

論文2000-37TC-8-1

MSK와 QPSK 변조 DS-SFH 확산시스템의 다중톤 항재밍 성능 분석

(Multi-Tone Anti-Jamming Performance Analyses of MSK & QPSK Modulation Hybrid DS-SFH Spread-Spectrum System)

金倫永*, 柳興均*, 金基根**, 崔英均**

(Yun-young Kim, Heung-gyoon Ryu, Kie-Keun Kim, and Young-Kyun Choi)

요 약

다중톤 방해신호가 존재하는 레일리 페이딩 채널에서, MSK와 QPSK 변조방식을 사용하는 직접 시퀀스/느린 주파수 도약 복합 확산대역 시스템의 성능을 분석한다. 수신기에서 다이버시티를 사용하지 않는 MSK와 QPSK의 변조방식별 시스템의 비트오율 성능을 수신기에서의 평균 신호대 잡음비 E_b/N_0 및 방해신호대 원하는 신호의 전력비(JSR)의 개념으로 유도하고, 여러 가지 시스템 파라미터의 변화에 따른 시스템의 성능을 평가한다. 또한, 페이딩이 없는 채널과 페이딩이 존재하는 채널, 그리고 MSK와 QPSK의 변조방식에 따라 성능을 비교 분석한다. 다중톤 재밍이 있을 때, MSK 시스템과 QPSK 시스템간의 성능은 JSR=0dB 근처에서 서로 비슷했지만, JSR이 증가할수록 MSK 시스템의 성능이 더 좋아진다. 전체 확산 이득이 고정된 경우에, 직접 확산 이득이 증가할수록 두 시스템의 성능이 전체적으로 개선되지만, 개선되는 BER 성능은 아주 작다. 또한 레일리 페이딩이 없을때에 비하여 페이딩이 있는 시스템의 성능은 E_b/N_0 가 작은 경우에는 서로 비슷한 성능을 나타내지만, E_b/N_0 가 증가할수록 큰 성능차이를 나타낸다.

ABSTRACT

Performance analyses of hybrid DS-SFH spread-spectrum systems using coherent MSK and QPSK modulation techniques are considered over Rayleigh fading channel in the presence of multi-tone jamming. The BER equations for MSK and QPSK systems with non-diversity reception in the receiver are derived as the concept of average signal-to-noise power ratio E_b/N_0 and jamming-to-signal power ratio JSR, and the performances is evaluated for various system parameters. The evaluation of performance is done between fading and nonfading system, and between MSK and QPSK system. Results show that the performances of two systems are similar in low JSR. However, MSK system outperforms QPSK system as JSR increases. Overall performances of two systems are a little improved as the DS spreading gain increases for the total spread-spectrum bandwidth fixed. The performance difference between fading system and nonfading system is similar in low E_b/N_0 , however, it becomes very largewith increase of E_b/N_0 .

* 學生會員, 正會員, 忠北大學校 電子工學科

(Department of Electronic Engineering, Chungbuk National University)

** 正會員, 國防科學研究所 衛星體系研究팀

(Satellite System Research Team, Agency for Defense Development)

接受日字:2000年5月15日, 수정완료일:2000年7月20日

I. 서론

확산 스펙트럼 통신 방식은 통신 방해를 목적으로 하는 의도적인 재밍이나 백색 잡음하에서의 비의도적인 간섭, LPI/LPD(low probability of intercept /detection), fading 채널, 그리고 다중 접속에 의한

간섭에 대해 매우 효과적인 통신 방식으로 알려져 있다^[1-2]. 직접 시퀀스 확산 시스템은 다중경로 페이딩 채널에서 효과적이지만 원근문제(near-far problem)로 인하여 전력제어가 필요하다. 그런데 부분 대역 재밍에 효과적인 주파수 도약 확산 시스템을 복합적으로 사용함으로써 이러한 문제를 해결할 수 있다. 그러나, 복합 확산 시스템은 위와 같은 장점에 전체 시스템 구현이 복잡하다는 단점도 가지고 있다^[3-6].

확산 대역 시스템에 대한 연구가 여러 가지 변조방식에 따라서 이루어졌다. 기존의 변조 방식별 연구에는, BPSK 변조 방식을 이용한 확산 시스템의 성능이 [3-6]에서, 수신기에서의 동기가 필요가 없는 DPSK 변조 방식을 이용한 확산 시스템의 성능은 [10, 11]에서, 그리고 MFSK 변조 방식을 이용한 확산 시스템에 대해서는 [12, 13]에서 연구되었다. 위의 기존의 결과에서 여러 가지 변조 방식에 따라서 시스템의 성능이 달라진다는 것을 보인다. MSK 시스템은 QPSK나 OQPSK와 같은 변조방식을 사용하는 시스템보다 전력 대역폭 효율이 좋다^[1]. 본 논문에서는 QPSK 시스템과 대역효율이 좋은 MSK 시스템을 고려한다.

다중톤 재밍이 존재하는 페이딩 채널하에서 복합 직접 시퀀스/느린 주파수 도약 확산 시스템에서의 성능도 여러 가지 변조 방식에 따라서 연구되었다. H. Zheng과 N. Zhang은 페이딩이 없는 백색 가우시안 잡음(AWGN) 채널하에서 MSK 변조 방식을 이용하는 복합 확산 시스템의 성능 평가에 관한 연구를 하였으며, JSR의 개념을 단위 톤 당 재밍 전력대 신호 전력의 비로 간주하여 기존의 다른 연구 결과들과 다르게 분석하였다^[7]. 또한, R. M. Gangadhar와 P. P. Gandhi는 재밍이 없는 페이딩 채널에서의 MSK 및 QPSK 변조 방식을 이용하는 복합 확산 시스템의 성능 평가를 연구하였는데, 사용자가 증가함에 따라서 MSK 변조 방식을 사용하는 복합 확산 시스템이 QPSK 변조 방식을 사용하는 시스템보다 더 좋은 성능을 갖는다는 유용한 결과를 보였다^[8]. 기존의 연구결과 중에서 다중톤 재밍이 존재하는 레일리 페이딩 채널에서 MSK 변조방식을 사용하는 시스템의 성능 분석에 관한 것은 없었다. 본 논문에서는 레일리 페이딩 전송로에서 정보신호뿐만 아니라 다중톤 재밍도 페이딩을 겪으며, 수신기에서 다이버시티를 사용하지 않는다고 가정한다.

