

# USRP 를 이용한 5G 통신환경 시뮬레이터 개발

진상환, 한동희, 김영민\*  
서울시립대학교

jin0607@uos.ac.kr, hdh990830@uos.ac.kr, vikaly78@uos.ac.kr\*

## Development of 5G Communication Environment Simulator Using USRP

Jin Sang Hwan, Han Dong Hee, Kim Young Min\*  
Univ of Seoul.

### 요약

본 논문에서는 National Instruments(NI)사의 SDR(Software Defined Radio) 플랫폼 중의 하나인 USRP(Universal Software Radio Peripheral)과 VST(Vector Signal Transceiver)를 활용하여 5G NR(New Radio) 기반의 신호를 발생 및 저장하고, 저장된 raw IQ data 를 다시 USRP 로 재생하여 5G NR 환경을 실험실에서 재현할 수 있는 시뮬레이터 시스템을 구현 하였다. 또한 시뮬레이터의 성능을 최적화하기 위하여 5G NR 신호의 EVM(Error Vector Magnitude) 측정을 바탕으로 시뮬레이션된 신호의 품질을 판단하고 종합적으로 최적의 5G NR 환경을 시뮬레이션할 수 있는 환경 변수의 값을 도출하였다.

### I. 서론

최근 5G 통신 환경이 개발로 eMBB, mMTC, uRLLC 를 통해 새로운 산업기술에 접목되어 통신산업에 혁명적인 변화를 가져오고 있다. VR/AR, 공장자동화, 자율주행자동차와 같은 차세대 기술에서는 5G NR(New Radio)를 통해 통신이 이루어지고 있다. 이리면서 LTE 보다 5G 에서는 다양한 환경에서 통신이 이루어지고 있으며 최적의 환경에서 통신이 이루어지기 위해 노력하고 있다. 이에 따라 5G 통신 시스템의 설계와 성능 평가는 매우 중요한 주제로 대두되고 있다.

본 논문에서는 VST 를 통해 만들어진 다양한 조건에서의 NR waveform Signal 를 가지고 Universal Software Radio Peripheral(USRP)를 활용하여 5G 통신환경 시뮬레이터를 개발하고자 한다. 특히 Virtual Source Transmission(VST)에서 생성된 NR waveform Signal 의 record 와 playback 을 통해 실제 통신환경을 모사해보았다. VST 는 통신 시스템 설계 및 테스트에서 널리 사용되는 소프트웨어 기반 시뮬레이션 환경으로, 실제 하드웨어를 사용하지 않고도 다양한 통신 환경을 모델링할 수 있다. 그러나 이러한 소프트웨어 시뮬레이션은 실제 환경에서의 신호 송수신 과정을 완벽하게 반영하지 못한다는 한계가 있다. 본 연구에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 URSP 를 활용하여 RECORD 할 때 Low Noise Amplifier(LNA)를 0~30dB 까지 10dB 간격, Modulation Scheme 은 QPSK, 8QAM, 16QAM, 128 QAM, 256QAM 신호를 기록하였고 Playback 할 때는 Power Amplifier(PA)를 0~30dB 까지 10dB 간격, Automatic Gain Control(AGC)를 ON/OFF 하여 최대한 실제 통신환경 시뮬레이션을 제공하려고 하였다. 추가적으로 NR 신호의 성능을 평가하기 위해 NI VST 장비를 사용하여 Error Vector Magnitude (EVM)을 측정하였다. EVM 무선 통신 시스템의 데이터 전송의 정확성을 나타내는 척도를 수치화시킨다. 본 논문에서는 NR Signal 의 EVM 를

측정하여 분석해본다. 이와 같은 연구 접근 방식은 5G NR Signal 의 현실적 시뮬레이션과 성능 평가를 통해, 미래 통신 시스템 개발에 기여할 것으로 기대하고 있다.

### II. 연구 이론

#### 5G New Radio (NR)

5G New Radio(NR)는 5세대 이동통신 시스템의 무선 접속 기술로 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 개발한 표준이다. 5G NR은 Enhanced mobile broadband (eMBB), Massive machine type communications (mMTC), Ultra-reliable and low latency communications(uRLLC)분야에서 주로 사용되고 있다. 또한 저주파 대역(600MHz~6GHz)과 고주파 대역(24GHz 이상)의 millimeter wave 대역 모두에서 동작할 수 있는 특징을 가지고 있다. 본 연구에서는 VST 통해 발생된 NR 신호가 송수신 안테나 간격이 2m 일 때의 다양한 조건에서의 NR 신호의 성능을 측정하였다.

