

인공지능과 컴퓨터 비전 기반 무선통신 기술 조사 및 분석

김태욱¹, 김유빈¹, 조아림¹, 권기범², 이호원¹

한경국립대학교 전자전기공학부¹, (주)아이티엘²

{gkffktm112, youbin1323, jal9160, hwlee}@hknu.ac.kr¹, kbkwon@gooditl.com²

Survey and Analysis of Artificial Intelligence and Computer Vision-Based Wireless Communications

Taewook Kim¹, Youbin Kim¹, Ahrim Cho¹, Ki-bum Kwon², Howon Lee¹

Hankyong National University¹, ITL Co., Ltd.²

요약

6G의 요구사항을 만족시키기 위해 최근 다양한 무선통신 기술에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히, 높은 데이터 전송률과 신뢰성, 짧은 전송 지연 시간 관련 요구사항을 만족시키기 위해 mmWave 및 THz 대역의 활용에 많은 연구의 초점이 맞춰지고 있다. 하지만 초고주파 대역을 무선통신에서 활용함에 있어서 링크 차단을 증가, 매우 짧은 통신 거리 등의 문제점들이 발생하기 때문에, 이를 해결하기 위해 인공지능(artificial intelligence, AI) 기술과 컴퓨터 비전(computer vision, CV) 기술을 활용한 무선통신에 관한 연구가 매우 활발히 진행되고 있다. 이에 따라, 본 논문에서는 인공지능과 컴퓨터 비전 기반 간섭 제어, 최적 빔 선택 등과 같은 다양한 관련 기존 연구들에 대해 살펴보고 분석해본다.

I. 서론

인간의 눈과 생각을 대신하는 AI(artificial intelligence)와 컴퓨터 비전 기술(computer vision, CV)은 인간의 능력으로 수행할 수 없는 많은 문제들을 성공적으로 해결하고 있다. 최근에는 이러한 기술들이 반도체, 센서, 자동차와 같은 공장 자동화로부터 국방 산업, 항공우주 산업, 농업 등에 이르기까지 많은 분야에서 매우 활발하게 사용되고 있다 [1]-[3]. 더 나아가 AI와 CV 기술은 현재 무선통신 네트워크 분야에서의 활용도 매우 활발히 연구되고 있다. B5G(beyond 5G), 6G 통신 네트워크에서는 높은 데이터 처리량 달성, 초고신뢰·초저지연 통신을 달성하기 위해 mmWave, THz 대역과 같은 초고주파 대역의 활용이 고려되고 있다. 초고주파 대역은 높은 직진성을 지니며, 환경의 다양한 객체에 의한 링크 차단에 취약하다. 환경에 대한 정보를 사전에 알 수 있다면 차단을 예측하고, 신뢰성 있는 연결을 보장할 수 있다. 환경에 대한 정보를 수집하여 사용하는 방법으로 가장 유망한 것은 CV 기술을 이용하는 것이다. BS(base station)에 카메라를 부착하여 사용하거나, UAV(unmanned aerial vehicle)를 이용한 무선통신에서 광학 카메라를 이용하는 등 시각적 이미지를 활용하여 무선통신을 효율적으로 사용하고 성능을 향상시키기 위한 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 AI와 CV 기술을 이용하여 무선통신 네트워크의 문제점을 해결한 다양한 기존 연구들에 대해서 소개한다 [4]-[9].

II. AI와 컴퓨터 비전 기반 무선통신 기술 연구 동향

문헌 [4]는 mmWave 및 THz 통신 체제에서 CV 기법을 활용하여 모바일 사용자의 위치를 식별하는 CVBM(computer vision-aided beam management)을 제안하였다. 기존의 마이크로파를 사용하는 시스템과 비교하여 mmWave 대역은 높은 회절 및 손실, 감쇠로 인하여 통신 거리가 짧고, 심각한 경로 손실을 보장하기 위해 MIMO(multiple-input multiple-output) 안테나 배열로 실현되는 빔포밍 기술이 널리 사용되고 있다. 빔이 신호 전파 경로와 적절하게 정렬될 때에만 빔포밍 이득이 최대화되므로, BS

는 빔 생성 단계에서 도착/출발 각도 및 거리의 형태로 정확한 하향링크 채널 정보를 획득해야 한다. 5G NR(5G new radio)에서 빔 관리 프로세스는 간단하고 직관적이지만 BS와 모바일 장치 사이의 최적 빔 방향을 식별하기 위해 복잡한 핸드셰이킹 프로세스가 필요하다.

