

논문 2014-51-8-1

5세대 이동통신을 위한 MMB 시스템 및 채널 모델 (MMB System and Channel Model for 5th Generation Mobile Communication)

문 상 미*, 김 보 라*, 사란쉬 말리크*, 김 지 형**, 이 문 식**, 김 대 진***, 황 인 태***

(Sangmi Moon, Bora Kim, Saransh Malik, Jihyung Kim, Moon-Sik Lee, Daejin Kim,
and Intae Hwang[Ⓢ])

요 약

최근 폭증하는 모바일 데이터 트래픽을 수용하기 위하여 밀리미터파 (mmWave)가 큰 관심을 받고 있으며, 4세대 LTE-A (Long Term Evolution-Advanced) 표준을 기반으로 MMB (Millimeter Mobile Broadband) 시스템의 필요성이 대두되고 있다. 현재 mmWave 통신 채널에 대한 많은 연구가 이루어지고 있으며, MMB 채널 환경에 대한 성능 분석 또한 관심의 대상이다. 본 논문에서는 5세대 이동통신을 위한 MMB 시스템을 설계하고 mmWave의 전파 특성 분석을 통한 채널 모델을 제안한다. 또한 MMB 시스템의 28 GHz 대역에서 MMB 채널 환경에 대한 성능을 비교 분석한다.

Abstract

Millimeter wave (mmWave) has attracted great interest recently and the necessity of Millimeter Mobile Broadband (MMB) system has appeared based on the 4 Generation Long Term Evolution-Advanced (LTE-A) Specification. Currently, there are many studies about the mmWave communication channel. And it is subject of interest to analyze the performance in MMB channel environments. In this paper, we design the MMB system for 5th Generation mobile communication and propose channel models through the analysis of the mmWave propagation characteristics. Also, we have analyzed the performance of the MMB system of 28 GHz band in MMB channel environments.

Keywords : 5th Generation, Channel model, MMB, mmWave

* 학생회원, *** 평생회원, 전남대학교 전자컴퓨터공학부

(School of Electronics & Computer Engineering Chonnam National University)

** 정회원, 한국전자통신연구원 통신인터넷연구소 무선근접통신연구실

(Wireless Proximity Communications Research Section, Communications Internet Research Laboratory, Electronics and Telecommunications Research Institute)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: hit@jnu.ac.kr)

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학IT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2014-H0301-14-1014)

※ 이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (NRF-2013R1A1A2007779)

※ 본 연구는 미래창조과학부가 지원한 2014년 정보통신방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음
접수일자: 2014년04월22일, 수정일자: 2014년07월15일, 수정완료: 2014년08월04일

I. 서론

최근 스마트폰의 급격한 보급과 음성 위주의 이동 통신 서비스가 무선 멀티미디어 콘텐츠를 중심으로 하는 데이터 위주의 서비스로 전환됨에 따라 데이터 트래픽이 기하급수적으로 증가하고 있다. 에릭슨 업체의 트래픽 예측치 보고서에 따르면, 그림 1과 같이 데이터 트래픽의 경우 매년 2배씩 증가하였다. 시스코 보고서 또한 모바일 트래픽의 폭발적 증가를 예측하고 있으며, 이와 같은 예측을 기반으로 5세대 이동통신이 실현될 2020년에는 현재의 1000배에 달하는 데이터 트래픽에 대한 요구가 발생할 것으로 예상된다^[1~2].

트래픽 폭증에 대처하기 위해 향후 다양한 기술이 개발될 것이나 이러한 기술 개선만으로는 지속적으로 증가하는 트래픽을 수용하기 어려울 것이다. 따라서 그 이전까지 이동통신을 위해 사용되지 않았던 주파수 대역을 추가로 확보하기 위한 노력이 전세계적으로 이루어지고 있다. 최근들어, 60 GHz WPAN/WLAN 표준 기술^[3] 개발 및 관련 제품의 출시에 힘 입어 10 GHz 이상의 주파수 대역인 mmWave 주파수 대역을 셀룰라 이동통신에 활용하고자 하는 노력이 강구되고 있다.

