

# 페이딩과 멀티톤 재밍하에서 시간 다이버시티를 이용한 FH /MFSK 시스템의 성능 분석

正會員 吳 榮 錫\* 正會員 趙 炯 來\* 正會員 洪 大 植\* 正會員 康 昌 彦\*

## Performance Analysis of FH /MFSK Systems with Fading and Multitone Jamming using Time Diversity

Young Seok OH\*, Hyoung Rae CHO\*, Dae Sik HONG\*, Chang Eon KANG\* *Regular Members*

### 要 約

본 논문은 레일리 페이딩과 최악의 재밍 환경인 대역 멀티톤 재밍의 영향으로 인해 저하된 FH /MFSK 시스템의 성능을 개선하고자 전송 심볼을 L번 반복 전송하는 시간 다이버시티 기법을 적용시킨 것으로 성능 저하 요인이 시스템에 미치는 효과와 시간 다이버시티를 적용한 시스템의 성능을 분석하기 위해 각각에 대한 비트 오류 확률을 유도해 보았다.

비트 오류 확률을 유도한 결과 페이딩과 대역 멀티톤 재밍하에서 시간 다이버시티를 이용한 FH /MFSK 시스템의 비트 오류 확률은 간단한 Beta 함수 형태로 유도됨을 알 수 있었으며 유도된 비트 오류 확률을 이용하여 페이딩과 재밍 중 하나만 영향을 받을 경우 시간 다이버시티를 이용하면 약 18 dB 이상의 성능을 개선시킴으로서 저하된 성능을 완전 보상할 수 있었으며 두가지 모두 영향을 받을 경우 시간 다이버시티를 이용하면 약 4 dB 이상의 성능을 개선시킬 수 있음을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

In this paper, the performance of frequency-hopped(FH) M-ary frequency shift keyed(MFSK) systems is analyzed with the fading channel and the multitone jamming.

In general, the performance degradation of FH /MFSK systems is due to the Rayleigh fading and the multitone jamming environment. In order to improve the system performance, the time diversity is used.

When the time diversity is applied to the Rayleigh fading and the multitone jamming, we get around 18 dB and 19 dB improvements, respectively. And when it is applied to both the Rayleigh fading and the multitone jamming, we get around 4 dB improvement.

\*延世大學校 電子工學科  
Dept. of Electronics, Yonsei University,  
論文番號 : 92-28 (接受1991. 12. 11)

### I. 서 론

대역 확산 통신방식은 1950년대 중반 이후 연구가 계속되어, 초기에는 시스템의 구성에 사용되는 하드

웨어의 성능이 우수하지 못하고 가격이 비싸서 그 사용 범위가 군사통신, 시스템의 보호기능 등 특히 일부에 적용되어 왔으나 근래에와서 반도체 기술등의 발달로 디지털 통신이 널리 보급됨에 따라 대역 확산 통신 방식에 대한 연구가 급증하여 군사통신뿐만 아니라 이동통신, 위성통신, 부호 분할 다중 접근(CDMA : code division multiple access) 및 고정밀 거리 측정에까지 그 응용분야가 넓어지고 있으며, 유선 통신에까지 그 영역이 확대되고 있다<sup>(1)</sup>.

대역 확산 통신은 전송 신호의 대역폭이 데이터 신호의 대역폭보다 훨씬 넓은 주파수 대역폭으로 통신하는 방식으로 데이터 신호의 대역 확산은 데이터 신호와는 독립적인 확산 신호로서 이루어지며 확산 신호에 동기된 신호로써만 원래 데이터 신호의 복원이 이루어지며 그 종류에는 대역을 확산하는 방식에 따라 직접 시퀀스 확산 대역, 주파수 도약 대역 확산, 시간 도약 대역 확산 그리고 하이브리드 대역 확산 방식이 있다<sup>(1,2)</sup>.

이러한 대역 확산 통신 시스템은 페이딩의 영향을 받을 시 성능의 감소를 가져오며<sup>(3,4)</sup>, 의도적인 방해 신호라 할 수 있는 재밍 신호에 의해 큰 성능 감소를 가져온다<sup>(2,6)</sup>. 특히 주파수 도약 대역 확산(frequency-hopped spread spectrum) 시스템에는 대역 멀티톤 재밍이 최악의 재밍 환경으로 주된 간섭요인이 된다<sup>(7,8)</sup>. 또한 페이딩 채널 환경하에서 주파수 도약 대역 확산 시스템에 MFSK 변조방식을 사용함으로써 스펙트럼 효율을 극대화시킬 수 있다<sup>(5)</sup>.

