

60GHz 무선통신기술 기반의 중거리 무선백본 연구

김기욱, 석우진, 궤재승

한국과학기술정보연구원

{wowook, wjseok, jskwak}@kisti.re.kr

A Study on the Medium-Range Wireless Backbone
Based on 60GHz Wireless Communication Technology

Kiwook Kim, Woojin Seok, Jaeseung Kwak

Korea Institute of Science and Technology Information

요 약

대용량 연구데이터의 무선 전송에 활용 가능한 수준의 높은 대역폭 및 주파수 재사용성을 가진 무선기술 확보는 과학연구장비의 데이터품질 향상 및 연구망 구축·운영비용의 절감을 위해 중요하다. 현재의 상용 기술 수준으로 미루어 봤을 때, 연구데이터 무선전송에 활용하기에 비면허 고대역 주파수는 60GHz 대역이 적합하며, 해당 주파수는 수 미터 이내 근거리 및 중거리 통신 응용들에 적용 가능하다. 본 논문에서는 60GHz mmWave 비면허 주파수대역을 활용하여 중거리(약 수백 미터)의 무선백본을 구축하는 방안에 대해 기술하고, 이에 필요한 구축 및 운영 기술의 개발을 위해 건물간 무선 시험망을 구축한 사례에 대해 소개한다.

I. 서 론

고속 통신을 지원하기 위해서는 밀리미터파(mmWave) 및 서브테라헤르츠(sub-THz)와 같은 높은 주파수 대역을 사용하는 것이 유리하다. 일반적으로 고주파수 대역은 대용량 데이터 전송이 가능하며 직진성이 높은 장점이 있으나 도달범위가 짧은 단점 때문에 무선통신에 활용이 힘들다. 이로 인해 현재 무선통신 분야에서는 28GHz 주파수까지만 활발히 제품 개발이 이루어지고 있으며, 60GHz 이상은 개발 및 상용화 진행이 더딘 상황이다.

그러나 과학 데이터 전송을 위한 특수한 통신환경에서는 고대역 주파수의 특징들을 단점이 아닌 장점으로 활용할 수 있다. 고대역 주파수의 짧은 도달범위와 낮은 투과력은 대용량 무선전송 응용을 위해 주파수 재사용성을 극대화할 수 있는 장점으로서 활용 가능하다. 또한 전파 도달거리 조절의 용이함은 무선통신의 보안성 향상을 위해서도 활용 가능하며, 고대역 주파수의 높은 직진성은 중거리 고속무선 백본 구축에도 활용 가능하다.

본 논문에서는 고대역 주파수 중 60GHz mmWave 비면허 주파수대역을 활용하여 중거리(약 수백 미터)의 무선백본을 구축하는 방안에 대해 기술하고, 이에 필요한 구축 및 운영 기술의 개발을 위해 건물간 무선 시험망을 구축한 사례에 대해 소개하고자 한다.

II. 고주파수 대역 활용의 장점

고대역 무선통신 기술은 일반적으로 이동통신에 많이 사용되는 6GHz 이하(sub-6) 주파수 대역에 비해 매우 높은 주파수 영역을 사용하는 mmWave/sub-THz 통신기술을 의미한다. 무선통신에서 고주파수 통신 기술은 높은 전송속도(throughput)를 요구하는 응용을 만족하기 위한 큰 대역폭을 적은 비용으로 확보하기 위해 사용된다. 예를 들어 같은 모듈레이션 방식을 사용한다고 가정 시, 전송속도는 통신에 사용되는 대역폭에 비례하므로, 더 넓은 주파수 대역폭을 확보할수록 더 높은 전송속도의 달성이 가능하다.

그러나 주파수는 한정된 자원으로써, 높은 전송속도의 달성을 위해 넓은 주파수 대역폭을 확보하려면 그에 따른 비용의 발생을 고려해야 한다. 일반적으로 낮은 주파수를 사용할수록 공기중 신호 감쇠가 낮아 장거리 통신에 유리하기 때문에 이동통신사들은 최대한 낮은 주파수 대역을 확보하여 상대적으로 적은 기지국으로 넓은 커버리지를 달성하고자 하며(CAPEX/OPEX 절감 목적), 그에 따라 낮은 주파수 대역일수록 수요가 높아 주파수 확보를 위한 비용이 높다.

