

# 6세대 이동통신 네트워크를 위한 무선 광통신 기반 통신 시스템: 실현 가능성에 대한 연구와 구현을 통한 검증

전홍배, 문형주, 김수민, 권도훈, 이준우, 한상국, 채찬병

연세대학교

(hongbae08, moonhj, sm.kim, ehgns222, junu0809, skhan, cbchae)@yonsei.ac.kr

## 요약

현재 상용화가 이루어지고 있는 5세대 이동통신을 넘어서 학계를 중심으로 6세대 이동통신에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이 과정에서 6세대 이동통신에서 요구하는 높은 정보 용량과 연결성에 대응하기 위하여 자유 공간 광통신을 사용한 통신 시스템에 관한 연구가 진행 중이다. 이러한 자유 공간 광통신의 차세대 이동통신 시스템에서의 실현 가능성을 검증하기 위하여 본 논문에서는 FPGA 기반 테스트베드를 이용한 영상 신호 전송 실험을 진행하여 그 가능성을 보였다. 본 논문에서 진행된 실험은 실제 대기 환경을 모델링한 채널 에뮬레이터와 영상 신호를 송수신하기 위한 FPGA 플랫폼을 사용하여 진행되었으며, 채널의 난류 정도와 바람의 세기 등을 변화시키면서 UHD 60 fps의 영상이 본 테스트베드를 통해 성공적으로 전송됨을 보였다.

## 1. 서론

최근 5세대 (fifth-generation, 5G) 이동통신 기술이 많은 국가에서 상용화되면서 산업계와 사용자들의 데이터 사용에 대한 요구를 충족시키고 있다. 그러나 학계에서는 이를 넘어서 6세대 (sixth-generation, 6G) 이동통신 시스템에 대한 구상과 활용 방안에 대하여 연구가 활발히 진행 중이다 [1]. 이러한 차세대 이동통신에 관한 로드맵이 현실화됨에 따라 이에 필요한 정보 용량과 연결된 장비의 수가 증가하는 추세이고, 이를 5G 수준의 기술과 주파수 대역으로 커버하기에는 어려운 실정이다. 이에 대한 해결책으로 학계에서는 고주파 대역에 위치한 자유 공간 광통신 (free-space optical communications, FSO-C) 시스템을 6G 이동통신 시스템의 핵심 기술로의 적용을 목표로 활발히 연구하고 있다 [2]. 본 논문에서는 이러한 6G 이동통신 시스템에서의 FSO 통신 링크의 실현 가능성을 보이기 위하여 FPGA 기반 테스트베드에서 실시간으로 광통신 채널을 통하여 고화질 영상 신호를 전송하는 실험을 진행하였다. 여기서 신호가 통과하는 광통신 채널 에뮬레이터는 난류, 섬광 등의 실제 대기 채널에서의 신호 감쇄 요인들이 반영되었으며, 영상 신호를 전기/광 변환기와 광/전기 변환기, 그리고 FPGA 모듈을 통하여 처리함으로써 신호 감쇄율이 높은 채널 환경에서도 본 테스트베드를 통하여 영상 신호를 높은 정확도로 수신할 수 있음을 확인하였다.

## II. 본론

FSO 통신 링크는 300 GHz 이상의 주파수 대역을 사용하며, 이는 테라헤르츠 대역에 가까운 주파수이므로 현재 5G 이동통신 시스템의 밀리미터파와 비교했을 때 보다 넓은 대역폭을 제공하고, 이에 따라 6G에서 요구하는 높은 정보 용량을 확보할 수 있다는 장점이 있다 [1]. 또한 이러한 대역은 아직 세계적으로 허가 절차가 진행되지 않은 영역이므로 따로 허가에 관련된 비용이 지출되지 않는다는 장점 역시 가지고 있다. 그리고 FSO 신호는 빔폭이 mrad 수준으로 매우 좁으므로 다른 통신 장비들로부터의 간섭으로부터 강인하며, 도청 역시 매우 어려우므로 보안에서의 장점 역시 가진다.

그러나 FSO 통신 링크는 대기 중의 난류와 섬광, 신호의 전파 및 위치 정보의 오류 등 여러 요인들에 의하여 신호의 세기가 약해질 수 있다는 단점을 갖는다. 그리고 이러한 요인들은 송수신 거리가 멀어질수록 더 심해지는 특성을 갖는다. 예를 들어, 6G 이동통신 네트워크의 핵심 기술로써 평가받고 있는 무인 항공기 기반 통신 시스템에서의 백홀 링크로써 FSO-C를 사용할 수 있는데, 이 경우 링크의 길이가 최대 20 km까지 늘어날 수 있고 이에