이러한 페이딩과 멀티톤 재밍이 있는 채널을 극복할 수 있는 방법중 하나가 다이버시티이다. 다이버시티 방법에는 시간 다이버시티, 주파수 다이버시티, 공간 다이버시티 및 편향 다이버시티가 있다. 이 중 시간 다이버시티는 데이터의 전송을 긴 시간동안 확산시키는 방법이다.

본 논문에서는 주파수 도약 대역 확산 시스템에 MFSK(multilevel frequency shift keying) 변조방식을 이용한 FH / MFSK 시스템의 성능을 분석하였다. 시스템의 채널은 균일한 레일리 페이딩의 영향을 받고 있으며 최악의 재밍 환경이라 할 수 있는 대역 멀티톤 재밍(band multitone jamming) 신호의 영향을 받을시 그와 같은 환경으로 인한 시스템의 성능 차이를 분석하고, 이러한 환경하에서 시스템의 성능을 향상키 위해 사용한 전송 심볼을 L번 반복 전송하는 시간 다이버시티(time diversity) 기법에 따른 비

트 오류 확률(bit-error probability)을 유도하여 그에 따른 성능을 분석하였다.

본 논문의 구성은 2 장에서는 대역 확산 통신방식을 이용한 FH / MFSK 시스템과 최악의 영향을 미치는 대역 멀티톤 재밍 신호가 시스템 성능에 미치는 영향에 대하여 기술하였으며, 3 장에서는 페이딩 채널하에서 시스템에 다이버시티 기법을 적용시켜 페이딩과 최악의 경우 대역 멀티톤 재밍의 영향을 받는 시스템의 성능을 세가지 상황으로 분류하여 각각에 대한 비트 오류 확률을 유도하여 분석하였다. 4 장에서는 3 장에서 유도한 비트 오류 확률을 이용하여 유도식의 변수를 변화시키면서 성능 곡선을 유도함으로써 시스템의 성능을 분석해 보았다. 5 장에서는 성능 분석에 따른 결론을 맺었다.

## II. FH / MFSK 시스템 개요

그림 1은 페이딩과 재밍의 영향을 받고 있는 FH / MFSK 시스템의 송수신 구성도이다. 전송 주파수는 주파수 도약기(frequency hopper)에서  $R_H$ 의 도약율을 가지고 도약하며 각 도약에서 M개의 가능한 연속적인 톤중 하나를 보낸다. 각 톤이 직각이되기 위해 각 톤은  $R_H$  Hz의 대역을 갖게 된다. 따라서 총 가능 FH 슬롯은  $N_t = W / R_H$ 개가 된다. 이 시스템에서 재밍 톤 전력  $S_j$ 와 송신 신호의 전력  $S$ 의 관계를

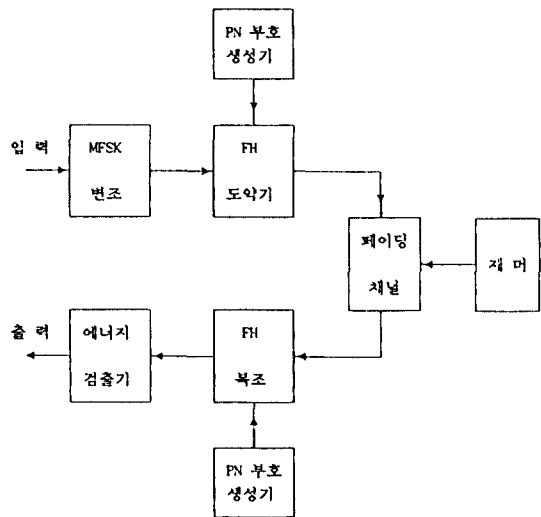


그림. 1 FH / MFSK 시스템  
Fig. 1 FH / MFSK System.

$\hat{S} = S/a$ 로 정의한다.

총 재밍 전력을  $J$ 를 갖는 재밍에 의해 가능 FH 슬롯이 방해되는 부분, 즉  $\rho$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다<sup>(2)</sup>

$$\rho = \frac{W_j}{W} = \frac{J/S}{W/R_H} \quad (1)$$

도약 에너지 대 잡음비는 다음 식과 같다.

$$E_H / N_0 = \frac{S/R_H}{J/W} = K\lambda_b \quad (2)$$

여기서,  $\lambda_b$ 는 비트 에너지 대 잡음비이며,  $K$ 는 한 주파수에 전송되는 비트 수이다.

FH/MFSK 시스템에서 실제로 주어진  $M$ ary 대역내에서 어느 심분이 재밍될 확률  $\mu$ 는 다음과 같이 쓸 수 있다<sup>(6)</sup>.

$$\mu = (Q/n)\rho = \frac{aM}{n\lambda_b K} \quad (3)$$

여기서  $\alpha = e\lambda_b K$ 이다.