하지만, mmWave는 현재 사용되고 있는 3 GHz 이하 주파수와는 다른 채널 특성을 갖는다. 일반적으로 mmWave 주파수는 높은 경로 손실이 발생하는데, 이는 상대적으로 짧은 파장과 넓은 대역폭에 기인한다. 즉, 짧은 파장으로 인해 수신 안테나 실효 개구면 크기가 작아 송신 신호를 받아들이는 양이 작고 또한 사용하는 넓은 대역폭은 상대적으로 높은 열잡음을 초래하여 SNR (Signal to Noise Ratio) 값을 작게 만든다. 그리고 대기 산소 및 수증기에 의한 감쇄가 3 GHz 이하 주

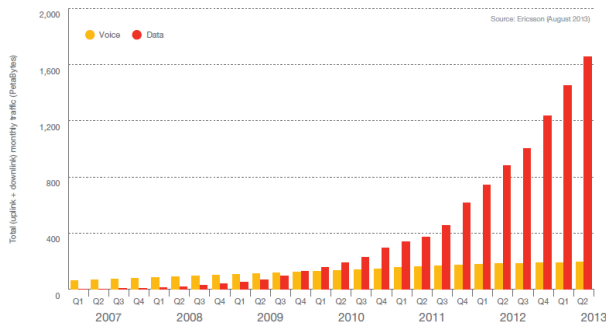


그림 1. 모바일 네트워크에서 전세계 데이터 트래픽
Fig. 1. Global total data traffic in mobile network.

파수에서보다 크게 발생한다^[4~5].

또한 도플러 및 다중경로에 의한 페이딩의 특성은 다음과 같다. 무선 채널의 도플러는 반송 주파수와 이동속도에 따라 달라진다. 따라서 반송파 주파수는 3-60 GHz 이고 이동속도 3-350km/h일 때 도플러 천이는 10 Hz 에서 20 kHz 범위에서 발생한다. 다중경로의 경우 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 현재 이동통신 주파수 대역 보다 낮은 delay spread를 갖는다.

본 논문에서는 5세대 이동통신을 위한 MMB (mmWave Mobile Broadband) 시스템을 설계하고 mmWave의 전파 특성 분석을 통해 채널에 적합한 PDP (Power Delay Profile) 및 최대 도플러 주파수를 적용함으로써 채널 모델링이 이루어진다. 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II 장에서는 MMB 시스템의 송·수신단 구조와 슬롯 및 프레임 구조에 대해 설계하고 제 III 장에서는 mmWave 전파 특성 분석 및 채널 모델링에 대하여 기술하였다. 제 IV 장에서는 모의실험을 통해 제안한 MMB 시스템의 채널 모델에 대한 예리율과 전송률에 대하여 성능을 분석한다. 마지막으로 제 V 장에서 결론을 맺는다.

II. MMB 시스템의 개요

1. MMB 시스템의 송·수신단 구조

MMB 시스템에서는 최대 데이터 전송 속도를 높이기 위해 MIMO 기술을 사용한다. MIMO (Multiple Input Multiple Output) 기술을 사용함으로써 크게 다이버시티와 멀티플렉싱 이득을 얻을 수 있다. 본 논문에서는 멀티플렉싱 이득을 얻을 수 spatial multiplexing을 적용한다. 또한, OFDM (Orthogonal Frequency

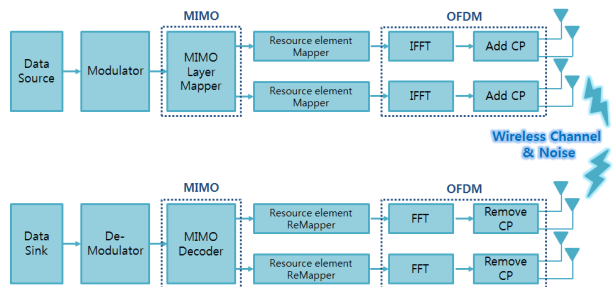


그림 2. MMB 시스템 송·수신단 블록도
Fig. 2. Block diagram of transmitter and receiver in MMB system.

Division Multiplexing) 기술을 사용하여 고속의 데이터 전송을 각 부반송파 관점에서 저속의 데이터 전송으로 변환하여 채널 왜곡 영향을 줄인다. 따라서 MMB 시스템은 MIMO-OFDM을 기반으로 설계하였으며, 송·수신 단 구조는 그림 2와 같다.