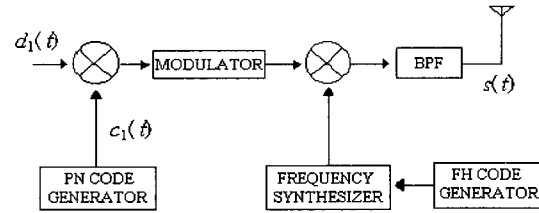


그림 1. 복합 확산 스펙트럼 시스템의 송신기 구조(I 채널)

Fig. 1. Transmitter structure of hybrid SS system(I channel)

II. 복합 스펙트럼 확산 시스템

1. MSK 변조방식 확산 시스템

(1) 정보신호 모델

그림 1은 I채널 송신기의 구조로써 MSK 변조방식의 경우, 직접확산과 주파수 도약에 의해 전송되는 정보신호는 식 (1)과 같이 주어진다.

$$s_{MSK}(t) = \sqrt{2P} \left\{ c_1(t)d_1(t) \cos \left[2\pi(f_c + f_h(t))t + \frac{\pi t}{T_c} + \theta \right] + c_2(t)d_2(t) \sin \left[2\pi(f_c + f_h(t))t + \frac{\pi t}{T_c} + \theta \right] \right\} \quad (1)$$

여기서, P는 전송신호의 전력을 나타내며, $d_1(t)$ 와 $d_2(t)$ 는 각각 I채널, Q채널 정보데이터로써 주기가 모두 T_s 인 이진 데이터이다. $c_1(t)$ 와 $c_2(t)$ 는 각각 I채널, Q채널 직접확산 시퀀스로써 비트 주기가 모두 T_c 인 이진 PN 코드이며 심볼주기 T_s 동안 N개의 칩이 존재한다고 가정한다. 또한 f_c 는 반송주파수이고, $f_h(t)$ 는 주기가 T_h ($T_h/T_s > 1$)인 도약 주파수로써 중심 주파수간의 간격이 직접 확산 대역 W_{DS} 과 같은 N_{FH} 개의 주파수로부터 임의로 선택되며 주파수 도약당 전송되는 심볼 데이터의 수 $N_s = T_h/T_s$ 는 양의 정수이다. 즉, 주파수 도약당 정수개의 심볼 데이터가 전송된다. θ 는 송신기에서 발생하는 위상을 나타내며 비트주기동안 $[0, 2\pi]$ 에서 균일한 분포를 갖는다고 가정한다. 분석을 간단히 하기 위해 I채널만 고려하기로 한다.

(2) 다중톤 재밍신호 모델

다중톤 재밍은 식 (2)와 같이 정의 된다^[7].

$$J(t) = \sqrt{\frac{2P_J}{N_J}} \sum_{j=1}^{N_J} \cos(2\pi f_j t + \psi_j) \quad (2)$$

여기서, P_J 는 전체 재밍전력이며 N_J 는 다중 톤의 수

로써 재머는 P_j 의 전체 전력을 N_j 의 다중톤 수에 따라 균등히 배분시킨다. f_j 는 톤 재머의 중심 주파수로써 재머는 도약 주파수 패턴만 모를뿐 도약 주파수의 중심 주파수에 톤을 정확히 일치시킨다고 가정한다. ϕ_j 는 도약 주파수의 반송파와 j 번째 재밍 톤 사이의 차이로써, $[0, 2\pi]$ 에서 균일한 분포를 갖는다.

(3) 레일리 페이딩 채널 모델

채널은 느리게 변하는 주파수 비선형적 레일리 페이딩 채널이며 식 (3)과 같은 임펄스 응답을 갖는다^[11].

$$h(t) = \sum_{k=1}^L \beta_k \delta(t - t_k) \quad (3)$$

여기서, t_k 는 시간지연이며 β_k 는 다중경로에 따른 이득으로써 그 분포가 나카가미 분포에서 $m=1$ 인 분포 즉, 레일리 분포를 가지며 식 (4)와 같이 표현된다^[14,15].

$$p_R(\beta_k) = \frac{2\beta_k}{\Omega_k} e^{-\beta_k/\Omega_k} \quad (4)$$

식 (4)에서 k 번째 경로의 Ω_k 는 채널에 따른 레일리 분포의 특성을 좌우하는 파라미터로써 β_k 의 2차 모멘트이며 기준 경로의 Ω_1 과 식 (5)와 같은 프로파일을 갖는다고 가정한다^[5].

$$\Omega_k = \Omega_1 e^{-\delta k} \quad (5)$$

식 (5)는 경로에 따른 2차 모멘트를 나타내며 이를 MIP(multipath intensity profile)라 하는데, 여기에서는 지수함수적인 MIP를 가정하였다.

식 (5)에서 기준 경로를 첫 번째 경로라하면 식 (6)과 같이 쓸 수 있다.

$$\Omega_k = \Omega_1 e^{-\delta(k-1)} \quad (6)$$

여기서 δ 는 경로에 따른 이득 감쇄율을 나타낸다.

(4) 수신 신호

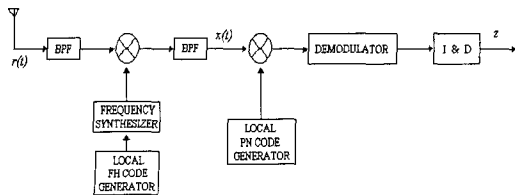


그림 2. 복합 확산 스펙트럼 시스템의 수신기 구조(I 채널)

Fig. 2. Receiver structure of hybrid SS system(I channel)

그림 2에서, 수신 신호 $r(t)$ 는 식 (7)과 같다.

$$r(t) = r_s(t) + r_j(t) + n(t) \quad (7)$$

여기서,

$$r_s(t) = \sum_{k=1}^L \beta_k s_{MSK}(t - t_k) \quad (8a)$$

$$r_j(t) = \sum_{k=1}^L \beta_{k,j} J(t - t_k) \quad (8b)$$

이고, $n(t)$ 는 양방향 전력 스펙트럼 밀도가 $N_0/2$ 인 백색 가우시안 잡음(AWGN)이다. 역 도약후 대역폭이 직접 확산 대역 W_{DS} 인 BPF를 거친후의 신호는 $x(t)$ 로써 식 (9)와 같이 표현된다.

