

---

# 나카가미 페이딩 채널하에서 멀티톤 재밍을 고려한 FH MC/DS CDMA 시스템의 성능분석

김상욱\*.박진수\*

Performance Analysis of FH MC/DS CDMA System with Multi-tone Jamming  
over Nakagami Fading Channel

Sang-Wook Kim\* · Jin-Soo Park\*

---

본 연구는 산업자원부 · 한국산업기술평가원 지정 청주대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것입니다.

---

## 요 약

본 논문에서는 Multi-Carrier 방식중의 하나인 MC DS/CDMA 방식과 대역확산 방식중의 하나인 주파수 호핑 방식을 결합한 FH MC-DS CDMA 시스템에서 SFH와 FFH를 적용하여 나카가미 페이딩 채널 하에서 멀티톤 재밍을 고려하여 시스템의 BER 성능을 비교·분석하였다. 호핑 횟수가 증가된다는 것은 주파수 다이버시티의 효과를 얻을 수 있게 되어 수신측의 부담을 줄이면서 FH MC DS/CDMA 시스템의 BER 성능을 향상시킬 수 있다는 것을 의미한다. 따라서 호핑 횟수를 증가시킴으로써 FH MC/DS CDMA 시스템의 성능을 개선할 수 있음을 입증하였다.

## ABSTRACT

In this paper, it was estimated the BER performance of the individual system type by applying the SFH type and the FFH type to the FH MC-DS CDMA system that combined the strong points of MC DS/CDMA and that of Frequency Hopping under the Nakagami fading channel with Multi-tone Jamming. An increase in the number of hoppings means that it can improve the BER performance by reducing the receiving burden of the FH MC DS/CDMA by achieving a frequency diversity effect. Therefore, I verified that the performances of the FH MC DS/CDMA system could be improved by increasing the number of hoppings.

## 키워드

Nakagami, FH, MC/DS, CDMA

## · I . 서 론

이동통신기술은 다중접속기법과 더불어 발전되어 왔으며 최근 이동통신기술은 단순히 음성정보만을 전

송하던 것에서 벗어나 단문메시지서비스(SMS : Short Message Service)를 시작으로 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하고 있다. 그러나 양질의 멀티미디어 서비스는 제공하지 못하고 있으며, 이를 해결하기 위한 연

구중의 하나로 대역확산기법(SS : Spread Spectrum)을 바탕으로 한 새로운 다중 접속 기술인 OFDM기술과 CDMA기술의 결합을 바탕으로 한 MC-CDMA와 MC DS/CDMA 및 MT-CDMA 기술등이 제안·연구되었다.[1-4]

본 논문에서는 Multi-Carrier 방식중의 하나인 MC DS/CDMA 방식과 대역확산 방식중의 하나인 주파수 호핑 방식을 결합한 FH MC-DS CDMA 시스템에서 SFH와 FFH를 적용하여 나카가미 페이딩 채널 하에서 멀티톤 재밍을 고려하여 시스템의 BER 성능을 비교·분석하였다. 시스템의 성능분석을 위해 BPSK변조 방식을 사용하였으며, 나카가미 페이딩 지수  $m$ , MRC 다이버시티의 브랜치 수  $L$ , 및 멀티톤 재밍의 변화에 따른 시스템의 성능을 호핑 횟수가 1인 경우와 4인 경우에 대하여 비교·분석하였다.

## II. 본 론

본 논문에서 성능을 분석할 FH MC DS-CDMA 시스템의 송신기 모델은 그림 1과 같다. 입력된 데이터는 직·병렬기를 거쳐 병렬 신호로 바뀌어지는데, 이때 주파수 합성기에서의 출력 수와 주파수 선택기의 출력 수의 조합으로 생성되는 Constant Weight Code Book인  $C(Q, U_k)$ 에 의해 병렬 신호의 수가 결정되며, 병렬 신호의 수에 따라 부 반송파가 선택되어진다. 입력된 데이터는 병렬 처리 된 후 각 병렬 신호에 확산코드를 곱해 시간영역에서 확산시킨 후 선택된 부 반송파를 통해 데이터를 전송하게 된다.

그림 2는 본 논문에서 성능을 분석하고자하는 FH MC DS-CDMA 시스템의  $K$  번째 사용자에 대한 수신기 모델이다. 수신기에서는 각각의 부 반송파를 선택할 수 있는 BPF(Band Pass Filter)를 통해 사용된 부 반송파를 확인하며 이 때 호핑에 관한 정보를 수신하게 된다. 즉 사용된 부 반송파를 검출하여 복조에 사용하게 된다. 신호를 검출하기 위한 단계로 펄스의 존재 유무를 판별하는 정합필터(MF: Matched Filter)를 사용하여 펄스를 복원하고 최대비 결합기인 MRC를 사용하여 원 신호를 복원하게 된다. 복원된 신호들은 수신된 호핑 정보를 이용하여 병·직렬변환기로 원래의 데이터 스트림의 형태를 복조하게 된다.

