

IoT 서비스를 위한 스몰셀 환경에서 PB/MC-CDMA 적용 방안에 대한 연구

이규진*
세명대학교 전자공학과

A study on the Application of PB/MC-CDMA for IoT Services in Small Cell Environment

Kyu-Jin Lee*

Department of Electronic Engineering, Semyung University

요 약 본 논문에서는 스몰셀 통신 환경에서 셀 간 간섭을 완화 시키고, 사용자 수용량을 증가시키기에 적합한 PB/MC-CDMA (Partial Block/MC-CDMA) 시스템을 소개한다. 5G 무선통신 환경에서는 IoT (Internet of Things) 서비스의 확장과 더불어 네트워크에 접속되는 디바이스의 수가 기하급수적으로 증가될 것으로 예상되며, 각 디바이스들은 콘텐츠 별로 다양한 전송속도가 요구 될 것으로 예상된다. 기존의 LTE/LTE-A 통신 서비스 환경에서는 데이터 전송속도와 주파수 효율성 향상을 중심으로 기술 연구가 진행 되었으나, IoT (Internet of Things)에서 요구하는 대규모 접속 및 다양한 전송속도 지원에는 한계성을 지니고 있다. 또한, 다수의 스몰셀 환경에서 셀간 간섭이 발생하여 속도저하 및 시스템 성능 열화가 발생한다. 이에 본 논문에서는 스몰셀에 적합한 PB/MC-CDMA 물리계층 기술을 소개하고, 셀간 간섭 존재하는 다중 셀 환경에서 시스템의 성능을 평가함으로써 IoT (Internet of Things) 환경에서 PB/MC-CDMA의 장점을 검증하였다.

키워드 : 5G, 사물 인터넷, 스몰 셀, 부분블록/다중반송파 코드 분할 다중 접속, 셀 간 간섭

Abstract In this paper, we introduce the PB/MC-CDMA (Partial Block/Multi-Carrier-Code Division Multiple Access) system to mitigate inter-cell interference (ICI) and enhance user capacity in the small cell environment. In 5G mobile communications, the number of devices connected to the network is expected to increase exponentially with the expansion of the IoT (Internet of Things) services. In addition, each device is expected to be required by the various data rates by their content types. In LTE/LTE-A, there are some limitations that large scale connectivity and supporting various data rates. Therefore, we introduce a PB/MC-CDMA physical layer system which is suitable for the small cell environment, and evaluate the performance in the multi cell environment which is affected by ICI. Through computer simulation results, we demonstrate the effectiveness of PB/MC-CDMA for the small cell environment.

Key Words : 5G, Internet of Things, Small cell, Partial Block/Multi-Carrier-Code Division Multiple Access, inter-cell interference

1. 서론

최근 유럽, 미국, 동아시아를 중심으로 4G LTE/

LTEAdvanced 다음 세대인 5G 이동통신에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 유럽의 FP7 프로젝트인 METIS, 미국의 GreenTouch, 중국의 IMT-2020 프로모션 그룹,

Received 2016-07-11 Revised 2016-08-11 Accepted 2016-09-02 Published 2016-09-30

*Corresponding author : Kyu-Jin Lee (kyujin@semyung.ac.kr)

일본의 ARIB 2020, 한국의 5G 포럼 등 주요 5G 관련 단체와 에릭슨, NSN, 퀄컴, NTTDoCoMo, 화웨이, 삼성, LG 등 주요 이동통신 사업자와 제조자들이 5G 이동통신의 비전과 목표를 제시하고 이를 달성하기 위한 주요 기술들에 대해서 논의 되고 있다[1,2].

5G 이동통신에서 추구하는 주요 기술적 목표는 크게 Cell 용량 증대, 에너지 효율 증가, 대규모의 디바이스 다중 접속 등으로 구분 할 수 있는데, 이와 같은 환경에서 지속적인 무선통신 사용자 수 증가와, 사용자 중심 서비스 및 상황인식 서비스, 특히 사용자마다 개별화된 콘텐츠 서비스에 대한 요구를 만족하기 위해서 다양한 데이터 전송속도 지원과 다중 셀 접속기술에 대한 필요성이 대두되고 있다[3-5]. 또한, 사물 간 통신을 기반으로 한 사물인터넷(IoT: Internet of Things) 기술이 급속도로 성장하고 있기 때문에, 5G 시스템에서는 이러한 요구를 통합적으로 만족할 수 있는 방향으로 연구 될 것이다.