#### Universal Software Radio Peripheral(USRP)

USRP는 NI(National Instruments)사의 SDR(Software Define Radio) 플랫폼으로 RF 아키텍처를 제공하여 사용자 정의 신호 처리를 통해 무선 시스템 설계, 프로토타입 제작 및 배포할 수 있도록 지원한다. 하드웨어에는 보급형 디바이스부터 대형 개방형 FPGA를 갖춘 고성능 라디오 장치에 이르기까지 다양하다. 그 중 본 연구에서는 PXI 백터 신호 트랜시버 VST를 통해 백터 신호를 생성하여 Labview를 통해 record, playback, EVM 측정을 통해 신호의 성능을 측정해보았다.

#### Orthogonal Frequency Division Multiplexing(OFDM)

OFDM은 Orthogonal subcarriers가 중첩되지만 한 개

의 subcarrier가 다른 subcarrier에 interference를 끼치지 않는 multi-carrier 방식으로 데이터를 전송하는 기술을 의미한다. 기존의 single carrier 전송은 하나의 carrier에 정보를 모두 실어 전송하는 방식이었다면 OFDM은 여러 개의 Orthogonal subcarriers에 정보를 나누어 전송할 수 있다는 특징을 가지고 있다. 또한 FDMA에 비해 Guardband가 없어 bandwidth도 줄일 수 있어 현재 차세대 통신장비에서 사용중인 기술이다. OFDM의 동작은 전송할 Data를 QAM Modulation를 한 다음 S/P(Series/parallel)를 통해 여러 개의 symbol들을 IFFT(Inverse Fast Fourier Transform) 후 다시 P/S 한다. P/S를 할 때는 Cyclic prefix를 앞에 추가해서 수신측으로 보낸다. 수신기에서 변환된 OFDM Symbol은 위 과정을 반대로 하여 FFT(Fast Fourier Transform)를 통해 다시 Frequency domain으로 변환하여 데이터를 추출하는 형태이다. 본 연구에서 사용한 VST에서 생성된 NR신호도 OFDM을 기반으로 하는 무선 통신 기술이다.

### Automatic Gain Control(AGC)

Automatic Gain Control(AGC)는 수신 신호의 강도를 자동으로 조절하는 기능을 가지고 있다. 수신된 신호의 크기를 일정하도록 유지함으로써 신호 처리 과정에서 발생할 수 있는 왜곡을 최소화, 즉 SNR를 최적화시켜 수신기의 성능을 향상시킨다. 본 연구에서는 playback를 할 때 AGC 기능을 추가하여 ON/OFF 되었을 때의 해당 신호의 EVM를 측정하여 비교하였다.

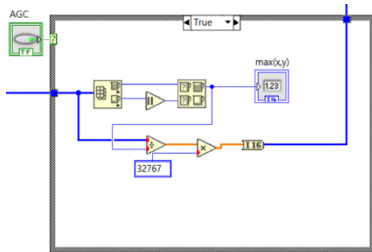


Fig.1 Labview AGC 기능

위에 해당 알고리즘을 보게 되면 RECORD를 통해 기록된 NR Signal의 단위 초당 데이터 값들 중 가장 큰 데이터 값을 detect하여 해당 값을 나누어 Normalize 해주었다. 그 후 16진수 변수를 맞추어 주기 위해 32767를 곱하여 USRP로 보내주었다.

### Error Vector Magnitude (EVM)

Error Vector Magnitude(EVM)은 이상적인 파형과 측정된 파형 사이의 차이값으로 디지털 변조 정확도를 스칼라 값으로 나타낸 것이다. 무선 통신을 통해 수신된 신호는 변조를 통해 IQ-plot에 찍히기 되는데 이는 Noise, Interference, Multipath Fading, Attenuation와 같은 다양한 요인으로 Error가 발생하게 된다. EVM값은 일반적으로 퍼센트(%) 또는 데시벨(dB) 단위로 표현된다. EVM은 다음과 같은 방법으로 계산된다.

$$EVM(\%) = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N |s_i - I_i|^2}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N |I_i|^2}} \times 100$$

- $S_i$ 는 수신된 신호의  $i$ 번째 샘플이다.
- $I_i$ 는 이상적인 신호의  $i$ 번째 샘플이다.
- $N$ 는 샘플의 총 수이다.

이 식은 실제 수신된 신호와 이상적인 신호 간의 차이의 제곱합을 이상적인 신호의 제곱합으로 정규화하여 계산한다.

