관기 모듈의 제작

광-대역 상관기 모듈은 최대 100 MHz로 동작함으로 인해 실제 제작에 있어서도 상당한 주의를 필요로 한다. 먼저, 전원은 반드시 독립전원 형태로 공급되어야 하며 각 소자에 인가되는 전원은 반드시 적당한 크기의 By-pass 콘덴서를 통해 공급되어야 한다. 전원 문제 이외에 고려해야할 사항은 타이밍에 관한 문제이다. 기본적으로 전기적 신호는 일정 매체를 통과하게 되면 그만큼 시간적으로 지연되게 된다. 따라서 동일 의미를 갖는 신호들은 동일한 경로 지연을 겪도록 배선의 길이를 일정하게 유지하여야 한다.

표 1. 제어신호 입출력 포트의 구성.

Table 1. Configuration of control signal I/O port.

구분	신호 표현	기능
INT control	INT, SHEN, BLN, RST	적분, 신호지연, 블랭킹, 리셋
CARD selection	CE0, CE1, CE2, CE3	시스템 확장
READ control	RD0, RD1	상관기 내부 데이터를 외부에서 READ
MODE control	DCLK, DATA	데이터 입력루트, over 샘플링, 시스템 테스트
Mode check	DOUT	모드 설정 확인
OUT control	SEL0 ~ SEL3	데이터 출력할 칩 결정

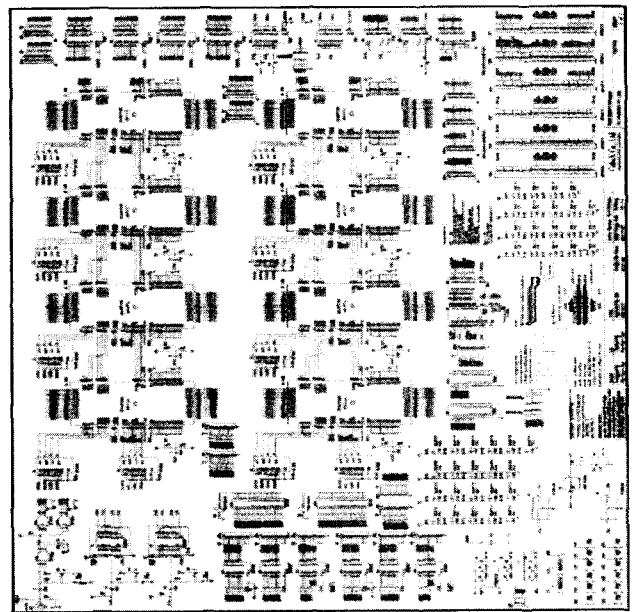


그림 5. 설계된 광-대역 상관기 모듈 회로도.

Fig. 5. The Designed Wide-band Correlator Module's Circuit.

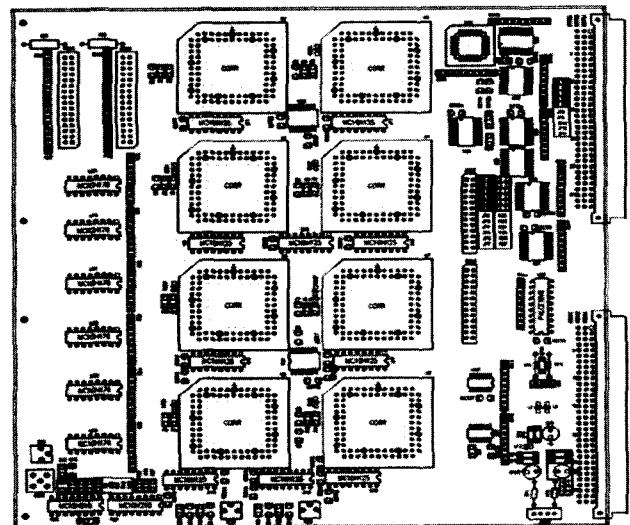


그림 6. 제작되어진 광-대역 상관기 모듈.

Fig. 6. Photo of the fabricated wide-band correlation board.

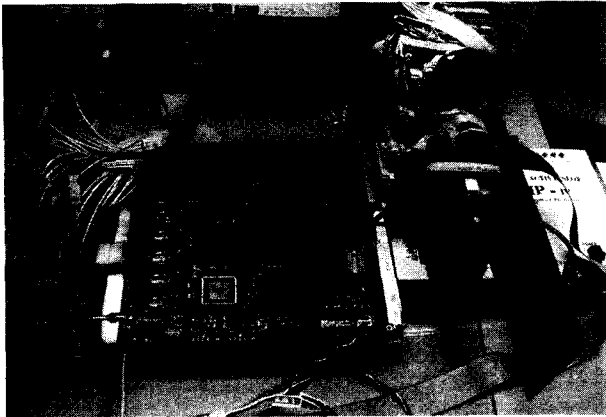


그림 7. 광-대역 상관기 모듈의 실험 모습.
Fig. 7. Photograph for wide-band correlator module's performance test.

