온라인 메타 학습 기법을 통한 테라헤르츠 연결 막힘 누적분포함수 예측 모델 학습 방법

백인호, 서효운*, 최완

서울대학교 전기정보공학부, *광운대학교 전자통신공학과 ,뉴미디어통신공동연구소

inho0823@snu.ac.kr, *hyowoonseo@kw.ac.kr, wanchoi@snu.ac.kr

Blockage Probability Prediction of THz Link Through Online Meta-Learning

Back Inho , *Hyowoon Seo, Wan Choi

Department of Electrical and Computer Engineering, INMC, Seoul National University

*Department of Electronics and Communications Engineering, Kwangwoon University

요 약

무선 통신에서 한정적인 주파수 자원 문제로 인해 높은 주파수 대역에 대한 필요성이 높아짐에 따라 최근 테라헤르츠(THz) 통신에 관한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 테라헤르츠 통신에서는 가시선 (line-of-sight: LoS) 성분이 채널의 주성분이 되는 특성으로 인해 그 성능은 주로 LoS를 방해하는 인자에 의해 결정되므로 기계 학습으로 방해물에 의한 통신 링크 단절을 예측하는 기법이 기존에 연구되었다. 하지만 실시간 통신 상황에서는 여러 종류의 방해물의 변칙적인 움직임에 의해 통신 링크의 성능이 저하되고 데이터를 저장할 수 있는 메모리의 한계가 있어서 기존의 학습 방법에서는 시간이 지남에 따라 이전의 학습된 정보를 잊어버리는 치명적인 잊음(catastrophic forgetting) 현상이 발생한다. 따라서 본 연구에서는 새로운 움직임이 발생하였을 때, 적은 데이터로도 이전 학습 내용을 잘 기억해 내도록 하는 온라인 메타 학습(online meta learning)기법을 활용해 통신 링크 단절을 예측하는 방법을 제안한다. 제안한 예측 모델은 기존 방법과 비교해서 고정된 시간 동안 통신 링크 단절을 더 효과적으로 예측하며 이를 검증하기 위해 본 논문에서는 순환 신경망(Recurrent Neural Network) 기반 신경망에 온라인 메타 학습 기법을 활용하는 시뮬레이션을 통해 기존 학습 방법과 비교하여 적은 데이터양으로도 통신 링크 단절을 더 정확히 예측하는 것을 보였다.

Ⅰ. 서 론

최근 통신 장치 수의 증가에 따른 주파수 대역 부족 문제가 두드러지고 있다. 이를 해결하기 위해 최근 넓은 주파수 대역을 가진 테라헤르츠(THz) 대역에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 일반적으로 전자기파는 주파수가 높아짐에 따라서 가시선(line-of-sight)이 주성분이 되고 분자흡수 현상에 의한 주파수 선택적인 채널의 특징을 가진다. 따라서 테라헤르츠 통신에서는 채널의 가시선 성분을 차단하는 방해물에 의한 성능 저하가 매우 크고, 이로 인해 방해물의 존재나 이동 경로 등의 예측을 통해 통신 링크 단절을 예측하거나 이를 확률 모델링하는 연구는 매우 중요하다. 특히, 시간 지연에 민감하며 높은 신뢰도가 요구되는 상황에서 이러한 통신 링크 단절은 더욱 영향이 크므로, 통신 링크 단절에 대한 예측의 중요성은 더욱 높아진다.

최근 기계 학습을 발전으로 통신 링크 단절에 대한 예측 모델을 학습하는 것이 가능해졌고 관련된 연구도 다수 수행되었다. 하지만 일반적으로 방해물의 수가 많거나 이동성을 가지면 정확한 통신 링크 단절 예측하는데 많은 양의 학습 데이터양을 요구하는 문제가 발생한다.

이를 해결하기 위해 최근 [1] 연구에서는 오프라인 메타 학습 기법을 제시하여 하나의 방해물 움직임에 대해 여러 개의 셀에서 얻은 고정된 수신 SNR 데이터를 이용하여 새로운 셀에서의 통신 링크 단절을 적은 양의 학습 데이터로도 예측 가능한 모델을 만들었다. 오프라인 메타 학습 기법은 고정된 전체 시간에서의 수신 SNR을 모두 저장하고 있고 이를 활용하여 예측 모델을 만든다. 반면 본 논문에서는 온라인 메타러닝을 고려하여 제한된 메모리 크기로 인해 전체 시간에서의 수신 SNR을 모두 저장할 수 없는 상황을 고려한다. 이러한 저장 공간의 한계는 메타학습 과정에서 치명적 잊음(catastrophic forgetting) 현상이 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 메모리 할당 기법 [2]을 활용하여 메모리에 저장된 데이터를 효과적으로 활용하는 LSTM 기반 온라인 메타 학습을 적용한 통신 링크 단절 예측 모델을 제안한다.