기존 4G 통신 시스템에서는 데이터 전송속도와 주파수 효율성 향상을 중심으로 기술 연구가 진행 되었으며, 이를 위한 주요 물리 계층 시스템으로 다중 반송파간 직교성을 보장하는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)이 대표적으로 사용되고 있다. 또한 OFDM기반 다중 접속 기술로 TDMA (Time Division Multiple Access), FDMA (Frequency Division Multiple Access), CDMA (Code Division Multiple Access)를 결합한 방식이 연구 되었다[6]. OFDM/TDMA는 사용자를 시간 슬롯에 따라 구분하여 사용자가 전체 주파수 대역을 이용할 수 있지만, 셀 간 간섭으로 인한 시스템 성능 열화가 발생한다[7]. 특히, 5G 셀룰러 시스템에서는 전체 Cell용량 증대를 위해 마이크로셀보다 더욱 작은 규모의 스몰셀 네트워크 환경이 적용될 것으로 예상되며, 이러한 환경에서는 셀 간 간섭에 대한 해결 방안은 필수적이다. OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)라 불리는 OFDM/FDMA 방식은 각 사용자들에게 일부 부반송파를 할당하는 방법으로 셀 내 간섭이 발생하지 않지만, 사용자 수가 증가될수록 전송속도가 감소된다[8]. 또한 다중 셀 간 주파수 재사용으로 인한 동일 채널 간 간섭 (CCI: Co-Channel Interference)이 발생하여, 시스템 성능이 열화 된다. OFDM/CDMA 방식은 MC(Multi Carrier) CDMA라고 불리며, 각 사용자에게 고유의 확산 코드를 할당하여 모든 시간과 부 채널을 함께 사용할 수 있다[9,10]. 그러나 MC-CDMA기반의 다중

접속 시스템의 수신단에서는 인접 코드 간 간섭 (ICI: Inter-Code Interference) 및 고정된 전송속도를 지원하기 때문에, 사용자 요구에 따른 다양한 전송속도를 지원할 수 없는 한계성을 지니고 있다. 이와 같이, 기존 다중 접속기술들로는 5G 통신에서 요구하는 기술적 목표를 달성하기 어렵기 때문에 보다 효율적인 다중 접속 시스템에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 스몰셀 통신 환경에서 셀 간 간섭을 완화 시키고, 사용자 수용량을 증가시키기 위해 PB/MC-CDMA (Partial Block/MC-CDMA) 시스템을 소개하며, 모의실험을 통해 성능분석 결과를 제시한다 [11]. PB/MC-CDMA는 MC-CDMA방식과 비교하여, 사용자의 전송속도는 감소되지만, 더 많은 사용자를 동시에 수용가능하며, 가변 전송 속도를 지원할 수 있어 사물인터넷 환경에 적합하다. 또한, OFDMA와 비교하여 동일 주파수를 사용하면서 셀 간 간섭을 감소시킬 수 있어 5G 통신의 스몰셀 환경에 적합하다. 컴퓨터 모의실험을 기반으로 사용자 수 및 간섭량에 따른 시스템 성능 분석을 통해 PB/MC-CDMA가 5G 통신에 적합한 기술임을 증명한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 셀룰러 네트워크 환경에 대해서 소개하고, 3장에서는 IoT 서비스를 위해 효과적인 전송방법인 PB/MC-CDMA 시스템에 대해서 설명을 한다. 또한, 4장에서는 스몰셀 환경에서 PB/MC-CDMA의 적용방안에 대한 모의실험을 진행하고 5장에서 본 논문의 결론으로 끝맺음 한다.

