

# 근거리 고속 무선 데이터 통신 시스템의 성능 해석

노재성\*, 손성찬\*\*

## 요약

모바일 응용을 실현하는데 있어서 근거리 무선전송과 네트워킹 기술의 중요성은 증가하고 있다. 블루투스과 IEEE 802.11b 표준은 WPAN과 WLAN 구축을 위한 가장 일반적으로 사용되고 있는 기술들이다. 본 논문은 잡음과 라이시안 페이딩 환경에서 MC-CDMA/BPSK 시스템과 블루투스 GFSK 신호의 성능을 근거리 무선 채널의 영향에 따라서 분석하였다. 그리고 근거리 무선 채널에서 간섭의 영향에 따른 성능 감쇠에 대하여 분석하였다. 먼저, 잡음 채널에서 MC-CDMA/BPSK 신호와 블루투스 RF 표준에 따른 GFSK 변조 신호의 오율식을 유도하였다. 그리고 유도된 식을 통하여 라이시안 페이딩과 간섭 채널에서 MC-CDMA/BPSK 신호와 블루투스 GFSK 신호의 평균 오율 성능을 계산하였다. 특히, 라이시안 페이딩과 간섭 레벨에 따른 오율 특성을 BER 성능 그림을 통하여 나타내었다.

## Performance Analysis of Short Range High Speed Wireless Data Communication System

Jae-Sung Roh\*, Sung-Chan Son\*\*

### Abstract

Short-range wireless transmission and networking technologies are becoming increasingly important in enabling useful mobile applications. Bluetooth and IEEE 802.11b standards are the most commonly deployed technologies for WPAN and WLAN. This paper investigates the effect of short range wireless channel on the performance of MC-CDMA/BPSK system and Bluetooth GFSK signal transmission in AWGN and Rician fading environments. And we investigate performance degradation due to interference effects in short range wireless channel. We firstly derive a equation for the bit error probability in additive white Gaussian noise depending on MC-CDMA/BPSK signal and GFSK modulation signal parameters according to the Bluetooth RF standard. Then, from this error rate expression we calculate the mean error probability for MC-CDMA/BPSK signal and Bluetooth GFSK signal in Rician fading and interference channel. In particular, the impacts of the Rician fading depth and interference level on the error probability is shown in BER performance figures.

Keywords : data communication, WPAN, WLAN

## 1. 서론

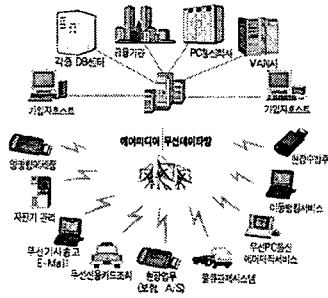
정보통신기술의 고도화 및 정보통신 이용자의

욕구가 다양화됨에 따라 다양한 유무선 통신서비스가 도입되고 있으며 통신시장은 급변하고 있다. 특히 무선통신과 데이터 통신시장이 매년 큰 폭으로 성장하고 있으며, 향후에는 모바일 환경에서 데이터를 주고받는 무선데이터 통신이 주요 통신서비스로 부상하게 될 것이다 [1]-[4].

무선데이터 통신이란 고정된 위치에서 설치된 유선을 이용하여 통신하던 기존 방식과는 달리 무선 모뎀 또는 무선 단말기를 이용하여 시간과 장소에 제약 없이 자유롭게 이동하면서 양방향 데이터 통신을 할 수 있는 차세대 통신서비스이다. 무선데이터 통신은 이동중에도 자유롭게 정

※ 제일저자(First Author) : 노재성  
접수일:2006년07월16일, 심사완료:2006년09월01일  
\* 서울대학 정보통신과  
[jsroh@seoil.ac.kr](mailto:jsroh@seoil.ac.kr)  
\*\* 정보통신기능대학 방송통신설비학과  
▣ 본 연구는 서울대학의 연구비로 수행되었습니다.