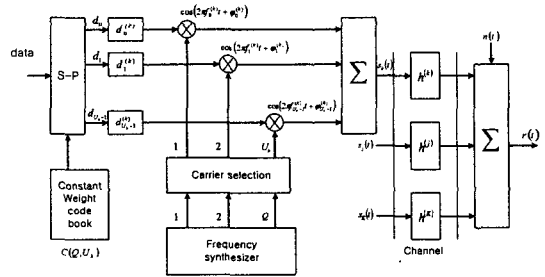


그림 1. FH MC DS-CDMA 시스템의 송신기와 채널 블록도

Fig. 1 Block diagram of transmitter and channel of FH MC DS-CDMA system

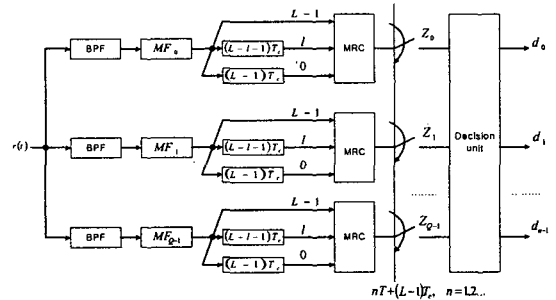


그림 2. FH MC DS-CDMA 시스템의 수신기 블록도  
Fig. 2 Block diagram of receiver of FH MC DS-CDMA system

## III. 성능 분석

Constant Weight Code인  $C(Q, U_k)$ 는  $k$  번째 사용자가 사용하는 FH의 부 반송파의 수인  $U_k$ 와 주파수 합성기의 출력  $Q$ 로 이루어진다. 이때 사용 가능한 코드의 수는 다음과 같다.

$$\binom{Q}{U_k} = \frac{Q!}{U_k!(Q-U_k)!} \quad (1)$$

또한 MC 시스템에서는 부 반송파를 이용하여 전송율을 높일 수 있는데, 만일 각 부 반송파가 서로 독립적일 때 호핑횟수  $F_h$ 를 고려한 hit 확률값은 다음과 같다.

$$P_h = \frac{1}{QM F_h} \sum_{i=1}^M U_i \quad (2)$$

여기서  $U_k$  는  $k$  번째 사용자가 사용하는 FH의 부반송파의 수이다. 직접 확산된  $k$  번째 사용자의 전송 신호는 다음과 같다.

$$s_k(t) = \sum_{u_k=0}^{U_k-1} \sqrt{2P} d_k^{u_k}(t) c_{u_k}^k(t) \cdot \cos(2\pi f_{u_k}^k t + \phi_{u_k}^k) \quad (3)$$

따라서  $K$  명의 사용자를 가지는 비동기 CDMA 시스템의 수신신호는 다음과 같다.

$$r(t) = \sqrt{2P} \sum_{k=1}^K \sum_{u_k=0}^{U_k-1} \sum_{l_p=0}^{L_p-1} \alpha_{u_k, l_p}^k d_k^{u_k}(t - l_p T_c - \tau_k) \cdot c_{u_k}^k(t - l_p T_c - \tau_k) \cos(2\pi f_{u_k}^k t + \psi_{u_k, l_p}^k) + n(t) \quad (4)$$

간섭과 잡음성분인  $I_q$  는 MAI와 자기 간섭항은 영평균과 각각의 분산에 대한 합을 가지는 Additive Gaussian Noise로 모델링 할 수 있으며, 이때  $I_q$  의  $\sigma^2$  은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\sigma^2 = \left[ \frac{1}{2N} \sum_{\substack{l_p=0 \\ l_p \neq 0}}^{L_p-1} \Omega_{q, l_p} + \frac{1}{3N} \sum_{p,h=1}^{K_1} \sum_{l_p=0}^{L_p-1} \Omega_{q, l_p}^h \cdot \sum_{l=0}^{L-1} \alpha_{q, l}^2 + \left( \frac{2E_b}{N_0} \right)^{-1} \right] \quad (5)$$

FH MC DS-CDMA 시스템의 성능분석은 먼저 hit에 대한 평균적인 조건부 에러 확률을 계산함으로써 시스템의 BER을 구할 수 있으며, 평균 BER은 다음과 같다.[5]

$$P_b = \sum_{K_h=0}^{K-1} \binom{K-1}{K_h} P_h^{K_h} (1-P_h)^{K-1-K_h} P_b(K_h) \quad (6)$$

