

# OFDM/SFH와 OFDM/DS 시스템의 Jamming 채널에서 성능 비교

## Performance Comparison of the OFDM/SFH and OFDM/DS Systems in the Jamming Channel

박종현 · 김상우 · 유흥균 · 이상태\*

Jong-Hyun Park · Sang-Woo Kim · Heung-Gyoon Ryu · Sang-Tae Lee\*

### 요 약

OFDM/SFH 시스템은 OFDM 통신시스템이 재밍에 잘 견디게 하기 위하여 주파수 도약(FH) 방식과 결합한 시스템이고, OFDM/DS 시스템은 PN(pseudo noise) 시퀀스에 의한 대역 확산(DS) 방식과 결합한 시스템이다. 본 연구에서는 OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템을 동일한 정보량을 기준으로 부분대역 재밍과 톤 재밍이 있는 채널 환경에서 성능을 분석한다. 부분대역 재밍에서는 JFR(jamming fractional ratio)과 JSR(jamming to signal power ratio) 변화에 따른 BER 성능을 분석하며, 단일 톤 또는 다중 톤 재밍에서의 JSR에 따른 BER 성능을 분석한다. 그 결과 부분대역 재밍에서는 OFDM/DS 시스템이 OFDM/SFH 시스템보다 우수한 성능을 보인다. JFR=4/16이고, JSR=0 dB일 때 BER=10<sup>-3</sup>을 기준으로 OFDM/DS 시스템이 OFDM/SFH 시스템보다 약 2.5 dB 정도의 SNR(signal to noise power ratio) 이득이 있다. 그러나 단일 톤이고, JSR=5 dB일 때 BER=10<sup>-3</sup>을 기준으로 OFDM/SFH 시스템이 OFDM/DS 시스템보다 3 dB 정도의 SNR 이득이 있다. 한편 다중 톤인 경우 OFDM/SFH 시스템의 성능 저하가 OFDM/DS 시스템에 비해 크게 나타난다.

### Abstract

OFDM/SFH(orthogonal frequency division multiplexing/slow frequency hopping) system is the combination of OFDM communication system with frequency hopping(FH) method and OFDM/DS(orthogonal frequency division multiplexing/direct sequence) system combines the OFDM communication system with direct sequence(DS) method in terms of PN(pseudo noise) sequence. These two systems are also can be used for anti-jamming. In this study we analyze performances of OFDM/SFH system and OFDM/DS system with the equal information rate in partial band jamming and tone jamming channel. We find BER(bit error rate) in the variation of JFR(jamming fractional ratio) and JSR(jamming to signal power ratio) of the partial band jamming. Also, BER is found in the several JSR of the single tone or multi tone jamming. OFDM/DS system shows better performance than OFDM/SFH system in partial band jamming environment. OFDM/DS system has about 2.5 dB SNR(signal to noise power ratio) gains than OFDM/SFH system when JFR=4/16 and JSR=0 dB to meet BER=10<sup>-3</sup>. However, OFDM/SFH system has about 3 dB SNR gains than OFDM/DS system at single tone jamming of JSR=5 dB. In multi tone jamming, performance of OFDM/SFH system is considerably degraded than OFDM/DS system.

Key words : OFDM/SFH, OFDM/DS, Partial Band Jamming, Tone Jamming, JFR(Jamming Fractional Ratio)

### I. 서 론

OFDM 통신 방식은 대역효율이 높고 다중경로 페

충북대학교 전자공학과 및 컴퓨터정보통신연구소(Dept. of Electronic Engineering and Research Institute of Computer, Information & Communication, Chungbuk National University)

\*한국표준과학연구원 정보전산그룹(Technical Information and Computing Group, Korea Research Institute of Standards and Science)

