

RFSoc 를 이용한 PN 기반 채널 측정 시스템 구현

신운화, 김지훈, 이진영, 최해진, 최정식
경북대학교 전자공학부

jeenyh615@knu.ac.kr, kimjihoon714@gmail.com,
wlsdud5706@naver.com, chlgowlsdqnsj7@gmail.com, jeongsik.choi@knu.ac.kr

PN-Based Channel Measurement System Implementation Using RFSoc

Yun Hwa Shin, Ji Hoon Kim, Jin Young Lee, Hae Jin Choi, Jeongsik Choi
School of Electronics Engineering, Kyungpook National University

요 약

본 논문에서는 RFSoc 를 이용하여 채널 측정 시스템을 구현한다. 고속의 DAC/ADC 를 이용하여 신호를 RF 단에서 바로 처리가 가능하여 송수신 RF 회로 구성을 간소화할 수 있었으며 이를 통하여 측정 시스템의 소형화가 가능하였다. 구현된 채널 측정 시스템의 동작을 실제 환경에서 검증하였다.

I. 서 론

무선 통신 시스템 도입을 위하여 해당 시스템이 운용될 주파수의 전파 (propagation) 특성을 분석하는 작업이 선행되어야 한다 [1, 2]. 채널 측정 방식 중 PN (pseudo -noise) 시퀀스를 이용하는 방식은 PN 시퀀스의 자기상관 특성으로 인하여 높은 동적 측정 범위 (dynamic range)를 달성할 수 있고 송수신부를 독립적으로 구성할 수 있으며 잡음에 대한 영향을 최소화할 수 있다는 장점 때문에 채널 측정 연구에 주로 이용되고 있다. 하지만 송신기의 경우 기저대역 신호를 채널 측정이 필요한 주파수 대역으로 상향변환하기 위하여 국부발진기, 주파수 믹서 및 대역통과필터 등을 이용하여 RF 회로를 구성해야하며 수신기의 경우도 유사한 회로를 구성해야 한다는 단점이 존재한다.

최근 반도체 기술의 발전으로 고속의 DAC/ADC 가 등장하고 있으며, FPGA 에 DAC/ADC 를 통합한 RFSoc (radio frequency system on chip) 시스템이 상용화 되고 있다. 해당 시스템을 이용하면 디지털단에서 RF 신호를 생성한 후 DAC 를 이용하여 출력하고, 수신되는 RF 신호를 하향 변환 과정 없이 ADC 를 통하여 수신한 후 디지털 단에서 복조 과정을 수행하는 Direct RF 시스템 구현이 가능하여 RF 회로 구성을 간소화할 수 있다. 본 연구에서는 Xilinx 사의 RFSoc 4x2 보드를 이용하여 이동이 용이한 소형 채널 측정 시스템을 구현한다.

II. 본론

채널 측정 시스템을 구현하기 위하여 학술 연구 목적으로 개발된 RFSoc 4x2 보드를 활용한다. 해당 보드는 5 GSPS 를 지원하는 ADC 4 개와 10 GSPS 를 지원하는 DAC 2 개로 구성이 되어 있다. 본 연구에서는 하나의 PN 시퀀스만 송수신하여 SISO 채널의 경로 손실 및 전력 지연 프로파일 (power delay profile)을

측정하는 것을 목표로 하였다. 측정가능한 주파수 대역은 DAC의 속도와 동일한 10 GHz 까지를 목표로 설정하였다.

2.1 송신부 구성

그림 1 은 송신부 구성을 보여준다. 하드웨어 수정 없이 다양한 형식의 PN 신호를 송신하기 위하여 송신부에서는 PS (processing system) 영역에서 펄스 생성된 기저대역의 PN 신호를 생성하고 이를 PL (programmable logic) 영역으로 전달하도록 구성하였다. PL 영역에서는 해당 신호를 연속적으로 송신하기 위하여 loopback 메모리 형태의 구조를 구현하였으며, 출력되는 신호가 메모리에 다시 저장되는 동시에 Data converter 블록에서 채널 측정이 필요한 주파수 대역으로 상향 변환될 수 있도록 구성하였다.

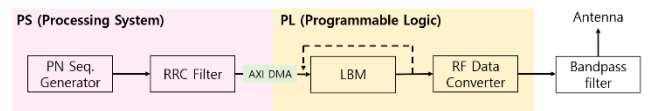


그림 1. 송신부 구성

다양한 전송 대역폭과 펄스 성형 필터를 적용할 수 있지만 본 연구에서는 인접대역 간섭을 최소화하기 위하여 100 MHz 미만의 전송 대역폭을 고려하였으며, 이를 위하여 80 MHz 의 칩 속도를 가지는 PN 시퀀스를 생성하고 롤 오프율이 0.2 인 상승 코사인 필터를 적용하여 송신 신호가 최종 96 MHz 의 전송 대역폭을 점유하도록 설정하였다. DAC 의 샘플링율은 최대 속도인 10 GSPS 로 설정하여 5 GHz 미만 주파수 대역의 측정이 필요할 경우 첫번째 나이퀴스트 영역에서, 5-10 GHz 주파수 대역의 측정이 필요할 경우 두번째 나이퀴스트 영역에서 동작하도록 설정하였다. 최종 송신 신호의 불요 발사를 최소화하기 위하여 대역통과필터를 통과한 신호가 안테나에 인가되도록 구성하였으며,

원거리 측정이 필요할 경우 안테나 연결 직전에 전력 증폭기를 추가할 수 있다.