보를 주고받을 수 있기 때문에 다양한 분야에서 채택되고 있다. 현재 뉴스속보를 비롯한 일반적인 정보검색은 물론 증권, 교통정보, 이동뱅크, 신용카드조회 및 결제, 이메일 송수신, 원격검침, 현장업무 등의 용도로 활용되고 있으며 그 범위는 더욱 확장될 전망이다. 특히 무선데이터 통신은 최근 급부상하고 있는 새로운 근무형태인 Mobile-office 실현에 가장 적합한 통신서비스로서 향후 재택근무, 자유시간제 근무 등 새로운 개념의 근무형태를 가능케 할 것이다.



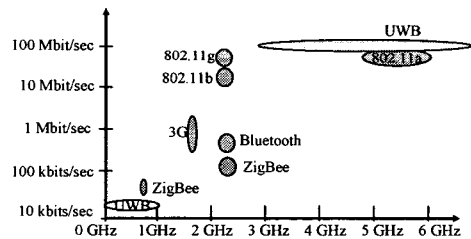
(그림 1) 무선데이터통신 서비스의 응용 범위

근거리 무선 데이터 통신기술은 복잡한 케이블 배선이 필요없고 통신기기들의 이동성을 제공할 수 있다는 장점을 갖는다. 현재 주목받고 있는 시스템은 블루투스(Bluetooth)와 무선랜(Wireless LAN), UWB(Ultrawide band), Zigbee가 대표적이라 할 수 있다. 현재 서비스를 제공하고 있는 3세대 이동통신시스템(IMT-2000) 서비스만으로는 향후 증가되는 광대역 콘텐츠 수용과 비싼 이용요금으로 인한 시장 확대가 어렵기 때문에, 블루투스, 무선랜, UWB, Zigbee는 nomadic 서비스를 제공함으로써 보다 넓은 데이터 서비스 시장을 확대할 것으로 기대 받고 있으며 향후 모바일 멀티미디어 서비스 개념이 포함된 진보된 초고속 무선 데이터통신 서비스로 발전할 것이다.

현재는 사용자의 텍스트를 위주로 한 그간의 서비스 외에 음성, 화상, 영상 등의 고품질 미디어 서비스에 대한 요구가 증대됨에 따라, 기존의 근거리 무선 통신시스템은 단순 best-effort 서비스 외에도 트래픽 등급에 따라 차등적으로 제공되는 QoS(Quality of Service) 지원 능력을 요구 받고 있다. QoS 관점에서 볼 때, 근거리 무

선 데이터 통신 시스템은 무선 채널 고유의 특성과 단말의 이동성으로 인해 고정 네트워크에 비해 열악한 기반 구조를 가지고 있으며 낮은 전력의 사용으로 인해 전송거리가 짧으며, 서비스에 따라 고속 전송 모드를 사용할 경우에는 그 거리는 더욱 짧아지는 특징을 가지고 있다 [5]-[7].

근거리 무선데이터 통신 시스템에서 지그비(ZigBee) 방식은 느린 전송 속도를 갖는 홈 오토메이션 및 데이터 네트워크를 위한 표준 기술로, 버튼 하나로 집안 어느 곳에서나 전등 제어 및 홈 보안 시스템을 작동할 수 있고, 인터넷을 통한 전화 접속으로 홈 오토메이션을 더욱 편리하게 이용하려는 것에서부터 출발한 기술이다. 또한 UWB(Ultra Wide Band) 전송은 협대역 반송파에 정보를 실어 보내는 기존 RF 통신기술과는 달리, 일련의 펄스 에너지를 시간상으로 보내며 이를 수신 주파수 대역상에서 볼 때 매우 넓은 주파수 대역에 걸쳐 에너지가 분포되는 기술 특성을 갖는다.