$n=1$ 일 경우에 최악의 재밍 환경이 되며 오류는  $a < 1$ 인 상태에서 데이터 심분이 재밍되지 않고 다른 심분이 재밍 신호에 의해 재밍될 경우 발생된다.

이러한 발생 경우에 의해 심분 오류 확률( $P_s$ )은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_s = \frac{M-1}{M} \mu \quad (4)$$

따라서 비트 오류 확률( $P_b$ )은 심분 오류 확률과의 관계식에 의해 다음 식 (5)와 같이 쓸 수 있다<sup>(6)</sup>.

$$\begin{aligned} P_b &= \frac{M}{2(M-1)} P_s \\ &= \frac{1}{2} \mu = \frac{aM}{2K\lambda_b} \end{aligned} \quad (5)$$

### III. 다이버시티를 이용한 FH/MFSK 시스템의 비트 오류 확률

시스템의 채널이 페이딩의 영향을 받을 경우 전송 심분을  $L$ 번 반복 전송하는 다이버시티 기법을 적용

하면 송신 신호의 진폭은 다음과 같은 레일리 분포를 갖는다.

레일리 분포를 갖는 진폭  $A$ 의 확률 밀도 함수(pdf)는 다음과 같이 쓸 수 있다<sup>(7,8)</sup>.

$$P_A(a) = \frac{a}{\sigma^2} \exp\left[-\frac{a}{2\sigma^2}\right] \quad (6)$$

또한  $a^2$ 을  $\gamma$ 로 대체하고 다이버시티 기법을 적용하면 누적 분포 함수(cdf)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$F_\gamma(\gamma) = \left[1 - \exp\left[-\frac{\gamma}{2\sigma^2}\right]\right]^L \quad (7)$$

2 상에서 알아본 바와 같이 최악의 재밍 환경이라 할 수 있는 대역 멀티톤 재밍의 영향을 받고 있을 경우 FH/MFSK 시스템의 비트 오류 확률과 식 (6), (7)을 이용하여 채널이 레일리 페이딩과 대역 멀티톤 재밍의 영향을 받을 경우 시스템에 시간 다이버시티를 적용시 시스템의 성능을 분석하기 위해 세가지 상황을 설정하여 각각에 대한 비트 오류 확률을 유도했다.

#### 1. 페이딩의 영향을 받을 경우

시스템이 페이딩의 영향을 받고 있을 경우, 대역 멀티톤 재밍의 영향을 받을 경우와 비교하기 위하여 AWGN(additive white gaussian noise) 대신 그 특성과 유사한 광대역 재밍(broadband jamming) 환경을 가정하였다. 이때 수신단에서의 수신 신호는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} r_m(t) &= \sqrt{2}S \cos(\omega_c t \phi) + n_j(t) \\ &\quad : \text{데이터 신호와 재밍 신호가} \\ &\quad \text{동시에 존재} \\ n_j(t) &: \text{재밍 신호만 존재} \end{aligned} \quad (8)$$

시스템의 채널이 레일리 페이딩의 영향을 받으며 광대역 재밍 영향하에서 시스템에 다이버시티 기법을 적용하면, 에너지 검출단에서 결정 변수(decision variables)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$U_m = \sum_{i=1}^L a_i^2 S \quad U_m \sum_{i=1}^L N_i \quad m=2,3,\dots,M \quad (9)$$

여기서  $a_i$ 는 i.i.d. 레일리 변수이고,  $N_i$ 는 재밍 전력의

광대역 재밍 신호의 확률 밀도 함수(probability density function : pdf)는 가우시안 분포를 갖는 확률 밀도 함수로 가정하며, 그에 따라 재밍 신호는 시스템에 독립적으로 작용하기 때문에 결정 변수  $U_1$ 에 대해 결합 확률  $P(U_2 < U_1, U_3 < U_1, U_M < U_1)$ 은  $[P(U_2 < U_1)]^{M-1}$ 과 같게 된다.

