

트래픽 폭증 대비를 위한 자유공간 광통신(FSO)과 SLIPT의 활용

황나영, 이태주, 박주연, 정성윤*

영남대학교 전자공학과

ghkd3998@yu.ac.kr, dlxown17@yu.ac.kr, kycjp3215@yu.ac.kr, *syjung@ynu.ac.kr(*:교신저자)

A Study on the FSO(Free-Space Optics) with SLIPT(Simultaneous Lightwave Information and Power Transfer) for preparing traffic explosion

Na-Young Hwang, Tae-Ju Lee, Ju-Yeon Park, *Sung-Yoon Jung (*corresponding author)

Dept. of EE, Yeongnam University

요 약

본 논문은 기존의 전파를 사용하는 RF 통신의 단점을 보완할 자유공간 광 전송(FSO) 통신 기술을 소개한다. FSO가 RF 통신을 보완하는 이유 및 장점, 그리고 현재 FSO가 활용되고 있는 분야를 알아본다. 이를 바탕으로 FSO와 무선 정보 및 전력 동시 전송(SLIPT)를 결합하여 함께 활용하는 방법을 간단히 제시한다.

I. 서론

통계청(KOSIS)의 조사에 의하면, 5G가 처음 상용화된 2019년 4월을 시작으로 트래픽(Mobile traffic : 무선통신에서 전파를 이용하여 전송되는 정보량)은 5,937TB에서 2022년 8월 700,525TB까지 대략 302배 증가하였고, 5G 가입자 수는 2019년 4월 271,686명을 시작으로 2022년 8월 25,714,871명까지 대략 95배 증가하였다. 가입자 수 기준으로, 우리나라 약 5천만(2021년도) 인구수 중 거의 50%가 5G를 사용하고 있다고 볼 수 있다. 그러나 5G의 상용화로 주파수 스펙트럼 부족 현상과 더불어 보안 측면에서도 심각성이 제기되고 있다. 이런 기존 RF 통신의 단점을 보완하기 위해 자유공간 광통신(FSO: Free Space Optical communication)에 관한 연구가 활발히 진행 중이다. 본 논문에서는 FSO 기술을 소개하고 기존의 RF 통신과 비교하여 FSO의 장점을 설명한다. 또 현재 FSO 기술이 적용되고 있는 분야(지상, 항공, 우주)를 소개한다. 마지막으로 원활한 트래픽 공급을 위해 FSO 기술에 데이터와 전력까지 동시에 전송할 수 있는 SLIPT(Simultaneous Lightwave Information and Power Transfer) 기술을 결합한 방법을 제시한다.

II. 본론

1) 자유 공간 광전송(FSO)

자유 공간 광전송(FSO : Free Space Optics)은 실외에서 광학 스펙트럼을 이용한 무선통신 기술을 의미한다. 여기서 '자유 공간'은 공기, 우주, 진공 등의 실외를 의미한다. 자유 공간의 매질에 따라 적외선, 가시광선, 자외선 영역을 활용하는데, 대기권에서는 주로 투명대 영역에 속하는 780~850nm, 1,520~1,600nm 파장의 광원이 사용된다. FSO 기술은 1) 초광대역 2) 비면허대역 3) 저전력 4) 초소형 5) 전자기장 간섭에 무관 6) 장거리 전송(수십km) 7) 채널 보안성(지향성 통신) 등 기존 RF 통신이나 광통신망 방식과 비교했을 때 많은 장점이 있다[1]. 또한 '가용 주파수 영역의 한계성'이라는 근본적인 문제를 해결하기 어려워 기존 통신 목적으로 주로 사용하던 RF 대역 주파수가 아닌 새로운 주파수를 사용하는 FSO를 이용하여 제한된 주파수 대역에 대해 보완할 수 있다[2].