### III. 본론

본 논문에서는 다양한 modulation schemes QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM에 NR신호의 Gain을 다르게 하여 EVM 측정을 통해 성능을 측정해 5G 통신 시뮬레이터를 개발하는 것이 주된 목적이다.

먼저 VST(Virtual Signal Transceiver)의 RFmx Waveform Creator를 활용하여 NR(New Radio)신호를 생성한다. NR신호는 Channel Bandwidth 5M, Subcarrier Spacing 15kHz, Center Frequency 2.0GHz로 설정한다.

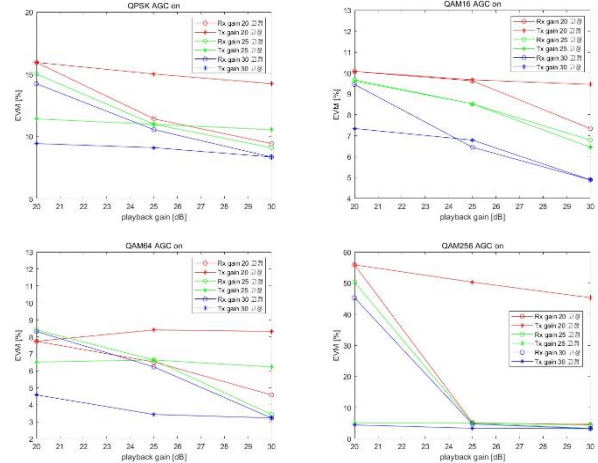
이를 통해 QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM 다양한 modulation schemes를 적용하여 VST에서 생성된 NR신호가 LNA(Low Noise Amplifier)를 통해 Tx의 0dB부터 30dB까지의 10dB 간격으로 조정하여 측정한다. VST의 송신 안테나와 USRP 수신기의 안테나의 간격은 2m 간격으로 하여 20초 동안 Record한다.

또한 NR신호를 Playback할 때는 PA(Power Amplifier)를 통해 동일한 간격으로 gain을 설정한다. 추가적으로 AGC(자동 이득 제어) 기능을 추가하여 이 기능이 On/Off일 때의 성능을 비교한다.

마지막으로 수신된 NR신호를 NI-PXLe-1071 장비 VST의 RFmx Soft Front Panel를 통해 EVM값을 측정한다. 이를 통해 얻은 데이터값을 그래프로 만들어 각 조건에서의 성능을 비교 분석한다.

### IV. 결과

본 논문에서는 송수신 안테나의 거리를 2m, record, playback의 gain을 0dB부터 30dB까지 10dB 간격으로 측정하려고 했으나 0dB, 10dB에서 신호 Level이 너무 낮아 constellation에서 신호를 인식하지 못했다. 그래서 본 논문은 송수신 안테나 간격을 2m에서 50cm, Record Playback의 gain을 20dB에서 30dB까지 5dB 간격으로 측정으로 변경하였다. 또한 reference level도 0dB에서 -30dBm으로 낮추어 주어서 constellation에서 detection할 수 있게 해주었다.



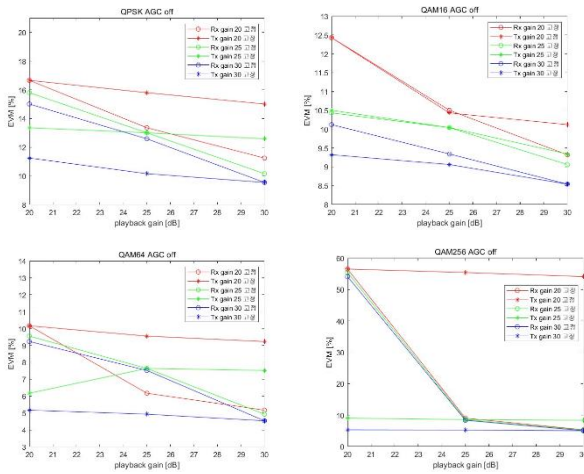


Fig.2 Rx & Tx의 Gain 값에 따른 EVM 값 비교 그래프

위의 그림 [2] 그래프는 각 Modulation schemes (QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM) 별로 Rx의 Gain 값을 고정하였을 때 Tx의 Gain 값을 조정하였을 것으로 표시하였고, Tx의 Gain 값을 고정하였을 때 Rx의 Gain 값을 조정하였을 것으로 표시하여 EVM 값을 비교한 그래프이다. 해당 그래프의 기울기를 보게 되면 Rx에서의 Gain에 따른 EVM의 기울기는 미세하게 낮아지고 있는 반면에 Tx에서의 Gain에 따른 EVM의 기울기는 급격하게 하락하고 있음을 볼 수 있다.

