

5G New Radio Access Technology를 위한 Radio over Fiber 시스템의 수용가능성 연구

김성만*

Study on Applicability of Radio over Fiber system for 5G New Radio Access Technology

Sung-Man Kim*

요약

현재 이동통신망에서 요구되는 많은 통신량을 수용하기 위해서 새로운 주파수 대역을 사용하는 5G New RAT(: Radio Access Technology)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만, 이러한 새로운 New RAT 기술이 이동통신에 적용되었을 때에 이를 유선 이동통신망에서 수용할 수 있을지에 대해서는 제대로 연구된 바가 없다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 New RAT 기술을 RoF(: Radio over Fiber) 기술로 이동통신망의 Fronthaul에서 수용이 가능한지에 대한 연구를 진행하였다. 본 연구에서는 New RAT의 기술로 밀리미터파 통신기술, 테라헤르츠파 통신기술, 무선 광통신 기술 등을 고려하고, 이들 각각에 대한 RoF 기술의 응용 가능성을 연구하였다. 연구의 결론을 요약하면, 10년 이내의 범위에서 세 가지 New RAT 기술 중에 밀리미터파 통신기술에 대해서만 RoF 수용성을 고려하면 되는 것으로 판단되며, 빔포밍을 사용하는 경우에는 밀리미터파 통신기술의 요구 전송 대역폭이 너무 많아 Fronthaul에서 RoF 기술로도 수용이 쉽지 않은 것으로 결론이 내려졌다.

ABSTRACT

5G New Radio Access Technology(: RAT) is studied by many researchers because the current radio frequency is insufficient to accommodate the increased mobile communication data traffic. However, there are few researches to study on the issue whether the wired mobile network can accommodate the new RAT. Therefore, in the paper, the study on the issue whether the Radio over Fiber(: RoF) system can accommodate the new RATs such as millimeter wave communication, terahertz communication, and optical wireless communication. As a result of the study, only millimeter wave communication deserve to be considered in ten years and even RoF system may not support the increased bandwidth of the millimeter wave communication when beamforming is used.

키워드

Radio over Fiber(: RoF), Millimeter Wave Communication, Terahertz Communication, Optical Wireless Communication
Radio over fiber(: RoF), 밀리미터파 통신, 테라헤르츠파 통신, 무선 광통신

1. 서론

최근에 이동통신망에서 사용자가 요구하는 통신용

량이 가파르게 증가하여 기존에 사용하던 RF(: Radio Frequency) 주파수 대역만으로는 더 이상 수용이 불가능한 상황에 이르렀다. 따라서, 많은 이동통신 공학

* 교신저자 : 경성대학교 전기전자공학부 (sungman@ks.ac.kr) • Received : Jul. 29, 2016, Revised : Sep. 13, 2016, Accepted : Sep. 24, 2016
• 접수일 : 2016. 07. 29 • Corresponding Author : Sung-Man Kim
• 수정완료일 : 2016. 09. 13 Dept. of Electronic Engineering, Kyung Sung University
• 게재확정일 : 2016. 09. 24 Email : sungman@ks.ac.kr

자들은 새로운 주파수 대역을 사용하는 New RAT(Radio Access Technology) 기술에 많은 관심을 기울이고 있다. 이러한 New RAT 기술로는 밀리미터파 통신 기술[1-2], 테라헤르츠파 통신기술[3], 무선 광통신 기술[4-6] 등이 있다.

이러한 New RAT 기술을 사용하면 주파수 대역폭이 훨씬 더 증가하여 무선 구간에서 수 Gb/s 이상의 전송속도를 사용자에게 제공할 수 있다. 하지만, 대부분의 이동통신 공학자들은 무선구간의 기술에만 관심이 있기 때문에, 이러한 New RAT 기술이 실제로 사용되었을 때에 이를 유선 통신망에서 제대로 수용할 수 있을지에 대한 연구는 제대로 진행되지 않았다.