2. 관련연구

2.1 셀 간 간섭 링크

5G 셀룰러 통신 시스템에서는 무선 통신 서비스를 이용하는 디바이스들이 급증함에 따라 한정된 주파수 자원 내에서 시스템의 용량을 증대 시키기 위한 방안 에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

Fig. 1 [12]와 같이 무선 네트워크 환경에서 주파수 자원의 재사용성을 증가시키고 시스템의 용량을 증가시키기 위해 셀의 규모가 점점 작아지고 있다. 이러한 스몰셀 들은 매크로 셀에 비하여 단독망 구성이 가능하고 물리적인 거리의 이격을 통하여 주파수 재사용을 통해 전체 시스템의 용량을 증가시킬 수 있다.

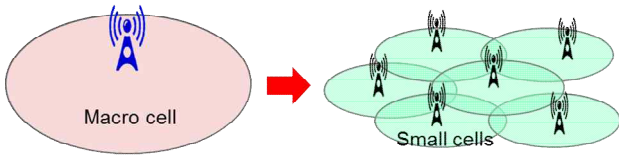


Fig. 1. Small-cell technology [12]

하지만, 이러한 장점에도 불구하고 다중셀 환경에서는 셀 간 간섭이 많이 발생하여 성능이 열화 된다. Fig. 2는 다중셀 환경에서 셀 간 간섭을 나타낸다. Cell A의 사용자 U_1 는 셀의 외곽에 위치하고 있어 인접 셀인 Cell B와 Cell C로부터 신호의 간섭이 발생한다. 셀간 간섭을 감소시키기 위해서 간섭제거기법이 필요하다.

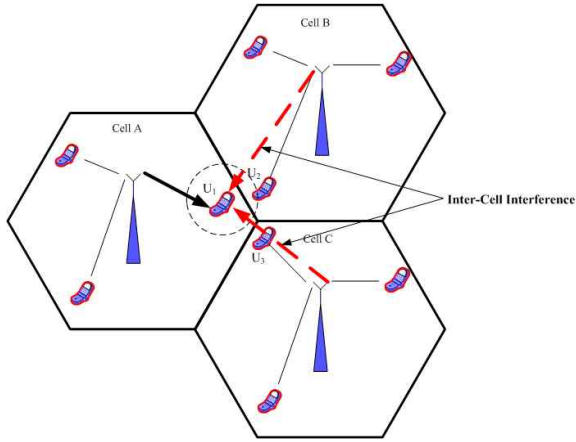


Fig. 2. Inter-Cell Interference in the multi-cell environment

셀룰러 네트워크에서 셀 간 간섭은 다음과 같이 정의할 수 있다 [13].

$$SINR = \frac{P_s}{N_s + I} \quad (1)$$

여기서, P_s 는 신호의 전력, N_s 는 잡음 전력 그리고 I 는 간섭전력을 의미한다. 또한, 동일 채널 간섭 셀들의 개수가 N_i 이고, i 번째 동일채널 셀로부터 수신된 간섭 전력을 I_i 라 할 때, 신호대 동일채널 간섭(CCI) 비는 다음 수식 (2)와 같이 정의 할 수 있다 [13].

$$SIR = \frac{P_s}{N_i \sum_{i=1} I_i} \quad (2)$$

5G 셀룰러 네트워크에서는 셀의 규모가 점점 작아짐에 따라, 수식 (2)의 i 값이 증가 된다. 즉, 다른 셀로부터의 간섭량이 증가될 것이며, 디바이스의 SIR값이 일정 임계치보다 높다면, 해당 디바이스는 셀 간 간섭 노출상태에 있으며, 시스템 성능 열화가 발생하게 된다.

2.2 채널 모델

본 논문에서는 시스템의 성능을 검증하기 위해서 다중 셀 환경을 구축하여 셀 간의 SIR를 변화시키면 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 셀 내에서의 채널은 Fig. 3와 같이 18개의 다중 경로 레일리 페이딩 채널을 사용하였다. 각 경로의 시간 간격은 50ns이고, 각 경로 마다 1dB의 신호 감쇄를 갖는다. 다중경로에 의한 주파수 선택적 페이딩 채널을 구현하기 위해서 이 논문에서는 수정형 Jake's 모델을 이용하였다[9].