2) 자유 공간 광전송(FSO) 장점

FSO는 광학 대역으로 통신 주파수를 확장하고 로컬 라이즈 설비 구축을 하는 장점이 있다. FSO는 200THz 이상의 적외선 대역을 규제 당국의 허락을 받지 않고 라이선스 비용이 필요 없는 주파수 대역만 고려해도 100THz 이상의 주파수 대역폭을 이용 가능하다. 매우 높은 주파수 대역의 레이저 광원을 사용하는 FSO와 RF 대역의 전파 특성을 비교하면 여러 가지 장점이 있다[2]. 첫째, 간섭이 적다. 레이저의 특징으로 지향성이 있다. 지향성은 매우 긴거리에서 빔이 퍼지지 않아 에너지 손실 없이 빛을 전달하는데 용이한 것이다. 이러한 특징으로 인해 전자기파 신호와 달리 서로 다른 채널 간섭이 거의 일어나지 않는 장점이 있다.[2,3] 둘째, 통신 보안을 유지할 수 있다. 레이저 광원은 지향성과 직진성이 높아 회절성이 낮다. 회절로 인해 다른 곳으로 신호가 전파될 가능성이 낮기 때문에 도청 당할 확률을 낮출 수 있다. RF 통신과 비교하면 해당 위치에서 조금이라도 벗어나면 신호를 송/수신 할 수 없어 통신 채널이 구성된 두 지역에서만 신호를 주고 받을 수 있어 보안성이 뛰어나다[2,4]. 셋째, 송수신부 설치가 간편하고 저렴하다. 광케이블이나 유선 통신 같은 경우 통신 링크를 위해 별도의 링크가 필요하지만, FSO는 레이저를 사용하여 링크 구축, 복구, 철거에 들어가는 시간과 비용을 줄일 수 있다. 그리고 고정 RF 시스템보다 장비가 가벼워 이동설치가 편하다[2].

3) FSO 활용 분야

앞서 언급한 FSO의 장점 덕에 지상, 항공, 우주 등 여러 분야에서 활용되고 있다. 지상과 항공에서는 무인항공기 (UAV : Unmanned Aerial Vehicle)와 결합하여 FSO 기술이 활용되고 있다. 일시적으로 트래픽이 증가하여 기존 통신으로 트래픽 공급이 원활하지 못해 긴급 통신망 복구가 필요한 곳에 사용된다[5]. 최근에는 5G의 상용화로, 무선 프론트홀(Fronthaul)/백홀(Backhaul) 기술을 사용하여 지상의 스몰셀(Small cell) 무선 접속 기지국과 이동통신 코어 네트워크(Core network)를 연결하는데 연구되고 있다[5]. 다음은 우주에서 활용되고 있는 FSO를 소개한다. 우주는 매질이 없는 진공 상태이므로 FSO를 적용하기에 최적화된 공간이

다[2]. 이 최근 저궤도 초소형 군집 위성을 활용하여 어디에서나 통신을 가능하게 하는 기술이 활발히 연구되고 있다. 그러나 원활한 통신을 위해서는 수백 ~ 수 천 개의 위성이 필요하기 때문에 예산 측면에서 어려움이 발생하고 있다[2]. 현재 글로벌 동향은 미국의 Starlink, Amazon 영국의 OneWeb 캐나다의 Telesat 에서 일부 네트워크를 구축하였다[2]. 고속도로에서도 FSO 시스템이 활용되는데, 도로 위에 송신기를 설치하고 차량에 수신기를 설치한 뒤, 적외선 레이저 가우시안 빔으로 통신하면서 차량의 위치를 추적하는 연구가 진행되고 있다[6].

4) 트래픽 폭증 대비를 위해 사용되고 있는 FSO 활용 예시

2019년 상용화가 시작된 5G는 2022년 7월 기준으로 가입자가 2,500만 명을 돌파했다. 우리나라 약 5천만 인구수의 50%를 차지하고 있는 셈이다. 하지만 이런 추세와는 달리 소비자들은 5G의 속도를 크게 체감할 수 없다는 의견이 대다수이다. 이는 턱없이 부족한 5G 기지국 수 때문인데, 5G 기지국 수가 LTE 기지국의 20%밖에 되지 않는다. (2021.12.31. 기준) 심지어 전체의 40%가 수도권에 밀집되어 있어 지방은 5G 음영지역인 수준이다[7]. 또한, 모바일 트래픽은 5G가 상용화된 2019년 4월을 시작으로 5,937TB에서 2022년 8월 700,525TB까지 대략 302배 증가하였다. 이로 인해 기존 매크로셀(대형 기지국)이 처리하기엔 한계수준에 다다랐다. 기하급수적으로 증가하는 데이터양을 처리하기 위해서 매크로셀 틈새에 스몰셀(초소형 기지국)을 조밀하게 구축하자는 방안이 제시되었는데, 이는 5G 음영지역 문제도 해결될 것으로 보인다. ABI 리서치는 2027년까지 전 세계적으로 실외 5G 스몰셀이 1,300만 개 이상 구축될 것이라고 예상했다[8]. 여기서 매크로셀(macroc cell)이란 흔히 고출력, 고용량의 대형 기지국을 의미하며 수 km~10여 km 반경의 서비스 영역을 가지는 셀이다[9]. 스몰셀(small cell)은 저전력 초소형 기지국을 의미한다. 기존의 넓은 통신 영역을 작게 나눈 것으로, 매크로셀 안에 여러 개의 스몰셀이 존재할 수 있다. 스몰셀은 용량과 전파 도달 거리를 줄였기 때문에 매크로셀보다 송신 전력이 낮고 수백 m 반경의 좁은 운용 범위를 갖지만, 크기가 작고 저비용으로 필요시 유연하게 구축 가능하다[10].

