

# 인접 셀 간섭 환경에서 모바일 인터넷 시스템의 성능 분석

## Performance Analysis of Mobile Internet System in Inter-cell Interference Environment

노재성\*, 김영철\*\*

Jae-Sung Roh\*\*, Young-Chul Kim\*\*

### 요 약

모바일 인터넷 시스템의 목표는 고속 데이터 유통, 낮은 지연 그리고 유연한 대역폭 진화를 제공할 수 있는 최적화된 패킷 무선접속기술을 제공하는 것이다. 따라서 연속적인 이동성과 서비스 품질 그리고 최소지연을 갖는 패킷 스위치 트래픽 목표를 제공하는 LTE 네트워크 구조가 설계되었다. LTE 시스템에서의 중요한 요구조건은 셀 경계에서의 BER 성능과 데이터 처리율을 개선하는 것이다. 이것은 통신 지역에서 지리적 영역과 데이터 처리율 측면에서 서비스의 일관성을 제공한다. 하지만 셀룰러 시스템에서 셀의 중앙과 경계지역 사용자 사이의 SINR 차이는 20 [dB] 정도가 된다. 이러한 차이는 통신 영역이 제한된 셀룰러 시스템에서 더욱 크다. 이 현상은 셀 중앙의 사용자에게 비하여 셀 경계의 사용자에게 대단히 낮은 데이터 처리율 유발하고 큰 QoS 차이를 발생시킨다. 본 논문에서 인접 셀 간섭을 감소하기 위한 분석적인 방법을 제시하고 모바일 인터넷 환경에서 OFDM 시스템 파라미터에 따른 SIR 및 BER 성능을 보였다.

### Abstract

The goal of mobile internet system is to provide a high-data-rate, low-latency and optimized packet radio access technology supporting flexible bandwidth deployments. Therefore, network architecture is designed with the goal to support packet-switched traffic with seamless mobility, quality of service and minimal latency. An important requirement for the mobile internet system is improved cell-edge BER performance and data throughput. This is to provide some level of service consistency in terms of geographical coverage as well as in terms of available data throughput within the communication coverage area. In a cellular system, however, the signal to interference plus noise power ratio gap between cell-center and cell-edge users can be of the order of 20 [dB]. The disparity can be even higher in a communication coverage limited cellular system. This leads to vastly lower data throughputs for the cell-edge users relative to cell-center users creating a large QoS gap. This paper proposes a analytical approach that tries to reduce inter-cell interference, and shows the SIR and BER performance according to the OFDM system parameters in mobile Internet environment.

Key words : Mobile Internet System, Interference Analysis, OFDM signal

### I. 서 론

모바일 인터넷이 기존 정보통신 서비스와 차별화되는 가장 큰 요인은 실시간 멀티미디어 콘텐츠를

---

\* 서일대학교 정보통신과

\*\* 한국정보통신기술대학 방송설비학과

· 제1저자 (First Author) : 노재성

· 투고일자 : 2011년 12월 7일

· 심사(수정)일자 : 2011년 12월 7일 (수정일자 : 2012년 2월 20일)

· 게재일자 : 2012년 2월 28일

ADSL과 같이 안정적으로 공급받을 수 있는 이동성을 갖춘 데이터 서비스라는 점이다. 시장에서는 인터넷 접속 서비스에 이동성을 갖춘 인터넷서비스가 등장하고 있으며 노트북 PC와 저가 무선 LAN 장비 보급이 확대되면서 맥내에서도 무선으로 자유롭게 인터넷에 접속하는 사례가 늘고 있다. 또한, Nespot과 같은 공중 무선 LAN을 통한 hot spot 서비스가 제공되면서, 노트북 PC나 PDA 등과 같은 휴대형 컴퓨팅 단말 등을 이용하여 공공장소에서 54 Mbps급의 무선 인터넷 접속이 가능해지고 있다 [1]-[4].