(그림 2) 데이터 속도와 주파수 대역과의 관계

지금까지의 블루투스, 무선랜, UWB, Zigbee의 문제점들은 차세대 근거리 무선데이터 통신 시스템이 서로 다른 QoS 요구사항을 가진 서비스를 지원하기 위한 문제점 등을 반드시 해결해야 한다. 이러한 문제점들을 효과적으로 해결하기 위해서는 다양한 통신 환경에서 근거리 무선데이터 통신 시스템의 성능을 분석하는 것이 먼저 수행되어야 한다 [8]-[10].

따라서 본 논문에서는 근거리 무선데이터 통신 시스템의 성능 분석을 위하여 Multi-Carrier CDMA/BPSK 신호 전송 방식과 블루투스 시스템을 위한 GFSK 신호 전송 방식을 BER 성능 분석을 위한 전송 신호 모델로 상정하여 근거리 무선데이터

통신 시스템의 성능을 분석한다. 그리고 Multi-Carrier CDMA/BPSK 및 GFSK 신호의 BER 성능 및 용량에 큰 영향을 줄 것으로 예상되는 다중 사용자 간섭과 페이딩 현상에 대한 정량적인 분석을 수행하여 무선 채널 현상에 따른 근거리 무선데이터 통신 시스템의 BER 성능에 미치는 영향을 분석한다.

## 2. 라이시안 페이딩 채널 특성

송신단에서 보내어진 신호는 다양하고 복잡한 무선채널을 통해서 수신단에 도달하게 된다. 무선통신 채널에서는 주위 건물의 표면에 의해서 산란되거나 회절이 발생하여 송수신기 사이에 수많은 경로가 존재하는 다중경로 전파 현상이 일어난다. 다중경로를 통하여 수신된 신호의 페이딩 효과는 특성에 따라 세가지 형태로 분류된다. 첫째, 다중경로로 인한 수신 신호 페이딩 성분이 고정 불변적인 반사 성분만을 가지는 경우이고, 둘째는 순수한 무작위적 산란 성분만을 포함하는 레일리 페이딩의 경우, 셋째 반사적 성분과 무작위적 산란성분을 포함하는 라이시안 페이딩의 경우로 나눌 수 있다 [11],[12]. 특히, 라이시안 다중경로 페이딩은 전파 측정 결과에 따르면 근거리 가시거리 환경에 적합하다고 알려져 있다. 라이시안 페이딩 채널을 통과한 수신 신호의 진폭에 관한 확률밀도함수는 다음과 같다.

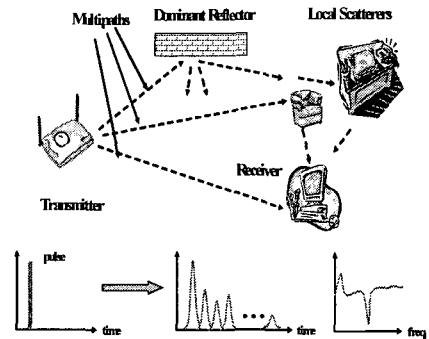
$$f_{\text{Ric}}(R) = \frac{R}{\sigma_k^2} e^{-(R^2 + A^2)/2\sigma_k^2} \cdot I_0\left(\frac{AR}{\sigma_k^2}\right) \quad (1)$$

여기서, R 은 수신 신호의 순시 포락선, A 는 직접파 성분의 최대 진폭,  $I_0(\cdot)$  는 0차의 변형된 베셀 함수를 의미한다.

식 (1)을 변수변환을 거친 후 정리하면 다음과 같은 순시 신호 대 잡음 전력비,  $\gamma$  에 대한 확률밀도함수로 나타낼 수 있다.

$$f_{\text{Ric}}(\gamma | \Gamma) = \frac{(K_R + 1)}{\Gamma} \exp\left[-K_R - \frac{\gamma(K_R + 1)}{\Gamma}\right] \cdot \gamma_0 \left[ 2\sqrt{\frac{\gamma K_R (K_R + 1)}{\Gamma}} \right] \quad (2)$$

여기서,  $K_R$  는 라이시안 페이딩의 직접파와 반사파 성분의 전력비,  $\Gamma$  는 평균 신호 대 잡음 전력비를 나타낸다. 특히,  $K_R = 0$ 이면 직접파와 성분이 없는 경우로서 레일리 페이딩에 해당된다.