· 논문 번호 : 20030630-097

· 수정완료일자 : 2003년 10월 23일

이딩에 강하다. 현재 OFDM 방식은 무선멀티미디어 통신에서 가장 우수한 기술로 사용되고 있다. 또한 OFDM 변조방식은 높은 전송량의 WLANs 즉 IEEE 802.11과 HIPERLAN II 등의 표준으로 사용되고 있다<sup>[1]</sup>. 그러나 OFDM 통신 방식은 재머와 의도적인 간섭에 대단히 취약하다. 그러므로 재머에 강하고 의도적인 간섭에 대항적인 주파수 도약(FH) 방식과 대역 확산(DS) 방식을 OFDM 방식에 혼합함으로써 OFDM/SFH(orthogonal frequency division multiplexing/slow frequency hopping) 시스템과 OFDM/DS(orthogonal frequency division multiplexing/direct sequence) 시스템을 만들어 항재밍(anti-jamming) 효과를 가질 수 있으며, 적합한 채널코딩과 결합하면 매우 우수한 다중 액세스 시스템이 될 수 있다. OFDM/SFH 시스템은 PN sequence generator에서 생성된 PN 시퀀스에 의해 주파수 합성기에서 도약할 주파수를 만들어 내어 OFDM 심볼이 한 심볼당 한 번 도약하도록 하는 것이고, OFDM/DS 시스템은 맵핑(mapping)된 신호를 PN 시퀀스에 의해 대역 확산시킨 후 OFDM 변조를 하는 것이다.

OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템에 대한 많은 기존 연구들이 있었다. 1997년, Luciano Tomba와 Witold A. Krzymien은 코딩 OFDM/SFH-CDMA 전송시스템에서 역방향 링크에서의 성능을 분석하였다<sup>[2]</sup>. 1998년, Silvia De Fina는 광대역 라디오 액세스 시스템에서 OFDM 변조를 사용한 FH-MA 통신방식과 DS-MA 통신 방식을 비교하였다<sup>[3]</sup>. 2000년, M. Jankiraman과 Ramjee Prasad는 무선 멀티미디어 응용의 새로운 방식인 하이브리드 OFDM/CDMA/SFH 방식을 제시하였다<sup>[4]</sup>. 위의 연구<sup>[2]~[4]</sup>에서는 OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템의 재밍에 대한 성능분석이 논의되지 않았다. 그리고 위의 연구 이외에 다른 연구에서도 OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템의 페이딩 채널(fading channel)과 간섭(interference)에 대한 성능만 논의되었을 뿐 재밍에 대한 성능분석은 논의되지 않았다.

본 연구에서는 OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템을 동일 정보량과 동일 대역내에서 동일한 PG(processing gain)으로 부분대역 재밍과 톤 재밍이 있는 채널 환경에서 성능을 비교 분석한다. 부분대역 재밍은 JSR을 0 dB와 5 dB, JFR은 4/16에서의

BER 성능을 분석한다. 톤 재밍일 경우에도 부분대역 재밍과 동일한 조건의 JSR에서 분석하는 한편 JFR의 증가 대신 단일 톤과 다중 톤일 경우의 BER 성능을 분석한다.

## II. 시스템 모델

### 2-1 OFDM/SFH 시스템

OFDM/SFH 시스템의 간단한 송수신 블록도는 그림 1과 같다. 일반적으로 복소수 기저대역 OFDM 신호는 식 (1)과 같다.

$$x(t) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X_k(t) \cdot e^{j\frac{2\pi}{T_s}kt} \quad \text{for } 0 \leq t < T_s \quad (1)$$

여기에서  $j = \sqrt{-1}$ ,  $N$ 는 총 서브캐리어수이며,  $X_k$ 는  $k$ 번째 서브캐리어의 데이터 심볼이다. 서브캐리어간격은  $1/T_s$ 이고,  $T_s$ 는 OFDM 심볼주기이다. OFDM 심볼은 실제 다중경로 지연확산을 대처하기 위해 Cyclic Prefix가 추가되며, OFDM 심볼간의 간섭을 줄이기 위해 Guard Time이 추가된다. 그러나 다중경로 지연확산은 본 연구의 목적과 관련이 적은 사항이므로 고려하지 않으며, 시뮬레이션에서 OFDM 심볼간의 간섭은 없다고 가정한다. 또한 주파수와 시간 동기는 수신기에서 정확하게 동기가 이루어졌다고 가정한다.  $x(t)$ 는 주파수 합성기 출력 신호인 도약 주파수  $f_{FH}(t)$ 와 곱해진다.  $f_{FH}(t)$ 는 PN sequence generator로부터 발생하는  $j$ 비트의 시퀀스에 따라 매 도약 구간(hop duration)마다 다른 주파수가 된다.  $j$ 비트의 조합 2 <sup>$j$</sup> 개에 대응되는 2 <sup>$j$</sup> 개의 서로 다른 주파수가 주파수 합성기에서 발생한다. 본 연구는 FH 방식에서 OFDM 매 심볼당 한 번 도약하는