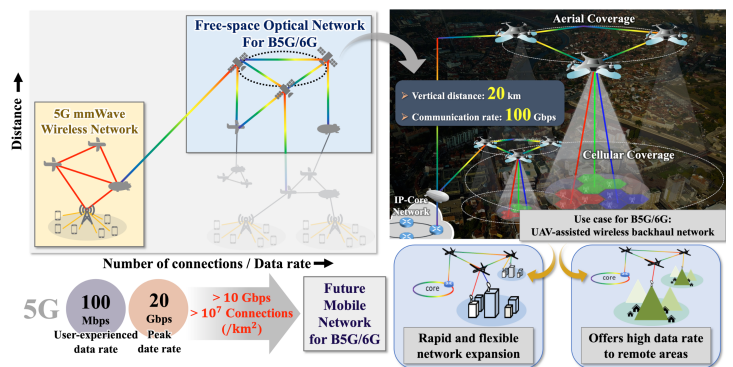


그림 1 6G 이동통신 네트워크에서의 자유 공간 광통신 기술의 활용

따라 위 손실의 정도가 매우 커진다 [2]. 이러한 FSO 통신 시스템의 6G 이동통신 네트워크에서의 활용 배경과 예시를 그림 1과 같이 정리할 수 있다.

이렇듯 FSO 통신 시스템은 고주파 대역에 위치하므로 높은 정보 용량을 보장한다는 장점을 갖지만, 한편으로는 채널 환경에 따라서 신호의 세기 변동이 심하다는 단점을 갖는다. 따라서 이러한 현상에 대처하기 위하여 기존의 학계에서는 대기 채널에 대응하여 이러한 현상들을 여러 대기 환경 별로 모델링하여 이를 링크 버짓 (link budget)에 반영시키는 연구를 진행 중이며, 추가로 송수신 단말 사이의 상호 추적을 통한 위치 정보를 보정하는 기술인 역시 활발한 연구 중에 있다 [3]. 그리고 채널 환경에 적응하여 신호의 비트 레이트 (bit rate)를 조절하는 송신 기술 또는 채널 난류의 특성에 기반을 둔 채널 부호화 (channel coding) 기술 등에 관한 연구 역시 진행되어 왔다 [4]. 그러나 이러한 기술들은 시뮬레이션에 의존하거나 수 미터 이하의 매우 짧은 송수신 거리 등을 가정함으로써 6G 이동통신 네트워크에서 가정하는 통신 링크의 충분한 거리 조건 등을 반영하지 못한 경우가 많았다.

따라서 본 논문에서는 광통신 채널 에뮬레이터와 FPGA 모듈을 통합하여 실시간 영상 신호를 광통신 채널 환경에서 송수신하는 테스트베드를 제작하여 실험을 수행하였고, 그 구조는 그림 2의 위부분과 같이 주어진다 [5]. 여기서 채널 에뮬레이터로 Mach-Zehnder Modulator (MZM)를 사용하여 대기 환경에서의 손실 요인들을 모델링하였고 [6], 본 논문에서는 각각 바람 세기와 난류의 정도가 낮고 높은 두 가지의 상황을 고려하여 반영하였다. 또한 제시한 채널 모델을 통한 데이터 전송의 신뢰도를 확인하기 위하여 4Gbps PAM-4 신호를 통과시킨 결과 약  $10^{-4}$ 의 매우 낮은 비트 에러율을 얻을 수 있었다. 이러한 채널 에뮬레이터는 송수신단의 역할을 수행하는