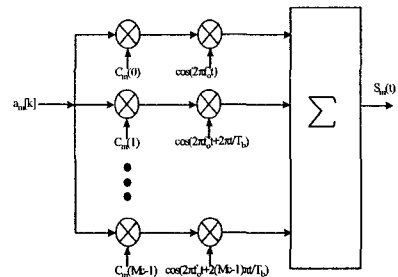


(그림 3) 근거리 무선 데이터 통신 시스템의 무선채널 전송모델

## 3. 근거리 통신 시스템의 성능 분석

### 3.1 MC-CDMA/BPSK 시스템

(그림 4)는 일반적인 MC-CDMA 시스템의 송신기 구조를 나타낸다 [13],[14].



(그림 4) MC-CDMA 시스템의 송신기 구조

MC-CDMA 시스템의 송신기 구조에서  $a_m[k]$  는 송신단에 입력되는 데이터 열을, m 은 사용자를, k는 입력 데이터 심볼의 순서를 나타낸다.  $M_c$  명의 사용자가 동시에 사용할 경우

전송되는 m번째 사용자의 k번째 MC-CDMA 신호는 다음과 같다.

$$S(t) = \sum_{m=0}^{M_c-1} \sum_{k=0}^{M_c-1} a_m[k] C_m(k) e^{j2\pi(f_0+k/T_s)t} \quad (3)$$

채널을 통하여 전송된 MC-CDMA 신호는 잡음  $N(t)$ 와 다중접속 간섭의 영향을 받는다. 심볼 구간 ( $T_s$ ) 동안에 무선채널을 통하여 수신기에서 복조된 신호는  $R(t)$  다음과 같다.

$$R(t) = S^{(1)} + \sum_{k=2}^U I^{(1,k)} + \int_0^{T_s} \sum_{n=1}^{M_c} N(t) \cos(2\pi n f_0 t) dt \quad (4)$$

여기서  $I^{(1,k)}$ 는 간섭신호의 성분,  $U$ 는 다중접속 사용자의 수,  $M_c$ 는 Multi-Carrier의 수,  $S^{(1)}$ 는 원하는 신호의 성분으로 다음과 같다.

$$S^{(1)} = a_0^{(1)} T_s \sqrt{\frac{M_c P}{2}} \quad (5)$$

여기서  $a_0^{(1)}$ 는 정보 데이터 열이고  $P$ 는 송신 신호의 전력이다.

식 (4)에서 잡음 성분의 분산은  $M_c N_0 T_s / 4$  이고,  $M_c = 1$  인 경우는 단일 반송파 DS/CDMA 전송에서 잡음 성분의 분산과 동일하다. 본 논문에서는 CDMA 다중 사용자 간섭을 가우시안 잡음으로 간략화하여 MC-CDMA 시스템의 BER 성능을 구한다. 랜덤한 신호열을 고려한다면 MC-CDMA 시스템에서 다중 사용자 간섭의 분산 평균치  $E[\text{Var}\{I^{(1,k)}\}]$ 는 다음과 같다.

$$E[\text{Var}\{I^{(1,k)}\}] = \frac{PT_s^2}{4\pi^2 M_c} \left\{ \left[ \sum_{n=1}^{M_c} \sum_{i=1, i \neq n}^{M_c} \frac{3n^2 + i^2}{(n^2 - i^2)^2} \right] + \frac{2\pi^2}{3} \right\} \quad (6)$$

