

미래 모바일 네트워크에서의 인공지능

심규성*

*한경국립대학교

kyusung.shim@hknu.ac.kr

Artificial Intelligent in Future Mobile Networks

Kyusung Shim*

Hankyong National University

요약

최근 인공지능은 다양한 분야에서 활용이 되고 있다. 미래 모바일 네트워크 역시 다양한 제한 조건에서 다양한 서비스와 네트워크 요구 사항을 만족하기 위한 다양한 방법들이 연구 및 개발되고 있다. 본 논문에서는 미래 모바일 네트워크를 위한 진보된 다중 접속 기술과 새로운 네트워크 패러다임과 미래 모바일 네트워크에서의 인공지능을 역할을 소개한다.

I. 서론

무선 통신 기술이 발달함에 따라, 다양한 서비스에 대한 요구가 증가하고 있다. 따라서, 기존의 이동통신과 달리, 5세대 이동통신 기술의 경우, 크게 짧은 시간 동안 많은 데이터를 전송하기 위한, Enhance Mobile BroadBand (eMBB), 수많은 디바이스를 동시에 지원하는 Massive Machine Type Communication (mMTC), 자율 주행과 같이 짧은 지연과 높은 신뢰도를 지원하는 Ultra-Reliable and Low Latency Communication (URLLC)로 구분할 수 있다. 이러한 서비스를 제공하기 위해서는 새로운 다중 접속 방법과 네트워크 패러다임에 관한 연구가 진행되고 있다[1]-[3].

본 논문에서는 미래 이동통신 시스템을 위한 새로운 다중 접속 방법인 비-직교식 다중 접속(Non-Orthogonal Multiple Access: NOMA)과 새로운 네트워크 패러다임인 Cell-Free Massive Multiple-input Multiple-output (CF-mMIMO), 재설정할 수 있는 지능형 반사 패널 (Reconfigurable Intelligent Surface: RIS)과 인공지능의 역할에 관해서 설명한다[4], 5].

II. 본론

1. Non-Orthogonal Multiple Access: NOMA

비-직교식 다중 접속(NOMA)은 기존의 직교식 다중 접속 (Orthogonal Multiple Access: OMA)와 달리, 하나의 자원 블록(시간 또는 주파수)을 다수 사용자에게 할당한다[6]. 두 사용자가 존재하는 네트워크에서 비-직교식 다중 접속을 통해서 전송한다고 가정하자. 이때, 하나의 시간 블록에 두 사용자의 거리(정확하게는 채널 상태)에 따라서 서로 다른 전송파워를 할당하게 된다. 즉, 가까운 사용자에게는 낮은 전송파워를 할당하고, 먼 사용자에게는 높은 전송파워를 할당한다. 따라서, 전송자가 두 명의 수신자에게 보내는 메시지(x_s)는 나타내면 다음과 같다.

$$x_s = \sqrt{\theta_N}x_N + \sqrt{\theta_F}x_F \quad (1)$$

여기서, θ_N 과 θ_F 는 전송파워 할당계수(Power Allocation Coefficient)로

가까운 사용자는 상대적으로 채널 상태가 좋아서 낮은 전송파워를 할당하고, 먼 사용자는 상대적으로 채널 상태가 나빠서 이를 극복하기 위해서 높은 전송파워를 할당하게 된다. 따라서, 가까운 사용자에서 수신되는 신호는 다음과 같다.

$$y_{SN} = \sqrt{P_S}x_s h_{SN} + n_N \\ = \sqrt{P_S}(\sqrt{\theta_N}x_N + \sqrt{\theta_F}x_F)h_{SN} + n_N \quad (2)$$

여기서, P_S 는 신호를 전송하기 위한 전송파워, h_{SN} 는 채널 효율을 나타내고, n_N 은 가까운 사용자와의 채널의 잡음을 나타낸다.