$$x(t) = BPF\{r(t) \cos[2\pi(f_c + f_{h,1}(t))t + \phi_{h,1}(t)]\} = x_s(t) + x_f(t) + x_n(t) \quad (9)$$

여기서,

$$x_s(t) = \sqrt{P/2} \sum_{k=1}^L \beta_k \delta[f_{h,1}(t), f_{h,k}(t - t_k)] c_1(t - t_k) d_1(t - t_k) \cos[\pi t / T_c + \Phi_k(t)] \quad (10a)$$

$$x_f(t) = \sqrt{P_j/2N_j} \sum_{k=1}^L \beta_{k,j} \cos[2\pi \Delta f t + \Phi_{k,j}(t)] \quad (10b)$$

이고, $x_n(t)$ 는 대역제한된 백색 가우시안 잡음이다.

식 (10 a)과 식 (10 b)에서, $\delta[u, v]$ 는 Kronecker function으로써 $u = v$ 일때에만 1의 값을 갖고 그이외에는 0의 값을 갖는다. 또한, $\Delta f = f_j - f_{h,1}(t) - f_c$ 이며, $\Phi_k(t)$ 와 $\Phi_{k,j}(t)$ 는 다음과 같이 주어지고 심볼주기 T_s 동안 일정한 값을 갖는다고 가정한다.

$$\Phi_k(t) = \theta - 2\pi(f_c + f_{h,1}(t - t_k))t_k - \pi t_k / T_c - \phi_{h,1}(t)$$

$$\Phi_{k,j}(t) = \phi_j - 2\pi f_j t_k - \phi_{h,1}(t)$$

여기서, $\phi_{h,1}(t)$ 는 수신기의 역도약기에 의해 발생하는 위상을 나타낸다.

역도약후 상관적분기의 출력 Z 는 식 (11)과 같다.

$$Z = \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} x(t) c_1(t) \cos[\pi t / T_c] dt = Z_d + Z_I + Z_J + Z_N \quad (11)$$

여기서, Z_d 는 기준경로(첫번째 경로)를 통해 수신된 원하는 정보 신호의 성분이고, Z_I 는 나머지 $L-1$ 개의 다중 경로를 통해 수신된 정보 신호로써 이것은 Z_d 에

간섭으로 작용하는 성분이다. 또 Z_j 는 L 개의 다중경로를 통해 수신된 다중톤 재머의 성분이고 Z_n 은 잡음에 의한 적분기 출력이다.

첫 번째 경로를 기준경로라고 하였으므로 수신기에서 정확한 동기를 이루었다고 가정하면, $t_1=0$, $\phi_1(t)=0$ 이므로 l 채널의 적분기 출력 Z_d 은 식 (12)와 같다.

$$Z_d = \sqrt{P/8} \beta_1 T_s d_{1,n} \quad (12)$$

여기서, $d_{1,n}$ 는 n 번째 데이터 심볼을 의미한다. 또한 $L-1$ 개의 다중 경로에 의한 간섭 성분중 l 번째 경로에 의한 신호의 적분기 출력 $Z_{l,i}$ 은 식 (13)과 같다.

$$Z_{l,i} = \sqrt{P/8} \beta_l \cos(\phi_l) \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} c_1(t) c_1(t-t_l) d_1(t-t_l) dt \quad (13)$$

적분기에서 다중톤 재머의 l 번째 경로에 의한 출력은 식 (14)와 같다^[7].

$$Z_{l,i} = \sqrt{2P_j/N_j} \beta_{l,j} \sum_{i=0}^{N-1} c_i \frac{\pi T_c}{\pi^2 - (2\pi \Delta f T_c)^2} (-1)^i \sin[\pi \Delta f (2i+1) T_c + \phi_{l,j}] \cos(\pi \Delta f T_c) \quad (14)$$

Z_n 은 잡음에 의한 적분기 출력으로써 식 (15)와 같다.

$$Z_n = \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} x_n(t) c_1(t) \cos(\pi t/T_c) dt \quad (15)$$

2. QPSK 변조방식 확산 시스템

전송되는 정보 신호는 l 채널만 고려하면 식 (16)과 같이 표현할 수 있다.

$$s_{QPSK}(t) = \sqrt{2P} c_1(t) d_1(t) \cos[2\pi(f_c + f_k(t))t + \theta] \quad (16)$$

여기서, θ 는 송신기에서 발생된 위상파형을 나타내며 $[0, 2\pi]$ 에서 균일한 분포를 갖는다. 잡음 및 다중톤 재밍 신호의 모델과 수신기의 구조는 앞절과 같다. 앞절과 같은 과정을 통해 얻은 상관 적분기의 출력 Z 은 다음과 같다.

$$Z = \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} x(t) c_1(t) \cos(2\pi f_c t) dt$$

먼저 원하는 정보신호에 의한 적분기 출력은 식 (17)과 같다.

$$Z_d = \sqrt{P/8} \beta_1 T_s d_{1,n} \quad (17)$$

l 번째 다중경로 신호에 의한 적분기 출력은 식 (18)과 같다.

$$Z_{l,i} = \sqrt{P/8} \beta_l \cos(\phi_l) \int_{nT_s}^{(n+1)T_s} c_1(t) c_1(t-t_l) d_1(t-t_l) dt \quad (18)$$

l 번째 경로의 다중톤 재머 신호에 의한 적분기 출력은 식 (19)와 같다.

$$Z_{l,i} = \sqrt{P_j/2N_j} \beta_{l,j} T_c \sum_{i=0}^{N-1} \cos[\pi \Delta f (2i+1) T_c + \phi_{l,j}] \sin c[\Delta f T_c] \quad (19)$$

식 (18)과 식 (19)에서, $\sin c(x) = \sin(\pi x)/\pi x$, $\Delta f = f_c - f_j + f_{k,1}(t)$ 이며, 위상성분 $\phi_k(t)$ 와 $\phi_{k,j}(t)$ 는 각각 다음과 같다.

$$\phi_k(t) = \theta - 2\pi(f_c + f_{k,1}(t-t_k))t_k - \phi_{k,1}(t)$$

$$\phi_{k,j}(t) = \phi_j - 2\pi f_j t_k - \phi_{k,1}(t)$$

III. 비트오율 성능 분석

1. MSK 확산 시스템

다중톤 재머가 최악의 영향을 미치는 경우, 즉 $\Delta f=0$ 인 경우에 비트오율을 구한다. 식 (6)을 이용하면 식 (12)~(14)의 분산은 식 (20)~(22)과 같다.

$$\text{var}\{Z_d\} = (PT_s^2/8)\Omega_1 \quad (20)$$

여기서, Ω_1 은 기준경로 신호의 경로이득의 2차 모멘트이다.