한편, 이동통신 시스템에서 첫 번째 유선통신 구간에 해당되는 구간은 DU(Digital Unit)와 RU(Radio Unit)을 연결하는 구간인 Fronthaul 구간이다. Fronthaul 구간의 정의를 그림 1에 나타내었다. 이 Fronthaul 구간을 기존에는 CPRI(Common Public Radio Interface) 라는 디지털 광통신 표준기술이 사용되었으나[7], 이동통신 기술의 발전에 따라 CPRI 구간에 요구되는 전송량이 급증하여 이를 효율적으로 수용하기 위해 최근에 아날로그 광통신 기반의 RoF(radio over fiber) 기술이 개발되었다[8-10].

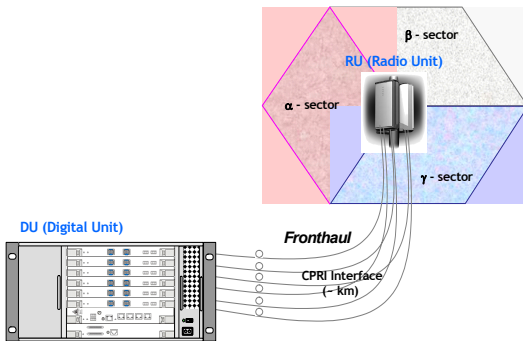


그림 1. 이동통신망에서 Fronthaul 링크의 정의
Fig. 1 Definition of fronthaul in mobile network

따라서, RoF 시스템을 연구하는 공학자들에게는 New RAT 기술이 이동통신망에 적용되었을 때에 이를 RoF 기술로 수용할 수 있을 것인지에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 New RAT 기술 후보로 거론되는 밀리미터파 통신기술, 테라헤르츠파 통신기술, 무선

광통신 기술 등의 표준기술을 살펴보고 이를 RoF 기술로 수용이 가능한지에 대한 연구를 진행하였다.

II. New RAT 표준기술

이동통신 분야에서는 표준이 제정되지 않고서는 상용화가 되기 힘들다. 따라서, 세 가지 New RAT 후보기술인 밀리미터파 통신기술, 테라헤르츠파 통신기술, 무선 광통신 기술 등에 대하여 제정된 표준기술에 대해 살펴보고자 한다.

2.1 밀리미터파 통신기술

밀리미터파 주파수는 이를 파장으로 환산했을 때에 밀리미터 단위에 들어오는 주파수 영역이라는 뜻이다. 일반적으로 수십 GHz ~ 수백 GHz 주파수 대역을 밀리미터파라고 말한다. 밀리미터파 통신기술로는 60 GHz 대역을 사용하는 LAN(Local Area Network) 및 PAN(Personal Area Network) 기술이 파악되고 있으며, 현재 5G 이동통신 기술을 위해 30 GHz 대역을 사용하는 밀리미터파 통신기술로 현재 표준이 제정 중에 있다.

표준화가 완성된 표준기술을 살펴보면, LAN 및 PAN 기술로서 IEEE 802.11ad(WiGig 라고도 불림), Wireless HD, IEEE 802.15.3c, ECMA-387 등이 파악되고 있다. 이 네 가지 표준기술들은 모두 서로를 참고하여 만든 것처럼 거의 비슷하게 제정되어 있어 대표적으로 IEEE 802.11ad 에 대해서 살펴보고도록 하겠다[11].

표 1은 IEEE 802.11ad 표준기술의 주파수 채널을 보여주고 있다. 총 4 채널이 있으며, 각 채널의 대역폭(BW: Bandwidth)은 2.16 GHz 이다. IEEE 802.11ad 에서는 다양한 PHY 단의 변조옵션이 있지만, 2.16 GHz 의 대역폭을 가지고 가장 높은 데이터 전송률을 보이는 경우는 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 변조기법과 64 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)을 사용한 경우이며, 이때의 전송속도는 6.756 Gb/s 에 달한다. 따라서, 만약에 4 채널을 모두 사용했을 때의 총 전송률은 6.756 Gb/s × 4 = 27.024 Gb/s 에 달한다.