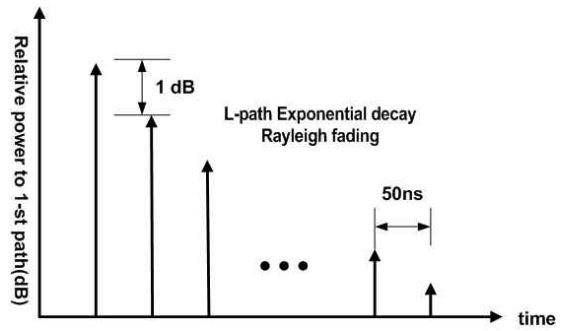


Fig. 3. Exponential decay multipath channel

3. PB/MC-CDMA

PB/MC-CDMA는 사용자의 요구 데이터 전송속도와 통신 채널 상태에 따라 사용자를 가변적으로 주파수 블록에 할당할 수 있다. Fig 4와 Fig 5는 MC-CDMA와 PB/MC-CDMA에서 다중 접속 방식을 나타내었다. Fig. 4의 MC-CDMA 시스템은 주어진 확산 코드를 이용하여 사용자가 전대역을 사용한다. 5G 통신에서는 다수의 서로 다른 기기들을 동시에 사용하기 때문에 다양한 전송속도 및 수용률이 필요하지만, MC-CDMA 시스템의 경우 다양한 전송률을 지원하기 어려워 스몰셀 환경에서는 적용이 어렵다. 물론 OVSF 코드를 사용하여 다양한 전송률의 구현이 가능하지만, 사용할 수 있는 코드 그룹의 제약으로 많은 사용자가 동시에 시스템을 사용하기 어려운 문제가 있다.

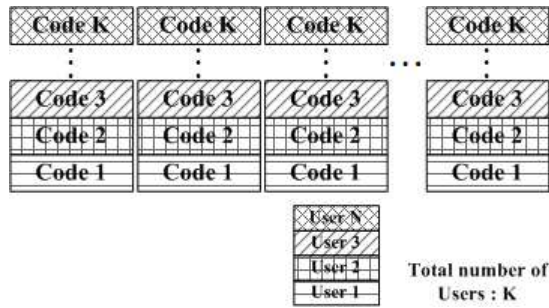


Fig. 4. The multiple access scheme of MC-CDMA

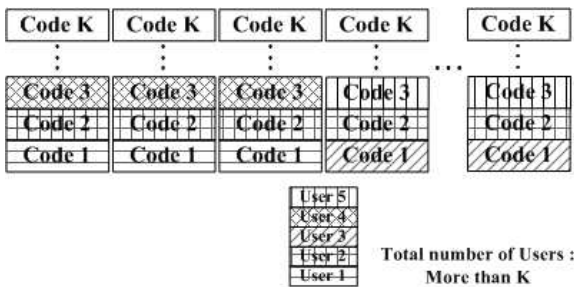


Fig. 5. The multiple access scheme of PB/MC-CDMA

반면에, Fig. 5와 같이 PB/MC-CDMA 시스템에서는 사용자들에게 직교 확산 코드의 길이 K 로 구성된 블록 단위 주파수 대역폭을 할당 한다. 따라서 다중접속 간섭이 각 블록 단위에서만 발생하기 때문에, 시스템의 다중접속 효율이 향상 될 수 있다. 뿐만 아니라, 다른 부반송파 블록에 접속된 사용자는 다른 블록에서 사용되었던 직교확산코드를 재사용할 수 있기 때문에, 시스템에 접속될수 있는 사용자의 수용량이 크게 증가하게 된다.