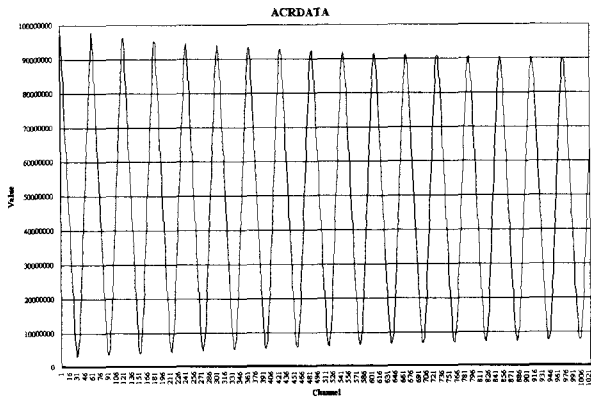


그림 8. 100 MHz 동작 시, 1.67 MHz 구형파 입력에 대한 자기 상관 계수 결과.
Fig. 8. The Autocorrelation coefficient for 1.67MHz rectangular input at 100MHz operation.

본 연구에서는 유전율 4.7인 FR-4, 6층 기판을 사용하여 다음의 그림 6과 같이 보드를 제작하였다.

위 그림에서 좌측이 신호 입력, 중앙 부위가 상관기 배열, 그리고 우측이 신호의 출력 및 제어 신호 입출력 포트에 해당된다. 기판은 표준 EURO 6U규격으로 가로 220 mm, 세로 233 mm이다.

IV. 광-대역 상관기 모듈의 실험

광-대역 상관기는 본 논문에서 다루고 있는 광-대역 상관기 모듈이외에도 다양한 구성 부분을 갖는다. 따라서 제작되어진 모듈만의 단독 실험은 시스템의 성능 및 특성 측정보다는 상관기 모듈 자체만의 동작 실험에 국한하여 수행되었다.

일반적으로 상관기의 경우, 동작 실험은 구형파 또는

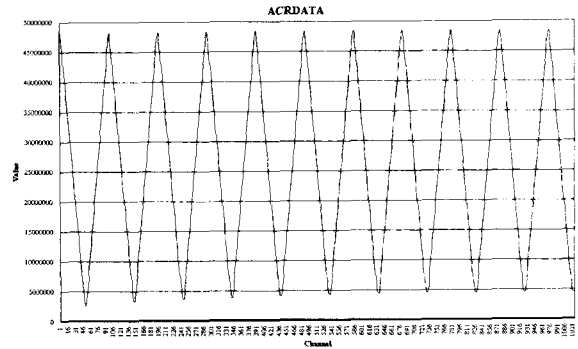


그림 9. 50 MHz 동작 시, 0.5 MHz 구형파 입력에 대한 자기 상관 계수 결과.

Fig. 9. The Autocorrelation coefficient for 0.5 MHz rectangular input at 50 MHz operation.

정현파 입력을 인가한 후, 출력을 확인하는 것과, 시스템에 백색 잡음을 인가한 후 그 결과를 확인하는 것으로 수행되어진다. 그러나 본 실험에서는 제작 완료되어진 광-대역 상관기 모듈만의 단독 실험이므로, 정확한 듀티 싸이클을 갖는 정현파 및 대역폭이 제한된 백색 잡음을 발생시키는 것은 거의 불가능하다. 즉, 이러한 신호를 발생시켜 광-대역 상관기 모듈에 인가하기 위해서는 A/D 변환기의 역할을 수행하는 샘플러가 필요하다. 또한 광-대역 상관기의 경우, 병렬 분산 처리를 위한 8×8 행렬이 아닌 8×1 행렬로 구성되어 있음으로 해서, 샘플러와 상관기 모듈 사이에 환형 메모리 버퍼 또한 필요하게 된다. 따라서 본 실험은 구형파 입력에 한하여 수행되어졌으며, 이는 제작되어진 모듈의 정상 동작 여부에 대한 실험으로서는 충분한 결과를 알려줄 수 있을 것이다.