CVBM에서 DL(deep learning) 기반 객체 검출기는 RGB-D(RGB-depth) 카메라에서 얻은 이미지를 사용하여 모바일의 위치를 식별하며, 이는 BS가 코드북 양자화 및 핸드셰이킹 과정 없이 정보를 포함하는 빔을 전송할 수 있음을 의미한다. 구체적으로, CVBM은 백본, 넥, 헤드의 세 가지 요소로 구성된 CNN(convolutional neural network)을 활용한다. 백본은 이미지에서 특징을 추출하고 넥은 객체 탐지 및 클래스 예측에 필요한 정보에만 헤드가 집중할 수 있도록 로컬 특징(가장자리)과 전역 특징(얼굴 및 벽)에 다른 가중치를 부여한다. 헤드는 가중치가 부여된 특징을 입력으로 사용하여 이미지의 각 픽셀에 대한 신뢰 점수, 클래스 점수, 바운딩 박스의 높이 및 너비를 계산한다. 신뢰 점수는 지점이 객체의 중심이 될 가능성을 나타내고, 클래스 점수는 클래스에 속하는 각 객체의 확률을 측정한다. 또한, RGB-D 카메라를 2차원 좌표(x, y)와 함께 깊이 정보를 사용하여 구면 좌표(r, θ , ϕ)를 계산하여 모바일의 위치를 식별하였다. 이에 따라, 본 문헌에서는 5G NR 빔 관리 프로세스에 비해 CVBM을 이용한 빔포밍이 빔포밍 이득 최대화, 에너지 절약성, 지연 제거의 이점이 있다는 결과를 보였다.

문헌 [5]는 사용자 매칭 방법과 자원 할당 방법을 포함하는 비전 기반 통신 방식을 제안하였다. 사용자 매칭 방법은 가변 수의 동적 객체를 가지는 통신 환경에 적용할 수 있으며, 자원 할당 방법은 비전 정보에 의한 전력 할당 및 사용자 스케줄링을 실현할 수 있다. 구체적으로, 사용자 매칭 방법은 멀티뷰 영상에서 모든 환경 객체의 위치/크기/방향 정보를 얻기 위해 3D 탐지 방법을 사용한 후, 모든 탐지된 객체의 공간 분포 정보를 활용하며 바운딩 박스 분포 특징을 생성한 후, 사용자 매칭 심층 신경망을 설계하여 바운딩 박스 분포 특징과 최적의 빔 쌍 인덱스를 사용하여 특정 사용자의 위치 분포를 추정하고, 자원 할당 방법은 다중 BS 및 다중 사용자가 있는 시나리오에서 사용자 및 주변 산란 객체의 공간 분포를 사용하

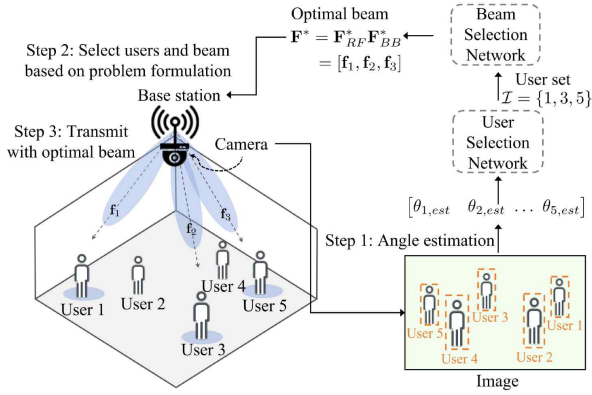


그림 1. ML-VBS를 이용한 실내 다중 사용자 통신 시나리오

여 사용자 및 산란 분포 특징을 생성 후, 비전 기반 자원할당 심층 신경망을 설계하여 각 사용자가 연결해야 하는 최적의 BS와 사용자 및 주변 산란 분포 특징별 최적의 전송 전력을 예측한다.

본 문헌에서는 다중 클래스 분류 기반 사용자 매칭 방법과 무작위 사용자 매칭 방법을 벤치마크로 사용하여 높은 사용자 매칭 정확도와 전송률을 갖는 것을 검증했다.

문헌 [6]은 다중 사용자 통신에서 빔 선택 오버헤드 문제를 해결하기 위해 ML-VBS(machine learning-based vision-aided beam selection)를 제안하였다. ML-VBS는 BS에 카메라를 사용하고 사용자 선택과 빔 선택을 위해 두 개의 직렬 심층 신경망을 사용한다. 또한, 그림 1과 같이 사용자의 각도 추정을 위해 수정된 YOLO(you only look once) 알고리즘을 사용하며, 각도 추정치는 신경망의 입력으로 사용된다. 구체적으로, 사용자 선택 신경망의 입력은 카메라 정보를 기반으로 모든 사용자의 추정된 각도를 나타내는 벡터이다. 사용자가 카메라에 의해 감지되면 1, 사용자가 없는 각도에는 0의 값이 설정되고, 출력은 선택된 사용자의 각도 정보를 포함하는 벡터로 빔 선택 신경망의 입력으로 사용된다. 빔 선택 신경망의 출력은 주어진 영상에 대한 최적 빔 각도이다.

본 문헌에서는 ML-VBS가 기존 방식보다 더 높은 합산 속도를 달성하고, 낮은 빔 선택 오버헤드로 인해 데이터 전송을 위한 시간을 더 할당할 수 있다는 결과를 보였다.