표 1을 보면, 현재 이동통신 3사가 5G 이동통신 서비스에 쓰는 sub-6(3.5 GHz) 대역에서는 총 280 MHz 대역폭을 통신3사가 나눠서 할당 받기 위해서 10년간 총 3조원 가까운 사용료를 내고 있다. 반면, mmWave(28GHz) 대역은 sub-6 대역에 비해 9배 정도 되는 넓은 대역폭을 할당 받았는데, 전체 사용료는 1/5 수준인 약 6천억원이다. 대역폭 당 계산해보면 3.5 GHz 대역에 비해 거의 1/40 수준으로 저렴한 것이며, 심지어 60GHz 주파수 대역은 8.64GHz라는, 기존 사용 대역폭을 다 합친 것의 몇배에 해당하는 넓은 대역폭을 비면허로 사용 가능하다.

이와 같이 mmWave/sub-THz 등 고주파수 대역을 사용 시 큰 대역폭을 적은 비용으로 사용 가능하다. 특히 60GHz 주파수 대역은 비면허 대역으로, 주파수 확보를 위한 비용과 절차가 필요 없이 다양한 목적으로 활용 가능하다. 그 대신 통신 품질과 통신 거리에서 손해를 볼 수 있지만, 그걸 감수하더라도 매우 넓은 대역폭을 확보할 필요가 있는 응용들에 적합하다.

주파수 대역	대역폭	가격
3.4 ~ 3.7 GHz	280 MHz	29,960 억 /10년
26.5 ~ 28.9 GHz	2.4 GHz	6,223 억 /10년
57 ~ 66 GHz	8.64 GHz	공짜 (비면허대역)

[표 1] 주파수 대역별 비용 (국내 통신3사 기준)

III. 60GHz 상용 통신장비 산업계 현황

60GHz 주파수 대역을 사용하는 IEEE802.11ad(WiGig) 표준이 마련됨 [1]에 따라, STMicroelectronics와 같은 칩 제조사에서 무선 칩(RF 칩)을 공급하기 시작했고, 이를 활용하여 출시된 소수의 제품군이 존재한다. 해외에서는 IgniteNet, Analog Devices, EPS 등 몇몇 벤더들에서 IEEE802.11ad 기반의 PTP/PTMP 장비들을 개발하여 판매중이다. 국내에서는 SDR/FPGA 기반 시험보드(evaluation board)에 안테나를 연결하여 연구실 수준에서 시험한 사례들은 있지만, 벤더사들에서 출시되지는 않았다. 그러나 마켓에 이미 무선 칩이 존재하므로, 충분한 수요가 있다면 국내 벤더사들의 제품 개발은 가능할 것으로 예상된다.

또한 IEEE802.11ad 표준의 개선 버전인 IEEE802.11ay 표준이 2021년에 발표됨[2]에 따라, 2022년부터 PharrowTech 등의 칩셋 제조사로부터 RF 칩이 출시되고 있으며[3], 이어서 MikroTik 등 벤더사로부터 IEEE802.11ay 표준 기반의 무선 장비도 출시되기 시작하고 있다[4].

60GHz를 넘어서 sub-THz 주파수의 경우에는 RF 칩이나 시험보드 등은 연구실 수준에서 연구된 사례들은 있으나[5], 6G 및 IEEE 802.15.3d 등 관련 표준들과 각국의 주파수 규정들이 충분히 정비된 후에야 칩 제조사들로부터 sub-THz 무선 칩들이 제작되어 마켓에 공급될 것으로 예상된다. 현재로서는 직접 칩셋계부터 하지 않는 이상 sub-THz 주파수를 사용한 장비를 활용하긴 힘들것으로 보이며, 따라서 상용 장비 기반의 구축이 가능한 고주파수 대역은 60GHz가 최선인 것으로 판단된다.

IV. 60GHz 무선통신기술 기반의 중거리 무선백본 응용

상용 60GHz 무선통신제품은 통신 거리에 따라 근거리(실내·수십미터 이내)와 중거리(야외·수백미터 이내)로 구분 가능하다. 근거리 통신의 경우 데이터센터 랙간 통신, 대형연구장비 유선통신 구간을 무선으로 대체 [6] 등에 활용 가능할 것으로 예상된다. 또한 중거리 통신의 경우엔 캠퍼스 내 건물간 통신 등에 충분히 활용 가능한 통신거리를 기대할 수 있어, 유선 백본의 대체 또는 이중화 등의 목적으로 구축에 적합하다.