이러한 장점들로 5G 통신 및 데이터 처리량을 늘리기 위해 스몰셀의 구축이 증가하고 있다. 그러나 스몰셀은 저용량, 저전력으로 한 번에 많은 양을 빠르게 처리할 수 없으며, 개수가 늘어나면 간섭이 발생한다는 단점이 있다. 스몰셀과 매크로셀이 중첩된 환경에서도, 스몰셀이 증가할수록 매크로 사용자 단말(Macroc cell user equipment, MUE)이 수신하는 간섭의 양이 증가한다. MUE와 가깝게 위치한 스몰셀이 증가하면, MUE는 매크로셀로부터 수신하는 신호의 세기가 강해도 간섭영향을 크게 받는다[11]. 이 때문에 스몰셀과 매크로셀을 혼합한 네트워크를 구축하기 위해, 현재 간섭제어에 관한 연구도 함께 집중되고 있다[11].

학계에서는 데이터 처리량이 몰렸을 때 스몰셀에서 인근 매크로셀으로 작업을 분산하는 오프로딩(offloading) 방안이 제안되었고 이에 관한 연구도 진행되고 있다[12]. 여기서 스몰셀과 매크로셀 사이에 FSO가 활용되는 예시가 있다. 첫 번째로는, 좁은 범위에서 스몰셀 간의 신호 간섭없이 폭증하는 데이터를 빠르게 처리하고, 점점 이슈화되고 있는 사이버 보안 문제 해결에 사용되고 있다. FSO 기술은 근거리 구간에서 저전력으로 많은 양의 데이터를 보낼 수 있다는 장점이 있는데, 빛(레이저)을 이용하여 통신하기 때문에 전자기파와 달리 간섭이 없고 레이저는 회절성이 낮아 보안 측면에서도 우수하다. 두 번째로는, 인구 밀집 지역에서도 활용되고 있다. 예를 들어, 경기장, 축제, 행사 등 사람이 많이 몰리는 공간에서 통신이 급격히 느려지거나 아예 마비되었던 경험을 해본 적이 있을 것이다. 이런 상황에서 FSO 기술을 활용하여 비상 통신 링크를 설립하는 방안이 있다.

트래픽 폭증을 막기 위해 매크로셀보다 상대적으로 저비용이 드는 스몰셀을 잠시 설치하는 방법도 대안이 되겠지만, 스몰셀은 한 번에 많은 양을 빠르게 처리할 수 없다. 이를 해결하기 위해 인근 매크로셀과 기존 매크로셀을 FSO 기술로 연결하여 통신 링크를 임시로 만들어주면, 원활하게 데이터가 처리된다.

5) FSO with SLIPT

에너지를 확보하기 위해 4)에서 소개한 FSO의 활용에 SLIPT 기술을 결합하고자 한다. SLIPT(Simultaneous Lightwave Information and Power Transfer)란 데이터와 에너지를 동시에 전송하는 기술이다. FSO 통신을 하기 위해서 모든 기지국(스몰셀, 매크로셀)에 FSO 트랜시버를 설치하고, SLIPT를 구현하기 위해서는 수신부에 시스템을 추가해줄 것이다. 보통 수신부에는 솔라셀이나 PD(Photo Diode)를 결합하여 수신받은 광 에너지를 전기에너지로 전환한다. 하지만 FSO에서는 보통 레이저(광원) 변조 방식으로 OOK(On-Off Keying)를 사용하는데, 솔라셀은 OOK의 변조 속도를 따라가지 못하기 때문에 적합하지 않다. 그래서 FSO와 SLIPT를 함께 구현하기 위해서는 PD와 Schottky diode를 이용하여 수신부를 구성해야 한다[13]. 아래 그림은 참고문헌 [13]에서 인용한 것이다.