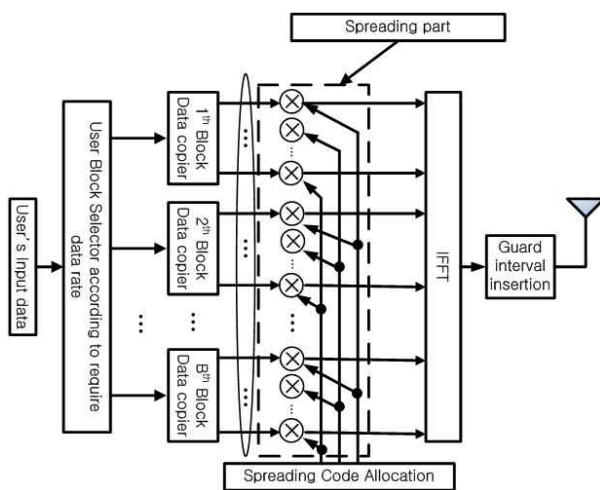


Fig. 6. Block diagram of PB/MC-CDMA transmitter

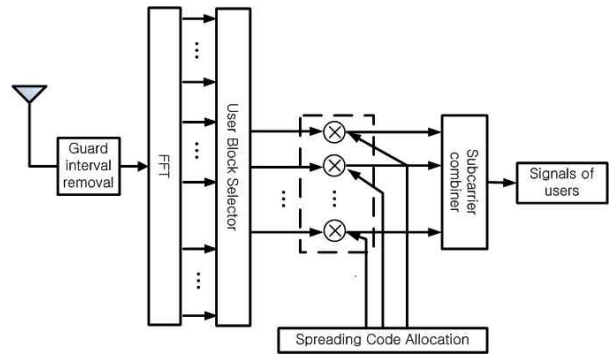


Fig. 7. Block diagram of PB/MC-CDMA receiver

Fig. 6와 Fig. 7은 PB/MC-CDMA의 송신단과 수신단 블록도를 보여준다.

Fig. 6은 송신 시스템을 나타낸다. 사용자의 정보데이터는 사용자의 요구 데이터 전송률에 따라서 각각의 주파수 블록에 할당되고, 할당된 데이터는 확산 코드에 의해서 확산된다. 송신 시스템을 통해 전송되는 신호는 다음과 같이 정의 될 수 있다[15].

$$S(k) = \sqrt{2P} \sum_{u=0}^{U-1} d_u c_u(k) \quad (3)$$

여기서, k 는 각 블록의 k 번째 부 반송파 성분을 나타내며, P 는 송신 전력, U 는 전체 사용자의 수를 의미한다. 또한 $c_u(k)$ 는 u 번째 사용자의 k 번째 확산 코드를 의미한다. N -point IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) 연산을 통해 시간 영역으로 변환된 신호는 다음 수식 (4)와 같이 표현 될 수 있다[15].

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} S(k) e^{j2\pi \frac{t}{N} k} \quad (4)$$

위 수식 (4)의 PB/MC-CDMA 송신 신호는 다중경로 페이딩에 의해 발생하는 인접 심볼 간 간섭 (ISI: Inter-Symbol Interference) 및 인접 반송파 간 간섭 (ICI: Inter-Carrier Interference)에 의한 성능열화를 방지하기 위해 보호구간 및 순환 확장 (Cyclic Prefix) 구간을 삽입하여 전송된다.

Fig. 7에 나타낸 수신단에 수신된 신호는 다음과 같이 정의 된다[16].

$$r(t) = \sum_{l=0}^{L-1} h_l s(t - \tau_l) + \eta(t) \quad (5)$$

여기서, L 은 독립적인 다중경로의 전체 개수를 의미하며, l 번째 경로의 채널 임펄스 응답과 시간지연은 h_l, τ_l 으로 나타내었다. 그리고 $\eta(t)$ 는 잡음 전력을 의미한다.

수신된 신호는 ISI와 ICI를 제거하기 위해서 삽입된 보호구간 및 순환 확장 구간을 제거하고, FFT연산을 통해 주파수 영역 신호로 변환되며, 역확산을 통하여 신호를 복원한다. 복원된 신호는 주파수 다이버시티 이득을 얻기 위해 부반송파들을 결합하고 ML (Maximum likelihood) 검출을 통해 각 사용자의 데이터를 복원한다.

4. 모의실험 변수 및 성능평가

4.1 모의실험 변수

표 1은 제안 시스템의 효과적인 성능 평가를 위한 파라미터를 나타낸다. 시스템의 전체 대역폭은 20MHz를 사용하였고, 전체 부반송파의 개수는 128개를 사용 하였다. 따라서, 심볼률은 156,25kHz이다. 가드인터벌은 심볼 구간의 25%를 사용하였다. 각 서브캐리어의 심볼수는 데이터 심볼과 파일럿 심볼의 합으로 68개를 사용하였고, 샘플링 시간은 50ns이다. 성능향상을 위한 FEC 방법은 R=1/2인 컨볼루션 채널 코딩 및 비터비 디코더를 적용하였다. 또한, 다중셀 환경을 위해서 셀간 간섭을 SIR로 하여 0dB~10dB까지 변화시키며 간섭의 영향에 대한 실험을 수행하였다.