확산 스펙트럼 시스템에서 PN 코드는 상대적으로 긴 주기의 시퀀스를 가지므로, 각 칩에서의 이진 값이 독립적으로 결정되는 랜덤 이진 시퀀스로 모델링될 수 있다. 이러한 시퀀스 모델에 따라서, 식 (13)의 적분항은 평균이 0이고 시퀀스 $c_1(t)$ 에 따른 조건 분산(conditional variance)이 기존의 연구 결과에서 $2T_s^2/3N$ 으로 주어지므로^[4,5]

$$\text{var}\{Z_{l,i}\} = (PT_s^2/24N)\Omega_1 e^{-\delta(l-1)} \quad (21)$$

이다. 또한 다중톤 재밍 신호 성분의 분산은 식 (22)와 같다.

$$\text{var}\{Z_{i,j}\} = (P_j/N_j)(T_c/\pi)^2 N \Omega_{i,j} e^{-\delta(i-1)} \quad (22)$$

여기서, $\Omega_{i,j}$ 은 재밍신호의 i 번째 경로이득의 2차모멘트이다.

따라서, 적분기의 출력에서 원하는 신호대 간섭으로 작용하는 성분(잡음+간섭+재머)의 전력비를 λ_{jam} 이라하면 식 (23)과 같다.

$$\lambda_{jam} = \frac{1}{\frac{1}{3N} \sum_{i=2}^{\infty} e^{-\delta(i-1)} + \frac{8JSR}{NN_j\pi^2} \sum_{i=1}^{\infty} \gamma_i e^{-\delta(i-1)} + (2E_b/N_0)^{-1}} \quad (23)$$

여기서, γ_i 은 $\Omega_{i,j}/\Omega_1$ 이며, $E_b/N_0 = \Omega_1 PT_b/N_0$ 는 수신된 신호의 비트당 평균 신호 대 잡음의 비를 의미한다^[5]. 식 (23)은 다중톤 재밍이 존재하는 경우이므로, 재밍이 존재하지 않을 경우의 전체 신호대 간섭의 전력비 λ_{no} 는 식 (23)에서 $JSR=0$ 일때의 값이다.

레이리 페이딩 채널에서 경로이득 β_1 가 고정된 경우에 비트오율식은 $P_e = Q(\sqrt{2z})$ 으로 주어진다. 여기서, $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2/2} dt$ 이며, $z = \beta_1^2 PT_b/N_0$ 는 평균 신호대 잡음비를 의미한다. 그러나, β_1 가 레이리 확률밀도 함수에 따라 분포되므로, β_1^2 은 자유도 2의 chisquare 분포를 갖게 된다. 따라서, z 은 chisquare 분포를 가지며, λ 를 평균 신호대 잡음비 $E(z)$ 라 하면, z 은 $p_R(z) = \frac{1}{\lambda} e^{-z/\lambda} (z \geq 0)$ 의 분포를 갖게 된다. 결국, 전체 비트오율식은 식 (24)로 주어진다^[14-15].

$$P_e = \int_0^{\infty} Q(\sqrt{2z}) p_R(z) dz \quad (24)$$

위식의 적분을 풀면, 전체 비트오율식은 식 (25)와 같이 쓸 수 있다.

$$P_e = \frac{1}{2} \left\{ 1 - \sqrt{\frac{\lambda}{1+\lambda}} \right\} \quad (25)$$

다중톤 재밍이 존재하는 경우와 존재하지 않을 경우의 비트오율식을 각각 $P_{e,jam}$ 과 $P_{e,no}$ 라하면, $P_{e,jam}$ 과 $P_{e,no}$ 는 각각 식 (25)에 $\lambda = \lambda_{jam}$ 과 $\lambda = \lambda_{no}$ 를 대입하여 얻을 수 있다. 그리고 $P_{e,jam}$ 과 $P_{e,no}$ 는 각각 $\rho = N_j/N_{FH}$ 와 $(1-\rho)$ 의 확률로 존재하므로 전체 비트 오율식은 식 (26)과 같이 된다.

$$P_b = \rho P_{e,jam} + (1-\rho) P_{e,no} \quad (26)$$

2. 복합 DS/SFH QPSK 확산 시스템

식 (19)에서, 재머가 최악의 영향을 미치는 경우는 $\Delta f=0$ 일때이므로, 앞절과 동일한 과정을 거치면 다중톤 재머환경하에서 다음과 같은 원하는 신호 대 전체 간섭의 비를 얻는다.

$$\lambda_{jam} = \frac{1}{\frac{1}{3N} \sum_{i=2}^{\infty} e^{-\delta(i-1)} + \frac{2JSR}{NN_j} \sum_{i=1}^{\infty} \gamma_i e^{-\delta(i-1)} + (2E_b/N_0)^{-1}} \quad (27)$$

이 경우에도 식 (25), (26)을 이용하면 전체 비트오율식을 구할 수 있다.

IV. 수치해석 결과

본 절에서는 시스템의 전체 처리이득을 1000으로 고정하였을 때, 직접확산 이득 N 과 주파수 도약수 N_{FH} 의 배합 비율에 따른 시스템의 비트 오율 성능의 변화와, 다중톤 수 N_j 및 평균 신호대 잡음비에 따른 MSK 시스템과 QPSK 시스템간의 성능 차이를 분석해 본다. 또한 직접확산 이득 N 이 16이상인 경우에 모든 랜덤 변수를 가우시안 랜덤 변수로 볼 수 있다는 기존의 결과^[16]에 따라서, N 이 20이상인 경우에 대해서 시스템의 성능 평가가 이루어졌으며, 재머와 정보 신호의 경로에 따른 이득의 2차 모멘트의 비 γ_i 과 경로에 따른 감쇄율 δ , 그리고 다중경로 수 L 을 변화시키면서 전체 시스템의 성능을 평가하였다.