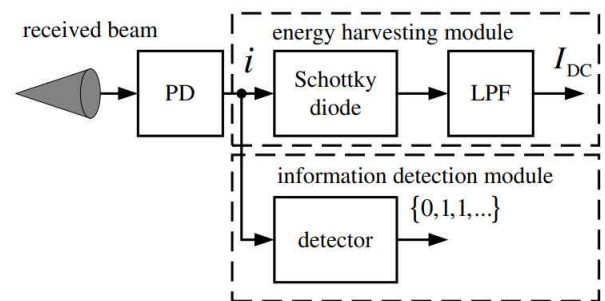


그림 1. 에너지를 받기 위해 제안된 수신기 구조[13]
Fig. 1. Proposed receiver structure to receive energy[13]

FSO 통신의 기본적인 구성은 송신부의 광원으로 데이터 신호를 보내고, 수신부는 받은 광원에서 데이터를 검출해내는 시스템이다. 그림 1과 같이 수신부에 에너지 하베스팅(EH : Energy Harvesting) 모듈을 추가한다면 에너지를 수집해낼 수 있다(SLIPT). 모듈은 아래 그림과 같이 PD와 쇼트키 다이오드로 구성하며, 이를 통해 전기 신호의 DC 성분을 에너지원으로 저장할 수 있다[13]. SLIPT를 결합한 시나리오는 다음과 같다.

FSO 송신부에서 광원을 구동시킬 전력은 첫 번째와 두 번째 제안의 송신부에 해당하는 스몰셀, 매크로셀의 전력을 이용한다고 가정한다. 4)의 첫 번째 예시에서는 스몰셀의 낮은 전력을 보완할 수 있다. 스몰셀은 저전력이기 때문에 전력이 빨리 소모되거나 부족하게 된다면, 자체적으로 데이터를 처리하거나 매크로셀로 데이터 오프로딩이 불가능한 상황이 발생할 수도 있다. 4)의 두 번째 예시에서는 서로 양방향 통신을 하며 광원을 구동시킬 전력을 받을 수 있다. 매크로셀과 매크로셀 사이를 FSO 기술을 이용하여 데이터 처리를 도와주는 비상 통신 링크를 만들어준다. 여기서 통신 링크는 정보를 송수신할 수 있는 지점 간을 연결하는 물리적인 수단이다. 이때 첫 번째 예시에서는 스몰셀 수신부, 두 번째 예시에서는 매크로셀 수신부의 에너지 하베스팅 모듈에서 에너지를 수집하여 필요한 전력을 얻고 통신 성능을 높일 수 있을 것이다.

III. 결론

본 논문에서는 기존의 RF 통신의 단점을 보완할 대안책으로 연구되고 있는 자유공간 광 전송(FSO) 통신 기술을 소개하였다. 현재 5G의 도입으

로 야기되고 있는 주파수 스펙트럼 부족, 트래픽 증가, 보안 등의 문제를 FSO 통신 기술로 보완할 수 있다. 5G 주파수는 거의 밀리미터파 대역(30~300GHz)까지 사용되고 있으며 이로 인해 주파수 스펙트럼 부족이 우려되는 상황이다. FSO는 3,000GHz 이상의 가시광(빛) 대역을 사용하는 통신 기술이기 때문에 새로운 대역의 주파수 스펙트럼을 확보할 수 있다. 또한 레이저를 광원으로 사용하기 때문에, 지향성 및 직진성이 높은 레이저의 장점을 활용하여 사이버 보안 문제에도 대응할 수 있다는 결론이다. FSO는 스몰셀 매크로셀 네트워크에서 활용되는데, 스몰셀이 중첩된 환경에서는 RF에 비해 셀 간 간섭 없이 통신이 가능하기 때문이다.

