

# Software-Defined Radio 기반 무선 Semantic Communications 프로토타입 구현

유한주, 김성국, 채찬병  
연세대학교

{hanju.yoo, songkuk, cbchae}@yonsei.ac.kr

## 요 약

기존 semantic communications 시스템은 AWGN 또는 Rayleigh 채널 등 시뮬레이션 기반의 무선 환경에서만 연구되어 왔다. 본 논문은 software-defined radio 기반의 무선 이미지 semantic communications 시스템 프로토타입을 구현하고, 구현 과정에서의 어려움 및 그 해결 방안을 공유한다. 또한 구현한 시스템을 이용해 line-of-sight 환경에서 제안한 semantic communications 시스템이 잘 동작함을 검증하였다.

## I. 서 론

홀로그래프, XR/VR, 360°영상 등 디스플레이 및 영상 기술의 발전으로 인해 차세대 통신에는 보다 높은 데이터 전송 속도 및 낮은 지연 시간이 요구되고 있다. 이를 해결하기 위한 한 가지 방안으로 통신과는 별개의 분야로 여겨졌던 이미지 및 영상 압축 등 소스 코딩 분야를 통신 시스템 연구에 편입, 두 분야를 함께 최적화함으로써 통신 효율을 올리는 것을 목표로 하는 semantic 통신 시스템이 제안되었다 [1].

해당 시스템은 심층신경망을 이용해 소스 코딩 블록과 채널 코딩 및 모듈레이션 블록을 통합하는 것을 목표로 하며, 주어진 원본 데이터(영상, 이미지 등)를 곧바로 2 차원 복소수 심볼로 매핑하게 된다. 이때 심층신경망은 주어진 데이터를 압축하면서도 (소스 코딩) 노이즈에 강건하도록 (채널 코딩) 하는 복소수 표현을 찾아내도록 훈련되는데, 이를 위해 대부분의 semantic 통신 시스템은 오토인코더 구조를 이용해 주어진 데이터의 차원을 축소하고, 축소된 feature 벡터에 가우시안 노이즈 및 rayleigh fading 등을 추가하여 통신 채널로 인한 노이즈 및 페이딩을 모사하게 된다.

Semantic 통신의 훈련은 경사하강법을 이용해 end-to-end 방식으로 이루어지는데, 이 때문에 압축된 데이터 벡터에 추가되는 노이즈 및 페이딩은 미분 가능한 방식으로 이루어져야 한다. 따라서 기존의 연구에서는 실제 무선 환경에서 측정된 데이터보다는 이론적인 AWGN, Rayleigh 페이딩 채널 등 시뮬레이션 기반의 채널을 이용해 시스템을 훈련하고 그 성능을 검증하는 데 그쳤다. 본 논문에서는 이론적 채널 하에서 훈련된 semantic 통신 시스템의 실제 무선 환경 하에서의 성능을 검증하기 위해 software defined-radio (SDR) 플랫폼 기반의 이미지 semantic 통신 프로토타입을 구현하였다.



그림 1. 제안하는 semantic 통신 프로토타입의 구조

## II. 제안하는 Semantic 통신 프로토타입의 구조

본 논문에서 제안하는 시스템은 그림 1 에서 볼 수 있듯 크게 1) 데이터 인코딩 및 디코딩을 위한 심층신경망과 2) 인코딩된 심볼의 무선 송수신을 위한 SDR 장치로 이루어진다.

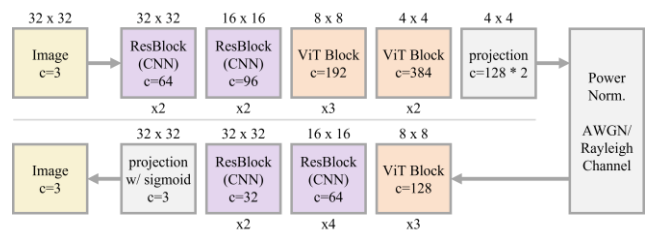


그림 2. 데이터 인코딩, 디코딩을 위한 심층신경망 구조

### II-1. 이미지 인코딩 및 디코딩을 위한 심층신경망

그림 2 는 제안한 시스템에서 사용된 심층신경망 구조를 나타낸 것이다. 기존 선행 semantic 통신 시스템 연구 [2][3]에서 사용된 아키텍처를 기반으로 하되, 일부 블록에 최신 컴퓨터 비전용 심층신경망 아키텍처인 Vision Transformer [4] 기반의 블록을 추가하여 사용하였다. 인코딩의 경우 32\*32\*3 크기의 RGB 컬러 이미지를 512 개의 심볼로 변환하는 방식으로 이루어졌으며, 무선 전송 시에는 총 64 개의 이미지를 동시에 전송하여 총 32768 개의 심볼을 전송하였다.