그래서 결정 변수  $U_m$ 은 아래와 같은 확률 밀도 함수를 갖는 chi-square 분포로 나타낼 수 있다<sup>(6,9)</sup>.

$$P(U_m) = \frac{1}{(2\sigma^2)^L (L-1)!} U_m^{L-1} \exp\left[-\frac{U_m}{2\sigma^2}\right] \quad (10)$$

이러한 확률 밀도 함수를 가지고  $P(U_2 < U_1)$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P(U_2 < U_1) &= \int_0^{U_1} P(U_2) dU_2 \\ &= \int_0^{U_1} \frac{1}{(2\sigma^2)^L (L-1)!} U_2^{L-1} \exp\left[-\frac{U_2}{2\sigma^2}\right] dU_2 \\ &= 1 - \exp\left[-\frac{U_1}{2\sigma^2}\right] \sum_{k=0}^{L-1} \frac{(U_1/2\sigma^2)^k}{k!} \end{aligned} \quad (11)$$

식 (11)은 송신단에서 신호 1을 보냈을시 옳게 판정할 확률과 같으며 그 식을 이용하여 심볼 오류 확률  $P_s$  식은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_s &= 1 - \int_0^\infty \frac{1}{(2\sigma^2)^L (L-1)!} U_1^{L-1} \exp\left[-\frac{U_1}{2\sigma^2}\right] \\ &\quad \times \left[1 - \exp\left[-\frac{U_1}{2\sigma^2}\right] \sum_{k=0}^{L-1} \frac{(U_1/2\sigma^2)^k}{k!}\right]^{M-1} dU_1 \\ &= 1 - \int_0^\infty [P(U_2 < U_1 | U_1 = U_1)]^{M-1} P(U_1) dU_1 \\ &= 1 - \int_0^\infty \frac{1}{(1+\lambda_H)^L (L-1)!} U_1^{L-1} \exp\left[-\frac{U_1}{1+\lambda_H}\right] \\ &\quad \times \left[1 - \exp[-U_1] \sum_{k=0}^{L-1} \frac{U_1^k}{k!}\right]^{M-1} dU_1 \end{aligned} \quad (12)$$

식 (12)에서  $\left[\sum_{k=0}^{L-1} \frac{U_1^k}{k!}\right]^m = \sum_{k=0}^{m(L-1)} \beta_{km} U_1^k$ 라 정의하

고  $\lambda_H$ 를  $K\lambda_b/L$ 로 대치하면, (12)식을 다음과 같이 줄일 수 있다.

$$\begin{aligned} P_s &= \frac{1}{(L-1)!} \sum_{m=1}^{M-1} \frac{(-1)^{m+1} \binom{M-1}{m}}{(1+m+mK\lambda_b/L)^L} \\ &\quad \times \sum_{k=0}^{m(L-1)} \beta_{km} (L-1+k)! \left[\frac{1+K\lambda_b/L}{1+m+mK\lambda_b/L}\right]^k \end{aligned} \quad (13)$$

식 (13)를 이용하여 다음과 같은 비트 오류 확률을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_b &= \frac{M}{2(M-1)} \frac{1}{(L-1)!} \sum_{m=1}^{M-1} \frac{(-1)^{m+1} \binom{M-1}{m}}{(1+m+mK\lambda_b/L)^L} \\ &\quad \times \sum_{k=0}^{m(L-1)} \beta_{km} (L-1+k)! \left[\frac{1+K\lambda_b/L}{1+m+mK\lambda_b/L}\right]^k \end{aligned} \quad (14)$$

## 2. 최악의 멀티톤 재밍 영향만 받을 경우

제 2 장에서 보인 바와 같이  $\hat{S} = S/a$ 의 전력을 갖는 재밍 톤은 M-ary 대역을 확률  $\mu$ 로 재밍한다. 식 (3)과 같은 확률  $\mu$ 에 다이버시티를 적용시키면 확률은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mu = \frac{aLM}{K\lambda_b} \quad (15)$$

그에 따라 심볼 전송률  $R_s = LR_b/K$ 와 같게 된다.

채널이 페이딩의 영향을 받고 있지 않을 경우,  $n=1$  대역 멀티톤 재밍의 영향을 받을때  $K$ 를 1로 하여 비트 오류 확률을 유도하였다.

다이버시티 기법을 이용한 시스템의 오류가 발생할 경우는  $L$ 번 반복 전송간 전송되지 않은 심볼이 재밍되고  $a < 1$  조건이 만족될 때이다. 따라서 식 (5)를 이용하여 다이버시티 기법을 이용한 시스템의 비트 오류 확률을 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$P_b = \begin{cases} \left[\frac{L}{\lambda_b}\right]^L & : \lambda_b \geq 2L \\ 2^L & : \lambda_b < 2L \end{cases} \quad (16)$$

## 3. 페이딩과 대역 멀티톤 재밍 모두 영향을 받을 경우

레이리 페이딩과 최악의 재밍 환경이라 할 수 있는  $n=1$ 인 대역 멀티톤 재밍 모두 영향을 받을 경우, 시스템에 다이버시티 기법을 적용하면 에너지 검출단에서 결정 변수(decision variables)는 다음 (17)식

과 같다. 이때 감성 변수  $U_m$ 은 재밍 신호의 전력이 열잡음과 첨가 잡음에 비해 훨씬 크므로 열 잡음과 첨가 잡음의 영향은 무시한다.

$$U_1 = \sum_{i=1}^L a^2 S \quad U_m = \sum_{i=1}^L b^2 \hat{S} \quad m=2,3,\dots,M \quad (17)$$

또한 레일리 변수  $a$ 와  $b$ 의 확률 밀도 함수와 누적 분포 함수는 식 (6),(7)과 같다<sup>10)</sup>.