1. 직접확산 이득 N 에 따른 성능 비교

그림 3은 직접확산 이득 N 에 따른 각 시스템의 비트오율을 $E_b/N_0 = 30dB$, $N_j = 4$ 인 경우에 나타낸 것으로, 재머 전력 대 신호 전력의 비인 JSR 가 작은 경우에는 두 시스템의 성능이 비슷하지만, JSR 이 증가할수록 MSK 변조방식을 사용하는 시스템의 성능이 좋아지는 것을 알 수 있다. 그림 4는 직접확산 이득 N 에 따른 각 시스템의 비트오율을 $E_b/N_0 = 15dB$, $N_j = 4$ 인 경우에 나타낸 것이다. 이 경우에도 그림 3과 마찬가지로 재머 전력 대 신호 전력의 비인 JSR 이 작은 경우에는 두 시스템의 성능이 비슷하지만, JSR 이 증가할수록 MSK 변조방식을 사용하는 시스템의 성능이 좋아지는 것을 알 수 있다. 그러나 그림 3과 그림 4에서 볼 수 있듯이, 직접확산 이득 N 을 증가시키더라도 두 시스템의 BER 성능이 크게 향상

되지 못하며, 평균 신호대 잡음비 E_b/N_0 가 15dB로 감소된 경우에는 전체 시스템의 성능이 직접확산 이득에 관계가 거의 없음을 볼 수 있다. 이는 재머의 전력은 직접확산 이득 N 에 반비례하므로 N 을 증가 시킴으로써 BER 성능을 향상시킬 수는 있으나, 식 (26)에서 볼 수 있듯이 직접 확산 이득 N 의 증가함에 따라 주파수 도약수 N_{FH} 가 감소하므로 전체 BER 성능에 다중톤 재머가 큰 영향을 미치지 때문이다. 또한 수신기에서 다이버시티를 사용하지 않으므로 다중 경로 성분 에 의한 간섭과 재머의 성분으로 전체 BER 성능에 직접 산 이득이 큰 영향을 미치지 못하게 된다.

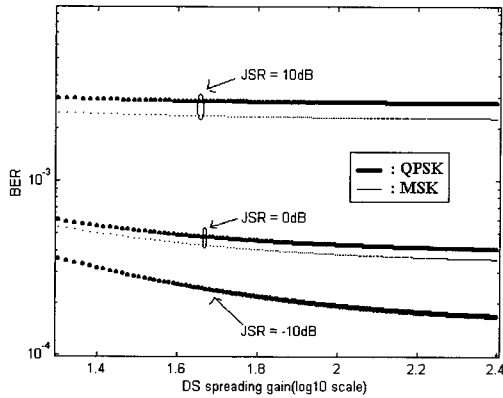


그림 3. 직접확산 이득 N 에 따른 BER
 $E_b/N_0 = 30dB, N_j = 4, \gamma_t = 1, \delta = 3, L = 2$
 Fig. 3. BER Performance vs. N .
 $E_b/N_0 = 30dB, N_j = 4, \gamma_t = 1, \delta = 3, L = 2$

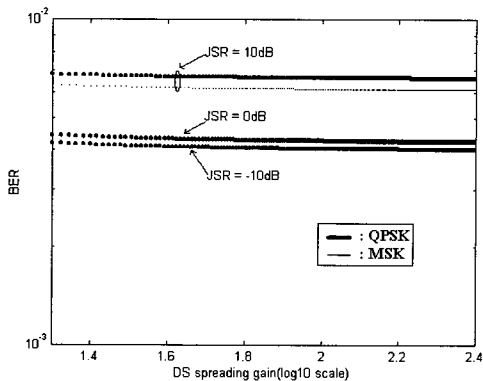


그림 4. 직접확산 이득 N 에 따른 BER
 $E_b/N_0 = 15dB, N_j = 4, \gamma_t = 1, \delta = 3, L = 2$
 Fig. 4. BER Performance vs. N .
 $E_b/N_0 = 15dB, N_j = 4, \gamma_t = 1, \delta = 3, L = 2$

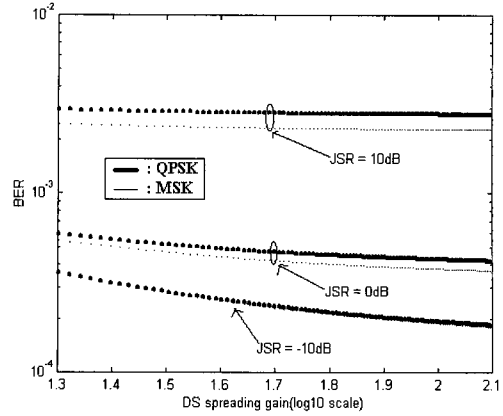


그림 5. 직접확산 이득 N 에 따른 BER
 $E_b/N_0 = 30dB, N_j = 8, \gamma_t = 1, \delta = 3, L = 2$
 Fig. 5. BER Performance vs. N .
 $E_b/N_0 = 30dB, N_j = 8, \gamma_t = 1, \delta = 3, L = 2$

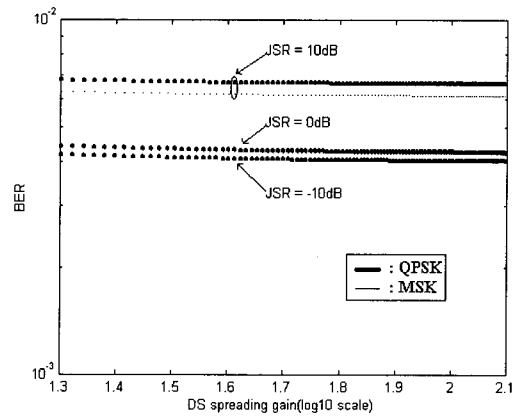


그림 6. 직접확산 이득 N 에 따른 BER
 $E_b/N_0 = 15dB, N_j = 8, \gamma_t = 1, \delta = 3, L = 2$
 Fig. 6. BER Performance vs. N .
 $E_b/N_0 = 15dB, N_j = 8, \gamma_t = 1, \delta = 3, L = 2$