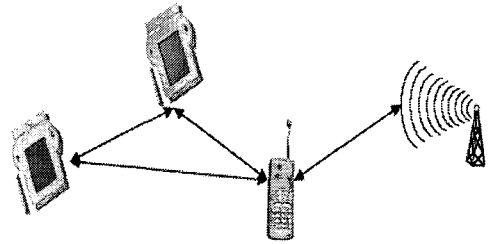
모든 사용자로부터의 간섭과 잡음을 고려한 MC-CDMA/BPSK 신호의 등가 신호 대 전체 잡음 전력비  $\gamma$ 는 다음과 같다.

$$\gamma = \frac{M_c P T_s^2 / 2}{\frac{(U-1) P T_s^2}{4\pi^2 M_c} \left\{ \left[ \sum_{n=1}^{M_c} \sum_{i=1, i \neq n}^{M_c} \frac{3n^2 + i^2}{(n^2 - i^2)^2} \right] + \frac{2\pi^2}{3} \right\} + \frac{M_c N_0 T_s}{4}} \quad (7)$$

여기서  $E_b$ 는 하나의 심볼 구간  $T_s$  동안에 전송되는 신호의 에너지이고,  $U$ 는 다중 사용자의 수,  $M_c$ 는 Multi-Carrier의 수이다.

### 3.2 Bluetooth/GFSK 시스템

블루투스 방식은 휴대용 장치간의 양방향 근거리 통신을 복잡한 케이블 없이 저 가격으로 구현하기 위한 근거리 무선통신 기술로써 주파수는 2.4GHz이고 전송속도 및 거리는 64 K ~ 1 Mbps, 10m 이내이다. 제품의 상용화로 이용범위가 급속히 확대되고 있으며 Zigbee 등과 경쟁관계에서 저가 실현이 관건이다. 무선 헤드셋, 무선 키보드/마우스, 이동단말기 사이의 명함교환 등 향후 2.4 GHz 무선랜과 블루투스를 통합한 듀얼모드 출시가 예상되고 있다. 다른 근거리 무선기술과 비교시 음성지원이 가능한 것이 장점이다. (그림 5)는 블루투스의 무선 Ad-hoc 응용 예를 나타내고 있다.



(그림 5) 블루투스의 Ad-hoc 응용

블루투스는 가정 및 사무실에서 사용되는 모든 정보기에 장착되는 것을 목표로 무선망(wireless piconet, ad hoc scatternet 등)을 구성하여 어떠한 유/무선망과도 연동할 수 있게 한다. 따라서, 블루투스를 비롯한 초단거리 무선 네트워크가 완성되면 모든 정보 기기(특히, 노트북, PDA, 휴대단말기) 간의 자유로운 데이터 교환이 이루어지며, 인터넷 브리지를 구성하면 현재 광케이블이나 ADSL(Asymmetric Digital Subscriber Line), 모뎀 등을 통해 데스크탑 컴퓨터에 도달해 있는 인터넷 정보가 비로소 사용자의 손안에까지 도달할 수 있게 된다. 즉, 무선통신의 궁극적인 목표인 언제, 어디서나, 누구나, 어떤 형태의 정보도 교환한다는 목표에 대

한 완성으로까지 이를 수 있다.

블루투스 네트워크는 1 Mbit/sec의 속도로 동작하며 변조방식으로는 GFSK(Gaussian frequency shift keying)방식이 사용되고 있다. 변조지수  $h_f = 0.33$  이고  $B_b T = 0.5$  이다 [8]-[10].

여기서,  $B_b$ 는 송신기의 가우시안 필터의 3dB 대역폭이고  $T$ 는 비트의 주기를 의미한다. GFSK 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$s(t, a) = \sqrt{\frac{2E_b}{T}} \cos(2\pi f_c t + \phi(t, a)), \quad (8)$$

여기서  $E_b$ 는 데이터 비트의 에너지,  $f_c$ 는 반송파 주파수,  $a$ 는 랜덤 비트 열을 나타낸다.  $\phi(t, a)$ 는 GFSK 신호의 출력 위상을 나타내며 다음과 같다.

