5세대 이동통신 기술

DOI: 10.3938/PhiT.29.007

유 영 준

Fifth-Generation Communication Technology

Young Joon YOO

Fifth-generation (5G) mobile communications must use millimeter waves to send and receive large amounts of data. However, transmitting and receiving over a long distance is difficult due to the characteristics of millimeter waves, so various technologies need to be developed. If these difficulties are to be overcome, massive MIMO technology and beamforming technology should be combined with 5G mobile communication. This article introduces the characteristics of electromagnetic waves, the relations between the frequency and the wavelength of an electromagnetic wave and the fifth-generation mobile communication technology.

서 론

우리가 살고 있는 세상은 다양한 파동들이 뒤섞여 있는 세상이다. 파동이란 물리학적으로 평형상태로부터 한 지점에서 발생한 어떠한 진동이 다른 지점으로 전달되는 것을 말하는데, 여기서 파동에 의해 전달되는 것은 물질이 아니라 어떠한 에너지를 뜻한다. 파동은 형태에 따라 크게 2종류로 구분할 수 있는데, 진행방향으로 진동이 발생하는 경우를 종파라고 하며 대표적으로 음파와 지진파의 P파가 있다.(그림 1) 파동이 발생하는 곳을 파원이라고 하며, 파원에서 발생한 파동은 매질을 통해 전달이 되는데 매질은 제자리에서 진동만 할 뿐 이동을 하지는 않는다. 보다 자세하게는 파동의 전파는 에너지에 의해 매질을 이루는 입자가 진동하고, 진동하는 입자에 의하여 에너

저자약력

유영준 박사는 한양대학교 물리학과에서 2014년 박사학위를 취득 후, 한양대학교 자연과학연구소 박사후 연구원, (주)인비지블 최고기술책임자를 거쳐, 2019년부터 차세대융합기술연구원에서 선임연구원으로 재직 중이며, 메타소재 및 안테나 관련 분야 연구를 진행하고 있다.
(youngjoonyoo@snu.ac.kr)

Fig. 1. Longitudinal wave characteristics.

Fig. 2. Transverse wave characteristics.

Fig. 3. Classification of waves.

지가 전달되게 된다. 종파는 파동 진행방향으로 매질을 압축하고 팽창으로써 에너지를 전달하므로 음파의 경우 매질인 공기의 압축과 이완을 통해 전달되게 된다. 이러한 원리로 인하여 종파는 매질이 없는 공간에서는 전달이 되지 않는다. 이와 달리 파동의 진행방향과 수직으로 진동하는 경우를 횡파라고 하며 대표적으로 물결과와 지진파의 S파 및 빛을 포함한 전자기파가 있다.(그림 2)

파동 중에서 물결과와 지진파는 매질이 있어야만 전달이 되는 탄성파로 구분이 된다. 탄성파는 매질을 통해서 전달이 되는 특성을 가지고 있기에 온도가 같다면, 고체>액체>기체의 순으로 전달속도가 나뉜다. 반면에 빛을 포함한 전자기파는 매질이 없어도 전달이 가능한 대표적인 비탄성파이면서 횡파의 특성을 갖는다.(그림 3)

Fig. 4. Classification of electromagnetic waves in terms of wavelength and frequency.

파장과 주파수

앞서 언급한 것과 같이 전자기파는 대표적인 비탄성파이자 횡파 파동이며 전자기파는 그림 4와 같이 파장(파동의 주기)에 따라서 장거리 송수신이 가능하여 라디오, 지상파 텔레비전 및 레이더 등으로 활용하여 신호와 정보를 보내는데 사용되는 전파, 빨강색보다는 파장이 길고 파원 가까이에서는 온도를 느낄 수 있는 적외선, 사람의 눈으로 구분을 할 수 있는 가시광선, 보라색보다는 파장이 짧고 사람의 육안으로는 확인을 할 수 없는 자외선, 1895년 빌헬름 콘라트 뢰트겐이 최초로 발견한 방사선인 X선, 전자기 복사의 강력한 형태로 방사능 및 전자-양전자 소멸과 같은 핵과정 등에서 생성되는 감마선 등으로 구분을 할 수 있다. 그림 4에서 확인할 수 있듯이 전파에서부터 감마선으로 이동할수록 파장이 짧아지게 되고, 이때 파동의 주파수는 파장에 반비례하므로 증가하게 된다.