Table 1. Simulation parameters

Parameter name	Value
System Bandwidth	20MHz
Symbol rate	156,25KHz
Number of Subcarrier	128
FFT/IFFT Point	128
Modulation Scheme	QPSK
Number of user	32
Number of data symbol	64
Number of pilot symbol	4
Short spreading code	Walsh-Hadamard code
Scramble spreading code	Random sequence
Length of short spreading code	32
Length of guard interval	25% of symbol duration
Channel Model	18-path Exponential Rayleigh fading with 1-dB decay model
FEC	Convolutional coding (R=1/2)

4.2 모의실험 결과

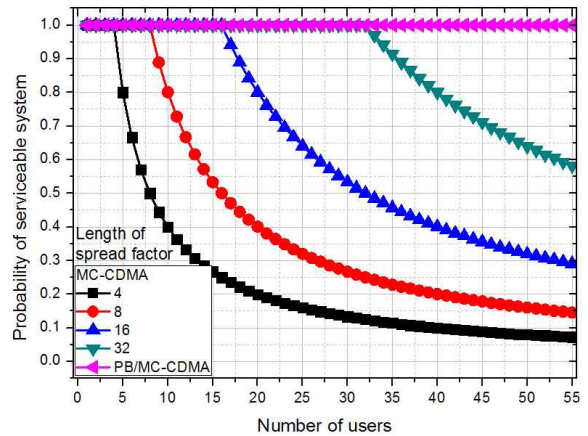


Fig. 8. Available probability distribution of the MC-CDMA in accordance with several spreading code lengths.

Fig. 8은 MC-CDMA 시스템에서 사용자의 수가 증가할 때 확산 코드 4, 8, 16, 32 에서의 시스템 사용 확률을 나타낸다. 확산코드가 8인 경우 사용자가 0~8인 경우 시스템 사용 확률이 100%인 반면에 확산 코드보다 사용자가 많아질수록 시스템 사용 가능 확률이 줄어드는 것을 볼 수 있다. MC-CDMA 시스템은 Fig. 4에 나타난 것과 같이 각 사용자들에게 한 개의 확산코드를 할당하고, 할당된 확산 코드를 사용하여 주파수 전대역을 이용하여 각 사용자에게 고정된 전송률로 데이터를 전송한다. MC-CDMA 시스템은 고속의 데이터 전송이 가능하고 주파수 다이버시티 이득을 얻을 수 있어 이동통신 시스템에는 적합하지만, IoT (Internet of Things) 환경에서는 다양한 전송률을 지원하지 않고, 통신 시스템을 사용할 수 있는 사용자의 최대 수가 확산 코드에 제한되어 많은 기기를 동시에 사용하는 시스템에는 적합하지 않다.

반면에, PB/MC-CDMA 시스템은 전체 대역을 확산 코드 K 로 나누어 각 블록에서 코드 재사용을 통하여 최소 K 명부터 최대 블록수* K 까지 많은 기기 들이 동시에 사용할 수 있을 뿐만 아니라, 각 시스템의 요구 조건에 따라서 데이터 률을 가변적으로 보냄으로써 다양한 기기 들을 사용하는 IoT (Internet of Things) 환경에 적합하다. 또한, MC-CDMA 시스템과 같이 주파수 다이버시티 이득을 얻을 수 있어 다중경로 페이딩 환경에서 효과적이며, 셀간 간섭을 랜덤 코드를 사용하여 평균화시킴으로써 셀간 간섭이 존재하는 스몰셀 환경에 적합하다.