이러한 식과 페이딩 채널하에서 2장에서 유도한 식 (4)를 이용하여 페이딩과 대역 멀티톤 재밍하에서의 심분 확률  $\mu$ 에 대한 조건 확률로 나타낼 수 있다.

$$P_s(\mu) = \frac{M-1}{M} \mu L! \prod_{i=1}^L \frac{1}{(\log_2 M \mu \lambda_b / M + i)} \quad (18)$$

위 식에서  $P_r(\gamma S \leq \hat{\beta} \hat{S})$ 는 다음 식과 같이 쓸 수 있다.

$$P_r(\gamma S \leq \hat{\beta} \hat{S}) = \int_0^{\gamma} P_r(\gamma S < \beta S / \hat{S} | \beta) P(\beta) d\beta \quad (19)$$

식 (1),(2)와 (3)으로부터 신호 전력  $S$ 는  $R_b \lambda_{b/W}$ 가 되고 재밍톤 전력  $\hat{S}$ 는  $JMR_b / KW \mu$ 가 됨을 알 수 있으며 이 관계식에 따라  $S / \hat{S}$ 는  $K \mu \lambda_b / K$  식으로 나타낼 수 있다. 이  $S / \hat{S}$ 와 식 (7)을 식(19)에 대입하면 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_r(\gamma S \leq \hat{\beta} \hat{S}) &= \int_0^{\gamma} \left[ 1 - \exp \left[ -\frac{\beta \hat{S} / S}{2\sigma^2} \right] \right]^L P(\beta) d\beta \\ &= \int_0^{\gamma} \left[ 1 - \exp \left[ -\frac{\beta \hat{S} / S}{2\sigma^2} \right] \right]^L \frac{1}{2\sigma^2} \exp \left[ -\frac{\beta}{2\sigma^2} \right] d\beta \end{aligned} \quad (20)$$

위 식 (20)에서  $\exp(-\beta S / \hat{S} / 2\sigma^2)$ 를 변수  $x$ 로 대치하면, 다음 식 (21a)과 같은 Beta 함수 형태로 나타나며 그 식으로 (21b)식을 얻을 수 있다<sup>10)</sup>.

$$\begin{aligned} P_r(\gamma S \leq \hat{\beta} \hat{S}) &= \frac{S}{\hat{S}} \int_0^1 x^{S/\hat{S}-1} (1-x)^L dx \\ &= \frac{S}{\hat{S}} B(S/\hat{S}, L+1) \\ &= \frac{S}{\hat{S}} \frac{L!}{S/\hat{S}(S/\hat{S}+1)(S/\hat{S}+2)\dots(S/\hat{S}+L)} \end{aligned} \quad (21a)$$

$$= L! \prod_{i=1}^L \frac{1}{(S/\hat{S}+i)} \quad (21b)$$

식 (19)에 식 (21b)을 대입하고  $S / \hat{S}$ 를  $\log_2 M \mu \lambda_b / M$ 으로 대치하면 심분 오류 확률은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_s(\mu) = \frac{M-1}{M} \mu L! \prod_{i=1}^L \frac{1}{(\log_2 M \mu \lambda_b / M + i)} \quad (22)$$

$$\text{여기서 } \lambda_b = \frac{1}{\log_2 M} \frac{S/R_b}{J/W}$$

식 (22)을 이용하여 다음과 같은 비트 오류 확률식을 유도할 수 있다.

$$P_b = \frac{1}{2} \mu L! \prod_{i=1}^L \frac{1}{(\log_2 M \mu \lambda_b / M + i)} \quad (23)$$

#### IV. 성능 분석 및 고찰

3 장에서 유도한 비트 오류 확률을 보면 시스템의 비트 오류 확률은 평균 신호 에너지 대 재밍 잡음비인 SJB, 심분 비트수 K, 실제적으로 M-ary 대역에서 재밍되는 확률  $\mu$ 와 다이비시터 L값으로 결정됨을 알 수 있다.

3 장 각절에서 유도한 비트 오류 확률을 가지고 평균 SJB, K,  $\mu$ , L을 변수로 하여 컴퓨터를 이용하여 균일한 레일리 페이딩이 채널에 영향을 미친 경우, 재밍 신호만이 영향을 미친 경우, 두가지 모두가 시스템에 영향을 미친 경우 등 세가지로 나누어 시스템의 성능을 분석하고 다이비시터들 각각에 대해 적용하여 다이비시터가 시스템의 성능에 미치는 효과를 분석하였다.