그림 5와 그림 6은 톤의 수가 8개인 다중톤 재머가 존재하는 경우의 BER의 성능으로써 그림 3과 비교해 보면 전체 재밍 전력이 8개의 톤에 집중되어 있으므로 그림 3의 다중톤의 수가 4개인 경우보다 재밍 전력 분포면에서는 재밍 효과가 적다. 그러나, 그림 3에서 전체 재밍 전력이 8개의 톤에 분산되어있다 하더라도, 식 (26)에서 볼 수 있듯이 다중톤 재머에 의한 영향이 나타날 확률 ρ 가 커지게 된다. 따라서, 그림 3과 그림 4가 그림 5와 그림 6과 각각 서로 거의 비슷한 성능을 나타낸다. 또한 직접 확산 이득이 아무리 증가하더라도 전체 BER 성능이 향상되는 않는 이유는 그림 3과 그림 4에서와 같다.

2. 평균 신호 대 잡음 비 E_b/N_0 에 따른 성능 분석

그림 7와 그림 8은 직접확산 이득과 주파수 도약수, 그리고 다중톤 재머의 수가 고정된 경우의 평균 신호 대 잡음 비 E_b/N_0 에 따른 시스템의 BER 성능을 나타낸 것이다. 두 그림에서 볼 수 있듯이 다중톤 재밍 환경에서는 전체 확산 대역이 고정되어 있을 경우에 직접확산 이득이 증가할수록 즉, 주파수 도약수가 감소할수록 시스템의 BER 성능이 좋아지게 된다. 또한 MSK와 QPSK의 두 변조방식을 이용하는 시스템의 성능차이가 큰 BER에서는 아주 작았지만, BER이 감소할수록 MSK 시스템은 QPSK 시스템과 동일한 에러 성능을 얻기 위한 평균 신호대 잡음비의 이득이 점점 커지게 된다.

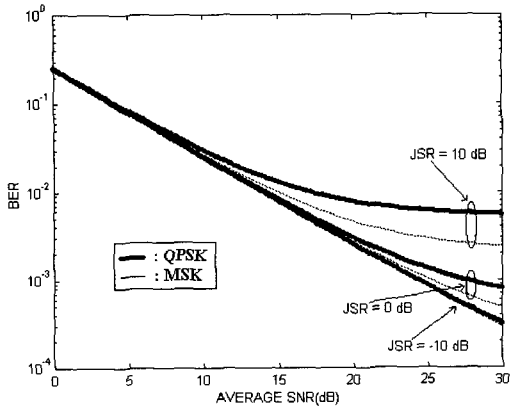


그림 7. 평균 SNR에 따른 BER 성능
 $N=200, N_{FH}=5, N_f=4, L=2, \delta=3, \gamma_l=1$
 Fig. 7. BER performance vs. average SNR.
 $N=200, N_{FH}=5, N_f=4, L=2, \delta=3, \gamma_l=1$

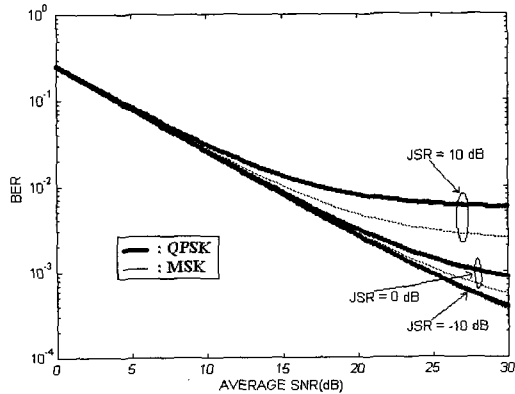


그림 8. 평균 SNR에 따른 BER 성능
 $N=50, N_{FH}=20, N_f=4, L=2, \delta=3, \gamma_l=1$
 Fig. 8. BER performance vs. average SNR.
 $N=50, N_{FH}=20, N_f=4, L=2, \delta=3, \gamma_l=1$

3. 페이딩 지수 m에 따른 성능 분석

그림 9와 그림 10은 페이딩이 없는 경우($m=\infty$)와 레일리 페이딩이 존재하는 경우($m=1$), MSK 시스템과 QPSK 시스템의 전체 BER 성능을 E_b/N_0 에 따라서 $N=200, N_{FH}=5, N_f=4, \gamma_l=1, \delta=3, L=2$ 인 조건에서 분석한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이, MSK와 QPSK의 변조방식을 사용하는 두 시스템 모두 10^{-2} 의 동일한 BER 성능을 얻기위해 fading 채널에서는 AWGN 채널에서보다 거의 6dB 정도의 E_b/N_0 를 요구한다. 이러한 현상은 JSR이 증가할수록 더욱 심해진다.

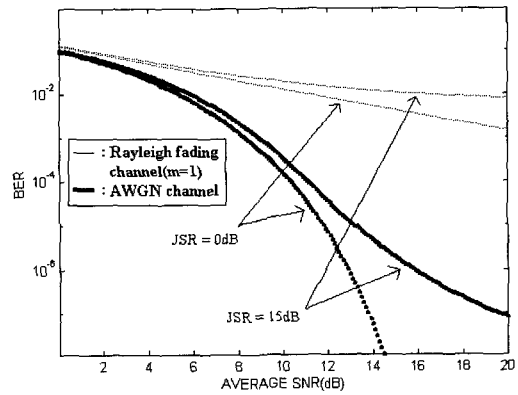


그림 9. 페이딩 지수에 따른 MSK 확산 시스템의 성능
 Fig. 9. Performance of MSK SS system vs. fading figure.