2.2 수신부 구성

본 연구에 사용된 RFSoc 보드에 탑재된 ADC 의 경우 최대 샘플링 속도가 5GSPS 이므로 5GHz 이하 주파수 대역의 채널을 측정할 경우 수신 안테나를 통해 수신되는 신호가 대역통과필터 및 저잡음 증폭기를 순서대로 통과한 후 ADC 에 입력되도록 구성하였다. 이 경우 2.5 GHz 이하 대역은 첫번째 나이퀴스트 영역에서, 2.5-5 GHz 대역은 두번째 나이퀴스트 영역에서 샘플링 되도록 설정하였다. 5 GHz 이상 주파수 대역의 채널 측정이 필요할 경우 일반적인 슈퍼헤테로다인 수신기 방식을 적용하였으며 국부발진기를 이용하여 생성한 주파수를 이용하여 수신 신호를 하향 변환한 후 ADC 에 입력하였다.

송신부에서 송신된 PN 신호의 칩 속도가 80 MHz 임에도 불구하고 고해상도 추정 알고리즘을 적용하여 전력 지연 프로파일의 시간 해상도를 개선하기 위하여 400 MSPS 의 속도로 샘플링을 수행하여 2.5 ns 의 시간 해상도를 달성하도록 구성하였다. 또한 수신부에서는 PL 영역에서 샘플링된 데이터를 반대로 PS 영역으로 전달하여 채널의 임펄스 응답을 획득하여 실시간으로 출력하는 동시에 파일에 기록하여 데이터 분석이 가능하도록 구성하였다.

2.3 송수신 드라이버 제작 및 측정 실험

송수신 하드웨어를 제어하기 위해 오픈소스 프로젝트인 PYNQ 를 이용하였다 [3]. Vivado 를 이용하여 생성한 bit 파일을 jupyter 환경에서 불러온 후 파이썬을 이용하여 하드웨어를 제어하는 드라이버를 제작하였다. 송신 신호 생성, 펄스 성형, 측정 주파수 변경, 수신 신호 처리 등 PS 영역에서 수행되는 모든 작업을 소프트웨어로 구현하여 유연하게 동작할 수 있도록 구성하였다.

구현한 채널 측정 시스템을 실제 환경에서 검증하기 위하여 측정 실험을 진행하였다 (그림 2). 10 층 높이의 건물 옥상에 송신부를 설치한 후 노트북 컴퓨터를 연결하여 제어하였으며, 수신부의 경우 가방 등을 이용하여 휴대하였으며 측정할 때의 좌표를 획득하기 위하여 USB 형식의 GPS 를 RFSoc 보드에 연결하였다. 송신부와 마찬가지로 노트북 컴퓨터를 이용하여 수신부를 제어하였다.

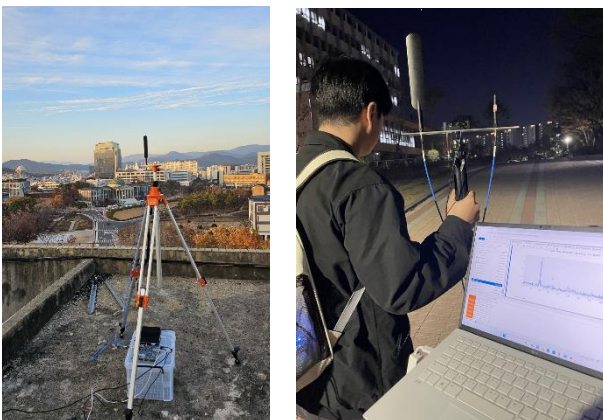


그림 2. 측정 실험 (좌: 송신부/우: 수신부)

측정된 데이터의 경우 송수신기 사이의 주파수 오프셋 때문에 PN 시퀀스의 자기상관 특성이 좋지 않은 현상을 발견할 수 있었고, 수-수십 kHz 의 주파수 오프셋을 보정해줄 경우 아래 그림 3 과 같이 정밀한 채널 임펄스 응답을 획득할 수 있다는 것을 확인하였다.

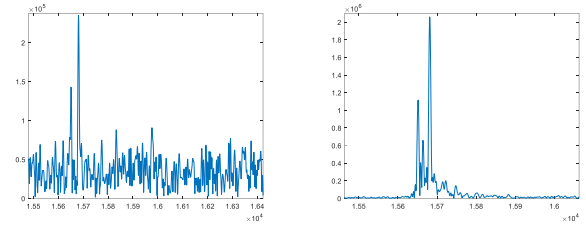


그림 3. 측정된 채널 임펄스 응답의 예 (좌: 원래 수신 신호, 우: 주파수 오프셋 보정된 신호)

III. 결론

본 논문에서는 RFSoc 를 이용하여 채널 측정 시스템을 구현하였으며 시스템의 소형화가 가능하다는 것을 보여주었다. 또한 실외 실험을 통하여 개발된 채널 측정 시스템이 실제 환경에서 잘 동작하는 것을 확인하였다. 이동이 용이한 채널 측정 시스템을 이용하여 다양한 환경에서 채널 측정이 가능할 것으로 기대하며 특히 드론 등에 탑재하여 UAV 와 지상국 사이의 채널 측정 등에 활용될 수 있을 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.RS-2023-00210463)

참 고 문 헌

- [1] J.-H. Lee, J. Choi, W.-H. Lee, J.-W. Choi, and S.-C. Kim, "Measurement and Analysis on Land-to-Ship Offshore Wireless Channel in 2.4 GHz," *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 6, no. 2, pp. 222-225, Apr. 2017
- [2] J.-H. Lee, J. Choi, J.-Y. Lee, and S.-C. Kim, "28 GHz Millimeter-Wave Channel Models in Urban Microcell Environment Using Three-Dimensional Ray Tracing," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 3, pp. 426-429, Mar. 2018
- [3] PYNQ: Python Productivity, (<https://www.pynq.io/>).