첫째, 시스템이 페이딩의 영향만을 받을 경우 그림 2와 그림 3에서 알 수 있듯이 심분 비트수 K값을 증가시키면 약 2 dB 이상의 성능을 향상시킬 수 있음을 알 수 있으며 다이비시터 기법을 적용시키면 약 18 dB 이상의 성능 향상을 얻을 수 있었다.

둘째, 시스템이 페이딩의 영향을 받고 있지 않고 대역 멀티톤 재밍의 영향만 받고 있을 경우 그림 4와 그림 5에서 알 수 있듯이 심분 비트수 K값의 증가는 첫째의 경우와는 달리 오히려 시스템의 성능을 저하시킬 수 있었으며 다이비시터 기법을 적용시키

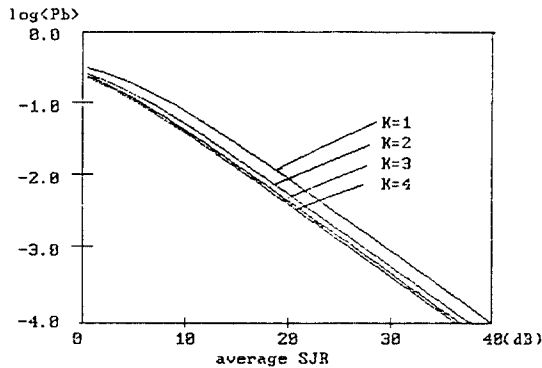


그림. 2 페이딩과 광대역 재밍의 영향을 받을시 성능곡선 (K=1, 2, 3, 4 bits, 시간 다이버시티 적용치 않음)  
 Fig. 2 Performance Curves with the Fading and Broadband Noise Jamming. (K=1, 2, 3, 4 bits, Not using Time Diversity).

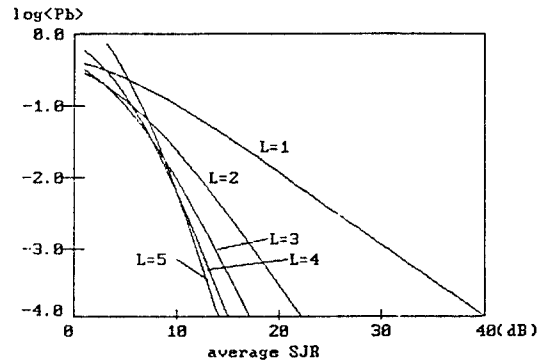


그림. 3 페이딩과 광대역 재밍의 영향을 받을시 성능곡선 (L=2, 3, 4, 5 시간 다이버시티 적용)  
 Fig. 3 Performance Curves with the Fading and Broadband Noise Jamming. (L=2, 3, 4, 5 Using Time Diversity).

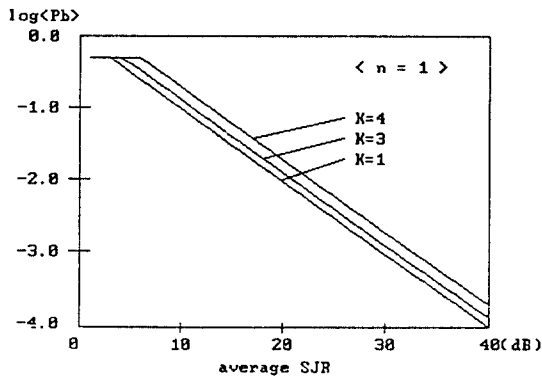


그림. 4 대역 멀티톤 재밍의 영향만 받을 시 성능 곡선 (K=1, 2, 3, 4 bits, 시간 다이버시티 적용치 않음)  
 Fig. 4 Performance Curves with the Band Multitone Jamming. (K=1, 2, 3, 4 bits, Not using Time Diversity).

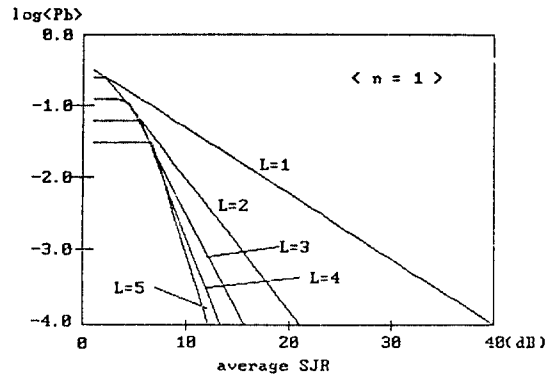


그림. 5 대역 멀티톤 재밍의 영향만 받을 시 성능 곡선 (L=2, 3, 4, 5 시간 다이버시티 적용)  
 Fig. 5 Performance Curves with the Band Multitone Jamming. (L=2, 3, 4, 5 Using Time Diversity).