$P_b(K_h)$  은 타 사용자에게 의한 hit를 고려한 조건부 에러 확률이며, 다중경로에 의한 감쇄 성분인  $\{\alpha_{q, l}\}$  을 함께 고려한 조건부 에러 확률은 다음과 같다.

$$P_b(K_h, \{S_i\}_{i=0}^{L-1}) = Q \left( \sqrt{\gamma \sum_{i=0}^{L-1} S_i} \right) \quad (7)$$

식(6)번에서  $\bar{\gamma}$  는 수신된 신호의 평균적인 신호대잡음비이며 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{\gamma} = \left[ \frac{q(L_p, \eta)}{2N_p} \left( \frac{L_p-1}{L_p} \right) + \frac{K_H(L_p, \eta)}{3N_p} + \left( \frac{2\Omega_0 E_b}{n_0} \right)^{-1} \right]^{-1} \quad (8)$$

Alouini와 Goldsmith의 분석에 의해 closed-form으로 표현이 가능하며 근사화하면 다음과 같다. [6][7]

$$P_b(K_h) = \sqrt{\frac{\bar{\gamma}}{\bar{\gamma}+2m}} \frac{(1+\bar{\gamma}/2m)^{-mL} \Gamma(mL+1/2)}{2\sqrt{\pi} \Gamma(mL+1)} \times {}_2F_1 \left( 1, mL + \frac{1}{2}; mL+1; \frac{2m}{2m+\bar{\gamma}} \right) \quad (9)$$

이때  ${}_2F_1(a, b; c; z)$  는 하이퍼지오메트릭 함수이며 다음과 같이 정의된다.

$${}_2F_1(a, b; c; z) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{(a)_k (b)_k z^k}{(c)_k k!} \quad (10)$$

$$(a)_k = a(a+1)\dots(a+k-1), \quad (a)_0 = 1$$

#### IV. 시뮬레이션 결과 및 고찰

본 논문에서는 Multi Carrier 방식중의 하나인 MC DS/CDMA 방식과 대역확산방식중의 하나인 주파수호핑 방식을 결합한 FH MC-DS CDMA 시스템에서 나카가미 페이딩 지수  $m$ , MRC 다이버시티의 브랜치 수  $L$ , 및 멀티톤 재밍의 변화에 따른 시스템의 성능을 호핑 횟수 1, 4에 대하여 비교·분석하였다.

페이딩지수  $m$ 과 다이버시티의 브랜치수인  $L$ 이 증가할수록 호핑 횟수 1과 4에 대한 성능차이가 더 커지고 있음을 확인하였다.

분석결과 재밍이 10dB인 경우  $10^3$ 을 기준으로 살펴보면 호핑 횟수가 4인 경우 SNR per bit의 값이 약 12dB인 것을 볼 수 있지만 호핑 횟수가 1인 경우에는 SNR per bit를 증가시켜도  $10^3$ 을 만족할 수 없는 것을 볼 수 있었다.

Q=8,  $\eta=0.2$ , L=3, N=256, M=8인 경우

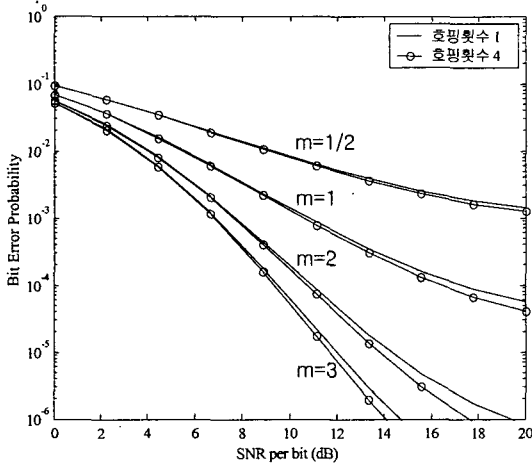


그림 3. 페이딩 지수 m의 변화에 따른 FH MC DS-CDMA 시스템의 성능분석

Fig. 3 Performance analysis of FH MC DS-CDMA system in accordance with changes in fading index, m

Q=8,  $\eta=0.2$ , N=256, m=3, L=3, M=8인 경우

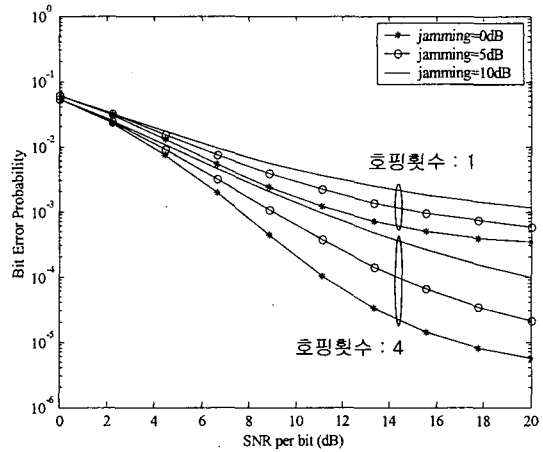


그림 5. m=3일 때 멀티톤 재밍의 변화에 따른 FH MC DS-CDMA 시스템의 성능분석

Fig. 5 Performance analysis of FH MC DS-CDMA system with changes in multi-tone jamming when m=3