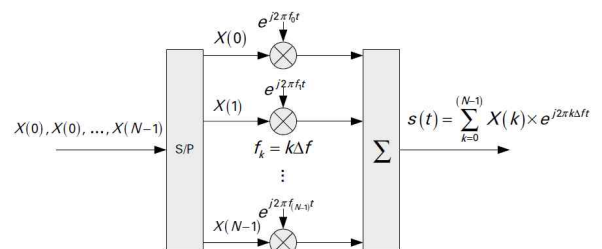
모바일 인터넷 서비스는 모바일 인터넷 단말을 이용하여, 정지 및 이동 중에서도 언제, 어디서나 고속으로 무선인터넷 접속이 가능한 서비스로 정의 되고 있으며 3GPP 및 IEEE 등의 표준 기구에서는 실시간 멀티미디어 콘텐츠 서비스를 안정적으로 제공하기 위한 이동성을 갖춘 4G 이동통신 시스템 기술에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 연구 중에 셀 간 간섭 완화 기술은 높은 주파수를 지원하기 위한 작은 크기의 마이크로 셀, 건물 내 혹은 개인 영역에 설치되어 특정 사용자에게 높은 전송률을 제공하는 펌토 셀, 기지국 커버리지를 증가시키기 위해 셀 경계 영역에 무선 중계기 등이 설치될 4G 이동통신에서 중요성이 더욱 커지고 있는 상태이다. 이처럼 서비스 영역이 작은 다양한 셀들이 존재함으로써 셀 간 간섭에 영향을 많이 받는 셀 중첩 영역이 증가하게 되어 셀 간 간섭을 제어하는 기술이 시스템의 데이터 효율을 높이기 위한 필수 기술이다 [5]-[8].

이동통신 시스템 및 네트워크 환경에서 간섭은 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫째, 동일 주파수로 동일한 기지국에서 방사된 전파가 여러 경로를 거치면서 전파의 도달 시간 차이에 의해 발생한다. 둘째, 동일 채널 간섭으로 다른 기지국으로부터 방사되는 동일 주파수에 의해 발생한다. 셋째, 인접하는 주파수 채널에 의한 영향으로 발생하는 인접채널 간섭이다. 모바일 인터넷 서비스를 제공하는 와이브로는 주파수 재사용 계수가 1이므로 인접 기지국 간에 동일한 주파수를 사용하므로 동일채널 간섭이나 셀 간 간섭이 특히 문제가 되고 있으며 기지국간 간섭이 통신 품질에 영향을 준다. 따라서 제한된 장소에서 기지국 수가 많을수록 가입자를 더 많이 사용할 수 있지만 동

일 채널 간섭이나 인접 채널 간섭으로 QoS에 영향을 주므로 가입자가 증가함에 따라 다른 주파수를 사용하게 된다. 가입자 측면에서 보면 특정 가입자가 기지국과 통신할 경우 그 기지국과 통신하는 나머지 가입자는 모두 간섭이다. 즉, 간섭에 의하여 시스템의 용량이 제한된다. 기존 연구 [6]-[8]에서는 주로 펌토 셀 환경에서 동일채널간섭의 발생, 회피, 관리에 대한 연구가 주로 진행되었다. 따라서 본 논문에서는 OFDM 기반의 통신시스템에서 신호 및 간섭의 정량적 해석을 수행하고 분석에 따른 통신 셀의 영향과 간섭 관리 기술에 대하여 연구하였으며 OFDM 시스템의 성능에 미치는 인접 셀 간섭 및 인접 채널 간섭의 영향을 분석하였다.

## II. OFDM 시스템 모델

인터넷과 이동통신 기술의 발전으로 이동 중에도 빠른 속도로 데이터를 주고받을 수 있게 됨에 따라 이동통신 서비스는 단순히 서로 음성을 전송하던 서비스에서 고속의 데이터 전송 서비스로 다양해지고 있다. 최근 들어 OFDM 기술은 높은 대역폭 효율을 기반으로 한 고속 데이터 전송 능력, 다중경로 채널로 인한 주파수 선택적 페이딩에 대한 강인성, IFFT/FFT 알고리즘을 이용한 송수신단에서의 용이한 디지털 신호처리 등 많은 장점들로 인해 차세대 이동통신 시스템 및 무선 네트워크를 위한 강력한 전송 방식으로 크게 각광받고 있다. 현재 서비스 하고 있는 3G 방식과 비교해서 수십 배 이상의 빠른 전송속도를 가진 4G 이동통신 기술 도입은 이제까지와는 차원이 다른 복합 이동통신 서비스 제공이 가능할 것이다. 그림 1은 일반적인 OFDM 시스템의 송수신기 모델을 나타낸다.