여기서 저자는 FSO 기술에 무선 정보 및 전력 동시 전송(SLIPT) 기술을 결합하는 것을 제안하였다. 첫 번째는 트래픽 폭증을 대비하여 스몰셀에서 인근 매크로셀로 데이터 처리 작업을 오프로딩(offloading) 할 때, 스몰셀과 매크로셀 사이의 통신은 FSO를 이용하고 수신부의 PD와 쇼트키 다이오드로 전력까지 받는 방법을 제안하였다. 이는 스몰셀의 낮은 전력을 보완할 수 있다. 두 번째는 인구 밀집 지역에서 기존 매크로셀과 인근 매크로셀을 FSO로 통신 링크를 구축할 때, 서로 데이터를 송수신하며 필요한 전력을 동일하게 수신부에서 얻을 수 있음을 제안하였다. 향후에는 FSO와 SLIPT를 결합한 기술을 구현하는 구체적인 방법에 관한 연구가 필요할 것으로 보인다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022학년도 대학혁신지원사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

참 고 문 헌

- [1] C. I. Yeo et al., "Recent R&D Trends of Mobile FSO Technologies," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 33, no. 6, pp. 118 - 128, Dec. 2018. (<https://doi.org/10.22648/ETRI.2018.J.330612>)
- [2] Kim, Gyeon Uk, Lee, Dong IL, Cho, Sung Hwan, Yang, Byung Hee. "Resolving Spectrum Shortage for Operating Future Military Systems" *Journal of the Military Operations Research Society of Korea (MORS-K)* 48, 1 (2022) : 103-130.
- [3] Kim, Gyeon Uk, Yang, Byung hee. "Exploring the possibility of solving the problem of lack of frequency in the group through free space optical communication" *Defense & Technology* , 509 (2021) : 102-121.
- [4] Garlinska M, Pregowska A, Masztalerz K, Osial M. "From Mirrors to Free-Space Optical Communication—Historical Aspects in Data Transmission". *Future Internet*. 2020; 12(11):179. (<https://doi.org/10.3390/fi12110179>)
- [5] C. I. Yeo et al., "Recent R&D Trends in Wireless Network Technology based on UAV-assisted FSO Technique," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 35, no. 2, pp. 38 - 49, Apr. 2020. (<http://doi.org/10.22648/ETRI.2020.J.350204>)
- [6] Somi Jung, Dongwoo Kim. "Gaussian beam intensity and received power of Misaligned FSO communication in highway networks." *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, 1211-1212, June. 2017.
- [7] 장우정, "[5G 가입자 2000만]① "차라리 LTE 쓸래요"... 상용화 3년에도 속 터지는 5G", *조선일보*, (2022. 3. 31), Retrieved Nov, 14, 2022, (<https://biz.chosun.com/it-science/ict/2022/03/31/G6AZBA7PSBDT7FIHRLBOBAFE5I/>)
- [8] 박지성, "ABI 리서치, 2027년까지 세계 5G 스몰셀 1300만개 이상 구축", *전자신문*, (2022. 8. 17), Retrieved Nov, 14, 2022, (<https://www.etnews.com/20220817000154>)
- [9] 정보통신용어사전, 매크로셀, Retrieved Nov, 14, 2022, from (http://terms.tta.or.kr/dictionary/dictionaryView.do?word_seq=048187-4)
- [10] 전자신문, ICT 시사용어, 스몰셀, Retrieved Nov, 14, 2022, from (<https://premium.etnews.com/ict/index.html?id=782>)
- [11] I. Ban and S.-J. Kim, "Small-cell based Cooperative Multi-Point Communications to Increase Macro-cell User Performance in Ultra-Dense Heterogeneous Networks," *Journal of Internet Computing and Services*, vol. 22, no. 6, pp. 9 - 15, Dec. 2021. (<https://doi.org/10.7472/jksii.2021.22.6.9>)
- [12] Sanghyeon An, Jongwon Kim, Woosun Chon, Jungmin So. "An Offloading Scheme through Wireless Environment Learning for 5G Small Cell Network" *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences* 46, 1 (2021) : 74-84. doi : 10.7840/kics.2021.46.1.74
- [13] C. Álvarez-Roa, M. Álvarez-Roa, F. J. Martín-Vega, M. Castillo-Vázquez, T. Raddo, and A. Jurado-Navas, "Performance Analysis of a Vertical FSO Link with Energy Harvesting Strategy," *Sensors*, vol. 22, no. 15, p. 5684, Jul. 2022, doi: 10.3390/s22155684.