광-대역 상관기 모듈에 대한 실험을 위해, 그림 7에서와 같이 신호원으로는 함수 발생기인 FG1882를 사용하였고, 모듈의 각 구성 부분을 TDS5104 오실로스코프를 이용하여 계측하였다. 또한 모듈의 제어 및 데이터 수집은 IBM 호환 PC를 사용하였으며, 모든 제어 및 데이터 획득 프로그램은 Borland사의 Turbo C ver. 3.0을 사용하였다. 다음의 그림 8과 9는 개발된 상관기 보드 시스템을 100 MHz로 동작시킬 때와 50 MHz로 동작시킬 때의 출력되어지는 자기 상관 계수 결과이다.

구형파에 대한 자기 상관 계수는 이론적으로 삼각파로 주어진다. 위의 그림 8과 9에서 알 수 있듯이 개발되어진 시스템에 구형파를 인가하였을 경우, 삼각파의 형태로 결과가 출력됨을 알 수 있다. 다시 위의 결과에 FFT를 적용하여 다음의 그림 10, 11과 같은 주파수

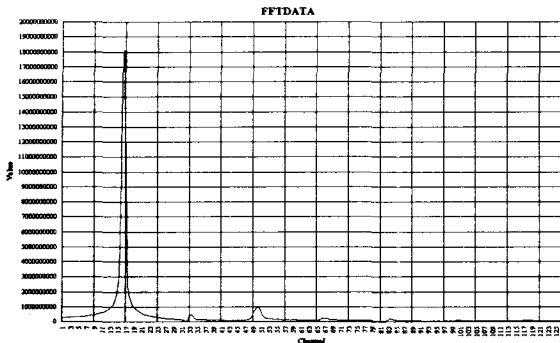


그림 10. 100 MHz 동작 시, 1.67 MHz 구형파 입력에 대한 FFT 결과.
 Fig. 10. The FFT result for 1.67 MHz rectangular input at 100 MHz operation.

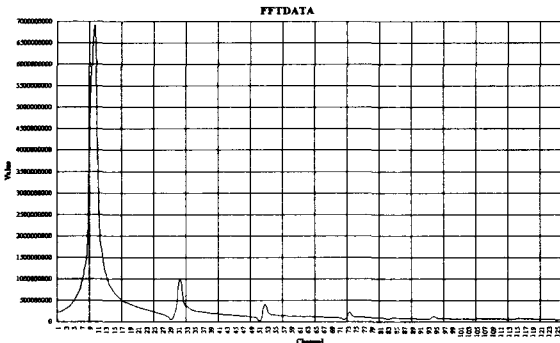


그림 11. 50 MHz 동작 시, 0.5 MHz 구형파 입력에 대한 FFT 결과.
 Fig. 11. The FFT result for 0.5 MHz rectangular input at 50 MHz operation.

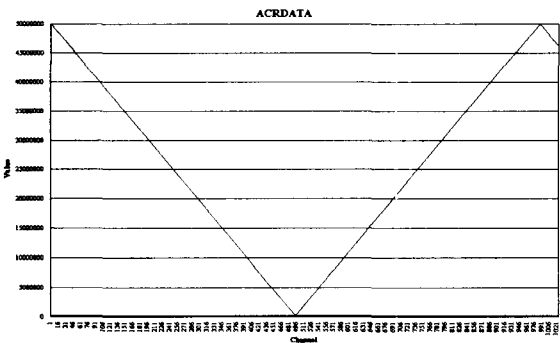


그림 12. 50 MHz 동작 시, 0.05 MHz 구형파 입력에 대한 자기 상관 계수 결과.
 Fig. 12. The Autocorrelation coefficient for 0.05 MHz rectangular input at 50 MHz operation.

특성의 결과를 얻었다. 구형파의 경우, 주파수 영역에서 보면 자기 주파수의 정수배가 되는 곳에서 고조파가 발생하게 된다. 위의 그림에서 보면 100 MHz 동작 시, 1.67 MHz 구형파 입력에 대한 결과에서는 17번째 주파

표 2. 50 MHz 동작 시, 0.05 MHz 구형파 입력에 대한 자기 상관 계수 선형 회귀 분석 결과.
 Table 2. The autocorrelation coefficient linear feedback analysis results for 0.05 MHz rectangular input at 50 MHz operation.

항 목	구간 2 ~ 495채널	구간 496 ~ 989 채널
y 절편 계수	50145030	-49842078
기울기 계수	-101146	101186
선형 상관도	0.999998	0.999997
평균 정규 잔차량 ¹	0.006683	0.001076
* (Y 실제치 - Y 예측치) / (Y 예측치)		

수 채널에서 최대 피크가 발생하고, 34, 51, 68순으로 정확히 정수배 되는 곳에서 고조파가 측정된 결과를 볼 수 있다. 마찬가지로 50 MHz 동작 시, 0.5 MHz 구형파 입력의 경우에도 최대 피크로부터 정확히 정수배가 되는 곳에서 고조파가 발생하는 것을 볼 수 있다. 이로써 개발되어진 광-대역 상관기 모듈은 정상적으로 동작함을 확인할 수 있다.