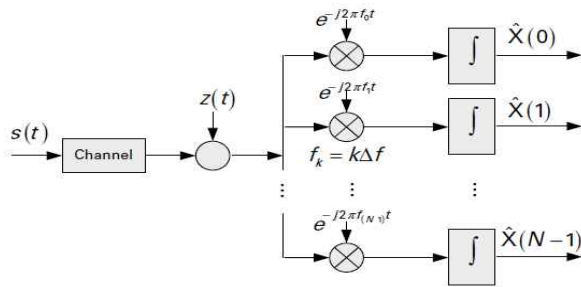


그림 1. OFDM 시스템의 송수신기 모델  
Fig. 1. Transceiver model of OFDM system.

그림 2는 그림 1을 바탕으로 하는 베이스밴드 OFDM 시스템의 송수신기 디지털 구현 모델을 나타낸다.

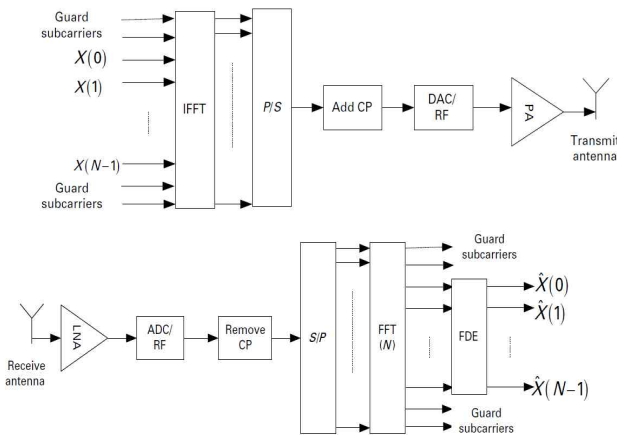


그림 2. 베이스밴드 OFDM 시스템의 디지털 구현  
Fig. 2. Digital implementation of baseband OFDM system.

III. 간섭 모델 분석

무선 통신 시스템 및 네트워크에서 효과적인 스펙트럼의 이용은 확률 통계적 성질을 갖는 환경적 파라미터와 시스템 파라미터를 분석하여 간섭을 줄임으로써 가능하다. 일반적으로 모바일 시스템의 용량은 주로 간섭에 의해서 결정된다. 특히 이러한 시스템은 모든 사용자들이 동시에 신호를 전송하고 각 사용자들은 상호 직교하는 신호를 사용하여 채널에 동시 접속하게 된다. 따라서 다중경로 페이딩이나 지연 확산 등과 같은 여러 가지 요인에 의해 사용하는 직교하는 신호간의 완벽한 직교성이 이루어지지 않아 각 신호 사이에 임의의 시간 오프셋이 발생한다. 이 결

과로 다중접속간섭이 발생하고, 셀 간 서로 같은 주파수를 사용하므로 인접 셀 간섭이 생긴다. 또한, 이동멀티미디어 서비스를 제공하는 시스템에서는 고속의 데이터서비스를 요구하는 사용자들로부터 저속의 음성서비스 사용자들이 받는 내부(Intra)셀 및 외부(Inter)셀 간의 간섭이 상당히 증대되어 기존 시스템보다 성능이 저하될 우려가 있다. 이를 해결하기 위해 멀티서비스 환경에서의 용량문제, 상호 서비스 간 간섭정도 등에 관한 정확한 분석이 우선적으로 이루어져야 한다.