$$\phi(t, a) = 2\pi h_f \sum_{i=n-L_b+1}^n \alpha_i q(t-iT) + \pi h_f \sum_{i=-\infty}^{n-L_b} \alpha_i \quad (9)$$

$$q(t) = \int g(\tau) d\tau \quad (10)$$

$$g(\tau) = \sqrt{\frac{2\pi}{\ln 2}} B_b \exp\left(-\left(\frac{2\pi^2}{\ln 2}\right)(B_b t)^2\right) \quad (11)$$

여기서,  $g(t)$ 는 가우시안 필터의 임펄스 응답으로 가우스 필터는 반송파 파워나 점유 대역폭 및 부호-클럭 복구성능 등의 측면에서 장점을 갖기 때문에 많이 사용되고 각 부호들은 앞뒤에 부호들과만 서로 밀접하게 상호작용 하게 된다. 이러한 특징으로 특정 형식으로 늘어선 신호배열이 상호 작용하는 경향을 줄여 증폭기를 보다 얇고 효율이 좋도록 만든다.

Rician 페이딩 채널에서 MC-CDMA/BPSK 및 GFSK 신호의 BER 성능은 Rician 페이딩의 확률밀도함수와 AWGN 채널에서 각 신호의 오율식 사이에서 신호 전력 대 전체 잡음 전력비,  $\gamma$ 에 대한 평균을 취함으로써 얻어진다.

$$P_e = \int_0^{\infty} P_{eg}(\gamma) \cdot f_{Rlc}(\gamma | \Gamma) d\gamma \quad (12)$$

본 논문에서는 시스템의 성능 분석을 위하여 라이시안 페이딩 채널의 채널 변화를 나타내는 라이시안 페이딩 파라미터  $K_R$ , 멀티캐리어의 수, 다중접속 사용자의 수, 신호 대 간섭 전력비, 그리고 평균 신호 대 잡음 전력비 등을 사용하였다.

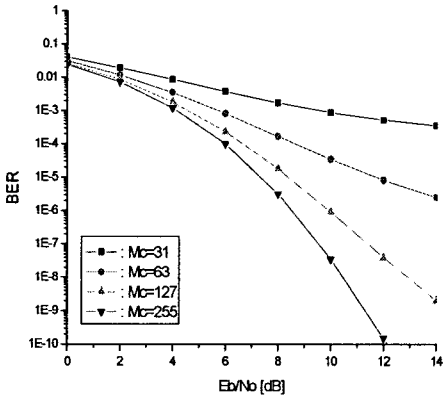
(그림 6)은 AWGN 채널과 다중접속을 시도하여 채널을 점유하고 있는 사용자의 수가 30명인 환경에서 MC-CDMA/BPSK 신호의 오율 특성을 나타낸다. 결과 그래프를 신호 대 잡음 전력비와 멀티캐리어의 수에 따른 BER 성능을 비교하였다. 멀티캐리어의 수가 증가함에 따라서 Multi-Carrier CDMA/BPSK 신호의 BER 성능은 우수해짐을 알 수 있다. 멀티캐리어의 수가  $M_c=255$ 인 경우에는 신호 대 잡음전력비 12 dB에서  $BER=1 \times 10^{-10}$  을 얻을 수 있었다.

(그림 7)은 전송 신호가 라이시안 분포에 따른 페이딩의 영향을 받고 다중접속을 시도하여 채널을 점유하고 있는 사용자의 수가 30명인 환경에서 MC-CDMA/BPSK 신호의 오율 특성을 나타낸다. 페이딩 환경은 채널 변화를 나타내는 라이시안 페이딩 파라미터  $K_R=12$  dB인 경우로써 무선 채널환경이 우수한 경우이다. 이 경우도 그림 6과 마찬가지로 멀티캐리어의 수가 증가함에 따라서 Multi-Carrier CDMA/BPSK 신호의 BER 성능은 우수해짐을 알 수 있었고 멀티캐리어의 수가  $M_c=127$ 인 경우에는 신호 대 잡음 전력비 15 dB 이상에서  $BER=1 \times 10^{-5} \sim 1 \times 10^{-6}$  사이를 안정적으로 얻을 수 있었다.