각 나라의 주파수 할당 정책에 따라 이 4 채널을 모두 사용할 수 있는 나라로는 일본과 유럽연합이 있

고, 한국과 미국의 경우에는 처음 세 채널만 사용이 가능하다. 중국의 경우에는 2 번과 3 번 채널 두 채널만 사용이 가능하다.

한편 IEEE 802.11ad를 개선하여 채널당 전송속도를 최대 약 30 Gb/s 까지 제공하고자 IEEE 802.11ay 라는 표준도 제정 중에 있으며, 2017년에 표준화가 완료될 예정이다. 또한, 현재 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 표준이 제정중인 5G 이동통신과 관련해서는 아직 완전히 정해지지 않았지만, 주파수 대역폭이 약 1 GHz 정도로 정해질 것으로 파악되고 있다[12].

표 1. IEEE 802.11ad 의 주파수 채널
Table 1. Frequency channels of IEEE 802.11ad

Channel	Center (GHz)	Min (GHz)	Max (GHz)	BW (GHz)
1	58.32	57.24	59.4	2.16
2	60.48	59.4	61.56	2.16
3	62.64	61.56	63.72	2.16
4	64.8	63.72	65.88	2.16

2.2 테라헤르츠파 통신기술

테라헤르츠파는 수 THz 대역의 주파수를 말한다. 이러한 테라헤르츠파 통신기술로는 여러 연구자들이 다양한 연구를 하고 있으나, 아직은 상용화의 요구가 없는 상황이다. 그 이유는 아직은 테라헤르츠파를 사용하는 것보다 밀리미터파를 사용하는 것이 주파수가 더 낮아 이동통신 공학자들에게 훨씬 더 친숙하기 때문이다.

따라서, 아직은 테라헤르츠파 통신기술에 대하여 제정된 표준은 없는 것으로 파악되고 있다. 다만 IEEE 802.15 에서 Interest 그룹으로 논의만 하고 있는 중이다¹⁾. 하지만, 이 그룹에서 표준제정에 대한 확실한 일정도 없는 상황이다. 저자의 판단으로는 향후 10년간 테라헤르츠파를 이용한 이동통신기술이 상용화 될 가능성은 거의 없을 것으로 판단된다.

1) http://www.ieee802.org/15/pub/TG3d/index_I GHz.html

2.3 무선 광통신 기술

무선 광통신 기술은 빛을 이용한 무선 통신기술을 말한다. 이와 관련된 용어로는 가시광 통신(VLC: Visible Light Communication), OWC(Optical Wireless Communication), LiFi(Light Fidelity), FSO(Free-space Optical Communication) 등이 있다. 무선 광통신에 관련된 표준기술로는 IEEE 802.15.7 이 파악되고 있다. 이는 가시광 통신기술을 기반으로 제정된 표준기술이다[13].

하지만, 이 표준기술은 최대 전송속도가 96 Mb/s 밖에 되지 않는 등 시장의 요구사항에 그다지 부합하지 못하는 것으로 판단된다. 이로 인해 표준이 완성된 지 수 년이 지났지만, 상용화는 지지부진한 상태이며, 적어도 한동안은 상용화의 진척 가능성이 보이지 않는 상태이다.

표 2. New RAT 통신기술 비교
Table 2. Comparison of New RAT

	Millimeter wave commun.	Terahertz commun.	Optical wireless commun.
Standard	IEEE 802.11ad, Wireless HD, IEEE 802.15.3c, ECMA-387, IEEE 802.11ay (working) 5G mmW (working)	-	IEEE 802.15.7
Commercialization	in several years	far future	unsuccessful

III. RoF 시스템의 수용 가능성

2 장에서 New RAT 기술로서 밀리미터파 통신기술, 테라헤르츠파 통신기술, 무선 광통신 기술등을 살펴봤었다. 하지만, 테라헤르츠파 통신기술은 제정된 표준이 없는 것으로 파악되며, 무선 광통신 기술은 밀리미터파 통신기술에 대비하여 성능이 매우 미약하여

상용화가 거의 되지 않고 있는 상황이다. 따라서, 지금부터 본 논문에서는 밀리미터파 통신기술만을 New RAT 기술로 고려하도록 하겠다.