면 첫째 경우와 마찬가지로 약 19 dB 이상의 성능 향상을 얻을 수 있었다.

셋째, 시스템이 페이딩과 대역 멀티톤 재밍 모두 영향을 받을 경우 그림 6과 그림 7에서 알 수 있듯이 심분 비트수 K값을 증가시키면 둘째의 경우와 마찬가지로 재밍의 영향이 커서 시스템의 성능은 저하되며 다이버시티 기법을 적용시키면 4 dB 이상의 성능 향상을 얻을 수 있었다.

따라서 FH /MFSK 시스템이 페이딩과 대역 멀티톤 재밍의 영향을 받을 경우 페이딩의 영향만 받을

경우 저하된 성능은 전송 심분 수 K값을 증가시켜 개선시킬 수 있었으며 전송 심분율 L번 반복시키는 다이버시티 기법을 이용함으로써 저하된 시스템의 성능을 완전 보상할 수 있었으며 재밍의 영향을 받을 경우 K값의 증가는 오히려 성능을 저하시키는 요인이 되며 시간 다이버시티를 이용함으로써 재밍의 영향만 받을 경우는 저하된 시스템의 성능을 완전하게 보상할 수 있었으며 페이딩과 재밍 모두 영향을 받을 경우 약 4 dB의 성능을 개선시킬 수 있었다.

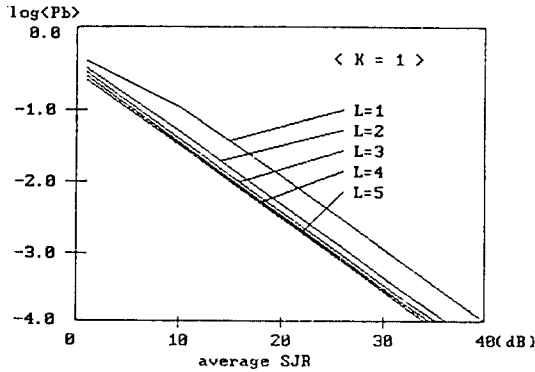


그림. 6 페이딩과 대역 멀티톤 재밍 모두 영향을 받을 시 성능 곡선  
(K=1 bit, L=2,3,4,5 시간 다이버시티 적용)  
Fig. 6 Performance Curves with the Fading and Band Multitone Jamming.  
(K=1 bit, L=2,3,4,5 Using Time Diversity).

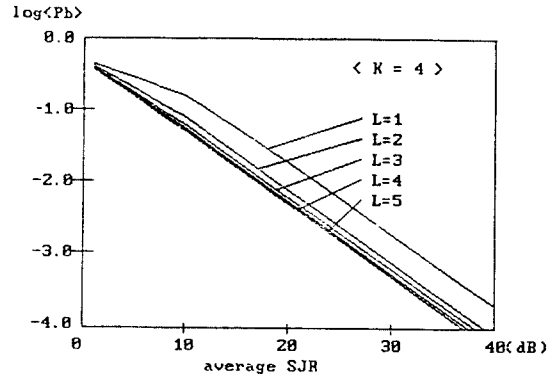


그림. 7 페이딩과 대역 멀티톤 재밍 모두 영향을 받을 시 성능 곡선  
(K=4 bits, L=2,3,4,5 시간 다이버시티 적용)  
Fig. 7 Performance Curves with the Fading and Band Multitone Jamming.  
(K=4 bits, L=2,3,4,5 Using Time Diversity).

### V. 결 론

본 논문은 레일리 페이딩과 최악의 재밍 환경인 대역 멀티톤 재밍의 영향으로 인해 저하된 FH/MFSK 시스템의 성능을 개선하고자 전송 심볼을 L번 반복 전송하는 시간 다이버시티 기법을 이용한 것으로 성능 저하 요인이 시스템에 미치는 효과와 시간 다이버시티를 적용한 시스템의 성능을 분석하기 위해 각각에 대한 비트 오류 확률을 유도해 보았다.