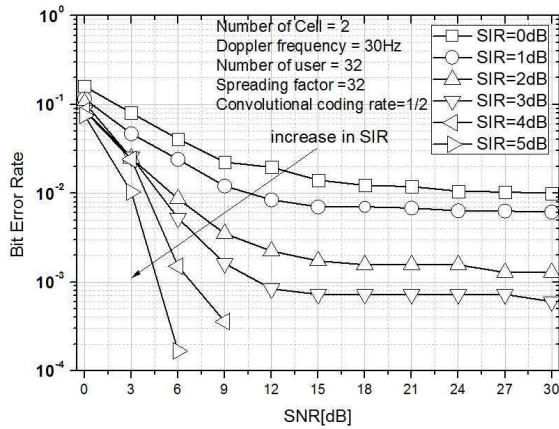


Fig. 9. The BER performance when the SIR of the system changes from 0dB to 5dB in the multi-cell environment

Fig.9와 Fig.10은 제안 시스템의 비트오율과 수율을 나타낸다. 다중 셀 간섭이 존재하는 환경에서 SIR이 증가할수록 성능이 향상 되는 것을 볼 수 있다. SIR=0dB 일 때는 셀의 외곽에 위치한 경우로 희망신호 대 간섭신호의 수신 전력이 같아 확산 코드의 역확산 시 다이버시티 이득보다 코드 간 간섭의 양이 많이 발생하여, 에러정정 코드를 사용하여도 성능이 열하되는 것을 볼 수 있다. 하지만, SIR이 조금만 증가하여도 시스템의 성능이 향상 되는 것을 볼 수 있다. 특히, SIR 4dB 이상이 되었을 때 SNR 9dB에서 에러가 발생하지 않아 시스템의 성능이 크게 향상 된다. Fig.10에서 볼 수 있듯이 사용자가 32명에서 64명으로 증가할 경우 시스템의 수율이 약 2배로 향상되는 것을 볼 수 있다. 또한, 기존의 MC-CDMA 시스템은 동시에 시스템을 사용할 수 있는 사용자의 수가

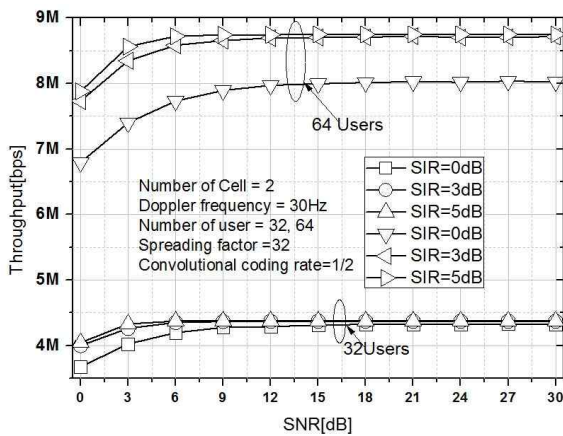


Fig. 10. Throughput performance when the SIR of the system changes from 0dB to 5dB

확산 코드의 길이에 제한되지만, PB/MC-CDMA 시스템은 확산 코드보다 많은 사용자가 동시에 사용할 수 있고, 코드간 간섭과 주파수 다이버시티이득의 관계를 고려하여 가변적으로 확산코드의 길이를 선택 할 수 있어 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있어 다양한 기기들이 사용되는 스몰셀 환경에 적합한 것을 볼 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 스몰셀 통신 환경에서 셀 간 간섭을 완화 시키고, 사용자 수용량을 증가시키기에 적합한 PB/MC-CDMA (Partial Block/MC-CDMA) 시스템을 소개하고, 다중셀 환경에서 모의실험을 통하여 성능을 검증하였다. IoT (Internet of Things) 서비스의 확장으로 인하여 디바이스들은 다양한 전송속도가 요구 될 것으로 예상된다. 기존의 OFDMA 기반의 LTE/LTE-A는 데이터 전송속도와 다양한 전송률은 지원하지 않지만, IoT (Internet of Things)에서 요구하는 대규모 접속 및 소규모 셀에서의 셀간 간섭에 따른 속도 저하로 인한 성능 열화라는 한계성을 지니고 있다. 또한 MC-CDMA 시스템은 다중 셀에서 주파수 재사용이 가능하고 셀 간 간섭을 완화 시킬 수 있지만, 다양한 전송속도를 지원하지 못하고 최대 사용가능한 사용자의 수가 확산코드의 길이에 국한되는 문제가 있다.

이러한 근본적인 문제를 해결하기 위한 기법인 PB/MC-CDMA 시스템을 셀간 간섭 존재하는 다중 셀 환경에서 시스템의 성능을 평가함으로써 IoT (Internet of Things) 환경에서 셀간 간섭에 강하고, 동시에 다수의 사용자가 시스템을 사용할 수 있는 PB/MC-CDMA의 장점을 검증하였다.