전파의 활용 영역

여기서 전파영역에 해당하는 주파수는 대략 300 kHz ~ 3000 GHz 대역을 지칭하는데, 보다 자세한 전파영역은 그림 5와 같다. 전파의 일반적인 특성을 살펴보면, 낮은 주파수의 전파는 전송 가능한 정보량이 적은 단점을 가지고 있으나 장거리 송수신이 가능하여 해상, 항공통신 등의 장거리 통신에 적합하며 전리층 반사 및 강한 회절특성을 가지고 있어 장애물이 있어도 송수신에 유리한 특성을 가지고 있다. 이에 반해 전파의 주파수가 높아질수록 전파는 직진성이 강해지는 특성이 있어 특정방향으로의 송수신에 유리하며 전송 가능한 정보량이 많은 장점이 있고 이러한 특성으로 인하여 고정통신, 초고속 통신 등에 적합한 측면이 있다. 앞서 언급한 각종 통신 및 레이더에서 사용하는 전파는 전기에 의해 발생하는 것으로써 전류의 흐름원리를 이해하는 것이 중요하다. 전기장은 전선에 있는 양전자에서 음전자로 향하는 힘으로 전선 주위에서 사방으로 퍼지며, 자기장은 전기장이 있는 곳에서 항상 전기장과 직각을 이루면서 존재하며, 전선을 따라 흐르는 전류는 전선이 끊어진 부분에서 전기적 힘이 어디론가 사라지게 된다. 이때

Fig. 5. Classification of radio waves by frequency.

Fig. 6. Wireless communication system.

없어지는 힘은 공간상으로 퍼지게 되며 이것이 바로 전파의 발생 원리이다. 전파영역은 주파수에 따라서 분배하여 사용을 하고 있는데, 사용목적에 따라 주파수를 나눠서 사용하는 것을 “주파수분배”라고 하며, 이는 국제전기통신연합 전파규칙에 따라 주파수를 분배하여 사용한다. 통상적으로 3 ~ 4년 주기로 개최되는 세계전파통신회의에서 전파규칙에 대한 제정 및 개정을 통하여 주파수를 분배하여 사용하고 있다. 국내의 주파수 분배는 국제 전파규칙 분배를 근거로 하여 국내 여건에 맞게 업무를 분배하고, 해당 업무의 세부용도를 결정하여 사용하고 있으며, 현재 국내에서 사용하고 있는 주파수 분배 표는 『전파누리』 사이트에서 확인이 가능하다.^[1]

무선통신 시스템

이동통신을 포함한 무선통신시스템은 크게 4개로 구분을 할 수 있다.(그림 6) 첫 번째는 송신기로서 정보원으로부터의 정보를 전기적인 신호형태로 변환한 후 이를 원거리 전송에 적합하도록 신호를 처리하고 변환하여 송신하는 전기적인 설비이다. 두 번째는 수신기로서 원거리로 전송되어 들어온 전기적인 신호를 수신한 후 이를 처리하여 인간이 이해할 수 있는 형태로 정보를 가공, 처리하는 설비를 말한다. 이러한 송신기와 수신기는 급전선을 통하여 안테나로 연결이 되는데, 여기서 급전선은 송신기로부터 출력되는 전기 신호를 공간에 방사하기 위하여 안테나에 공급하거나 또는 반대로 안테나로 수신된 미약한 전파 신호를 수신기에 인가하기 위한 선로의 역할을 한다.

REFERENCES

- [1] www.spectrummap.kr.

Table 1. Generational mobile communication features.