비트 오류 확률을 유도한 결과 페이딩과 대역 멀티톤 재밍하에서 시간 다이버시티를 이용한 시스템의 비트 오류 확률은 간단한 Beta 함수 형태로 유도됨을 알 수 있었으며 유도된 비트 오류 확률을 이용하여 페이딩과 재밍 중 하나만 영향을 받을 경우 시간 다이버시티를 이용하면 약 18 dB 이상의 성능을 개선 시킬 것으로서 저하된 성능을 완전 보상할 수 있었으며 두가지 모두 영향을 받을 경우 시간 다이버시티를 이용하면 약 4 dB 이상의 성능을 개선시킬 수 있음을 알 수 있었다.

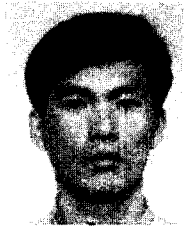
앞으로 본 논문을 바탕으로 페이딩과 재밍의 영향을 받음서 시스템의 성능 향상을 위하여 에리 정정 코드(error correcting code) 동시 적용 기법이 연구 되어야겠다.

### 참 고 문 헌

1. R. L. Pickholtz, D. L. Schilling, and L. B. Milstein, "Theory of Spread Spectrum Communications-A Tutorial," *IEEE Trans. on Comm.*, vol. COM-30, NO.5, pp.855-884, May 1982.
2. R. E. Ziemer and R. L. Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum Systems*, Macmillan, 1985.
3. R. H. Muamma, "Degradation in FH/MFSK Mobile Radio System Capacity Due to Rayleigh Fading and Log-normal Shadowing," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol.37, NO.3, pp.130-134, August 1988.
4. 김호찬, 조형래, 강창연, "Reed Solomon coded FH/MFSK를 이용한 이동 통신 시스템의 성능 분석," 한국 추계 학술 대회 논문집, 제 8 권 3호, pp.318-322, 1989.11.
5. R. H. Muammar and S. C. Gupta, "Spectrum Efficiency of a Frequency-Hopped MFSK Spread Spectrum Mobile Radio System," *IEEE Trans. on Vehicular*, vol. VT-31, NO.2, pp. 66-69, May 1982.
6. M. K. Simon, J. K. Omura, R. A. Scholtz, and B. K. Levitt, *Spread Spectrum Communicat*.

ions, Rockville, MD : Computer Science, 1985.  
 7. William C. Y. Lee, Mobile Communications Engineering, McGraw-Hill, 1982.  
 8. J. S. Lee, R. H. French, and L. E. Miller, "Probability of Error Analysis of A BFSK Frequency-Hopping System with diversity under Patial-band Jamming interference-Part I : Performance of Square-law linear combining soft decision receiver," IEEE Trans. on Comm-

un., vol, COM-32, pp.645-653, June 1984.  
 9. J. G. Prcakis, Digital Communications-Second Edition, McGraw-Hill, 1989.  
 10. E. D. Rainville, Special Functions, New York : Mcmillian, 1960.  
 11. 조형래, 김남응, 김창언, "부분 대역 방해가 있는 주파수 도약 시스템에서 오차 확률의 추정 및 시험," 한국 통신 학회 하계 종합 학술 대회 논문집, 제 8 권 2호 pp.257-261, 1989.8.



**吳榮錫 (Young Seok OH)** 정회원  
 1964년 6월 14일생  
 1987년 3월 : 육군사관학교 졸업  
 1992년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)



**趙炯來 (Hyoung Rae CHO)** 정회원  
 1959년 6월 30일생  
 1982년 2월 : 광운대학교 응용전자공학과 (공학사)  
 1984년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
 1984년 1월~1990년 6월 : 금성전기 특수기술연구소 선임 연구원



**洪大植 (Dae Sik HONG)** 정회원  
 1961년 1월 4일생  
 1983년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1985년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)  
 1990년 8월 : Purdue University 졸업 (Ph. D)

1989년 3월~현재 : 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정  
 1990년 8월~현재 : 광운대학교 전자통신학과 강사  
 1992년 3월~현재 : 연세대학교 강사



**康昌彦 (Chang Eon KANG)** 正會員  
 1938年 8月26日生  
 1960年 : 延世大學校 電氣工學科 (工學士)  
 1965年 : 延世大學校大學院 電氣工學科 (工學碩士)  
 1969年 : 美國미시간주립大學校大學院 電氣工學科 (工學碩士)

1990년 9월~1991년 7월 : Purdue University Post-Doctoral Research Associate  
 1991년 8월~현재 : 연세대학교 전자공학과 조교수

1973年 : 美國미시간주립大學校大學院 電氣工學科 (工學博士)  
 1967年~1973年 : 美國미시간주립大學校工業研究所先任 研究員  
 1973年~1981年 : 美國노턴일리노이大學校 電氣工學科 助教授, 副教授  
 1982年~現在 : 延世大學校 電子工學科 教授  
 1987年~1988年 : 本學會 副會長  
 1989年~1990年 : 本學會 會長