IEEE802.11ay 표준의 제정 과정에서 다양한 use case들과 각각의 기술적 요구사항들이 제시된 바 있다[7]. 이들 중 기지국(엣지) 뒷단에서부터 코어(백본망) 사이의 구간을 의미하는 무선 백홀 형태의 응용이 중거리 무선 백본망과 구성 및 용도에서 유사점이 있어 참고할 만하다. 표 2는 해당 무선 백홀 응용의 요구사항으로, 중거리 무선백본 응용의 요구사항으로서도 활용 가능하다. LoS(Line of Sight)가 확보된 실외 환경, 단일 홉의 경우 AP간 거리 <1000m, 멀티 홉의 경우 페어링된 AP간 홉당 거리 <150m로 배치되는 것을 가정하고 있다.

	Single-Hop Wireless Backhauling	Multiple-Hop Wireless Backhauling
# of hops	1	<5
Distance per link	<1km	<150m
Data Rate	~2~20Gbps	~2~20Gbps
Latency	<35ms	<35ms (total)
QoS/QoE	Yes	Yes
Availability	99.99%	99.99%

[표 2] 중거리 무선백본 응용 요구성능 [7]

V. 60GHz 중거리 무선백본 시험구축

한국과학기술정보연구원 과학기술연구망센터는 60GHz 중거리 무선통신을 활용하여 연구망에서 유선연결이 힘든 구간(건물간 통신, 산간지방 등)에 무선 백본을 적용하기 위한 기술연구를 진행하고 있으며, 이를 위해 필요한 구축 및 운영 기술의 시험개발을 위해 건물간 무선시험망 구축을 진행하였다.

무선시험망의 구축에 앞서, 60GHz 중거리 무선통신 상용제품들 간의 비교를 통해 구축에 활용가능한 무선 제품을 조사하였다. 표 3은 오픈마켓에서 구매 가능한 상용 60GHz 중거리 무선통신 제품 간의 비교이다. 다양한 제조사의 다양한 제품들이 있으나, 대표적인 두 제품을 선정하여 각 제품의 데이터시트[8][9] 상의 수치들을 사용하여 비교하였다.

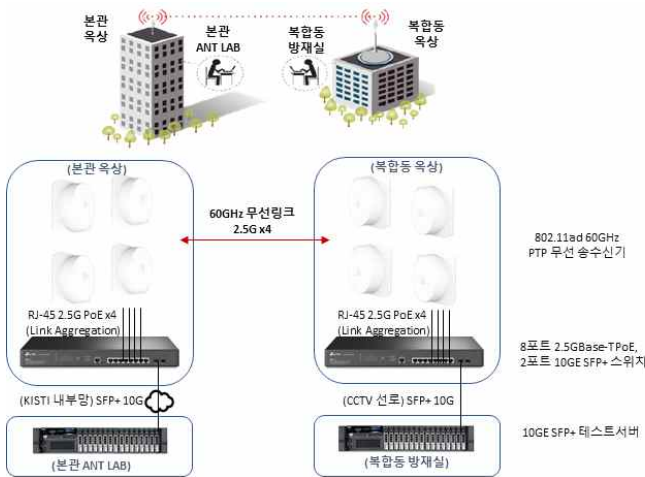
IgniteNet 사의 제품은 35cm 안테나를 내장한 제품으로, 42 dBi의 안테나 이득과 1° 빔 폭으로 출력을 집중하여 스펙상 최대 1.5Km의 먼 거리의 통신이 가능하므로 수백 미터의 중거리 통신 구축에 활용 가능하다. 또한 2.5Gbps의 네트워크 인터페이스를 가지고 있어 end-to-end 2.5Gbps의 Throughput을 기대할 수 있다. 반면 MikroTik 사의 제품은 빔 스티어링을 위한 phased array 안테나를 사용하는 것이 특징이다. 해당 장비는 최대 통신거리가 200미터지만, 장거리 통신을 위한 고이득 안테나를 사용하는 경우(LHG 60G kit), IgniteNet 장비와 동일하게 1.5Km 까지도 통신 가능한 것으로 보인다.

해당 제품들에 사용된 RF 칩셋 모듈들의 최대 Throughput은 4~6Gbps 까지 지원함에도, 네트워크 인터페이스 및 회로상의 bandwidth 병목으로 인해 최대 throughput이 제한되고 있는 것으로 보인다.