송신단은 데이터 소스로부터 생성된 비트 정보는 Modulation에서 PSK/QAM 데이터 심볼로 변환된다. 그 후 데이터 심볼은 Resource element 맵핑후 IFFT를 거쳐 OFDM 심볼로 변조된다. 변조된 OFDM 심볼은 CP (Cyclic Prefix) 삽입 블록을 통과한 후 채널로 전송된다. 채널로 전송된 OFDM 심볼은 무선 채널을 통과하여 수신단에 도착한다. AWGN 잡음이 추가된 OFDM 심볼은 CP 제거 블록을 통과한 후 FFT를 통해 OFDM 복조 된다. FFT 이후 Resource element 디맵핑을 거쳐 수신된 데이터는 채널에 의하여 크기와 위상이 왜곡되어 있으므로 MIMO 등화기를 거쳐 채널 보상이 이루어진다. MIMO 등화기를 통과한 데이터 심볼은 Demodulation 과정을 통해 정보 비트로 변환된다.

MMB 시스템은 무선 채널의 delay spread를 고려하여 270kHz의 부반송파 간격을 지원하며 자세한 내용은 제 III장에서 살펴본다. 또한 다른 길이의 CP, 즉 normal CP (0.46us)와 extended CP (0.93us)를 지원한다. 어떤 종류의 CP를 사용하는가에 따라 한 슬롯에 포함되는 OFDM 심볼의 개수가 달라진다. Normal CP의 경우 30개의 OFDM 심볼이 한 슬롯을 구성하며,

표 1. MMB 시스템 전송 파라미터
Table 1. Transmission Parameters of MMB system.

Transmission BW	62.5 MHz	125 MHz	250 MHz	500 MHz	1 GHz	
Subframe duration	1 ms					
Subcarrier spacing	270 kHz					
Sampling frequency	69.12 MHz	138.24 MHz	276.48 MHz	552.96 MHz	1106 MHz	
FFT size	256	512	1024	2048	4096	
Number of occupied subcarriers	216	432	864	1728	3456	
Number of OFDM symbols per slot (Normal/Extended CP)	30/27					
Number of available RBs	12	24	48	96	192	
CP length (us/samples)	Normal	0.46/32	0.46/64	0.46/128	0.46/256	0.46/512
	Extended	0.93/64	0.93/128	0.93/256	0.93/512	0.93/1024

extended CP의 경우 27개의 OFDM 심볼이 한 슬롯을 구성한다. MMB 시스템은 최소 62.5MHz부터 최대 1GHz 대역까지 지원 가능하며, 이에 따른 전송 파라미터는 표 1과 같다.

2. MMB 시스템의 프레임 및 슬롯 구조

가. MMB 시스템의 슬롯 구조

MMB 전송신호는 시간영역에서 N_{symp} 개의 OFDM 심볼과 주파수 영역에서 N_{sc}^{RB} 개의 부반송파로 이루어진 RB(Resource Block) 단위로 자원 할당이 이루어진다. 따라서 한 RB은 $N_{sc}^{RB} \times N_{symp}$ 개의 Resource element로 이루어진다. 여기서 N_{sc}^{RB} 는 18개의 부반송파로 구성되며, N_{symp} 은 CP 길이에 따라 한 슬롯은 30개 또는 27개의 OFDM 심볼로 구성된다.

MMB 시스템 전송신호는 그림 3에 나타난 바와 같이 $N_{RB} N_{sc}^{RB}$ 개의 부반송파와 N_{symp} 개의 OFDM 심볼로 구성된 Resource grid로 주어진다. MMB 시스템 RB의 개수 N_{RB} 는 전송 대역폭에 따라 다르며 다음 표 2와 같이 주어진다.

표 2. 전송 대역폭에 따른 RB의 개수
Table 2. The number of RBs for different transmission bandwidth.

Bandwidth (MHz)	62.5	125	250	500	1000
Subcarrier spacing	270 kHz				
RB Bandwidth	4.86 MHz				
Number of available RBs	12	24	48	96	192

나. MMB 시스템의 프레임 구조

그림 4는 MMB 시스템의 프레임 구조를 보여주고 있으며, MMB 시스템의 TTI (Transmission Time Interval)는 125us의 시간 길이를 가지는 한 슬롯이다. 한 슬롯은 CP 길이에 따라 30개 또는 27개의 OFDM 심볼로 이루어진다. 그리고 8개의 슬롯은 1ms 길이의 서브프레임을 구성하며 10개의 서브프레임이 모여 10ms 프레임을 구성한다. 이는 4세대 LTE-Advanced 시스템과 같은 길이로써 기존의 시스템에서도 적용적 동작이 가능하다.