가까운 사용자의 경우, 상대적으로 적은 전송 파워를 할당받기 때문에 수신된 신호에서 가까운 사용자의 메시지를 디코딩하는 게 어렵다. 따라서, 먼저 수신된 신호에서 먼 사용자의 메시지를 Successive Interference Cancellation (SIC) 과정을 이용하여 제거한 다음에 가까운 사용자 메시지를 디코딩한다. 이를 위해서, 가까운 사용자가 수신한 신호에서 제거되는 먼 사용자 메시지의 신호-대-간섭-잡음 비(Signal-to-interference-plus-noise Ratio: SINR)은 다음과 같다.

$$\gamma_{SN,x_F} = \frac{P_S \theta_F |h_{SN}|^2}{P_S \theta_N |h_{SN}|^2 + \sigma^2} \quad (3)$$

가까운 사용자가 먼 사용자의 메시지를 수신받은 신호에 제거한 뒤, 자신의 메시지를 디코딩한다. 이때, 가까운 사용자 메시지의 신호-대-잡음 비(Signal-to-noise Ratio: SNR)은 다음과 같다.

$$\gamma_{SN,x_N} = \frac{P_S \theta_N |h_{SN}|^2}{\sigma^2} \quad (4)$$

가까운 사용자와 달리, 먼 사용자는 나쁜 채널 상태를 극복하기 위해서 높은 전송파워를 할당받는다. 따라서, 수신된 신호에서 자신의 메시지를 직접 디코딩이 가능하다. 먼 사용자가 전송자로부터 받은 신호는 다음과 같다.

$$y_{SF} = \sqrt{P_S}(\sqrt{\theta_N}x_N + \sqrt{\theta_F}x_F)h_{SF} + n_F \quad (5)$$

수학적 (5)로부터 먼 사용자의 신호-대-잡음 비를 구하면 다음과 같다.

$$\gamma_{SF,xF} = \frac{P_S \theta_F |h_{SF}|^2}{P_S \theta_N |h_{SF}|^2 + \sigma^2} \quad (6)$$

이를 통하여, 기존의 직교식 다중 접속과 비교하여, 같은 자원을 활용하여 많은 사용자가 동시에 빠르게 정보를 전달할 수 있게 된다.

2. Cell-Free Massive Multiple-input Multiple-output: CF-mMIMO

기존의 모바일 네트워크는 하나의 기지국이 다수의 사용자를 제어하였다(그림 1(a)). 이에 따라 원활한 관리는 가능하지만, 여러 사용자가 하나의 기지국과 통신을 하므로 스케줄링이 필요하고 이에 따라 늦은 순번의 사용자들은 필연적으로 지연이 발생하게 된다. CF-mMIMO는 하나의 강력한 기지국이 아닌 다수의 Access Point(AP)가 다수의 사용자들을 동시에 연결하고 서비스한다[7]. 이를 통하여 기존의 기지국이 스케줄링을 통하여 여러 사용자들을 순차적으로 정보를 주고받는 것이 아니라, 다수의 AP를 이용하여 다수의 사용자들 동시에 데이터를 주고받을 수 있게 된다(그림 1(b)).

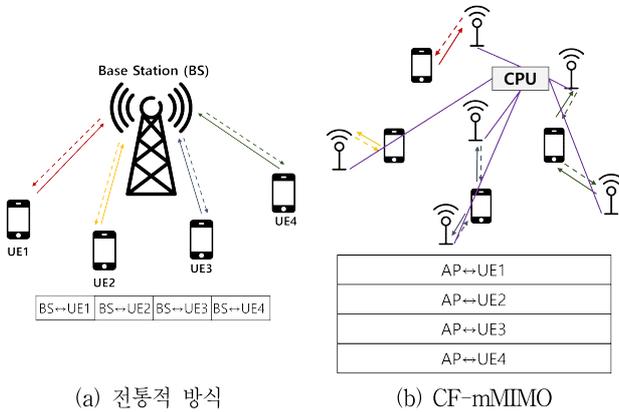


그림 1. 기존의 Cellular Network와 CF-mMIMO Network 비교

3. Reconfigurable Intelligent Surface: RIS

지금까지의 무선 통신은 전송자가 메시지를 수신자로 전송하면 대기 중으로 전파만 되었다. 그러다 보니 다양한 요인들로 인하여 신호의 왜곡이 발생하고 이에 따라 종종 전송에 실패하는 경우가 발생한다. 차세대 이동통신의 경우, 자율 주행과 같은 민감하고 중요한 정보들을 실시간으로 주고받아야 해서 신뢰성이 매우 중요하다. 거울과 같이 전파를 반사 시켜서 수신자가 중단없이 데이터를 수신할 수 있도록 하는 방법에 관한 연구가 활발하게 진행 중이다. 이 중에서도, 재설정할 수 있는 반사 패널(RIS)은 무선 주파수 신호를 전송자가 원하는 방향으로 반사 시켜서 데이터 무선 채널의 불규칙성을 극복하는 방법이다[8].