지금까지의 결과로 미루어 제작 완성되어진 광-대역 상관기 모듈은 아주 우수한 성능을 보이고 있다. 그러나 이를 보다 정밀히 측정하기 위하여 시스템에 보다 낮은 주파수의 구형파 입력을 인가하고 그 결과를 관측하였다. 이는 구형파 입력에 대한 결과로 주어지는 삼각파의 순도(purity)를 측정하기 위함이다. 다음의 그림 12에서 50 MHz로 동작시킬 경우, 50 KHz의 구형파를 입력한 자기 상관 계수 결과를 보여 준다.

그림 12에서 보면 시스템의 동작 속도는 50 MHz임에 반해 총 지연 채널 수는 1,024개 이므로 50 KHz 구형파 입력은 한 주기가 약간 넘게 관측되어진다. 시스템의 특성을 보다 정량적으로 측정하기 위하여 다음의 그림 12에서 두 개의 선형인 구간 즉, 2번 채널에 495번 채널까지와 496번 채널에서 989번 채널까지의 구간에 대해 각각 선형 회귀 분석을 수행하였다. 다음의 표 2는 그 결과를 보여준다.

표 2에서 알 수 있듯이 두 구간은 선형 상관도가 거의 1에 가까워 직선으로 간주할 수 있으며, 또한 두 구간의 기울기의 절대값이 거의 일치하는 것으로 미루어 정확히 삼각파의 모양을 가지고 있음을 알 수 있다. 다음의 그림 13, 14는 선형 회귀 분석 결과 나타나는 정규 잔차를 보여 준다. 그림에서 알 수 있듯이 전체 구간

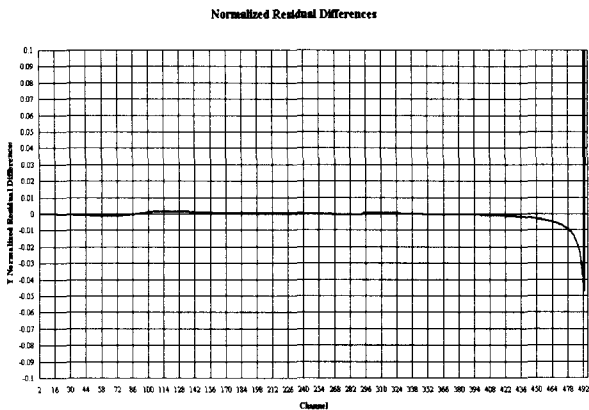


그림 13. 2~495번 채널 구간에 대한 선형 회귀 분석 결과 정규 잔차.

Fig. 13. The normalized residual difference of linear feedback analysis results for 2~495 channel interval.

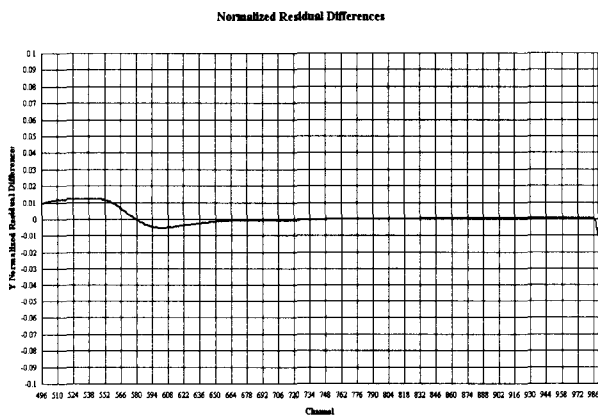


그림 14. 496~986번 채널 구간에 대한 선형 회귀 분석 결과 정규 잔차.

Fig. 14. The normalized residual difference of linear feedback analysis results for 496 ~ 986 channel interval.

에 걸쳐 정규 잔차량이 거의 0 에 가까워 회귀 결과로 주어지는 직선과 거의 일치함을 알 수 있다.

V. 결론

현재 개발 진행 중인 광-대역 상관기는 병렬 분산 신호 처리 기법과 환형 메모리 버퍼 기법을 통하여 최대 400 MHz에 달하는 입력 신호에 대해 실시간으로 자기 상관 계수를 계산하게 된다. 본 논문에서는 그러한 광-대역 상관기 중, 핵심적인 역할을 담당하는 광-대역 상관기 모듈에 대해 기술하였다.