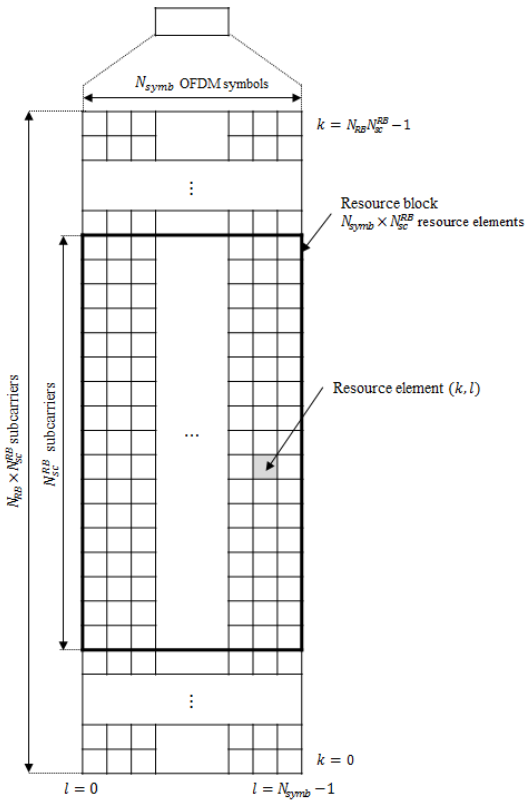


그림 3. MMB 시스템 Resource grid
Fig. 3. Resource grid of MMB system.

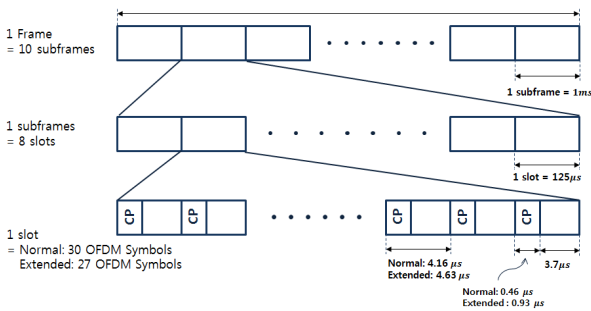


그림 4. MMB 시스템 프레임 구조
Fig. 4. Frame structure of MMB system.

III. mmWave 전파 특성 분석 및 채널 모델링

본 논문에서는 mmWave의 주파수 대역 중 28 GHz 대역에 대하여 전파 특성을 분석 하고 실험을 통한 측정값을 기반으로 각 채널 모델에 적합한 PDP 및 도플러 주파수를 적용함으로써 채널 모델링을 제안한다.

1. 주파수 영역에서 채널 특성

본 절에서는 실제 환경에서 28 GHz 대역에서 채널

특성 실험 측정값을 통해 mmWave 채널을 위한 PDP를 제안한다.

실험 환경은 크게 도시 환경에서 I2O(Indoor to Outdoor)/O2I(Outdoor to Indoor)와 Outdoor이다. 또한 Outdoor은 LoS(Line of Sight)와 NLoS(Non LoS)로 구분된다. 더 자세한 실험 환경은 참고문헌 [6]과 [7]에서 확인할 수 있다.

I2O/O2I, Out-LOS, Out-NLOS 환경에서 실험 측정값을 기반으로 MMB 채널의 PDP를 정리하면 표 3과 같다.

채널의 주파수 선택적 특성은 coherence 대역폭에 따라 정의된다.

$$B_c \approx \frac{1}{\tau_{max}} \tag{1}$$

여기서 τ_{max} 는 최대 delay spread이고, MMB 채널의 coherence 대역폭을 계산하면 표 4와 같다.

그림 5는 각 MMB 채널에 대하여 대역폭 18MHz에서 CFR (Channel Frequency Response)를 나타내고 있다.