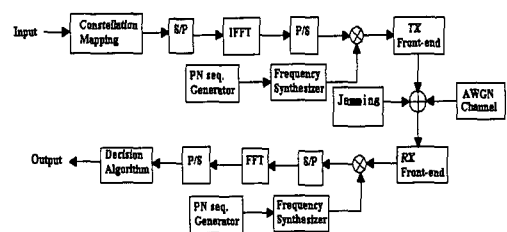


그림 1. OFDM/SFH 통신 시스템의 블록도  
Fig. 1. Block diagram of OFDM/SFH communication system.

Slow FH 방식을 고려하였고, 따라서 정보 심볼 구간  $T_s$ 와 주파수 도약 구간  $T_h$ 는 서로 동일한 값을 갖는다. 따라서 송신된 신호  $s(t)$ 는 아래와 같은 수식으로 표현된다.

$$s(t) = x(t) \cdot g_T(t - NT) \cdot \cos(2\pi f_{FH} t + \theta) \quad (2)$$

여기서  $g_T$ 는 주기가  $NT$ 인 구형파이고,  $\theta$ 는 임의의 위상각이다. 위의 송신된 신호  $s(t)$ 가 additive white Gaussian noise(AWGN)와 jamming channel을 거친 신호  $r(t)$ 는 아래와 같다.

$$r(t) = s(t) + n(t) + j(t) \quad (3)$$

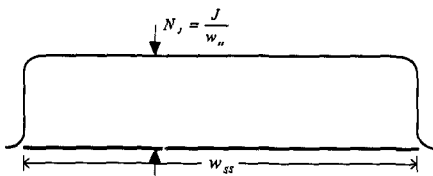
여기서  $n(t)$ 는 평균이 0인 가우시안 확률밀도 함수이며, 전력은  $\sigma_n^2$ 이다.  $j(t)$ 는 다음과 같은  $N_J$ 의 PSD(power spectral density)를 갖는 부분대역 재밍이다<sup>[6]</sup>.

$$JSR = N_J / E_s \quad (4)$$

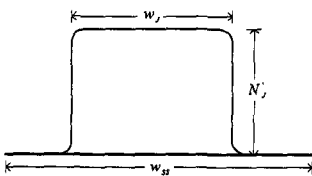
$$\rho = \frac{W_J}{W_{SS}} \leq 1 \quad (5)$$

$$N_J = \frac{N_J}{\rho} = \frac{J}{W_{SS}} \cdot \frac{W_{SS}}{W_J} = \frac{P_J}{W_J} \quad (6)$$

여기서  $E_s$ 는 심볼 에너지,  $N_J$ 는 재머의 PSD, JSR은 재밍과 신호의 전력비로서 예를 들어 JSR=0 dB이면 재밍과 신호의 전력이 동일함을 뜻한다.  $J$ 는 재머의



(a) 광대역  
(a) Broadband



(b) 부분대역  
(b) Partial-Band

그림 2. 부분대역 재밍 전력 스펙트럼  
Fig. 2. Power spectral of partial band jamming.

전력이며  $N_J$ 는 부분대역 재머의 PSD,  $W_J$ 는 재머의 대역이고,  $W_{SS}$ 는 전체 도약 대역이다.  $\rho$ 는 JFR (Jamming Fractional Ratio)이다. 톤 재밍일 경우는 아래와 같다<sup>[6]</sup>.

$$j(t) = \sqrt{\frac{2J}{N_T}} \sum_{i=1}^{N_T} \cos(2\pi f_i t + \theta) \quad (7)$$

여기서  $N_T$ 는 톤의 개수이며,  $f_i$ 는 톤 재머의 주파수이다.  $\theta$ 는 임의의 위상각이다.