세대구분	기술방식	제공 서비스	데이터 속도 (최대)	주파수대역	국내 상용화 시기
1세대 아날로그 이동통신	AMPS	음성	14.4 Kbps	-	1984년 4월
2세대 디지털 이동통신	CDMA	음성, 문자	144 Kbps	800 MHz (SKT) 1.7 GHz (LGU+)	1996년 1월 (세계 최초)
	CDMA 2000	음성, 문자, 무선인터넷	153.6 Kbps		2000년 1월 (세계 최초)
3세대 High Data Rate 통신	CDMA 2000 동기식	음성, 문자, 영상통화, 멀티미디어, 고속무선 data 통신	2.4 Mbps	2.1 GHz (SKT,KT) 2.3 GHz (Wibro, SKT,KT)	2002년 1월 (세계 최초)
	WCDMA		2 Mbps		2003년 12월
	WCDMA 진화형		14.4 Mbps		2006년 5월 (세계 최초)
4세대 Wireless Broadband	LTE	음성, 문자, 데이터, 실시간 동영상, 초고속무선 data 통신	75 Mbps	800 MHz (3사공동) 900 MHz (KT) 1.8 GHz (SKT,KT) 2.1 GHz (LGU+) 2.6 GHz (LGU+)	2011년 7월
	LTE-A		150 Mbps		2013년 6월 (세계 최초)
	광대역 LTE-A		225 Mbps		2014년
	3 Band LTE-A		300 Mbps		2014년 12월
	4,5 Band LTE-A		700 Mbps		2017년
5세대	유무선통합네트워크, MIMO, 용량증대 3D Beam forming	사물인터넷, 홀로그램, 가상현실	20 Gbps	3.5 GHz 28 GHz	2020년

마지막은 안테나로서 송신 안테나는 급전선을 통하여 공급되는 전기 신호를 전파로 변환하여 공간에 방사하는 역할을 하며, 수신 안테나는 공간으로부터 수신되는 많은 전파 신호 중에서 원하는 신호만을 선택적으로 전기 신호로 변환하여 수신기에 인가하는 역할을 한다.

세대별 이동통신 기술

이동통신이란 사용자가 자유롭게 이동하는 중에도 통신이 가능하도록 해주는 시스템을 이야기하며 앞서 언급한 무선통신시스템 기술을 활용한다. 이동통신 시스템의 종류로는 모바일 이동통신, 주파수 공유통신, 위성 이동통신 등의 다양한 통신시스템이 있다. 이동통신은 10년 주기로 변화하면서 1980년대 1세대 아날로그 이동통신을 시작으로 2세대, 3세대 2010년대 4세대를 거쳐 2020년대 5세대 이동통신으로 진화를 하고 있는 상황이다. 세대별 이동통신의 주요특징은 표 1과 같다. 세계 최초의 1세대 이동통신은 아날로그 방식으로 AMPS(Advanced Mobile Phone Service)라고 하며, 음성 위주의 서비스만을 제공하였으며, 1983년에는 미국 시카고에서 Ameritech사가 세계 최초로 서비스를 개통하였고 국내에서는 1984년도에 도입되어

이동통신 서비스를 시작하였다. AMPS는 셀 내 사용자 구분을 위한 다중접속방식으로 FDMA를 사용하며, 통신 자원 중에 주파수를 나누어 사용자를 구분하는 방식이었으며 한 사용자의 채널 대역폭은 30 kHz를 가졌다. AMPS 이후에 유럽에서도 아날로그 방식이 다수 출현하였지만 시스템별로 각기 다른 변조 방식과 주파수 대역, 채널 대역폭을 사용함으로써 상호 호환성이 없는 문제로 인하여 이동통신 시스템의 표준화 필요성을 제기하게 되었고 결국 유럽에서 GSM 시스템이 탄생하게 된 계기가 되었다. 2세대 디지털 CDMA 방식은 확산된 주파수 대역을 사용자가 공유할 수 있도록 한 방식으로 직접 확산에 사용되는 부호시퀀스로 사용자를 구분하는 방식을 사용하였으며, 주파수와 시간을 같이 사용하면서 코드로 사용자를 구별하는 것은 이동통신 기술에 하나의 획을 긋는 기술로 여겨졌다. CDMA 방식의 주요기술로는 전력제어와 소프트 핸드오버 기술로 TDMA와 구별이 되는 가장 큰 특징을 가지고 있다. 3세대 이동통신인 W-CDMA에서 2세대 이동통신 대비 크게 달라진 부분은 보다 넓은 대역폭(5 MHz)과 기지국 간 비동기방식을 채택한 것이고, 또 다른 3세대 이동통신인 CDMA2000은 2세대와 같은 대역폭인 1.25 MHz를 사용하였다. 3세대 이동통신(W-CDMA와 CDMA2000)의 최대 전송속도의 핵심기술로는 각