표 3, 4와 그림 5를 통해 주파수 영역에서 mmWave의 채널 특성을 살펴보면, 최대 delay spread는 1388.4us (coherence 대역폭 ≥ 0.7 MHz)로 3GHz의 주파수를 사용하고 있는 현재 LTE-A 채널 보다 delay spread 감소 (coherence 대역폭 증가)로 CFR 채널 변화가 늦어지는

표 3. MMB 채널의 Power Delay Profile
Table 3. Power Delay Profile of MMB channel.

MMB Channel	Excess tap delay [ns]	Relative Power [dB]
MMB-A (I2O/O2I)	[0 35 50 75]	[0.0 -12.0 -18.0 -19.0]
MMB-B (Out-LOS)	[0 175 412.5 525 753.5]	[0.0 -14.0 -10.0 -16.0 -20.0]
MMB-C (Out-NLOS)	[0 100 238 304 373 642 1388.4]	[0.0 -10.0 -2.0 -3.0 -9.7 -19.2 -20.0]

표 4. MMB 채널의 Coherence 대역폭
Table 4. Coherence bandwidth of MMB channel.

MMB Channel	τ_{max} [ns]	B_c [MHz]
MMB-A (I2O/O2I)	75	13.3
MMB-B (Out-LOS)	753.5	1.3
MMB-C (Out-NLOS)	1388.4	0.7

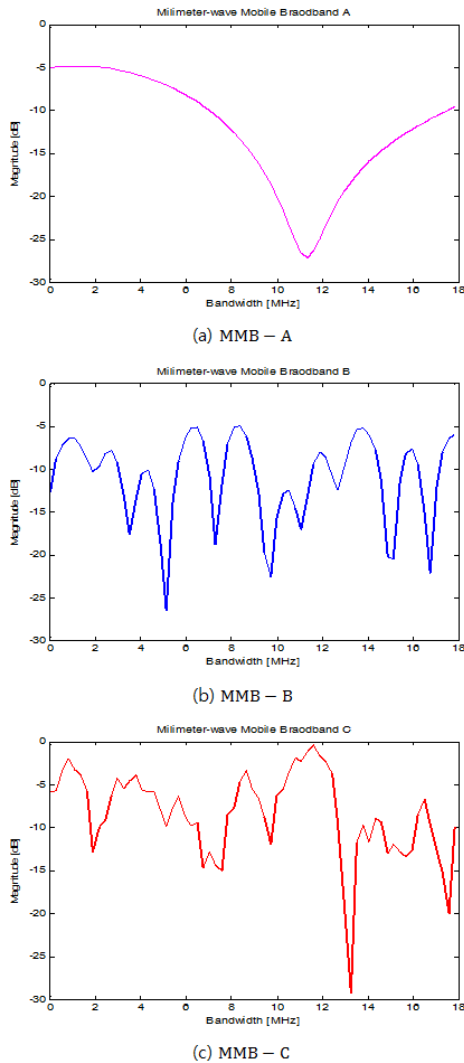


그림 5. MMB 채널의 CFR
Fig. 5. CFR of MMB Channels.

확인 할 수 있다. 따라서 OFDM 시스템의 부반송파 간격이 15kHz (LTE-Advanced)에서 270kHz (MMB)으로 증가 가능하다.

2. 시간 영역에서 채널 특성

경로들의 지연시간은 주파수 도메인에서 주파수 선택적 페이딩을 일으키는 채널에 영향을 미친다. 그러나 다중경로 채널은 시간 도메인에서 채널에 영향을 주는 송신기와 수신기에 의해 변화를 겪는다.

시간 도메인에서 채널의 특성은 coherence 시간에 따라 정의된다.

$$T_c \approx \frac{1}{f_d} \quad (2)$$

여기서 f_d 는 최대 도플러 주파수이며, 다음 식과 같이 나타낸다.

$$f_d = \frac{v}{c_0} f_c \quad (3)$$

여기서 v 는 수신단의 이동 속도, c_0 는 빛의 속도이고 f_c 는 반송파 주파수를 나타낸다.

식 (2)와 (3)을 통해 반송파 주파수 28 GHz에서 coherence 시간과 최대 도플러 주파수를 정리하면 표 5와 같다.

그림 6은 표 5에 대하여 2 슬롯(250us) 동안 CIR (Channel Impulse Response)이다.