### 2-2 OFDM/DS 시스템

OFDM/DS 시스템의 간단한 송수신 블록도는 그림 2와 같다. 맵핑(mapping)된 신호가 PN sequence generator에서 생성된 PN 시퀀스와 곱해진 후의 신호는 식 (8)과 같다.

$$X_k(t) = \sqrt{2P}c(t)d(t) \quad (8)$$

$$d(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k b(t - kT), \quad (9)$$

$$b(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad d(t) \in \{1, -1\}$$

$$c(t) = \sum_{i=0}^{2^j-1} c_i \cdot \psi(t - iT_c), \quad (10)$$

$$\psi(t) = \begin{cases} 1 & 0 \leq t < T_c \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases} \quad c(t) \in \{1, -1\}$$

여기서  $d(t)$ 는 주기가  $T$ 인 구형파 이진 데이터 신호이고, 식 (9)의  $c(t)$ 는  $2^j$ 개의 확산신호이다.  $\psi(t)$ 는 주기가  $T_c$ 인 구형파이다. 본 연구의 시뮬레이션에서는 MLSR(maximal length shift register)를 이용해서  $2^j - 1$ 개의 PN 시퀀스를 만든 후 마지막 칩을 반복하여  $2^j$ 개의 PN 시퀀스를 만들었다. 식 (8)은 앞의 복소수 기저대역 OFDM 신호인 식 (1)에 대입되어 OFDM

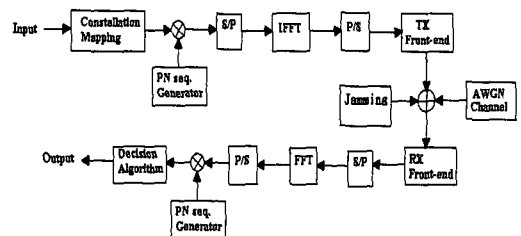


그림 3. OFDM/DS 통신 시스템의 블록도  
Fig. 3. Block diagram of OFDM/DS communication system.

변조를 한 후, 앞 절의 OFDM/SFH 시스템에서와 같이 AWGN과 Jamming 채널을 거치게 된다. 위의 OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템 모두 BPSK (binary phase shift keying) 변조방식을 사용하고 있으므로 AWGN에서의 두 시스템의 성능은 아래 식과 같은 BPSK의 이론적 에러확률과 일치한다.

$$z = \frac{A^2 T}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} \quad (11)$$

$$P_E = Q(\sqrt{2z}) \quad (12)$$

여기서  $A$ 는 신호의 진폭이고,  $T$ 는 주기,  $N_0$ 는 AWGN의 PSD,  $E_b$ 는 신호의 비트 에너지이다. 그리고 BPSK 변조방식이므로  $E_s$ 와  $E_b$ 는 같다.

아래의 식 (13)부터 식 (17)은 OFDM 방식이 적용되지 않은 SFH/BPSK 시스템이 AWGN과 부분대역 재밍채널을 거친 후의 에러확률을 나타낸 것이다<sup>[5]</sup>.

$$P_s = 2Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) - Q^2\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (13)$$

$$P_{SPJ} = 2Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0 + N_J}}\right) - Q^2\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0 + N_J}}\right) \quad (14)$$

식 (14)는 식 (6)에 의해 다시 아래와 같이 된다.

$$P_{SPJ} = 2Q\left[\left[\left(\frac{2E_b}{N_0}\right)^{-1} + \left(\frac{2\rho E_b}{N_J}\right)^{-1}\right]^{-1/2}\right] - Q^2\left[\left[\left(\frac{2E_b}{N_0}\right)^{-1} + \left(\frac{2\rho E_b}{N_J}\right)^{-1}\right]^{-1/2}\right] \quad (15)$$

$$P_E = \rho P_{SPJ} + (1 - \rho)P_s \quad (16)$$

위의 식 (13)과 식 (15)를 식 (16)에 대입하면 아래의 식 (17)과 같다.

$$P_E = \rho Q\left[\left[\left(\frac{2E_b}{N_0}\right)^{-1} + \left(\frac{2\rho E_b}{N_J}\right)^{-1}\right]^{-1/2}\right] + (1 - \rho)Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad (17)$$

식 (18)과 식 (19) 또한 OFDM 방식이 적용되지 않은 DS/BPSK 시스템이 AWGN과 단일 톤 재밍 채널을 거친 후의 에러확률을 나타낸 것이다<sup>[6]</sup>.