제조사	IgniteNet (USA)	MikroTik (Latvia)
제품명	ML2.5-60-35	wAP 60G / wAP 60G AP
제품군	PTP, PTMP	PTP, PTMP
RF 칩셋	Peraso PRS4001 (BB/MAC/PHY) + PRS1125 (RFIC)	Qualcomm QCA6335
사용 주파수대역	57~64 GHz (IEEE 802.11ad)	57~64 GHz (IEEE 802.11ad)
최대 대역폭	2.16 GHz (1ch)	2.16 GHz (1ch)
최대 Throughput	2.5 Gbps	1 Gbps
안테나 빔폭, 이득 등	1 degree, 42 dBi	phased array 60 degree, 13.5 dBi
최대 통신거리	1.5Km	200m
전력소모	15~24 W	5 W
입/출력 인터페이스	Gigabit Ethernet (2.5Gbps)	Gigabit Ethernet (1Gbps)

[표 3] 상용 60GHz 중거리 무선통신 대표제품간 비교

무선시험망은 IgniteNet의 장비를 활용하여, 대전 한국과학기술정보연구원(KIST)의 두 건물 옥상 간에 구축되었다. 각 건물의 옥상 설치지점 간 거리는 약 100미터이다. 각 장비는 2.5Gbps까지 지원하므로, IEEE802.11ad의 4개 채널을 사용하여 4개 링크를 병렬 구성하여 최대 10Gbps의 end-to-end 무선 네트워크를 구성하였다. 이 시험 망을 활용하여 빔 폭과 거리를 고려한 설치 기술, 통신 품질에 따른 적정 모듈레이션 방식 설정, 유선구간과의 연동, end-to-end 최대 Throughput 달성을 위한 연구 등을 진행하고 있다.



[그림 1] KISTI 건물간 60GHz 무선통신 시험망 구축 구성도

VI. 결론

대용량 연구데이터의 무선 전송에 활용 가능한 수준의 높은 대역폭 및 주파수 재사용성을 가진 무선기술 확보는 과학연구장비의 데이터품질 향상 및 연구망 구축·운영비용의 절감을 위해 중요하다. 현재의 상용 기술 수준으로 미루어 봤을 때, 연구데이터 무선전송에 활용하기에 비면허 고대역 주파수는 60GHz 대역이 적합하며, 해당 주파수는 수 미터 이내 근거리 통신부터 수백 미터의 중거리 통신까지 다양한 응용에 적용 가능하다.

향후 추가 연구를 통해 연구장비간 근거리 무선전송 및 중거리 연구망 무선백bone에 실제 적용할 수 있을 것으로 기대되며, 대형연구장비를 사용하는 연구자들과의 논의를 통해 각 유즈케이스에 특화된 더욱 세부적인 통신 요구사항들을 정립할 필요가 있다. mmWave/sub-THz 기반의 근거리 및 중거리 무선통신을 과학기술 분야에 선제적으로 적용하는 것은 연구망의 새로운 서비스로서 국내 과학 커뮤니티들에 대한 지원사례를 창출할 수 있음은 물론, 국내 통신 산업계에서 아직 활발히 제품 개발이 이루어지고 있지 않은 60GHz 이상 고대역 주파수 통신의 상용화를 대비한 선도적 역할도 할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE Std 802.11ad-2012 "Amendment 3: Enhancements for Very High Throughput in the 60 GHz Band", 2012
- [2] IEEE Std 802.11ay-2021 "Amendment 2: Enhanced Throughput for Operations in License-exempt Bands above 45 GHz", 2021
- [3] Microwave Journal Article "Pharrowtech Launches 60 GHz CMOS Radio Chip and Phased Antenna", 2022
- [4] MikroTik "Cube 60Pro ac and CubeSA 60Pro ac Brochure", 2022

- [5] Sangyeop Lee et al "An 80-Gb/s 300-GHz-Band Single-Chip CMOS Transceiver", IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2019
- [6] The WADAPT Collaboration, "Multi-Gigabit Wireless Data Transfer for High Energy Physics Applications," Proceeding of 2017 European Physical Society Conference on High Energy Physics (EPS-HEP 2017), Venice, Italy, July 5-12, 2017.
- [7] IEEE 802.11-15/0625r7 "IEEE 802.11 TGay Use Cases", 2017
- [8] IgniteNet "MetroLinq 2.5G 60 Data Sheet", 2020
- [9] MikroTik "wAP 60G Brochure", 2018