밀리미터파 통신기술과 관련하여 3GPP에서 제정중인 5G 표준기술을 조사해 보면, 주파수 대역폭은 아직 완전히 결정되지는 않았지만 약 1 GHz 근방의 값이 될 전망이다[12]. 이는 IEEE 802.11ad 의 수준보다는 조금 적은 수준이다. 하지만, 5G 이동통신에서는 Massive MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기반의 3D 빔포밍(Beamforming)을 적용하는 것을 가정하고 있어 최대 수십개의 안테나가 필요한 실정이다. 이러한 경우에 이를 RoF 시스템을 통해 완전히 수용하려면, 1 GHz × 수십개 = 수십 GHz 의 대역폭이 필요하다. 아무리 CPRI 보다 효율적인 RoF 시스템이라도 수십 GHz 에 해당하는 아날로그 대역폭을 수용하기는 쉽지 않다. 따라서, 이러한 경우에 RoF 시스템으로 이를 수용하는 것은 쉽지 않다고 할 수 있겠다.

만약에, 빔포밍을 사용하지 않거나, 안테나 단에서 아날로그 빔포밍을 사용한다면 RoF를 통해 모든 RF 채널을 전송할 필요가 없으므로, 이러한 경우에는 1 GHz 의 대역폭만 RoF 로 전송하면 된다. 따라서, 빔포밍을 사용하지 않거나 아날로그 빔포밍을 사용하는 경우에는 RoF 시스템으로 충분히 수용이 가능할 것으로 전망된다. 정해진 몇 가지의 빔패턴을 스위칭하는 빔스위칭(Beam Switching) 기능도 아날로그 빔포밍의 범주로 볼 수 있으므로 이 경우에도 RoF 시스템으로 수용이 가능할 것으로 판단된다. 이러한 결과를 정리하여 표 3에 나타내었다.

빔포밍을 사용하는 5G 이동통신에 대해서는 Fronthaul 에 막대한 전송량이 필요하게 되어 기존의 구조나 기술로서는 도저히 수용이 불가능하다. 따라서, DU의 일부기능들이 RU로 옮겨가서 Fronthaul 의 전송량을 줄이는 방향으로 진화해야 할 것이다. 한편, DU의 기능들은 CPU(Central Processing Unit)나 DSP(Digital Signal Processor)에 소프트웨어로 구현되고 있는데, 최근에 반도체 기술의 발전으로 인해 CPU나 DSP의 성능이 개선되고 사이즈가 작아지고 있어서 DU의 부피도 작아지고 있다. 따라서, 최종적으로는 DU의 부피가 매우 작아져서 RU와 일체형이 되어 외부에 설치되는 방향으로 진화하게 될 것으로 판단된다.

표 3. 밀리미터파 통신을 위한 RoF 시스템의 수용 가능성

Table 3. Applicability of RoF system for millimeter wave communication

Case	Required RF ch.s in RoF	Required BW	Applicability
5G without beamforming	1	1 GHz	Possible
5G with analog beamforming	can be reduced to one channel	~1 GHz	Possible
5G with digital beamforming	= no. of antenna	Tens of GHz	Not easy

IV. 결 론

본 논문에서는 New RAT 기술후보로 거론되는 밀리미터파 통신기술, 테라헤르츠파 통신기술, 무선 광통신 기술의 현황에 대하여 조사하고, 이를 Fronthaul 링크에서 RoF 기술로 수용이 가능한지에 대한 여부를 연구하였다. 결론적으로 밀리미터파 통신기술만이 수년 내에 상용화가 될 예정이며, 테라헤르츠파 통신구실이나 무선 광통신 기술은 향후 수년 내에 범용적으로 상용화될 가능성은 매우 낮은 것으로 밝혀졌다.