$$P_{DTJ} = Q\left(\frac{1}{\sqrt{NSR/2 + \sigma_{J,DS}^2}}\right) \quad (18)$$

$$\sigma_{J,DS}^2 = \frac{JSR}{2G_p} \sin^2(\Delta f T_c) \left\{ 1 + \frac{\cos[2\phi + (G_p - 1)2\pi\Delta f T_c] \sin(G_p 2\pi\Delta f T_c)}{G_p \sin(2\pi\Delta f T_c)} \right\} \quad (19)$$

여기서  $NSR$ 은 신호대 잡음비이며,  $G_p$ 는 DS 시스템의 처리이득이고,  $\Delta f$ 는 재밍 톤과 데이터 신호의 캐리어와의 주파수 편차이다. 그리고  $\phi$ 는 위상편차이다.

### III. 성능 분석

OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템을 동일한 정보량을 기준으로 부분대역 재밍과 톤 재밍에서의 성능을 시뮬레이션에 의해 비교 분석한다. 부분대역 재밍에서는 임의로 선택한 JFR(jamming fractional ratio)과 JSR(jamming to signal power ratio) 따른 BER 성능을 분석하며, 단일 톤 또는 다중 톤(16개)의 경우 위와 같이 JSR에 따른 BER 성능을 분석한다. 시뮬레이션에서 부분대역 재밍은 OFDM/SFH 시스템인 경우 hop bin 단위로 재머가 존재하도록 하여, 앞의 식 (6)에 의해  $\rho$  값을 4/16으로 재머대역의 크기를 임의로 선택하였다.  $\rho$  값 즉, JFR의 설정은 단지 톤 재밍과의 차이를 고려한 것이기 때문에 특정한 재밍채널을 가정한 것이 아니다. OFDM/DS 시스템인 경우에는 확산된 대역을 16개의 동일한 크기의 대역으로 나누어 OFDM/SFH 시스템과 같은 방법으로 재머가 존재하도록 하였다. 톤 재밍은 앞의 (7)과 같이 JSR에 따른 재머의 전력을 정현파에 실어 임의의 주파수에 재머가 존재하도록 하였는데, OFDM/SFH 시스템에서 단일 톤 재머는 첫 번째 hop bin에 존재하도록 하였으며, 다중 톤(16개)일 경우에는 hop bin마다

표 1. 시스템 파라미터  
Table 1. System Parameters.

OFDM/SFH의 시스템	OFDM/DS의 시스템
Band Width: 17 Hz	Band Width: 17 Hz
sub-carrier 수: $N=16$	sub-carrier 수: $N=16$
변조 방식: BPSK	변조 방식: BPSK
hop bin 수: 16개	Chip의 수: 16개

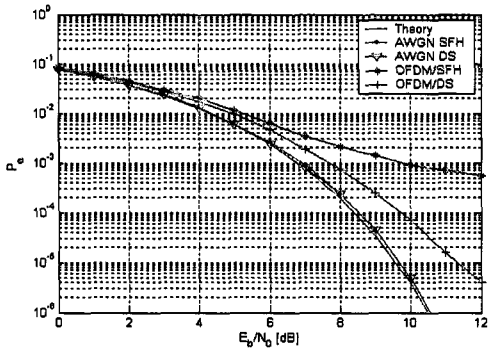


그림 4. 부분대역 재밍 BER(JSR=0 dB, JFR=4/16)  
Fig. 4. BER of Partial band jamming(JSR=0 dB, JFR=4/16).

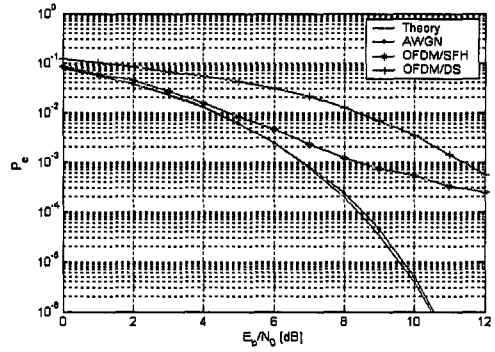


그림 6. 단일 톤 재밍 BER(JSR=5 dB)  
Fig. 6. BER of Single tone jamming(JSR=5 dB).