인접 셀 간섭은 셀로 통신 커버리지를 분할하는 셀룰러 이동통신 시스템에서부터 문제점이었다. 최근 표준화가 진행되는 패킷 기반 OFDM 방식에서는 CDMA와 비슷하게 확산을 통한 심벌 수준의 간섭 평균화 내지는 호핑을 통한 부호화 블록 수준의 간섭 평균화를 수행할 수도 있으나, 대부분은 직교 자원을 있는 그대로 이용하여 확산 없이 셀 내 심벌 간 직교성에 손상을 입히지 않는 방식이 대용량 데이터 전송용 트래픽 채널에 적합하다. 또한, 저속 이동 단말의 경우에는 랜덤 호핑보다는 채널 정보를 활용하여 자원 관리를 수행하는 것이 유리하다는 연구가 진행되고 있다. 따라서 최근의 OFDM 방식에서는 가능하면 간섭 회피를 통해 셀 간 간섭 문제를 다루고, 부가적으로 간섭 평균화를 적용하는 것이 추세라고 할 수 있다.

본 논문에서는 인접 셀 간섭 환경에서 간섭을 해석하기 위한 모델은 다음과 같이 정의하였다.

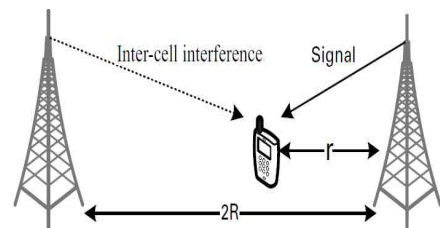


그림 3. 인접 셀 간섭 모델  
Fig. 3. Inter-cell interference model.

잡음과 간섭이 모두 존재하는 경우의 SINR 식은 다음과 같다 [2]-[4].

$$SINR_{w-ICI} = \frac{P_1 r^{-\alpha}}{N_o W + P_2 (2R - r)^{-\alpha}} \quad (1)$$

위 식에서  $P_1 = P_2 = P$ 이고 잡음이 없고 간섭만 존재하는 경우의 SINR 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} SINR_{w/o-ICI} &= \frac{Pr^{-\alpha}}{P(2R-r)^{-\alpha}} \quad (2) \\ &= \left(\frac{2R}{r}-1\right)^\alpha \end{aligned}$$

2 GHz 반송파 주파수에서의 거리에 따른 경로 손실 모델은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} PL_{sig} &= 128.1 + 37.6 \times \log_{10}(r) \quad (3) \\ PL_{int} &= 128.1 + 37.6 \times \log_{10}(2R-r) \end{aligned}$$

따라서 잡음과 간섭이 모두 존재하고 거리에 따른 경로 손실을 고려한 SINR 식은 다음과 같다.

$$SINR_{w-ICI} = \frac{P\left(10^{\frac{PL_{sig}}{10}}\right)}{N_o W + P\left(10^{\frac{PL_{int}}{10}}\right)} \quad (4)$$

그림 4는 인접 셀 간섭의 존재 유무에 따른 SINR의 변화를 거리에 대하여 나타내고 있다. 거리  $r$ 이 증가함에 따라서 인접 셀 간섭이 증가하게 되며 잡음만 존재하는 경우보다 인접 셀 간섭의 존재하는 경우에서 약간의 SINR 감소가 추가로 발생함을 알 수 있다.

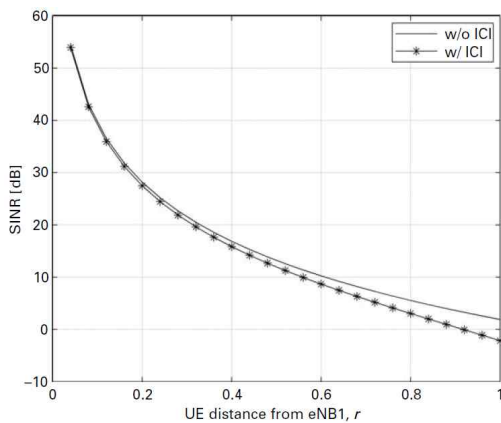


그림 4. 거리에 따른 SINR 변화  
Fig. 4. SINR Variation as a function of distance.