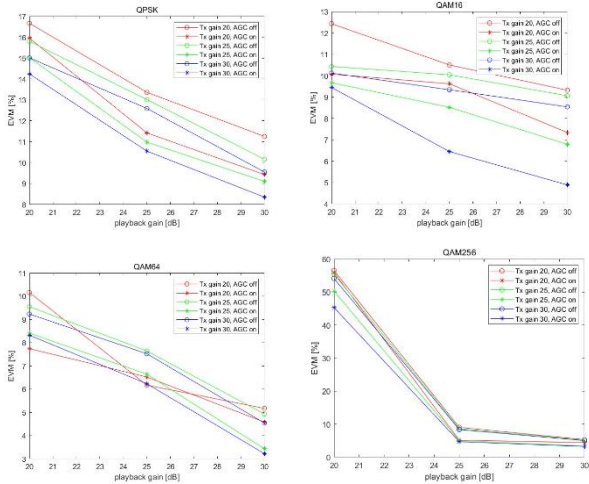


Fig.3 AGC on/off EVM 값 비교 그래프

위의 그림 [3] 그래프는 AGC 기능이 on/off 되었을 때의 EVM 값을 비교한 그래프이다. 해당 그래프의 EVM 값을 보았을 때 AGC를 On 되었을 때의 EVM 값이 AGC가 Off 되었을 때의 EVM 값보다 낮음을 알 수 있다.

또한 그림 [2], 그림 [3]에서 256QAM의 EVM 값을 보게 되면 Rx의 Gain이 20dB일 때 50%를 초과함을 볼 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 VST를 통해 만들어진 NR 신호를 가지고 USRP를 활용하여 5G 통신환경 시뮬레이터를 개발해보았다.

연구 결과 Record (Rx)의 gain 값이 EVM에 미치는 영향보다는 Playback (Tx)에서의 gain 값이 EVM에 미치는 영향이 더 커지는 것을 알 수 있다. Rx에서는

distortion과 noise를 증폭하지 않지만 Tx에서는 수신된 distortion과 noise가 섞인 신호를 증폭하기 때문에 직접적인 영향을 끼쳤다고 볼 수 있다.

또한 AGC 적용을 하였을 때는 AGC 기능을 통해 수신 신호의 Scale를 올려주어 EVM 값이 향상되게 하였다. 송신을 할 때는 안테나를 통한 Path Loss가 있어 신호의 세기가 감소하여 EVM 값을 상승시킨다. 그래서 송신할 때는 AGC 기능을 하여 송신 전력이 Saturation 되지 않는 한도 내에서 최대를 키워주어 통신 성능을 높이는 것이 중요하다.

또한 256QAM의 EVM 값이 다른 QPSK, 16QAM, 64QAM과 비교해보았을 때 비정상적인 데이터값을 얻었다. 해당 연구는 SISO (Single-Input Single-Output) 방식으로 진행되었다. 그래서 QAM 값이 높아질수록 높은 SNR이 요구되다 보니 신호가 조금이라도 왜곡되어도 큰 영향을 받음을 알 수 있다. 그래서 송수신할 때의 신호 품질을 보장하기 위해서는 MIMO (Multiple-Input Multiple-Output)와 같이 다중 안테나를 통해 동일한 신호를 여러 경로로 전송하여 receiver의 신호를 결합하였다면 정확한 EVM 값을 얻을 수 있었을 것이다.

결론적으로 신호를 송수신할 경우에는 Rx보다는 Tx의 Gain 값을 높여주며 수신할 경우에는 AGC 기능을 적용하여 full scale로 보내주는 것, Single 안테나보다는 Multiple 안테나로 통신하는 것이 최적의 통신 품질을 유지하면서도 시스템의 안정성을 확보할 수 있음을 알 수 있었다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 과제(결과물)은 교육부와 한국연구재단의 지원으로 지원을 받아 수행된 첨단분야 혁신융합대학사업(차세대통신)의 연구 결과입니다.

Following are results of a study on the "Convergence and Open Sharing System(NCCOSS)" Project, supported by the Ministry of Education and National Research Foundation of Korea.

## 참고 문헌

- [1] 김영길 "기초통신이론 디지털 통신 중심으로" 한빛아카데미, 2017
- [2] Schrage, M "Wi-Fi, Li-Fi, and Mi-Fi Wi-Fi's future depends on whether big tech companies consider it friend or foe" Advances in technology review, 2003