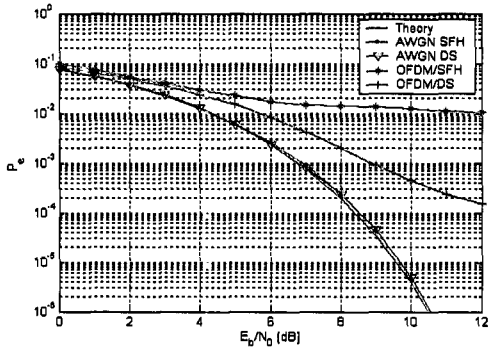


그림 5. 부분대역 재밍 BER(JSR=5 dB, JFR=4/16)  
Fig. 5. BER of Partial band jamming(JSR=5 dB, JFR=4/16).

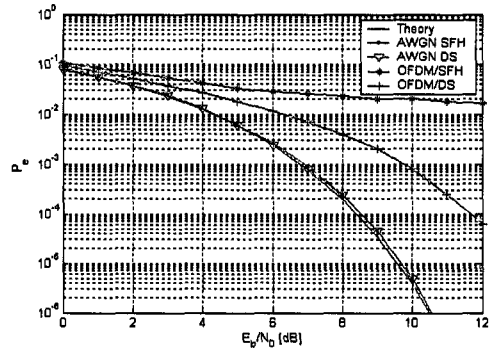


그림 7. 다중 톤 재밍 BER(JSR=5 dB)  
Fig. 7. BER of Multi tone jamming(JSR=5 dB).

하나씩 존재하도록 하였다. OFDM/DS 시스템인 경우에는 앞의 부분대역 재밍에서와 같이 대역을 16개로 나누어 단일 톤일 때는 가장 앞의 대역에 존재하도록 하였고, 다중 톤은 나눈 대역마다 하나씩 톤 재밍이 존재하도록 하였다.

그림 4와 그림 5는 JFR이 4/16인 부분대역 재밍일 때 OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템의 BER이다. 그림에서 알 수 있듯이 JSR이 0 dB 즉, 신호전력과 재밍전력이 동일한 상황임에도 OFDM/SFH 시스템이 OFDM/DS 시스템보다 성능저하가 크게 나타남을 볼 수 있다. 여기서 AWGN에서의 OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템의 BER이 이론치 즉, BPSK 변조를 하는 일반 OFDM 시스템의 AWGN 채널에서 BER과 일치함을 확인할 수 있다.

그림 5와 그림 6은 JSR이 5 dB인 단일 톤과 다중

톤 재밍에서의 OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템의 BER이다. 그림 5에서 보면 단일 톤 재밍일 때 OFDM/SFH 시스템이 OFDM/DS 시스템보다 성능이 좋음을 볼 수 있다. 이것은 임의의 한 주파수에만 재밍이 존재하므로 위의 결과와 같이 대역 확산(DS) 방식보다는 주파수 도약(FH)을 하여 재밍을 피하는 방식이 유리하기 때문이다. 반면 다중 톤에서는 단일 톤과는 반대로 OFDM/SFH 시스템보다 OFDM/DS 시스템의 성능이 더 좋게 나왔다. 이것은 OFDM/SFH 시스템의 경우 홉 빈(hop bin)마다 톤 재밍이 하나씩 존재하도록 하였기 때문인데, 비록 톤 재밍의 전력이 1/16로 낮아졌어도 주파수 도약(FH)로 재밍을 피하지 못했기 때문에 성능이 더 나쁘게 나온 것이다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 기존 연구들에서 논의되지 않은 OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템의 재밍에 대한 성능분석을 하였다. 시뮬레이션은 동일 정보량으로 동일 대역내에서 동일한 PG(processing gain)으로 실행하였으며, 부분대역 재밍은 0 dB와 5 dB의 JSR과 4/16의 JFR에서의 OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템의 BER 성능을 평가하였다. 여기서 JFR이 4/16인 것은 어떤 특정한 재밍 채널은 아니고, 단지 톤 재밍과의 비교를 위해 임의로 선택한 것이다. 톤 재밍에서는 부분대역 재밍과 비교를 하기 위해 5 dB의 JSR로 부분대역 재밍과 동일하게 하였으며, JFR 대신 톤의 수를 늘려 비교하였다. 시뮬레이션 결과, 부분대역 재밍에서는 OFDM/SFH 시스템보다 OFDM/DS 시스템의 성능이 더 우수하게 나타났으며, 톤 재밍에서는 단일 톤일 때 OFDM/SFH 시스템이 우수하게 나타났다. 다중 톤일 경우에는 OFDM/SFH 시스템의 성능이 더 나쁘게 나왔지만, 홉 빈(hop bin)마다 톤 재밍이 하나씩 존재하도록 시뮬레이션을 하였으므로 OFDM/SFH 시스템의 성능이 더 나쁘다고 할 수 없다. 위의 결과로 OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템은 재밍의 특성에 따라 성능이 다르게 나타남을 알 수 있다. 본 연구에서의 이러한 OFDM/SFH 시스템과 OFDM/DS 시스템의 재밍에 대한 특성 분석은 항재밍에 있어 재밍의 특성에 따른 시스템을 선택하는데 유용하게 쓰일 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