일반적인  $N$ 개의 부 반송파로 구성된 OFDM 전송 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} s(t) &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} s_k(t) \quad (5) \\ &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} d_{i,k} g_i(t-kT) \end{aligned}$$

여기서  $d_{i,k}$ 는  $k$ 시간에  $i$ 번째 부 반송파의 데이터이고  $g(t)$ 는 정규화된 주파수 천이된 구형펄스를 의미한다.

$$g(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} e^{j2\pi f_i t}, \quad 0 \leq t \leq T \quad (6)$$

모바일 인터넷 환경에서 OFDM 전송 시 인접 반송파 간섭의 영향을 고려한 QPSK 변조신호의 BER 성능은 다음과 같다 [2],[3].

$$\begin{aligned} P_b &= Q\left(\sqrt{\gamma_{SIR}}\right) \quad (7) \\ \gamma_{SIR} &= \frac{E_{av}/T}{\phi_{cc}(0)} \end{aligned}$$

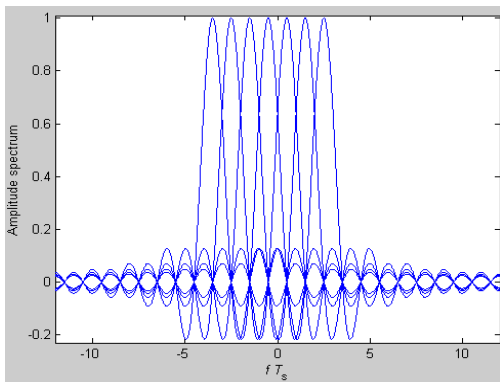
여기서  $E_{av}$ 는 평균 심볼 에너지,  $T$ 는 심볼 주기,  $J_0(\cdot)$  베셀함수,  $\nu_{max}$ 는 최대 도플러주파수 편이를 의미한다. 도플러주파수 편이에 의한 인접 반송파 사이의 상호상관 값의 변화는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \phi_{cc}(0) &= \frac{E_{av}}{T} - \frac{E_{av}}{TN^2} \quad (8) \\ &\left(N + 2 \sum_{i=1}^{N-1} (N-i) J_0(2\pi \nu_{max} T i)\right) \end{aligned}$$

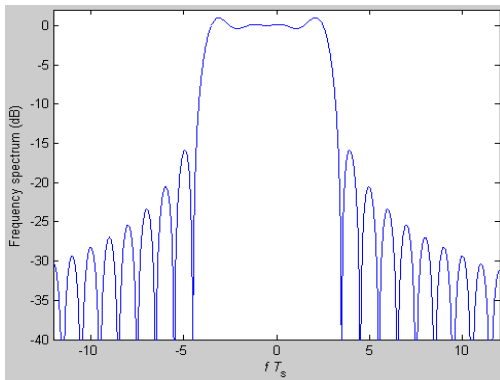
만약, 위 식에서 부 반송파의 수  $N$ 이 커지면 중심 극한정리에 의하여 인접 반송파 간섭의 영향은 가우시안 변수처리가 가능하다.

#### IV. 시스템의 성능 분석 및 검토

본 절에서는 간섭 모델의 분석 결과를 바탕으로 Matlab Tool을 통한 시뮬레이션을 수행하였으며 성능 결과를 그림으로 표현하였다. 그림 5는 7개의 부 반송파로 구성된 OFDM 신호를 나타낸다. 각각의 변조된 부 반송파의 스펙트럼은 시간영역에서 직교 펄스 형태로 인하여 sinc 함수 형태로 나타내어진다. 그림 5(a)는 7개 부 반송파의 진폭 스펙트럼을 나타내며 그림 5(b)는 OFDM 신호의 주파수 스펙트럼을 의미한다. OFDM 신호의 주파수 스펙트럼에서 첫 번째 사이드로브의 주파수 스펙트럼은 패스 밴드 레벨에 비하여 17.3 [dB]아래에 위치함을 알 수 있다. 펄스 형성을 위한 다른 윈도우 필터링을 적용하면 사이드 로브는 감소할 수 있으나 다른 ACI(Adjacent Channel Interference)를 유발하게 된다.