시뮬레이션을 통해 통신 링크 단절 방해물의 새로운 움직임이 발생하였을 때, 기존의 오프라인 메타 학습 기법과 비교하여 더 짧은 시간 동안의 적은 입력 데이터로도 높은 링크 단절 예측 성능을 나타냄을 확인하였다. 또한 본 연구는 오프라인 상황에서만 연구되던 링크 단절에 대한 예측 모델을 온라인 메타 학습 기법을 통해 처음으로 온라인 상황에서의 장애물 움직임에 따른 링크 단절 예측 모델을 제시했다는 면에서 그 의의가 있다.

Ⅱ. 본론

가. 시스템 모델

이 논문에서는 하나의 셀에 K 개의 장치가 위치하고 있는 상황을 고려한다. 셀의 특징은 파라미터 π 으로 나타내었다. 셀의 상황을 고려한 기지국에서 장치 k에서 시간 t에 수신한 신호($y_{k,t}$)는 아래와 같이 나타날 수 있다.

$$y_{k,t} = h_{k,t}x_{k,t} + w_{k,t}$$
$$\text{s.t.} \quad E[||x_{k,t}||] = 1$$

이때 기지국에서부터 장치 k까지의 무선 채널 $h_{k,t}$는 Rician Fading model을 사용하고 $w_{k,t}$는 가산성 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise)을 사용한다.

이때 우리가 통신 링크 단절에 대해 예측하고 싶은 장치 k에 대한 단절

예측 확률 모델($f_k(\bullet)$)은 다음과 같다.

$$f_k(x_{1:t}) = \Pr([\gamma_{k,(t+\xi+1)} \le \gamma_0] \cup \cdots \cup [\gamma_{k,(t+\xi+\tau)} \le \gamma_0 | x_{1:t}, \pi]$$

위 식에서 $x_{1:t}$ 는 장치 1부터 K에서 시간 t까지의 수신 SNR 값을 나타내며 γ_t는 시간 t에서의 수신 SNR 값, ξ는 시스템에 의한 시간 지연 그리고 τ는 예측하고자 하는 시간 구간의 길이를 나타낸다.

다. 시뮬레이션

시뮬레이션은 2개의 LSTM layer 과 5개의 Full Connected layer로 이루어진 신경망 구조를 사용하였으며 논문[1]에서의 표1과 같은 변수로 구성된 환경에서 여러 가지 통신 링크 단절의 상황을 구현하고 수신 SNR 값을 생성하였다. 설정한 통신 링크 단절을 야기하는 움직임의 형태는 아래 그림1(a)~(c)와 같다. 신뢰 가능한 수신 SNR 값도 [1]과 동일하게 -20dB로 설정하였다. 기지국의 위치는 (-1.3, 0)으로 빨간색 점으로 표시되어 있으며 20개로 설정된 장치들의 위치는 그림1(a)~(c)에서와 같이 무작위로 배치되어 있으며 파란 점으로 나타나 있다. 사용된 시간 샘플의 수는 첫 번째부터 세 번째 단절의 움직임까지는 5,000개이고, 네 번째에 대해서는 2,500개의 시간에서의 수신 SNR을 학습 데이터로 사용하였다. 형태는 첫 번째 움직임과 형태는 같지만 단절의 상황은 논문[1]의 표.1 과 같이 다른 상황을 표현한다. 또한, 메모리에 저장하는 방법은 Reservoir Sampling 방법 [2]을 사용하였으며 온라인 메타 학습 기법 [3]을 사용하였다. 위와 같은 시뮬레이션 상황에서 통신 링크 단절의 발생에 대한 누적 분포함수 예측값을 관찰하였다.