표 5와 그림 6을 통해 시간 영역에서 mmWave의 채널 특성을 살펴보면, 최대 도플러 주파수는 9kHz (coherence 시간=110us)로 LTE-A 채널 보다 최대 도

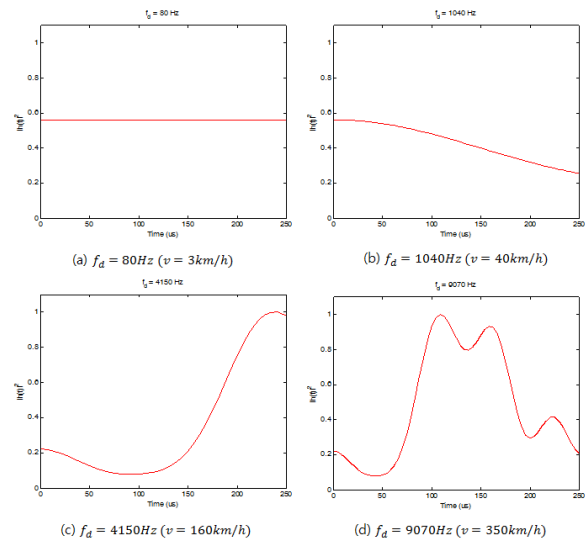


그림 6. MMB 채널의 CIR
Fig. 6. CIR of MMB Channels.

표 5. 28GHz 대역에서 coherence 시간과 최대 도플러 주파수

Table 5. Coherence Time and Maximum doppler frequency in 28GHz band.

Velocity *Carrier freq. 28GHz	f_d		T_c	
	Hz	kHz	ms	us
3 km/h	80	0.08	12.500	12500.0
40 km/h	1040	1	0.962	961.5
160 km/h	4150	4	0.241	241.0
350 km/h	9070	9	0.110	110.3

플러 주파수 증가(coherence 시간 감소)로 CIR 변화가 빨라진 것을 확인 할 수 있다. 따라서 OFDM 시스템의 슬롯의 시간이 500us (LTE-Advanced)에서 125us (MMB)으로 감소 가능하다.

IV. 모의실험 결과 분석

본 장에서는 제 III장에서 제안된 채널환경에서 MMB 시스템의 성능을 분석하기 위하여 모의실험을 수행하였다. 모의실험은 그림 2와 같이 28GHz 대역의 MMB 시스템을 기반으로 이루어졌으며, 주요 파라미터 값들은 표 6과 같다.

그림 7과 8은 각각 MMB 환경에서 최대 도플러 주파수가 9070Hz인 채널의 BER과 FER에 대한 예러율이다. MMB 채널 A와 B는 각각 최대 tap delay가 75ns와 753.5ns이다. 이는 Extended CP의 길이 930ns가 최대 tap delay보다 크기 때문에 ISI (Inter Symbol Interference)의 영향이 없다. 하지만 MMB 채널 C의

표 6. 모의실험 파라미터
Table 6. Simulation Parameters.

Parameter	Value
Carrier Frequency	28 GHz
Bandwidth	500 MHz
Sample frequency	552.96 MHz
Subframe duration	1 ms
Subcarrier spacing	270 kHz
FFT size	2048
Occupied subcarriers	1728
No. of subcarriers/RB	18
No. of available RBs	96
CP size (samples)	512 (Extended CP)
No. of OFDM symbols/slot	27 (Extended CP)
Modulation scheme	16QAM
Noise	AWGN
Antenna Configuration	4x4
Channel models	MMB channel models: MMB-A/MMB-B/MMB-C $f_d = 9070\text{Hz}$ ($v=350\text{km/h}$)
Equalizer	Zero Forcing

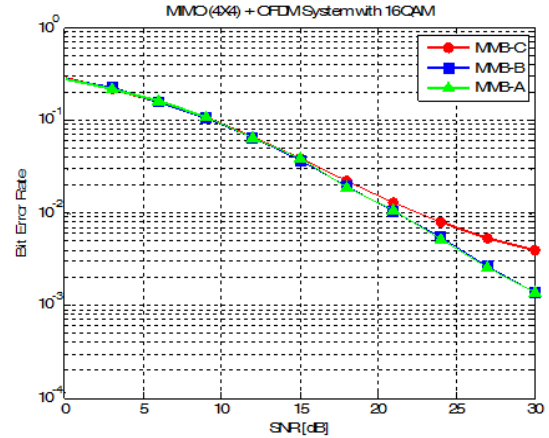


그림 7. MMB 채널 환경에서 BER 성능
Fig. 7. BER performance of MMB channel environments.