광-대역 상관기 모듈은 총 전력 소모는 40W정도이며, 8×1의 “QUAINT”칩 배열로 구성되어 있으며, 사용 환경에 따라 다양한 모드를 제공할 수 있도록 유연하게 설계되어졌다. 또한 제작 완성되어진 모듈에 대해 인위적으로 발생되어진 구형파 신호를 인가하고 모듈의 동작 특성과 그 성능에 대한 실험을 하였다. 실험 결과 앞서 언급한 바와 같이 개발 완성되어진 광-대역 상관기 모듈은 정상적으로 동작할 뿐 아니라, 그 특성이 구형파 입력의 경우, 이론적으로 주어지는 삼각파 결과와 99.9% 이상의 상관도로 일치함으로써 그 특성 또한 매우 우수함을 알 수 있었다. 따라서 본 모듈이 광-대역 상관기를 구성하는 다른 모듈들과 결합하여 사용될 경우, 광-대역에 걸쳐 우수한 특성을 갖는 후단 신호 처리기로 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- [1] Abramowitz and Stegun, "Handbook of Mathematical Functions", Dover, New York, 1964.
- [2] A. R. Thomson, et al, "Interferometry and Synthesis in Radio Astronomy", John Wiley, New York, 1986.
- [3] B. F. Cooper, "Correlators with 2-bit Quantization", Australian Journal of Physics, No. 23., 1970.
- [4] ECLinPS Design Handbook, Motorola, 1996.
- [5] F. K. Bowers and R. J. Klinger, Astron Astrophysics. Suppl., 15, 373, 1974.
- [6] HanKyu Choi, et al. International Journal of Infrared and Millimeter Waves, Vol. 24, No. 5, 2003.
- [7] J. B. Hagen and D. T. Farley, "Digital Correlation Techniques in Radio Science," Radio Science, vol. 8, no. 8, pp. 775-784, 1973.
- [8] J. H. Van Vleck and David Middleton, "The Spectrum of Clipped Noise", Proceedings of the IEEE, Vol. 54, No. 1., 1965.
- [9] S. R. Kulkarni and C. Heiles, Astronomical Journal, 85,1413, 1980.

저 자 소 개



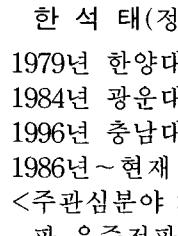
이 창 훈(정회원)
 1979년 충남대학교 전기공학과 학사 졸업
 1981년 고려대학교 전기공학과 석사 졸업
 1987년 고려대학교 전기공학과 박사 졸업
 1987년~현재 한국천문연구원 대덕전파 천문대 책임연구원
 1997년~1998년 과학기술부 우수연구원 선정, 미국 FCRAO 근무
 <주관심분야 : mm파 통신, 망원경 제어, 전파분광기 및 신호처리>



변 도 영(학생회원)
 1994년 서울대학교 천문학과 학사 졸업.
 1996년 서울대학교 천문학과 석사 졸업.
 2004년~현재 서울대학교 천문학과 박사 과정.
 <주관심분야 : 전파천문학 및 기기개발>

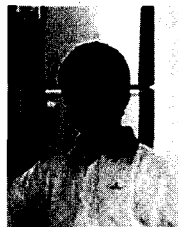


최 한 규(정회원)
 1996년 서울대학교 천문학과 학사 졸업
 1998년 서울대학교 천문학과 석사 졸업
 2001년~현재 큐백스(주) 대표이사
 <주관심분야 : 통신, 신호처리, 밀리미터파 기기>



한 석 태(정회원)
 1979년 한양대학교 무선통신공학과 학사 졸업.
 1984년 광운대학교 전자통신공학과 석사 졸업.
 1996년 충남대학교 전자공학과 박사 졸업.
 1986년~현재 한국천문연구원 책임연구원
 <주관심분야 : mm파 능동 및 수동소자 개발, mm파 우주전파 수신기 개발>

김 광 동(정회원)
 1973년 영남대학교 전기공학과 학사 졸업
 1993년~현재 한국천문연구원, 책임연구원
 <주관심분야 : 회로 및 시스템, 신호처리, 제어계측>



김 태 성(정회원)
 1994년 대전산업대학교 전자공학과 학사 졸업
 1991년~현재 한국천문연구원 대덕전파 천문대 연구원
 <주관심분야 : 전자정보통신, 신호처리>

구 본 철(정회원)
 1980년 서울대학교 천문학과 학사 졸업
 1982년 한국과학원 물리학과 석사 졸업
 1990년 미국 Berkeley대학교 천문학과 박사 졸업.
 <주관심분야 : 전파천문학>