REFERENCES

- [1] Y. J. Ko and S. C. Bang "5G Wireless technology," *TTA Journal*, Vol. 152, pp. 40-45, Mar. 2014.
- [2] D. K. Kim, "5 generation mobile communication (5G) R&D status and direction of promotion," *The Journal of The Korean Institute of Communication Sciences*, Vol. 31, no. 1, pp. 23-28, Jan. 2013.
- [3] D. H. Kim and S. W. Lee. "A Study of Development for High-speed Cloud Video Service using SDN based

- Multi Radio Access Technology Control Methods,” *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 19, No. 1, pp.14-23, Jan. 2014.
- [4] J. S. Kim. “The introduction of IoT(Internet of Things) technologies and Policy Directions,” *The Korea Contents Association Review*, Vol. 13, No. 1, pp.18-24, Mar. 2015.
- [5] C. X. Wang, F. Haider, X. Gao, X. H. You, Y. Yang, D. Yuan and E. Hepsaydir, “Cellular architecture and key technologies for 5G wireless communication networks,” *IEEE Communications Magazine*, Vol. 52, No. 2, pp. 122-130, Feb. 2014.
- [6] Y. S. Cho, OFDM technology for advanced mobile communication, *TTA Journal*, Vol. 91, 2004
- [7] H. Rohling and R. Grunheid, “Performance of an OFDM-TDMA mobile communication system,” *Proceedings of the IEEE 38th Vehicular Technology Conference*, Vol. 3, pp. 1589-1593, Jan. 1996.
- [8] H. Yaghoobi, Intel Communications Group, Intel Corporation, “Scalable OFDMA Physical Layer in IEEE 802.16 WirelessMAN,” *Intel Technology Journal*, Vol. 8, No. 3, pp. 201-213, Aug. 2004.
- [9] L. L. Hanzo, M. Munster, B. C. Choi and T. Keller, *OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-User Communications, WLANs and Broadcasting*, Wiley-IEEE Press, 2003.
- [10] S. Hara, and R. Prasad, “Overview of multicarrier CDMA,” *IEEE communications Magazine*, Vol. 35, No. 12, pp. 126-133, Dec. 1997.
- [11] C. LI, K. J. LEE and K. S. LEE, “Performance evaluation of PB/MC-CDMA in MIMO Rayleigh fading channel,” *Proceedings of the 9th international conference on communications and information technologies(ISCIT’09)*, pp. 584-587, 2009.
- [12] Fujitsu R&D Center Co., Ltd. and Fujitsu Laboratories Ltd., “Fujitsu Doubles Same-Cell Wireless Communication Capacity for 5G”, <http://www.fujitsu.com>, 2015. 9.
- [13] E. A. Lee and D. G. Messerschmitt, *Digital Communication*, Springer Science & Business Media, 2012.
- [14] K. J. Lee, D. J. Lee, K. S. Lee and J. Y. Kim., “Research on the PAPR Reduction Method using Selection of Extra Code Set in PB/MC-CDMA System,” *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol. 8, No. 1, pp. 110-118, Jan. 2009.
- [15] K. J. Lee and G. J. Kim., “The Performance Improvement Method using Decision Feedback Channel Estimation Scheme in PB/MC-CDMA System,” *Journal of Digital Convergence*, Vol. 12, No. 12, pp. 329-335, Dec. 2014.
- [16] B. Sklar, *DIGITAL COMMUNICATIONS : Fundamentals and Applications, Second Edition*, NJ: Prentice Hall, 2001.

저 자 소 개

이 규 진(Kyu-Jin Lee)

[정회원]



- 2005년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학학사
 - 2007년 2월 : 경희대학교 전자전파공학과 공학석사
 - 2011년 2월 : 경희대학교 전자전파공학과 공학박사
 - 2011년 3월 ~ 2013년 2월 : 경희대학교 전자전파공학과 학술연구교수
 - 2013년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전자공학과 교수
- <관심분야> : 5G, Interference Reduction technique, Resource Allocation, Visible Light Communication