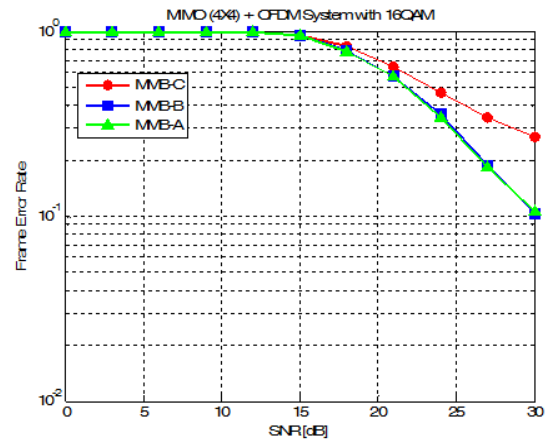


그림 8. MMB 채널 환경에서 FER 성능
Fig. 8. FER performance of MMB channel environments.

경우 최대 tap delay가 1388.4ns로 CP 길이보다 커 ISI가 발생하여 성능이 열화된 것을 알 수 있다.

Throughput은 통신 채널을 통해 성공적으로 데이터가 전달될 수 있는 속도로 FER과 관련 있으며 다음과 같이 표현된다.

$$\text{Throughput} = (1 - \text{FER}) \times R \quad (4)$$

여기서 R은 이론적인 최대 데이터 속도이다. 본 논문에서는 500MHz 전송대역폭에서 4x4 Spatial Multiplexing, 16QAM 및 Extended CP를 적용하여 이론적인 최대 데이터 속도는 5972 Mbps이다.

그림 9는 그림 8의 FER과 이론적인 최대 데이터 속도를 통해 계산 한 Throughput 결과이다. MMB 채널

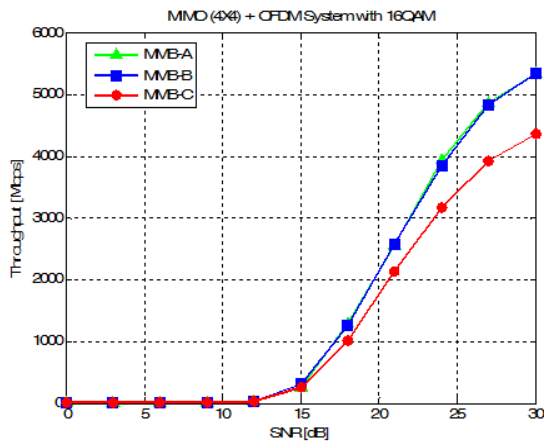


그림 9. MMB 채널 환경에서 Throughput 성능
Fig. 9. Throughput performance of MMB channel environments.

A와 B는 CP를 통해 ISI를 제거하여 최대 Throughput이 5000Mbps 이상이지만, MMB 채널 C는 ISI의 영향에 의해 최대 약 4300 Mbps 값을 갖는 것을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 5세대 이동통신을 위한 MMB 시스템을 설계하고 mmWave의 전파 특성 분석을 통해 채널에 적합한 PDP 및 최대 도플러 주파수를 적용함으로써 채널 모델을 제안하였다.

mmWave는 기존 3GHz 이하 주파수와 비교했을 때 주파수 영역에서 delay spread가 감소(coherence 대역폭 증가)하고, 시간 영역에서는 최대 도플러 주파수가 증가(coherence time 감소)하는 특성을 갖는다.

또한, 제안한 MMB 채널 A, B 및 C에서 최대 도플러 주파수가 9070Hz에 대하여 모의실험을 통해 성능을 분석하였다. 모의실험 결과 MMB 채널 A와 B는 ISI 제거하여 성능 열화가 없지만, MMB 채널 C의 경우 ICI의 영향으로 성능열화가 발생한 것을 확인하였다.