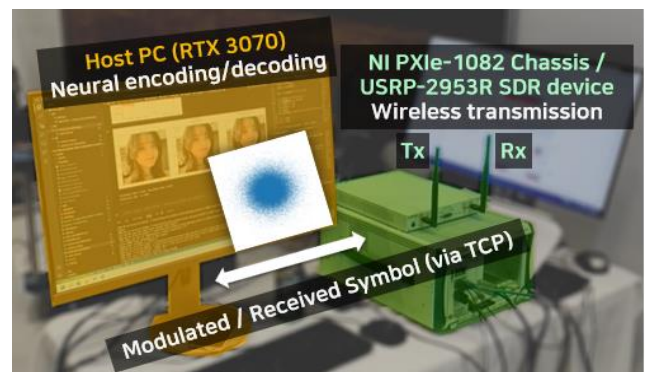


그림 3. 인코딩된 심볼의 무선 송수신을 위한 SDR 플랫폼 기반 무선 전송 시스템

### II-2. 무선 송수신을 위한 무선 전송 시스템

해당 신경망을 통해 인코딩된 심볼의 무선 송수신을 위해 그림 3 과 같이 NI USRP SDR 플랫폼 기반의 무선

전송 시스템을 구현하였다. 먼저 Nvidia RTX 3070 그래픽카드가 장착된 데스크톱 PC 를 이용해 주어진 이미지를 심층신경망을 이용해 인코딩한 후, 인코딩된 심볼을 TCP/IP 프로토콜을 이용해 무선 송수신을 위한 USRP 장치에 전송하고, 무선 채널을 거쳐 수신된 심볼을 다시 데스크톱 PC 에 동일한 방법으로 전달, 디코딩하여 수신된 이미지를 얻게 된다. 이때 2GHz 대역의 무선 주파수 및 1 M/s 의 symbol rate 를 사용하였다.

### II-3. 채널 및 I/Q imbalance 보정을 위한 신호 처리

채널 추정을 위해 인코딩된 심볼의 앞과 뒤에 각각 256 개 심볼로 이루어진 파일럿을 추가하였다. 심볼 앞에 추가된 파일럿의 경우 0 또는 1로 구성된 랜덤 시퀀스를, 심볼 뒤에 추가된 파일럿은 0 과 -1 로 구성된 랜덤 시퀀스를 사용하였다. 그림 4 와 같이 수신된 심볼 시퀀스로부터 autocorrelation 을 이용해 전송된 파일럿 및 심볼 부분을 추정하고, 나머지 부분으로부터 noise level 을 추정하여 주어진 심볼의 DC 값을 shift 하였다. 또 파일럿으로부터 평균 fading 값을 추정해 주어진 신호에 대해 간단한 gain compensation 을 수행하였다.

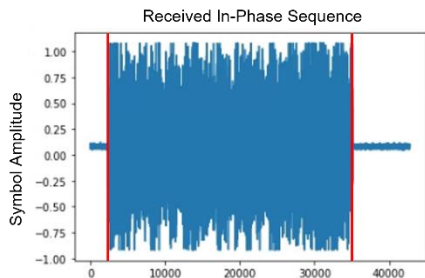


그림 4. 수신된 In-phase 심볼 시퀀스 및 autocorrelation 으로 추정된 심볼 부분 (빨간색 수직선)