각 STTD(Space Time Transmission Diversity)와 STS(Space Time Spreading) 두 가지로 안테나 다이버시티에 대한 기술로 나뉜다. 2005~2006년 W-CDMA 진화를 위해 표준화가 완료된 고속 데이터 전송용으로 만들어진 HSPA는 대표적인 3세대 이동통신 기술로서 최대 14.4 Mbps의 전송속도를 기록하였으며, 이후 MIMO 기술을 도입하여 속도를 더 높인 HSPA+의 경우 최대 전송속도를 42.2 Mbps까지 향상시켰다. 같은 시기에 삼성전자와 한국전자통신연구원의 주도로 개발된 WiBro 기술은 모바일 이동통신에 OFDMA를 적용한 첫 번째 기술로서 기본 대역폭은 8.75 MHz로 국내에서 2006년부터 서비스가 진행되었고, 해외에서는 WiMAX라는 이름으로 서비스가 되었다. 4세대 이동통신 기술인 LTE 기술은 다중의 입출력이 가능한 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 기반의 안테나 시스템으로 기지국과 단말기의 안테나를 2개 이상으로 늘려 데이터를 다중 경로를 이용하여 전송하는 기술로서 서로 다른 주파수대역, 서로 다른 가용 주파수 크기(주파수대역폭), 서로 다른 듀플렉스 방식 등의 다양한 주파수 환경에서도 시스템 구축 가능한 장점을 가지고 있으며 최대 가능 전송속도를 75 Mbps까지 향상시켰다. LTE-Advanced 기술은 3세대 이동통신 대비 40배 이상의 고속 데이터 전송속도 및 접속지연시간 2배 이상 향상을 기반으로 고품질의 이동 멀티미디어 서비스를 제공할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 해당기술을 통해 고속으로 이동 중인 사용자도 다양한 서비스를 자유롭게 사용할 수 있는 장점이 있다.

5세대 이동통신 기술

5세대 이동통신은 기존의 3세대, 4세대 이동통신 대비 초고속, 초저지연, 초연결을 목표로 하고 있다. 5세대 이동통신의 최대 전송속도는 20 Gbps이며, 100 Mbps의 체감전송속도, 1 ms의 전송지연 및 평방킬로미터당 1백만 대의 최대 기기 연결 수 등의 성능지표를 목표로 한다. 이러한 5세대 이동통신의 성능 달성을 위해 mmWave(고주파수대역의 밀리미터파), MIMO 기술과 빔 포밍 등의 기술이 핵심기술로 대두되고 있다.^[2] 앞서 언급한 기술들은 모두 5세대 이동통신에서의 안테나 기술의 큰 변화를 불러올 것으로 예상된다.

먼저 앞서 언급한 바와 같이 전파는 주파수가 증가할수록 많은 양의 정보를 송수신하는 데 장점을 가지고 있으나 반면 전파의 직진성이 강해져 장거리의 송수신에는 단점을 가지고 있다. 5세대 이동통신에서는 많은 양의 정보를 송수신하기 적합한 높은 주파수대역을 활용하기 위해 mmWave 안테나 기술이 필수적이다. 5세대 이동통신은 고주파수대역(24 GHz 이상)에서 데이터를 주고 받으며, 대역폭은 최대 400 MHz으로 이

Fig. 7. Massive MIMO technology for 5G.

는 LTE 대비 20배에 달하는 대역폭이다. 이에 다운로드 속도는 최대 20 Gbps까지 빨라질 수 있게 된다. 다만 24 GHz 이상의 mmWave 대역을 활용함에 따라 전파가 산과 건물과 같은 장애물을 피해갈 수 없으며, 각각의 기지국이 주파수를 송수신할 수 있는 영역도 좁아지게 된다. mmWave에 대해서 보다 자세하게 살펴보면, 5세대 이동통신에서는 사용자의 안정적인 환경을 유지하기 위해 빔 스위칭이 가능한 이중편파 위상 배열 안테나 기술이 대두되고 있음과 동시에 IBM, Qualcomm 사 등이 이중편파 안테나 구조를 채택하여 개발을 진행하고 있다.^[3,4] 이러한 좁은 송수신 영역을 극복하기 위해 필요한 기술이 Massive MIMO 기술과 빔포밍 기술이다. 4세대 이동통신에서부터 활용되었던 MIMO 기술은 다중입출력 기술로서 기지국과 단말기에서 동시에 다수의 안테나를 사용하여 여러 안테나가 동시에 신호를 주고받게 함으로써 데이터 전송량을 높