밀리미터파 통신기술의 경우에는 주파수 대역폭이 1 GHz 가 넘고, Massive MIMO 기술을 이용한 3D 빔포밍이 이루어질 때에 수십 GHz 의 막대한 대역폭이 RoF 시스템에 요구된다. 따라서, 기존의 CPRI 에 대비하여 효율적인 RoF 기술이라도 이러한 경우에는 수용이 쉽지 않을 것으로 판단된다.

따라서, 가까운 미래에서는 DU의 일부기능들이 RU로 넘어와서 Fronthaul 의 데이터전송량을 줄이는 방향으로 가겠지만, 최종적으로는 Fronthaul 링크가 필요없이 DU 와 RU 가 일체형이 되어 외부에 설치되는 기지국의 형태로 다시 돌아갈 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 RoF 기술을 밀리미터파 기반의 5G 이동통신에 적용하고자하는 연구자들이나 밀리미터파 기반의 5G 이동통신 사업자들에게 중요한 정보가 될 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2016학년도 경성대학교 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

References

[1] C. Dehos, J. L. Gonzalez, A. D. Domenico, D. Ktenas, and L. Dussopt, "Millimeter-wave access and backhauling: the solution to the exponential data traffic increase in 5G mobile communications systems?," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 9, Sept. 2014, pp. 88-95.

[2] S. Kutty and D. Sen, "Beamforming for millimeter wave communications: an inclusive survey," *IEEE Commun. Surveys and Tutorials*, vol. 18, no. 2, 2016, pp. 949-973.

[3] K. Huang and Z. Wang, "Terahertz terabit wireless communication," *IEEE Microwave Mag.*, vol. 12, no. 4, June 2011, pp. 108-116.

[4] S. Kim, "A MAC protocol for LED visible light communications with beamforming," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 6, no. 3, June 2011, pp. 425-432.

[5] S. Kim and H. Jee, "Visible light communication based on space-division multiple access optical beamforming," *Chinese Optics Letters*, vol. 12, no. 12, Dec. 2014, paper no. 120601.

[6] S. Kim and H. Lee, "Half-duplex visible light communication using an LED as both a transmitter and a receiver," *Int. J. of Communication Systems*, vol. 29, no. 12, Aug. 2016, pp. 1889-1895.

[7] S. Kim, "Limit analysis of the distance between DU and RU in 4G FDD mobile communication systems," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 1, Feb. 2012, pp. 135-139.

[8] S. Mim, "Required specification analysis of radio over fiber system for LTE-advanced fronthaul link," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 8, Sept. 2014, pp. 915-919.

[9] S. Kim, "Nonlinearity detection and compensation in radio over fiber systems

using a monitoring channel," *J. of Information and Communication Convergence Engineering*, vol. 13, no. 3, Sept. 2015, pp. 167-171.

[10] S. Cho, H. Park, H. Chung, K. Doo, S. Lee, and J. Lee, "Cost-effective next generation mobile fronthaul architecture with multi-IF carrier transmission scheme," In *Proc. Optical Fiber Communication Conf. (OFC 2014)*, San Francisco, USA, Mar. 2014.

[11] IEEE Std 802.11adTM-2012, ISO/IEC/IEEE International Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - Specific requirements-Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 3: Enhancements for Very High Throughput in the 60 GHz Band, IEEE Computer Society, Dec. 2012.

[12] H. Lee, "mmWave technology for 5G," In *Proc. Korea Internet Conf. (KRnet 2016)*, Seoul, Korea, June 2016.

[13] IEEE Std 802.15.7TM-2011, 802.15.7-2011 - IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 15.7: Short-Range Wireless Optical Communication Using Visible Light, IEEE Computer Society, Sept. 2011.

저자 소개

김성만(Sung-Man Kim)



1999년 KAIST 전기및전자공학과 공학사
 2001년 KAIST 전기및전자공학과 공학석사
 2006년 KAIST 전기및전자공학과 공학박사

2006년~2009년 삼성전자 정보통신총괄 책임연구원
 2009년~현재 경성대학교 전자공학과 교수
 ※ 관심분야 : 광통신, 무선 광통신, 이동통신, 광에너지 전송