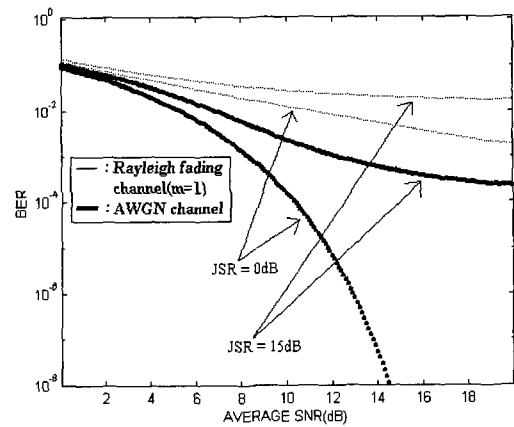


그림 10. 페이딩 지수에 따른 QPSK 확산 시스템의 성능
 Fig. 10. Performance of QPSK SS system vs. fading figure

4. 다중경로에 의한 이득 감쇄율 δ 에 따른 성능 분석

그림 11은 $JSR = 10dB, N=200, N_{FH}=5, N_f=4, L=2, \gamma_l=1$ 인 조건하에서, 경로에 의한 이득 감쇄율

δ 에 따른 전체 BER 성능을 나타낸 것이다. 이는 예상한 바와 같이 경로에 의한 이득 감쇄율 δ 이 증가함에 따라서 다중경로에 의한 간섭 성분과 재밍 성분의 크기가 작아짐으로써 전체 BER 성능이 좋아진다. 여기에서도 앞의 결과들과 마찬가지로 $\delta=1$ 인 경우 MSK 변조방식을 이용하는 시스템이 QPSK 변조방식을 이용하는 시스템보다 10^{-2} 의 동일 BER 성능을 얻기위해 대략 3dB 정도의 E_b/N_0 이득을 갖는다.

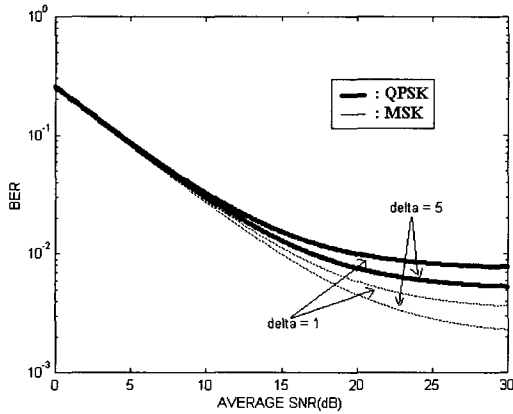


그림 11. 경로에 따른 이득 감쇄율 변화에 따른 BER 성능
Fig. 11. Performance of BER vs. decay rate of path gain.

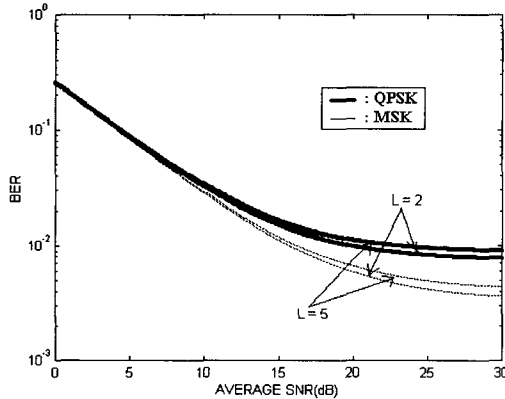


그림 12. 다중경로 수 L에 따른 BER 성능
Fig. 12. Performance of BER vs. the number of multipath

5. 다중경로 수 L에 따른 성능 분석

그림 12는 $JSR = 10dB$, $N = 200$, $N_{FH} = 10$, $N_j = 4$, $\delta = 1$, $\gamma_l = 1$ 인 조건하에서, 다중경로 수 L의 변화에 따른 전체 시스템의 성능 변화를 나타낸 것이다. 이는

그림 9의 결과와 비슷하다. 즉, 다중 경로 수 L이 증가함에 따라서 다중경로에 의한 간섭 성분과 재밍 성분의 양이 커지므로 전체 시스템의 BER 성능이 저하된다. 이는 레일리 페이딩이 존재하는 경우, 수신기에서 다이버시티를 사용하지 않으므로, 다중경로의 수 L이 증가함에 따라서 다중경로에 의한 간섭 성분과 다중톤 재밍 성분이 커지게 되어 나타나는 현상이다.

6. 재머와 정보 신호의 경로 이득의 2차 모멘트의 비율 γ_l 에 따른 성능 분석

그림 13은 $JSR = 10dB$, $N = 100$, $N_{FH} = 10$, $L = 2$, $N_j = 4$, $\delta = 1$ 인 경우에 재머와 정보신호의 경로에 따른 이득의 2차모멘트의 비율인 γ_l 에 따른 전체 BER 성능을 나타낸 것이다. γ_l 이 증가할수록 재머가 정보신호보다 경로에 따른 이득이 커지므로 전체 시스템의 성능이 저하됨을 알 수 있다.

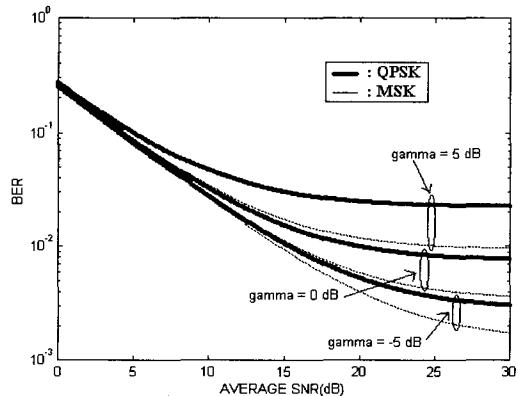


그림 13. 재머와 신호의 경로이득에 따른 2차모멘트 비의 변화에 의한 BER 성능
Fig. 13. Performance of BER vs. ratio of the second moment of jammer and signal.

V. 결론

본 논문에서는 다중톤 재머가 존재하는 레일리 페이딩 채널하에서 동기 MSK와 QPSK의 변조방식을 이용하면서 수신기에서 다이버시티를 사용하지 않는 복합 DS/SFH 시스템의 성능을 여러 가지 시스템 파라미터에 따라서 평가하고 비교하였다. 그 결과는 다음과 같다.

첫째로, 전체 확산 이득을 1000으로 고정하고 직접확

산 이득과 주파수 도약수를 변화시키면서 분석한 결과, R.M. Gangadhar와 P.P. Gandhi의 연구 결과와 같이 전체적으로 MSK 변조방식을 이용하는 시스템이 QPSK 변조방식을 이용하는 시스템보다 성능이 우수하였다[8]. 그러나 JSR이 아주 크거나 페이딩이 존재하는 경우에는 MSK 시스템도 열악한 성능을 보였다. 또한, 다중톤 재머가 존재하는 페이딩 채널에서는 직접확산 이득이 클수록 더 좋은 성능을 나타내었지만, 향상되는 BER 성능은 아주 작았다.