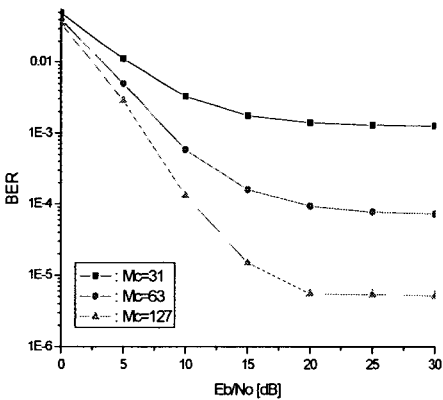
(그림 8)은 AWGN과 동일채널간섭 채널에서 GFSK 블루투스 신호의 오율특성을 나타낸다. 블루투스 시스템의 특성과 동일하게 변조지수  $h_f = 0.33$  이고  $B_b T = 0.5$  을 적용하였다. 동일채널간섭이 존재하지 않는 순수한 AWGN 채널에서 블루투스 시스템은 신호 대 잡음전력비 14 dB 에서  $BER=1 \times 10^{-4}$  을 얻을 수 있었다. 그리고 동일채널간섭이 존재하는 경우에는 상대적으로 BER 성능은 열화하였으며 SIR이 5 dB, 10 dB, 15 dB로 증가함에 따라서 AWGN만의 환경에 근접함을 알 수 있었다.

(그림 9)는 라이시안 페이딩 채널에서 GFSK 신호의 오율 특성을 라이시안 페이딩 파라미터  $K_R$ 에 따라서 나타내었다. 라이시안 페이딩 파라미터가 6 dB,

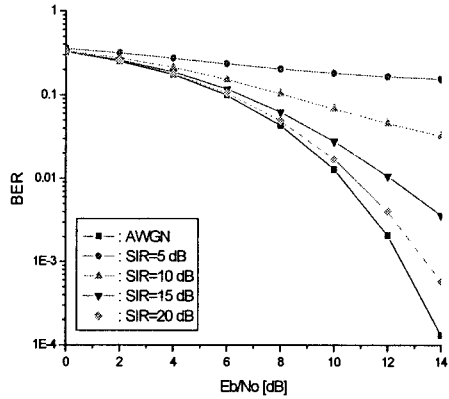
8 dB, 10 dB, 12 dB로 증가함에 따라서 GFSK 신호의 BER 성능은 개선되고 있다. 라이시안 페이딩 파라미터  $K_R=10$  dB인 환경에서 블루투스 시스템은 신호 대 잡음전력비 30 dB 에서  $BER=1 \times 10^{-6}$  을 얻을 수 있었다.



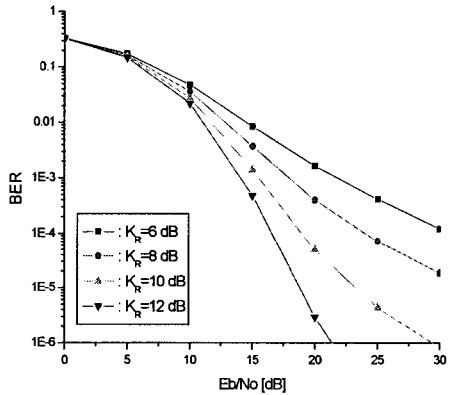
(그림 6) AWGN 채널에서 MC-CDMA/BPSK신호의 오율



(그림 7) 라이시안 페이딩 채널에서 MC-CDMA/BPSK 신호의 오율



(그림 8) AWGN과 동일채널간섭 채널에서 GFSK 블루투스 신호의 오율



(그림 9) 라이시안 페이딩 채널에서 GFSK 신호의 오율

#### 4. 결론

본 논문에서는 라이시안 페이딩과 다양한 간섭이 존재하는 채널에서 Multi-Carrier CDMA/BPSK 시스템과 블루투스 시스템에서 적용되고 있는 GFSK 신호의 BER 성능을 분석하였다. 근거리 무선데이터 통신 시스템의 성능 분석 및 비교를 위하여 이진 디지털 변조방식을 선택하였고 BER 성능 분석을 위한 무선 전송 모델을 설정하여 무선데이터 통신 시스템의 성능을 분석하였다.