향후 연구 과제로 MMB 채널 특성에 맞는 참조신호(reference signal) 매핑과 채널 추정 기법을 고려할 수 있다.

REFERENCES

[1] Ericsson report, "Ericsson Mobility report," June 2013.

[2] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Daa Traffic Forecast Update, 2013-2018," Cisco white paper, Feb. 2014.

[3] IEEE std 802.11ad-2012, Part 11: Wireless LAN medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications - Amendment 3: Enhancement for very High Throughput in the 60GHz Band, May 2013.

[4] 백정기, "위성통신에서의 전파전파 및 초고주파 기술," 대한전자공학회, 전자공학회지, 제19권 제10호, pp. 993-1008, 1992년 10월.

[5] 윤영근, 김종호, "비가시환경에서의 밀리미터대역 전파전파 특성," 2009년도 대한전자공학회 하계종합학술대회, 제32권 제1호, pp.326-329.

[6] Zhao, H., Mayzus, R., Sun, S., Samimi, M., Schulz, J. K., Azar, Y., Wang, K., Wong, G. N., Gutierrez, Jr., F., Rappaport, T.S., "28 GHz Millimeter Wave Cellular Communication Measurements for Reflection and Penetration Loss in and around Buildings in New York City," 2013 IEEE International Conference on Communications (ICC), June 2013.

[7] Azar, Y., Wong, G. N., Wang, K., Mayzus, R., Schulz, J. K., Zhao, H., Gutierrez, F., Hwang, D., Rappaport, T. S., "28 GHz Propagation Measurements for Outdoor Cellular Communications Using Steerable Beam Antennas in New York City," t2013 IEEE International Conference on Communications (ICC), June 2013.

저 자 소 개



문 상 미(학생회원)
 2012년 2월 전남대학교
 전자컴퓨터공학부 학사
 2012년 3월~현재 전남대학교
 전자컴퓨터공학과
 석사과정

<주관심분야: 이동통신, ICIM, D2D>



김 보 라(학생회원)
 2012년 2월 전남대학교
 전자컴퓨터공학부 학사
 2012년 3월~현재 전남대학교
 전자컴퓨터공학과
 석사과정

<주관심분야: 이동통신, CoMP>



사란쉬 말리크(학생회원)
 2010년 라지프 간디 공과대학
 IT학과 학사
 2013년 2월 전남대학교 전자
 컴퓨터공학과 석사
 2012년 3월~현재 전남대학교
 전자컴퓨터공학과
 박사과정

<주관심분야: MIMO, OFDM, Relay, Massive MIMO>



김 지 형(정회원)
 2000년 2월 연세대학교
 전기전자공학과 학사
 2002년 2월 연세대학교
 전기전자공학과 석사
 2007년 2월 연세대학교
 전기전자공학과 박사

2007년 2월~현재 한국전자통신연구원
 선임연구원

<주관심분야 : 무선이동통신시스템, OFDM(A), D2D, Mesh, Ad-hoc Systems>



이 문 식(정회원)
 1997년 2월 성균관대학교 공학사
 1999년 8월 GIST 공학석사
 2005년 1월 GIST 공학박사
 2008년 2월~2009년 2월 미국
 Stanford 대학 Post-Doc

2005년 1월~현재 ETRI 통신인터넷연구소 무선
 근접통신연구실 실장/책임연구원

<주관심분야: 5G 이동통신, D2D 통신, M2M 통신>



김 대 진(평생회원)
 1984년 서울대학교
 전자공학과 학사
 1986년 한국과학기술원
 전기 및 전자공학과 석사
 1991년 한국과학기술원
 전기 및 전자공학과 박사

1991년 7월~1996년 12월 LG전자 멀티미디어연
 구소 책임연구원

1997년~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수
 <주관심분야 : 디지털 통신, 디지털 방송>



황 인 태(평생회원)
 1990년 2월 전남대학교
 전자공학과 학사
 1992년 8월 연세대학교
 전자공학과 석사
 1999년 9월~2004년 2월 연세대학
 교 전기전자공학과 박사

1992년 8월~2006년 2월 LG전자 책임 연구원
 2006년 3월~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부
 교수

<주관심분야 : 디지털통신, 무선통신시스템, 차세대이동통신, MIMO, OFDM, MIMO-OFDM, Relay, ICIM, CoMP, MTC>