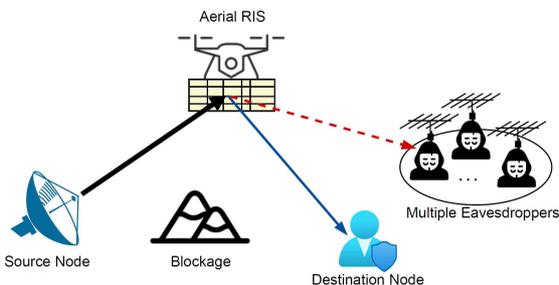


그림 2. RIS-aided Networks

4. Artificial Intelligent: AI

기존의 방식으로는 차세대 이동통신 서비스가 요구하는 성능을 달성하는 데 많은 어려움이 있다[1]-[5]. 이를 극복하는 방법으로 인공지능이 다양한 무선 통신시스템에 적용되고 있다. 대표적으로, 채널의 상태를 바탕으로 최적의 인코딩 방법을 선정한다거나, 시스템 성능을 최적화, 채널 상태를 이용한 안테나(사용자) 선택 방법에 적용되고 있다. 예를 들어, 시스템 최적화의 경우, 전통적인 방법은 non-convex 목적함수를 convex 목적함수로 바꾼 다음 탐색 알고리즘을 이용하여 목적함수를 최적화하는 값을 찾았다. 하지만 무선 통신 시스템이 복잡해짐에 따라, 전통적인 방법은 명확한 한계점을 갖고 있다. 이를 극복하기 위해서 다양한 인공지능 모델이 다양한 분야에 활용되고 있다.

III. 결론

본 논문에서는 미래 모바일 네트워크를 위한 비-직교식 다중 접속, CF-mMIMO, RIS, 그리고 인공지능의 역할에 대해서 조사 하였다. 현재 본 연구자는 본 논문에서 소개한 기술들을 융합하여 기존의 무선 통신 시스템의 한계점을 극복하고 시스템 성능을 향상하거나 최적화하기 위한 연구를 진행 중이다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by a research grant from Hankyong National University in the year of 2023.

참고 문헌

- [1] I. Tomkos, D. Klonidis, E. Pikasis, and S. Theodoridis, "Toward the 6G Network Era: Opportunities and Challenges," *IT Prof.*, vol. 22, no. 1, pp. 34 - 38, 2020.
- [2] C. X. Wang, J. Huang, H. Wang, X. Gao, X. You, and Y. Hao, "6G Wireless Channel Measurements and Models: Trends and Challenges," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 15, no. 4, pp. 22 - 32, 2020.
- [3] W. Tong and G. Y. Li, "Nine Challenges in Artificial Intelligence and Wireless Communications for 6G," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 29, no. 4, pp. 140 - 145, 2022.
- [4] W. Y. B. Lim et al., "Federated Learning in Mobile Edge Networks: A Comprehensive Survey," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 22, no. 3, pp. 2031 - 2063, 2020.
- [5] L. Zhang, Y. C. Liang, and D. Niyato, "6G Visions: Mobile ultra-broadband, super internet-of-things, and artificial intelligence," *China Commun.*, vol. 16, no. 8, pp. 1 - 14, 2019.
- [6] K. Shim, T. N. Do, T. Van Nguyen, D. B. Da Costa, and B. An, "Enhancing PHY-Security of FD-Enabled NOMA Systems Using Jamming and User Selection: Performance Analysis and DNN Evaluation," *IEEE Internet Things J.*, vol. 8, no. 24, pp. 17476 - 17494, 2021.
- [7] M. Mohammadi, Z. Mobini, D. Galappaththige, and C. Tellambura, "A Comprehensive Survey on Full-Duplex Communication: Current Solutions, Future Trends, and Open Issues," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 25, no. 4, pp. 2190 - 2244, 2023.
- [8] Y. Liu et al., "Reconfigurable Intelligent Surfaces: Principles and Opportunities," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 23, no. 3, pp. 1546 - 1577, 2021.