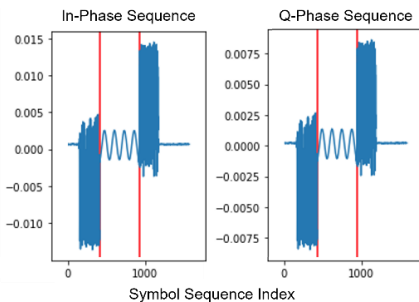


그림 5. I-phase 신호만 보낸 경우에서 I/Q imbalance 로 인한 Q-phase 수신 신호의 간섭 현상

이때 그림 5 와 같이 사용된 USRP SDR 장치에서 in-phase 신호와 quadrature-phase 신호가 서로 섞이는 I/Q imbalance 문제로 인해 신호가 제대로 디코딩 되지 않는 문제가 발생하였다. 이를 보정하기 위해 I/Q imbalance 현상을 다음처럼 모델링하였다. ( $\hat{i}, \hat{q}$  는 I/Q imbalance 로 인해 간섭을 받아 수신된 I 와 Q 시퀀스,  $i, q$  는 원본 I 와 Q 시퀀스,  $k_i, k_q$  는 상수)

$$\begin{cases} \hat{i} = i + k_q q \\ \hat{q} = q + k_i i \end{cases}$$

이후 Q 시퀀스를 0 으로 두었을 때의  $\hat{q}$ , I 시퀀스를 0 으로 두었을 때의  $\hat{i}$  시퀀스 값을 활용하여 평균  $k_i, k_q$  값을 구하고 이를 활용하여 I/Q imbalance 로 인한 간섭을 보정하였다.

### III. 이미지 전송 결과

앞서 제안한 이미지 semantic 통신 프로토타입을 활용하여 실제 무선 환경에서 이미지를 송수신했을 때 수신된 이미지를 그림 6 에 나타냈다. 0 dB SNR 환경에서 훈련한 심층신경망을 사용하였으며, 이를 기존의 JPEG 및 전통적 통신을 결합한 시스템과 비교했을 때 8 dB 이상 더 높은 이미지 PSNR 을 기록하였다. 이때 JPEG 과의 비교를 위해 0 dB SNR 환경에서의 LTE 표준 MCS 를 가정하고 동일한 양의 심볼을 보냈을 때 필요한 이미지 바이트 수를 역산하여 JPEG 압축의 품질을 결정하였다. 이를 통해 제안한 semantic 통신 시스템이 실제 무선 환경 하에서도 잘 동작함을 검증하였으며, 기존의 이미지 전송 시스템 대비 더 나은 수신 이미지 품질을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

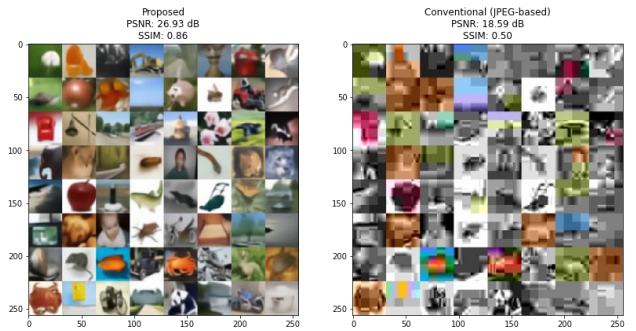


그림 6. 제안한 semantic 통신 프로토타입을 이용해 송수신된 이미지 (PSNR: 26.93 dB, SSIM: 0.86) 및 기존의 JPEG 기반 시스템을 이용해 송수신된 이미지 (PSNR: 18.59 dB, SSIM: 0.50)의 품질 비교

### IV. 결론

본 논문에서는 이론 기반 채널에서만 연구되었던 semantic 통신 시스템을 위한 USRP 기반 이미지 무선 전송 프로토타입을 구현하고, 이를 통해 실제 무선 환경에서 semantic 통신 시스템이 잘 동작함을 검증하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2022-0-00240, 2022R1A5A1027646)

### 참 고 문 헌

- [1] E. Bourtsoulatz, D. Burth Kurka, and D. Gunduz, "Deep joint source-channel coding for wireless image transmission," *IEEE Trans. Cogn. Commun. and Netw.*, vol. 5, no. 3, pp. 567-579, 2019.
- [2] D. B. Kurka and D. Gunduz, "Deepjssc-f: Deep joint source-channel coding of images with feedback," *IEEE J. Sel. Areas Inf. Theory*, vol. 1, no. 1, pp. 178-193, 2020.
- [3] H. Yoo, T. Jung, L. Dai, S. Kim, and C.-B. Chae, "Demo: Real-time semantic communications with a vision transformer," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Commun. Workshops (ICC WKSHPS)*, 2022, pp. 1-2.
- [4] A. Dosovitskiy *et al.*, "An image is worth 16x16 words: Transformers for image recognition at scale," in *Proc. Int. Conf. Learn. Representations (ICLR)*, 2021.