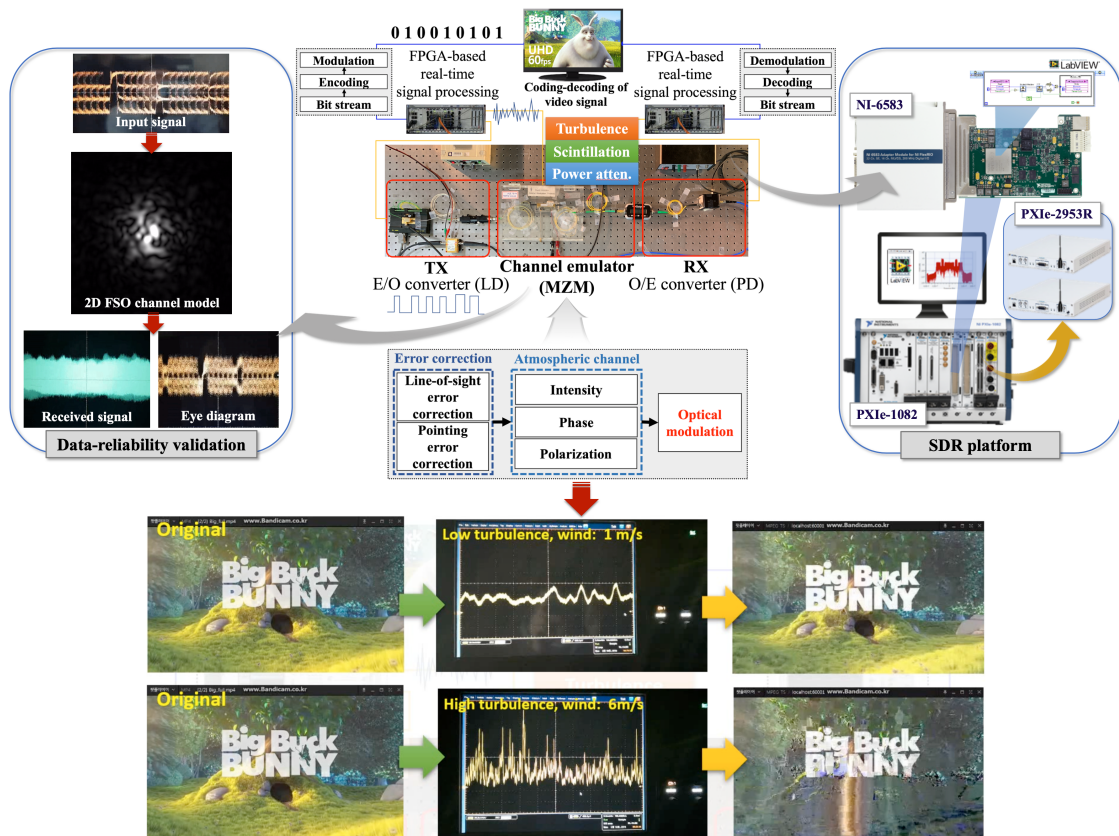


그림 2 자유 공간 광통신 기반 영상 전송 테스트베드 구조 및 전송 결과

FPGA 모듈과 연결되어 있으며, 전기/광 변환기가 장착된 레이저 다이오드 (laser diode, LD)와 광/전기 변환기가 장착된 광 다이오드 (photodiode, PD)가 각각 송수신단에 장착되어 있다. 그리고 실시간 영상 신호 처리를 위하여 이들을 FPGA 기반의 PXIe software-defined radio (SDR) 플랫폼에 연결하였다 [7].

또한 본 논문에서는 1분 길이의 UHD 60 fps “Big Buck Bunny” 영상을 H.264 코덱으로 인코딩하여 송신하였으며, 수신 결과는 그림 2의 아래와 같이 주어진다. 본 결과를 통하여 난류의 정도와 바람의 세기가 낮은 환경에서는 영상이 거의 왜곡되지 않은 상태로 전송됨을 확인할 수 있었고, 그 반대의 환경에서도 왜곡이 적은 상태로 영상 신호가 성공적으로 전송되었음을 확인할 수 있었다. 본 논문의 실제 광통신 채널 환경이 반영된 테스트베드를 통하여 장거리 FSO 통신 링크에 대한 실현 가능성을 검증할 수 있었으며, 이러한 가능성이 채널 환경이 변화더라도 유지됨 역시 확인할 수 있었다.

### III. 결 론

본 논문에서는 차세대 이동통신 네트워크에서의 자유 공간 광통신 기술의 적용의 필요성에 대하여 논하고, 대기 환경으로부터의 왜곡이 발생하는 자유 공간 광통신 링크의 특성에 착안하여 장거리 광통신 링크의 실현 가능성을 채널 에뮬레이터와 FPGA 송수신 모듈을 통합한 테스트베드를 사용하여 검증하였다. 그리고 본 논문의 테스트베드를 통하여 UHD 60 fps 정도의 영상 신호가 왜곡이 없거나 적게 전송이 가능함을 보였다. 본 논문의 결과로부터 차세대 이동통신 네트워크에서의 자유 공간 광통신 기술의 필요성과 실현 가능성을 확인할 수 있었으며, 본 논문의 테스트베드에 기반을 두어 보다 더 고도화된 자유 공간 광통신 기반의 영상 신호 전송 기법들에 관한 연구가 이루어질 수 있을 것이다.

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2019-0-00685)

### 참 고 문 헌

- [1] M. Giordani *et al.*, “Toward 6G networks: Use cases and technologies,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 58, no. 3, pp. 55-61, Mar. 2020.
- [2] M. Alzenad *et al.*, “FSO-based vertical backhaul/fronthaul framework for 5G+ wireless networks,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 56, no. 1, pp. 218-224, Jan. 2018.
- [3] Q. Li, *et al.*, “Development of multitarget acquisition, pointing, and tracking system for airborne laser communication,” *IEEE Trans. Ind. Informat.*, vol. 15, no. 3, pp. 1720-1729, Mar. 2019.
- [4] N. Cvijetic *et al.*, “Performance evaluation of a novel converged architecture for digital-video transmission over optical wireless channels,” *J. Lightw. Technol.*, vol. 25, no. 11, pp. 3366-3373, Nov. 2007.
- [5] H.-B. Jeon *et al.*, “Demo: A unified platform of free-space optics for high-quality video transmission,” in *Proc. IEEE Wireless Comm. and Netw. Conf. Workshop (WCNCW)*, 2020, pp. 1-2.
- [6] X. Ruan *et al.*, “Beyond 100G single sideband PAM-4 transmission with silicon dual-drive MZM,” *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 31, no. 7, pp. 509-512, Apr. 2019.
- [7] M. Chung *et al.*, “Prototyping real-time full duplex radios,” *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 56-63, Sep. 2015.