분석결과, 간섭과 페이딩의 영향은 데이터의 BER 성능에 큰 영향을 나타냄을 확인할 수 있

있고 SIR이 증가하고 라이시안 페이딩 파라미터  $K_R$ 이 증가할수록 BER 성능은 개선됨을 알 수 있었다. 그리고 Multi-Carrier CDMA/BPSK 시스템의 경우에는 다중접속 사용자 간섭의 수가 많아짐에 따라서 신호 대 잡음 전력비가 증가하여도 에러의 상태가 유지되는 현상이 발생하였고 이 경우에는 에리제어를 위한 부호화 방식이 요구됨을 알 수 있었다.

**참 고 문 헌**

[1] J. C. Haartsen, "The Bluetooth radio system," IEEE Personal Comm., vol. 7, pp. 28-36, Feb. 2000.

[2] C. K. Toh, Ad-Hoc Mobile Wireless Networks, Prentice Hall, 2002.

[3] A. Azzam, N. Ransom, Broadband Access Technologies, McGraw-Hill, 1999.

[4] W. Stallings, Wireless Communications and Networks, Prentice Hall, 2002.

[5] 김형훈, 최신 통신기술 중심의 홈네트워킹, Ohm사, 2004.

[6] S. Zurbes, "Analysis of interference on Bluetooth," Bluetooth Developers Conference, August 1999.

[7] R. Prasad, Universal wireless personal communications, Artech House Publishers, 1998.

[8] J. Zyren, "Reliability of IEEE 802.11 DSSS and FHSS WLANs in a Bluetooth environment," Bluetooth Developers Conference, August 1999.

[9] S. Souissi and E. F. Mehofer, "Performance evaluation of a Bluetooth network in the presence of adjacent and co-channel interference," IEEE Emerging Technologies Symposium: Broadband, Wireless Internet Access-2000, pp. 6, 2000.

[10] A. El-Hoiydi, "Interference between Bluetooth networks - upper bound on the packet error rate," IEEE Communications Letters, vol. 5, Issue: 6, pp. 245-247, June 2001.

[11] M. K. Simon and M. S. Alouini, Digital Communication Over Fading Channels, New York: Wiley, 2000.

[12] S. Sampei, Applications of digital wireless technologies to global wireless communications, Prentice Hall, 1997.

[13] R. Prasad and S. Hara, "An overview of multi-carrier CDMA," Proc. of IEEE ISSSTA '96, pp. 107-114, 1996.

[14] T. F. Ho, "Performance evaluation for multi-carrier

CDMA system," Proc. IEEE VTC '96, pp. 1101-1105, 1996.



**노재성**

1990년: 한국항공대학교 정보통신 공학과(학사)  
 1992년: 한국항공대학교 정보통신 공학과(석사)  
 2000년: 한국항공대학교 정보통신 공학과(박사)

1992년~1997년: (주)한화정보통신 연구소  
 2000년~현재: 서일대학 정보통신과 조교수  
 관심분야: 무선 멀티미디어 통신, 휴대인터넷 응용, 유비쿼터스 응용 등



**손성찬**

1979년: 한국항공대학교 통신공학과(학사)  
 1992년: 한양대학교 전자통신과(석사)  
 2000년: 한국항공대학교 정보통신 공학과(박사)

1985년~1998년: (주)데이콤 신기술개발실 이사  
 1998년~2004년: 하나로통신 네트워크운용 담당상무  
 2005년~현재: 정보통신기능대학 방송통신 설비학과 전임강사  
 관심분야: 정보통신공학, 방송통신시스템