(a) Amplitude Spectrum



(b) Frequency Spectrum

그림 5. OFDM 신호의 스펙트럼  
Fig. 5. Spectrum of OFDM signal.  
(a) 진폭 스펙트럼 (b) 주파수 스펙트럼

그림 6은 랜덤하게 발생시킨 비트 열을 사용해 PSK 변조된 OFDM 신호를 나타내고 있다. 발생 신호에서 부 반송파의 수  $N = 128$ , cyclic prefix의 길이

$N_{cp} = 13$ 인 경우의 OFDM 신호이며 각각의 부 반송파는 진폭이 1인 PSK 변조를 수행하였다.

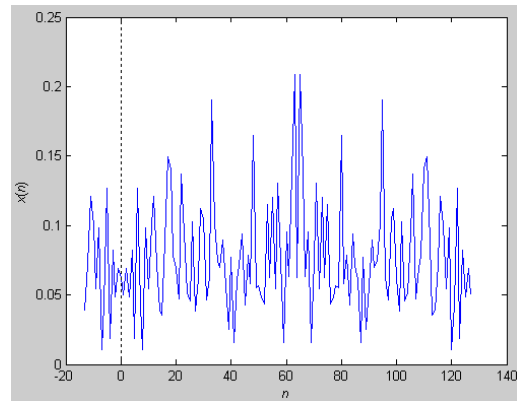


그림 6. 비트 열을 사용해 PSK 변조된 OFDM 신호  
Fig. 6. PSK modulated OFDM signal using bit sequence.

그림 7은 부 반송파의 수  $N$ 에 의한 OFDM-QPSK 신호의 SIR 변화를 나타낸다. 그림에서  $\nu_{max}$ 와  $N$ 이 증가함에 따라서 OFDM-QPSK 신호의 SIR 값은 감소하며 SIR 값의 floor 현상이 일찍 나타나고 있음을 알 수 있다.

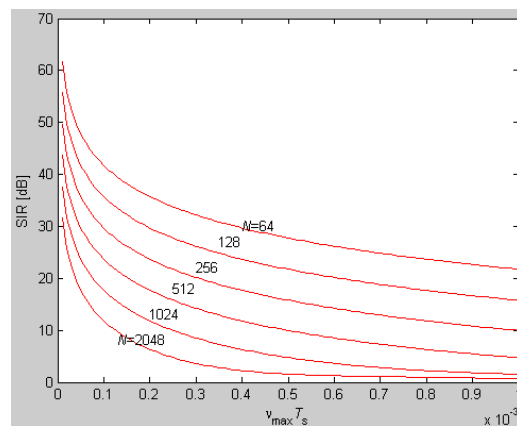
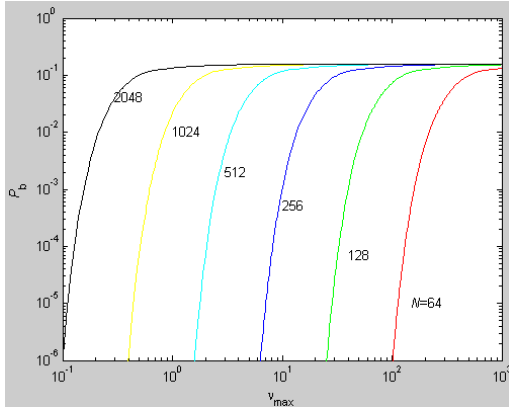


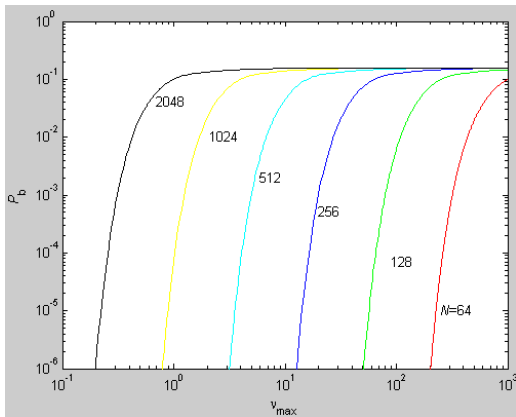
그림 7. OFDM 부 반송파에 따른 SIR 변화  
Fig. 7. SIR variation due to OFDM sub-carrier.