문헌 [7]은 mmWave UAV 통신 시스템의 효율을 높이기 위해 지상의 수신기 위치를 정확히 결정할 수 있는 novel distributed optimal CV-aided transmission scheme을 제안하였다. 시스템은 광학 카메라를 이용하여 주변의 영상을 실시간으로 수집하고, 수신기의 localization을 수행한다. 그리고 LoS 링크를 설정하기 위해 표적 탐지 네트워크를 적용하고, 바운딩 박스를 생성한 후 전체적인 공간 정보를 고려하여 UAV 궤적, mmWave 빔포밍 및 전력 할당을 최적화하였다.

문헌 [8]은 무선 정보, 이미지 정보 두 가지 정보를 결합하여 빔 차단을 사전에 예측한 후, QoE(quality of experience)를 최대화 하는 시간에 네트워크가 HO(handover)를 수행하도록 지시하여 네트워크 성능을 최적화 하는 CV 지원 PHO(proactive handover) 기법을 제안하였다. BLK(blocking event)가 ODL(object detection and localization) 알고리즘을 통해 카메라의 시야에서 발견되면 알고리즘은 다변량 회귀 방법을 통해 사용자가 음영 영역에 도달하는 데 소요되는 시간을 예측한다. 이를 통해 사용자가 해당 영역에 도달하여 서비스 중단을 겪기 전에 최적의 HO 순간을 결정할 수 있다.

본 문헌은 HO 순간에 기존의 HO 기법과 PHO 기법의 MOS(mean

opinion score), RSSI(received signal strength indicator)를 비교함으로써 PHO 기법을 통해 성능을 향상시킬 수 있다는 결과를 도출했다.

문헌 [9]는 BS에 설치된 카메라가 얻은 무선 환경의 RGB 이미지 시퀀스를 관찰하고, mmWave 수신 전력 벡터를 활용하여 사용자를 식별하는 것을 제안했다. 심층 신경망을 이용하여 이미지 내에 존재하는 객체에 바운딩 박스를 생성하고, 수신 전력 벡터를 활용하여 사용자의 바운딩 박스의 중심을 예측한 후, 탐지된 객체 중 무선 송수신기가 아닌 객체를 필터링하는 방식으로 사용자를 식별한다. 시퀀스 길이 별 사용자 인식 정확도를 비교하여 시퀀스 길이가 길수록 사용자 인식 정확도를 향상시킬 수 있다는 결과를 도출했다.

III. 결론

본 논문에서는 미래 무선통신 장치와 기지국에서 필요로 하는 높은 데이터 속도와 연결성에 대한 요구사항으로 인해 B5G 및 6G 네트워크의 핵심기술들 중 하나로 고려되는 mmWave 및 THz 대역을 사용함에 따라 발생하는 문제들과 이를 해결하기 위한 AI와 컴퓨터 비전 지원 통신 기술을 소개하였다. 향후 이러한 기술들은 미래 무선 장치 및 네트워크와 결합하여 다양한 산업에서 초저지연 및 안정적인 연결 제공을 기여할 것으로 예측된다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술평가 관리원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 1415181141, 프론트 에이프런 모듈 30% 경량화를 위한 경량급속 기반 일체화 기술 및 AI분석기반 접합공정 고도화 기술개발).

참고 문헌

- [1] 김태욱 et al., "딥러닝 기반 머신비전 기술 연구 동향", 한국통신학회 동계종합학술발표회, pp.1178-1179, Feb. 2023.
- [2] H. Lee et al., "Towards 6G Hyper-Connectivity: Vision, Challenges, and Key Enabling Technologies," IEEE/KICS Journal of Communications and Networks, vol. 25, no. 3, pp. 344-354, Jun. 2023.
- [3] H. Yu et al., "What is 5G? Emerging 5G Mobile Services and Network Requirements," Sustainability 2017, vol. 9, no. 10, pp. 1-22, Oct. 2017.
- [4] Y. Ahn et al., "Toward Intelligent Millimeter and Terahertz Communication for 6G: Computer Vision-Aided Beamforming," in IEEE Wireless Commun., vol. 30, no. 5, pp. 179-186, Oct. 2023.
- [5] W. Xu, F. Gao, Y. Zhang, C. Pan and G. Liu, "Multi-User Matching and Resource Allocation in Vision Aided Communications," in IEEE Trans. Commun., vol. 71, no. 8, pp. 4528-4543, Aug. 2023.
- [6] H. Ahn et al., "Machine Learning-Based Vision-Aided Beam Selection for mmWave Multiuser MISO System," in IEEE Wireless Commun. Lett., vol. 11, no. 6, pp. 1263-1267, Jun. 2022.
- [7] Z. Hua et al., "Computer Vision-Aided mmWave UAV Communication Systems," in IEEE Internet of Things J., vol. 10, no. 14, pp. 12548-12561, Jul. 15, 2023.
- [8] M. M. Al-Quraan et al., "Intelligent Beam Blockage Prediction for Seamless Connectivity in Vision-Aided Next-Generation Wireless Networks," in IEEE Trans. Netw. Service Manag., vol. 20, no. 2, pp. 1937-1948, Jun. 2023.
- [9] G. Charan et al., "User Identification: A Key Enabler for Multi-User Vision-Aided Communications," in IEEE Open Journal of the Communications Society, Dec. 15. 2023.