

MIMO-OFDM 시스템에서 양방향 LSTM을 활용한 딥러닝 채널 추정 기법에 관한 연구

^{1,2}최윤주, ^{1,2}박상욱, ^{1,2}김진우, ^{1,2}서승환 ^{1,2}송형규*

¹세종대학교 정보통신공학과, ²세종대학교 지능형드론융합전공

jj010513@naver.com, share1211@naver.com, kjwccm@naver.com, buffalo1997@naver.com

*songhk@sejong.ac.kr

A Study on Deep Learning Channel Estimation Using Bi-LSTM in MIMO-OFDM System

^{1,2}Yoon-Ju Choi, ^{1,2}Sang-Wook Park, ^{1,2}Jin-Woo Kim, ^{1,2}Seung-Hwan Seo, ^{1,2}Hyoung-Kyu Song*

¹Department of Information and Communication Engineering

and ²Convergence Engineering for Intelligent Drone, Sejong University, Seoul, 209 Neungdong-ro 05006, Korea

요약

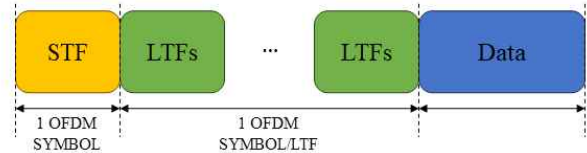
본 논문은 IEEE 802.11 기반의 Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) 시스템에서 채널 추정의 신뢰성을 높이기 위해 양방향 Long Short-Term Memory (LSTM)을 활용한 딥러닝 채널 추정 기법을 제안한다. 통신 네트워크에서 실시간으로 딥러닝 모델을 학습시키는 것은 큰 레이턴시를 발생시키기 때문에, 오프라인 단계에서 통계적 특성이 있는 채널을 학습시키고, 온라인 단계에서 시뮬레이션을 진행한다. 시뮬레이션은 802.11 표준을 기반으로 하는 WLAN 환경에서 채널 추정을 수행하며, 오프라인 단계에서 데이터 생성 및 딥러닝 모델을 학습한 후, 온라인 단계에서 채널 추정을 수행한다. 시뮬레이션 결과에서는 Bi-LSTM을 사용한 채널 추정 기법이 기존의 최소 제곱 오차 (LS) 기법과 평균 제곱 오차 (MMSE) 기법에 비해 더 낮은 bit-error-rate (BER)을 보여줌으로써 향상된 오류 성능을 입증한다.

I. 서론

무선 통신은 효율적인 주파수 스펙트럼 활용과 높은 데이터 전송률을 요구한다. Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) 시스템과 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) 기술은 이러한 요구를 충족시키는 데 중요한 역할을 한다. 특히, IEEE 802.11 표준은 무선 LAN (WLAN)에 널리 사용되며, MIMO-OFDM 시스템을 채택하고 있다. MIMO-OFDM 시스템에서는 채널 추정이 중요한 문제이다. MIMO-OFDM 시스템은 대역폭 효율성을 높이고 다중 경로 간 간섭을 줄이는 등의 이점을 제공한다. 하지만 채널 상태를 정확하게 추정하지 않으면 여러 안테나를 사용하여 다수의 데이터 스트림을 동시에 전송하는 환경에서 각 안테나 간의 채널 상태를 정확하게 파악할 수 없으며, 안테나 간 간섭 (IAI)을 제거하지 못하게 되어 이점을 활용할 수 없다. 또한, 채널 추정의 정확도는 수신기가 더 정확하게 수신 신호를 복원할 수 있도록 하여 데이터 전송률을 향상시켜 통신 시스템의 성능에 직접적인 영향을 미친다.[1]

본 논문에서는 MIMO-OFDM 시스템에서 채널 추정의 신뢰성을 높이기 위해 양방향 LSTM (Bi-LSTM)을 활용하는 딥러닝 채널 추정 기법을 제안한다. LSTM은 순환 신경망 (RNN)의 한 종류로, 장기 의존성을 갖는 시퀀스 데이터를 처리하는 데 효과적이다. 이러한 LSTM을 양방향으로 구성함으로써 과거와 미래의 정보를 모두 고려하여 채널 상태를 추정할 수 있다. 딥러닝 모델을 활용한 채널 추정 기법은 기존의 최소 제곱 (LS) 및 최소 평균 제곱 오차 (MMSE) 기법에 비해 더 뛰어난 성능을 보일 것으로 기대된다. LS는 계산이 간단하지만 정확도가 낮고, MMSE는 정확도가 높지만 계산량이 많다. 딥러닝 모델을 활용한 Bi-LSTM 채널 추정 기법은 LS와 MMSE 기법보다 더 뛰어난 정확도를 제공할 수 있다. 실제 시스템에서 채널 상태를 더 정확하게 추정하여 데이터 전송률을 향상시킬 수 있다. [2]

II. 본론



[그림 1] 802.11 기반 PHY 프레임 구조

본 논문은 IEEE 802.11 표준을 기반으로 하는 WLAN 환경의 채널 추정에 대한 것이다. 802.11의 PHY 프레임에는 여러 가지 필드로 구분되는데 그 중 [그림 1]의 Long Training field (LTF) 필드에서 채널 추정이 이루어진다. LTF 필드에서 채널 추정을 위한 파일럿 신호는 다음과 같이 정의한다.[3]

$$\begin{aligned} LTF_{left} &= \{1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1, \\ &\quad 1, 1, 1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1\} \\ LTF_{right} &= \{1, -1, -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, \\ &\quad -1, -1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, 1\} \end{aligned} \quad (1)$$

242개의 subcarrier를 갖는 80MHz 대역을 갖는 시나리오에서 LTF 신호는 다음과 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} LTF_{-122:122} &= \{LTF_{left}, 1, LTF_{right}, -1, -1, -1, 1, \\ &\quad 1, -1, 1, -1, 1, 1, -1, LTF_{left}, 1, LTF_{right}, 1, -1, 1, \\ &\quad -1, 0, 0, 0, 1, -1, -1, 1, LTF_{left}, 1, LTF_{right}, -1, -1, \\ &\quad -1, 1, 1, -1, 1, -1, 1, 1, -1, LTF_{left}, 1, LTF_{right}\} \end{aligned} \quad (2)$$

484개의 subcarrier를 갖는 160MHz 대역을 갖는 시나리오에서 LTF 신호는 다음과 같이 정의한다.

Evaluation). 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2023-2021-0-01816).

참 고 문 헌

- [1] Van Nee, R., Jones, V.K., Awater, G. et al. The 802.11n MIMO-OFDM Standard for Wireless LAN and Beyond. *Wireless Pers Commun* 37, 445 - 453, 2006.
- [2] A. S. Ahmed, M. M. Hamdi, M. S. Abood, A. M. Khaleel, M. Fathy and S. H. Khaleefah, "Channel Estimation using LS and MMSE Channel Estimation Techniques for MIMO-OFDM Systems," 2022
- [3] IEEE 802.11n, Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE, 2006.