둘째로, 수신기에서 다이버시티를 이용하지 않으므로, 다중경로의 수가 증가함에 따라서 다중경로에 의한 간섭 성분과 재밍 성분이 증가하여 직접확산 이득이 증가하더라도 전체 시스템의 BER 성능은 크게 개선되지 못하였고, 이는 MSK와 QPSK의 변조방식을 사용하는 시스템 모두에게 적용되는 사실이었다. 따라서, 수신기에서 다이버시티를 사용하는 확산 시스템에 관한 연구가 다음 논문에서 이루어질 것이다.

마지막으로, 페이딩이 존재하는 채널과 페이딩이 존재하지 않는 채널에서의 성능차이를 분석하였다. 10^{-2} 의 동일한 BER 성능을 얻기 위해 fading 채널하에서는 AWGN 채널에서보다 거의 6dB 정도의 E_b/N_0 를 요구한다. 이러한 현상은 JSR이 증가할수록 더욱 심해지게 된다. 또한 다중경로 이득의 감쇄율이 큰 경우에 다중경로에 의한 간섭 성분과 재밍 성분의 양이 작아짐으로 전체적으로 좋은 BER 성능을 나타내었으며, 재머와 신호의 경로이득의 2차모멘트 비율이 증가할수록 재머의 경로이득이 커지므로 전체적으로 나쁜 BER 성능을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] R.E. Ziemer, W.H. Tranter, *Principles of Communications*, John Wiley, 1995.
- [2] R. E. Ziemer, R. L. Peterson, D. E. Borth, *Introduction to Spread Spectrums*, Prentice Hall, 1995.
- [3] E. A. Geraniotis, "Coherent Hybrid DS-SFH Spread Spectrum Multiple-Access Communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol.SAC-3, no.5, pp.695-705, Sept., 1985.
- [4] S. K. Park, J. T. Kim, "Hybrid DS/SFH Spread-Spectrum Multiple-Access Communications over Nonselective Fading Channels," *IEEE VTC 44th*, vol.1, pp.70-72, 1994.
- [5] T. Eng, L.B. Milstein, "Coherent DS-CDMA performance in Nakagami multipath fading," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 43, no. 2/3/4, pp.1134-1143, Feb.-March-April, 1995.
- [6] C.B. Park, J.H. Lee, "Probability of Error for a Hybrid DS/SFH Spread-Spectrum System over a Rician Fading Channel in the Presence of Multiple-Tone Jamming," *IEEE ISSSTA '92*, pp. 123-126, Nov.-Dec.,1992.
- [7] H. Zheng, N. Zhang, "Performance Analysis of Hybrid DS-SFH/ MSKSpread-Spectrum System under Multitone Jamming," *IEEE MILCOM'99*, --.
- [8] R.M. Gangadhar, P.P. Gandhi, "Performance Characteristic of QPSK and MSK DS/FH Hybrid CDMA Systems in Rayleigh Fading," *Signals, Systems and Computers 1994 Conference Record of the Twenty-Eighth Asilomar Conference*, vol.1, pp. 446-449, 1994.
- [9] 변우섭, 성경모, "다중 톤 방해신호가 존재하는 나카가미 페이딩 전송로에서 DS/SFH 복합 확산대역 시스템의 성능분석," *전자공학회논문지*, 제 36권, S편, 제8호, pp. 8-16, Aug.,1999.
- [10] 박찬범, 이재홍, "다중 톤 방해신호가 존재하는 레일레이 페이딩 전송로에서 비동기 DPSK DS/SFH 복합 확산대역 시스템의 성능분석," *전자공학회논문지*, 제34권, S편, 제1호, pp. 9-15, Jan., 1997.
- [11] Z. Tan, I. F. Blake, "Performance analysis of noncoherent DS-SFH spread spectrum multiple access for indoor wireless communications," *IEEE MILCOM '92*, vol. 3, pp. 851-855, 1992.
- [12] M.A. Laxpati, J.W. Gluck, "Optimization of a Hybrid SFH/DS MFSK Link in the Presence of Worst Case Multitone Jamming," *IEEE TRANS. ON COMMUN.*, vol. 43, no. 6, pp.

- 2118-2126, JUNE, 1995.
- [13] R.C. Robertson, J.F. Sheltry, "Multiple Tone Interference of Frequency-Hopped Non-coherent MFSK Signals Transmitted over Ricean Fading Channels," *IEEE TRANS. ON COMMUN.*, vol. 44, no.7, July, 1996.
- [14] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 3rd ed. McGraw-Hill, 1995.
- [15] M. K. Simon, J.K. Omura, R.A. Scholtz, B.K. Levitt, *Spread Spectrum Communications Handbooks*, McGraw-Hill, 1994.
- [16] R.E. Ziemer, R.L. Peterson, *Digital Communications and Spread Spectrum Systems*, Macmillan, 1985.

 저 자 소 개

金 倫 永(學生會員)

2000년 2월 충북대학교 전자공학과 졸업(공학사).
 2000년 2월~현재 충북대학교 전자공학과 석사과정.
 주 관심분야는 디지털 통신, 스펙트럼 확산 통신 시스템, 주파수 합성기 설계

柳 興 均(正會員)

1982년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사).
 1984년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업(공학석사).
 1989년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업 (공학박사).
 1988년~1998년 충북대학교 전자공학과 부교수. 1999년~현재 충북대학교 전자공학과 정교수. 주 관심분야는 디지털 통신 공학, 이동/위성 통신 시스템, 스펙트럼 확산 통신 시스템, 통신회로 설계 및 통신 신호 처리

金 基 根(正會員)

1990년 2월 충북대학교 전자공학과 졸업(공학사).
 1992년 2월 충북대학교 전자공학과 졸업(공학석사).
 1992년 2월~현재 국방과학연구소 선임연구원

崔 英 均(正會員)

1974년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(공학사).
 1987년 4월 University of South Florida 전기공학과 졸업(공학석사). 1989년 12월 University of South Florida 전기공학과 졸업(공학박사). 1975년~현재 국방과학연구소 책임연구원