REFERENCES

- [2] T. S. Rappaport *et al.*, "Millimeter Wave Mobile Communications for 5G Cellular: It Will Work!," IEEE Access, May (2013).
- [3] B. Sadhu, Y. Tousi, J. Halin, S. Sahl, S. Reynolds, Ö. Renström, and G. Weibul, "7.2 A 28 GHz 32-element phased-array transceiver IC with concurrent dual polarized beams and 1.4 degree beam-steering resolution for 5G communication," in 2017 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), San Francisco, CA, 2017, pp. 128-129.
- [4] J. D. Dunworth, A. Homayoun, B. H. Ku, Y. C. Ou, K. Chakraborty, G. Liu and H. Hedayati, "A 28 GHz Bulk CMOS dual-polarization phased-array transceiver with 24 channels for 5G user and basestation equipment", in 2018 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC), San Francisco, CA, USA, 2018, pp.70-72.

Fig. 8. Beamforming technology for 5G.

이는 기술이다. 빔포밍 기술은 여러 안테나 소자로 전파 빔을 만들어 안테나가 특정 방향에서 전파를 집중적으로 송수신하게 하는 기술이다. 이를 기반으로 만든 적응형 안테나는 현재 기지국에 적용되어 있으며, 기지국 안테나는 사용자의 위치를 파악한 뒤 마치 여러 개의 조명을 사용자 단말기에 해당 주파수를 집중적으로 송수신하게 해준다.

MIMO는 다수의 송수신 안테나를 이용해서 수십 개의 데이터채널을 만들어서 커버리지를 확장시킴으로써 수용인원에 대한 한계를 없애고 체감속도를 증가시킨다. MIMO는 Multiple Input Multiple Output의 약어로서 다중 입출력이 가능한 안테나 시스템을 말한다. 즉, 이동통신에서 기지국과 사용자 단말기에 다수의 안테나를 사용하여 다중경로로 신호를 송수신하여 간섭을 줄이고 전송용량과 전송속도를 증가시키는 기술이다. 그리고 앞에 Massive라는 수식어가 붙으면 최소 100개 이상의 안테나를 사용한다는 의미를 담는다.(그림 7) 이러한 Massive MIMO 기술은 동시에 다수의 사용자와의 접속을 통해 동시에 많은 양의 데이터를 전송할 수 있게 하는 5세대 이동통신에 매우 중요한 기술이다.

그림 8은 3차원 빔포밍 기술에 대한 것으로 빔포밍은 2개 이상의 안테나를 이용하여 가중치가 높은 신호를 각각의 안테나에서 똑같이 전송하는 것을 말한다. 빔포밍은 안테나 프로세싱의 한 종류로 다중 경로에 의한 반사파 영향을 최소화시킴으로써 통화품질이 우수한 장점과 동시에 사용자의 수를 증가시킬 수 있으며 사용자 맞춤형으로 전파의 방향을 집중시킬 수 있어 단말기 측면에서 저전력 사용이 가능하게 해준다. 스마트폰 사용자 입장에서는 배터리 효율문제와 연관되기 때문에 가장 중요하게 생각되는 기술일 것이다.

맺음말

본 기고에서는 파동과 전파, 전파와 주파수의 관계로부터 세대별 이동통신의 주요 특징과 5세대 이동통신 기술에 대한 동향을 살펴보았다. 시간이 지날수록 사용자가 사용하는 데이터의 양은 기하급수적으로 증가될 것이므로 대용량의 데이터 전송이 가능한 mmWave의 활용은 필수적일 것이다. mmWave 주파수의 활용과 더불어 Massive MIMO 기술과 빔포밍 기술도 필수적으로 활용이 될 기술이다. 현재 국내에서 진행되고 있는 5세대 이동통신과 이를 뛰어넘는 이동통신의 기술개발은 기존 기술의 한계를 극복한 기초개발부터 서비스 지원을 하게 되는 상용 시스템까지 아우르게 되는 기술개발이 될 것으로 예상되며, 5세대 이동통신의 원천기술 확보를 통해 이동통신 기술 강국으로 자리를 잡을 수 있는 기회가 될 것이다.