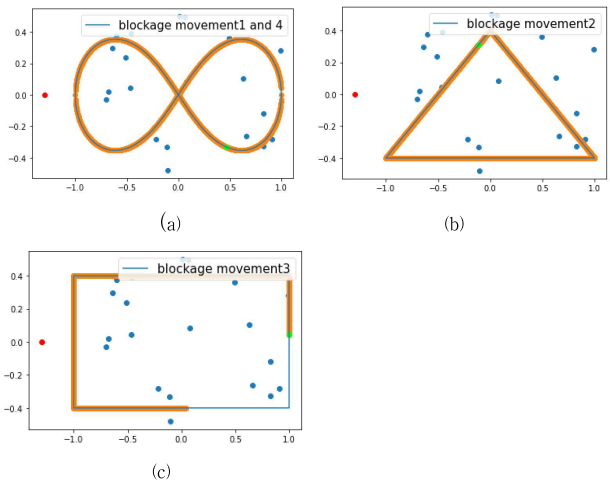

그림 1.(a) 통신 링크 단절을 야기하는 첫 번째 움직임과 네 번째 움직임의 예시 (b) 통신 링크 단절을 야기하는 두 번째 움직임의 예시 (c)통신 링크 단절을 야기하는 세 번째 움직임의 예시

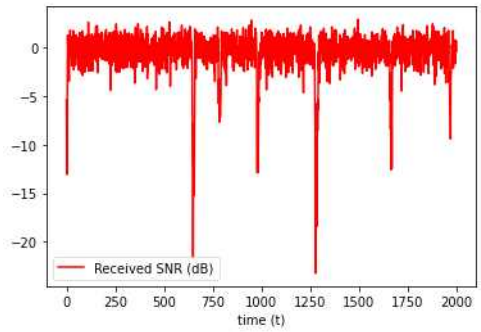

그림 2. 시간에 따른 수신 SNR의 변화 예시

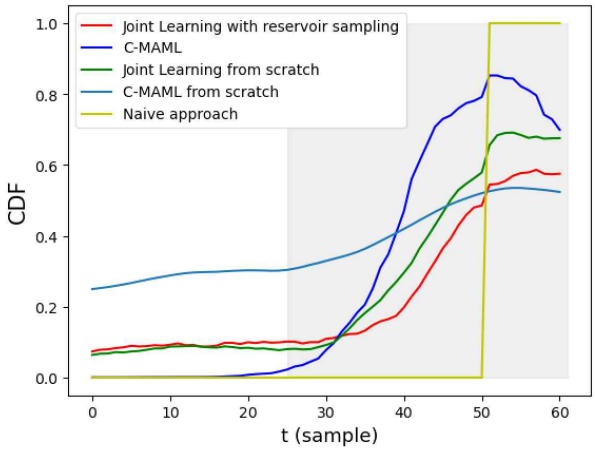

그림 3. 통신 링크 단절 발생 시점에서의 예측 모델의 결과

본 논문에서는 기지국에서 여러 장치에서 받은 수신 SNR 값만을 가지고 온라인 상황에서 새로운 통신 링크 단절 상황 대해 작은 수의 학습 데이터를 사용하여도 우수한 링크 단절 예측 성능을 보여주는지에 대하여 관찰하였다. 시뮬레이션 결과, 짧은 시간의 수신 SNR 값이 들어왔을 때 온라인 메타 학습 기법이 다른 기존 학습 방법보다 새로운 통신 링크 단절 상황에 대해 잘 기억하고 있음을 보였다. 이를 통해 온라인 메타 학습 기법을 사용했을 때 다른 방법보다 적은 수의 학습 데이터로도 충분히 링크 단절 예측 모델을 만들 수 있음을 확인하였다.

Ⅲ. 결론

본 논문에서는 메모리 크기의 한계가 존재하는 경우, 온라인 메타학습에서 적은 양의 수신 SNR 학습 데이터를 사용하여 통신 링크 단절을 예측하는 모델을 얻는 방법에 관해 연구했다. 온라인 메타 학습 기법을 사용하는 제안 방법은 기존 연구에서 제안된 기법보다 통신 링크 단절 예측을 더 효과적으로 예측할 수 있음을 시뮬레이션을 통해 보였다. 또한 본 논문은 신경망을 활용해서 통신 링크 단절에 대한 확률 모델을 얻을 수 있음을 온라인 상황에서 처음으로 제시하였다는 점에 의의가 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2018-0-00809, 새로운 자원을 활용한 beyond 5G 이동통신 변혁기술 개발).

참 고 문 헌

[1] Kalør, Anders E., Osvaldo Simeone, and Petar Popovski. "Prediction of mmWave/THz link blockages through meta-learning and recurrent neural networks." IEEE Wireless Communications Letters 10.12 (2021): 2815-2819.

[2]Riemer, M., Cases, I., Ajemian, R., Liu, M., Rish, I., Tu, Y., & Tesauro, G. (2018). Learning to learn without forgetting by maximizing transfer and minimizing interference. arXiv preprint arXiv:1810.11910.

[3]Gupta, G., Yadav, K., & Paull, L. (2020). Look-ahead meta learning for continual learning. Advances in Neural Information Processing Systems, 33, 11588-11598.