그림 8은 인접 반송파 간섭에 의한 OFDM-QPSK 신호의 BER error floor 현상을 나타낸다. 인접 반송파 간섭의 발생원인을 도플러주파수 편이에 의한 변동을 고려하였으며 OFDM-QPSK 신호의 비트율  $R_b = 5Mbps, 10Mbps$ 을 고려하였다. 최대 도플러 주파수 편이가 증가함에 따라서 BER error floor 현상

이 발생하고 있음을 알 수 있다. 또한 부 반송파의 수  $N$ 이 증가함에 따라서 먼저 BER error floor 현상이 발생하였다.



(a)  $R_b = 5Mbps$



(b)  $R_b = 10Mbps$

그림 8. 인접 반송파 간섭에 의한 OFDM 신호의 BER error floor

Fig. 8. BER error floor of OFDM signal due to Inter-carrier interference.

### V. 결 론

모바일 인터넷 서비스는 모바일 인터넷 단말을 이용하여, 정지 및 이동 중에서도 언제, 어디서나 고속으로 무선인터넷 접속이 가능한 서비스이다. 모바일 네트워크 환경에서 효과적인 스펙트럼의 이용은 확률 통계적 성질을 갖는 환경적 파라미터와 통신시스템 파라미터를 분석하고 다양한 간섭의 영향을 줄임으로써 가능

하다. 일반적으로 모바일 네트워크의 용량은 주로 간섭에 의해서 결정되기 때문에 본 논문에서는 통신시스템의 SIR 분석에 따른 간섭영향에 대하여 연구하였으며 OFDM 시스템의 SIR 및 BER 성능에 미치는 간섭의 영향을 분석하였다. 특히, 인접 반송파 간섭의 발생원인인 도플러주파수 편이에 따른 OFDM 신호의 BER error floor 현상을 알아보았고 OFDM-QPSK 신호의 전송 비트율  $R_b$ 와 부 반송파의 수  $N$ 에 따른 BER error floor 현상을 분석하였다.

### 감사의 글

본 논문은 2010년도 서일대학교 학술연구비에 의해 연구되었음.

### 참 고 문 헌

- [1] L. Hanzo, M. Münster, B. J. Choi, and T. Keller, OFDM and MC-CDMA for broadband multi-user communications, *WLANs and Broadcasting*, Chichester: Wiley, 2003.
- [2] F.Khan, LTE for 4G mobile broadband, Cambridge University Press, 2009.
- [3] G. L. Stuber, Principles of mobile communications, Dordrecht: *Kluwer*, 2003.
- [4] H. H. Chen and M. Guizani, Next generation wireless systems and networks, John Wiley & Sons, 2006
- [5] J. H. Winters, "Optimum combining in digital mobile radio with cochannel interference," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. SAC-2, no. 4, July 1984.
- [6] D. Lopez-Perez, A. Valcarce, G. de la Roche, and J. Zhang, "OFDMA femtocells: A roadmap on interference avoidance," *IEEE Communications Magazine*, Vol.47, No.9, pp.41-48, Sep., 2009.
- [7] V. Chandrasekhar, and J. G. Andrews, "Femtocell networks: a survey," *IEEE Communications Magazine*, Vol.46, No.9, pp.59-67, Sep., 2008.

- [8] M. Yavuz, F. Meshkati, S. Nanda, A. Pokhariyal, N. Johnson, B. Raghothaman, and A. Richardson, "Interference management and performance analysis of UMTS/HSPA+ femtocells," *IEEE Communications Magazine*, Vol.47, No.9, pp.102-109, Sep., 2009.

### 노 재 성 (盧在成)



1990년 : 한국항공대학교

정보통신공학과 (학사)

1992년 : 한국항공대학교

정보통신공학과 (석사)

2000년 : 한국항공대학교

정보통신공학과 (공학박사)

2000~현재 : 서일대학 정보통신과

부교수

관심분야 : 모바일 임베디드 SW, 휴대인터넷, 멀티미디어 콘텐츠, USN/RFID 통신시스템

### 김 영 철 (金暎哲)

2004~현재 : 한국정보통신기술대학 방송통신설비학과

전임강사

관심분야 : 방송공동수신설비, M2M, 통신재난