[1] Elena Costa, Silvano Pupolin, "M-QAM-OFDM System Performance in the Presence of A Nonlinear Amplifier and Phase Noise", *IEEE Transactions on*

*Communications*, vol. 50, no. 3, Mar. 2002.  
 [2] Masasshi Nanbu, Tadimitsu Iritani and Takahiro Oie, "GHz Band Fast Hopping PLL Synthesizer", *Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, PIMRC'96, Seventh IEEE International Symposium on*, vol. 1, pp. 223-227, Oct. 1996.  
 [3] W. A. Krzymien, L. Tomba, "Reverse link performance of a coded OFDM/SFH-CDMA transmission scheme", *Signal Processing Advances in Wireless Communications, 1997 First IEEE Signal Processing Workshop on*, pp. 241-244, Apr. 1997.  
 [4] S. De Fina, "Comparison of FH-MA communications using OFDM and DS-MA systems for wideband radio access", *Universal Personal Communications, 1998. ICUPC98, IEEE 1998 International Conference on*, vol. 1, pp. 143-147, Oct. 1998.  
 [5] Marvin K. Simon, Jim K. Omura, Robert A. Scholtz and Barry K. Levitt, *Spread Spectrum Communications Handbook*, Revised ed. New York: McGraw-Hill, 1994.  
 [6] J. H. Lee, B. S. Yu and S. C. Lee, "Probability of Error for a Hybrid DS/SFH Spread-spectrum System under Tone Jamming", *Military Communications Conference, 1989. MILCOM89. Conference Record, A New Era. 1990 IEEE*, vol. 1, pp. 410-414, Oct. 1990.  
 [7] Y. S. Lee, H. G. Ryu, "Characteristics of Frequency Synthesizer in the OFDM/FH Communication System", *The Journal of Korea Electromagnetic Engineering Society*, vol. 14, no. 6, pp. 543-549, 1226-3133, Jun. 2003.

### 박 종 현



2003년 2월: 충북대학교 전자공학과 (공학사)  
 2003년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정  
 [주 관심분야] OFDM 통신시스템, DSP 통신신호처리, 확산 스펙트럼 시스템 등

### 김 상 우



2003년 2월: 한밭대학교 전자공학과 (공학사)  
 2003년 3월~현재: 충북대학교 전자공학과 석사과정  
 [주 관심분야] OFDM 통신시스템, UWB 통신 및 무선 LAN 등

유 흥 균



1988년~현재: 충북대학교 전자공학과 정교수  
2002년 3월~현재: 충북대학교 컴퓨터정보통신연구소 소장  
[주 관심분야] 디지털 통신 공학, 이동/위성 통신 시스템, 통신 회로 설계 및 통신 신호 처리

이 상 태



1977년 2월: 아주대학교 전자공학 (공학사)  
1992년 8월: 전북대학교 전자 및 통신공학 (공학석사)  
1998년 2월: 전북대학교 전자 및 통신공학 (공학박사)  
1981년~1985년: 국제상사 컴퓨터 사업본부  
1985년 12월~현재: 한국표준과학연구원 정보전산그룹 그룹장  
[주 관심분야] Network Traffic 제어, 원격측정 등