## V. 결론

본 논문에서는 나카가미 페이딩 채널 하에서 MC DS/CDMA 방식에 주파수호핑 방식을 적용한 FH MC-DS CDMA 시스템에서 파라미터들의 변화가 시스템의 BER 성능에 끼치는 영향을 나카가미 페이딩 지수 m, MRC 다이버시티의 브랜치 수 L, 멀티톤 재밍의 변화에 대하여 시스템의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 비교·분석하였다.

분석 결과 나카가미 페이딩 지수 m값과 MRC 다이버시티의 브랜치 수 L이 증가할수록 호핑 횟수 1인 경우와 호핑 횟수 4인 경우 모두 성능이 향상됨을 확인하였고, 호핑 횟수가 4인 경우 호핑 횟수가 1인 경우보다 성능이 더 우수함을 알 수 있었으며, 멀티톤 재밍의 유·무에 상관없이 호핑 횟수가 4인 방식의 성능이 더 우수함을 확인하였다.

호핑 횟수가 증가된다는 것은 주파수 다이버시티의 효과를 얻을 수 있게 되어 수신측의 부담을 줄이면서 FH MC DS/CDMA 시스템의 BER 성능을 향상시킬 수 있다는 것을 입증한다.

Q=8,  $\eta=0.2$ , N=256, m=1, M=8인 경우

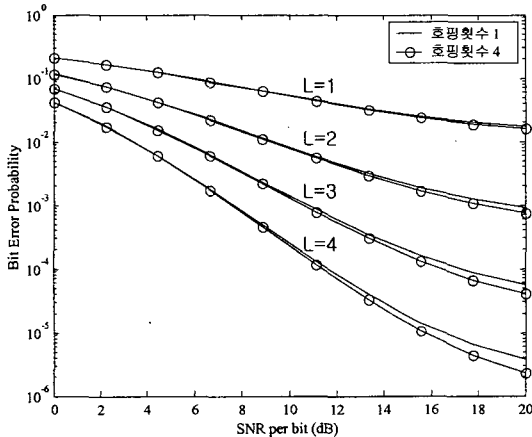


그림 4. MRC 브랜치 수 L의 변화에 따른 FH MC DS-CDMA 시스템의 성능분석

Fig. 4 Performance analysis of FH MC DS-CDMA system in accordance with changes in MRC branch number, L

감사의 글

본 연구는 산업자원부·한국산업기술평가원 지정  
청주대학교 정보통신연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

- [1] Shinsuke Hara, Ramjee Prasad, "Overview of Multicarrier CDMA", IEEE Comm Mag, Dec. 1997, pp126-133.
- [2] Khaled Fazel, Gerhard P. Fettweis, Multi-Carrier Spread-Spectrum, Kluwer Academic Publishers, 1997
- [3] Shiro Kondo & Laurence B. Milstein, "Performance of Multicarrier DS CDMA System", IEEE Trans Comm, Vol. 44, no 2, pp. 238-246, February, 1996
- [4] E. Sourour and M. Nakagawa, "Performance of Orthogonal Multicarrier CDMA in a Multipath Fading Channel," IEEE Trans. Commun., Vol. 44, no. 3, Mar. 1996, pp. 356-367
- [5] Lie-Liang Yang, Lajos Hanzo, "Slow Frequency-Hopping Multicarrier DS-CDMA for Transmission over Nakagami Multipath Fading Channels", IEEE Journal on Selected Areas in Comm, vol 19, no 7, July 2001
- [6] J. G. Proakis, Digital Communications, 3rd ed. New York, McGraw-Hill, 1995

- [7] M. S. Alouini and A. J. Goldsmith, "A unified approach for calculating error rates of linearly modulated signals over generalized fading channels", IEEE Trans, Comm vol. 47, pp. 1324-1334, Sept. 1999

저자소개



김상욱(Sang-Wook Kim)

청주대학교 전자공학과 공학박사

※관심분야 : 이동통신, GPS



박진수(Jin-Soo Park)

청주대학교 정보통신공학부 교수  
청주대학교 정보통신연구센터장

※관심분야 : 이동통신, 통신