

# 무선 통신 채널 환경에서 결합변조 기법을 적용한 DS/CDMA 시스템 성능 평가

## Performance Evaluation of DS/CDMA System with Joint-Modulation Scheme in Wireless Communication Environment

이양선, 강희조  
목원대학교 IT공학과

Lee Yang-Sun, Kang Heau-Jo  
Dept. of IT Eng., Mokwon Univ.

### 요약

본 논문에서는 다양한 무선 통신 채널 환경에서 레일리 페이딩과 라이시안 페이딩 등을 모두 포함할 수 있고 이동 통신과 위성 통신에서도 적용할 수 있는 페이딩 모델로서 나카가미 페이딩 모델을 도입하고 전자기기에서 방출되는 임펄스 간섭과를 채널 환경으로 모델링하여 결합변조기법을 채용한 DS-CDMA 시스템의 성능을 분석하였다. 변조방식으로는 대역폭 효율 개선을 위해 MFSK와 MDPSK를 고려한 결합변조기법을 채용하였으며 실내 무선 페이딩 채널로써 직접파대 반사파 전력비를 나카가미 페이딩 심도지수  $m$ 으로 산출하여 임펄스 지수  $A$ 와 가우스 잡음 전력 대 임펄스 잡음 전력 비  $I'$ 를 파라미터로 하여 시스템 오율성능을 분석하였다.

## I. 서론

오늘날 정보의 양이 기하 급수적으로 증가하고, 여기에 따르는 멀티미디어 통신 서비스를 제공하는 네트워크에 대한 기대가 한층 높아지고 있다. 그러나 이들 멀티미디어 정보를 전송하기 위해서는 효율적인 대역폭 사용과 우수한 전송품질을 갖는 고속 디지털 전송 시스템이 필요하다.

Geraniotis[1]가 동기와 비동기의 성능을 랜덤계열에 대하여 해석한 결과 MFSK DS/CDMA가 MPSK DS/CDMA 보다 에러 성능면에서 더 낮은 확률을 보여주었다. DS/CDMA 시스템에서는 전력 효율과 대역폭 효율에 깊은 관련이 있으며[2], 이에 대하여 MFSK DS/CDMA는 MPSK DS/CDMA보다 높은 대역폭 효율을 갖는 것으로 알려져 있다. 이를 위하여 MFSK와 MDPSK 변조 기법을 합성한 새로운 시스템을 알아본다. 참고문헌 [3]에서, 이의 특별

한 경우를 고려하였는데, 이는 MFSK-BPSK DS/CDMA 시스템의 경우이다. 본 논문에서는 이를 더 확장하여, 주파수 선택성 페이딩과 최근 대두되고 있는 전자기기에서 방출되는 임펄스 간섭 환경에서 결합변조기법을 사용한 DS/CDMA 시스템 성능을 분석하고 이러한 시스템의 성능개선기법으로 다이버시티 기법과 에러 정정 부호화기법을 사용하여 성능을 개선한다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 비동기 CDMA 시스템을 고려하기로 한다. 시스템은 균등하게 이용되도록  $K$ 명의 동일한 사용자가 제공된다. 두 개의 결합변조 시스템에서 MFSK의 주파수 tone 수는  $M_f$ 개가 이용되며, MDPSK는 차동위상에 대하여  $M_p$ 개가 이용된다. 입

력 데이터는  $\log_2(M_f M_p)$  비트로써  $\log_2 M_f$  비트는  $M_f$ 개의 주파수 톤 중 하나를 선택하며,  $\log_2 M_p$  비트는 각 주파수 톤을 선택한 것 중에서  $M_p$ 개의 차동위상중 하나를 선택한다. MFSK 변조기는 주파수 톤중에서  $\log_2 M_f$ 의 입력 비트를 선택하면, MDPSK 변조기의 주파수 톤은  $\log_2 M_p$ 개의 입력 비트에 따라서 차동 위상변조를 한다. 이때, 심볼 에러율과 심볼 에너지는 다음과 같다.

$$R_s = \frac{R_b}{\log_2(M_f M_p)} \quad (1)$$

$$E_s = \log_2(M_f M_p) E_b \quad (2)$$

각 심볼은 PN 부호열의 전체 주기를 갖는 것으로 가정한다. PN 칩률은  $R_c = NR_s$  이고, N은 PN 열의 길이이며, 칩에너지는  $E_c = E_s N$ 이 된다. 비트 에너지 대 잡음 전력 밀도 비는  $\gamma_b = E_b/N_0$ , 심볼 에너지 대 잡음 전력 밀도 비는  $\gamma_s = E_s/N_0$ 이다. 만약 Raised Cosine 필터기의 롤-오프 계수  $\alpha$ 를 이용하면 전체 신호 대역폭 W는 다음과 같다.

$$W = (1 + \alpha) M_f R_c = (1 + \alpha) M_f N R_s \\ = \frac{(1 + \alpha) M_f N R_b}{\log_2(M_f M_p)} \quad (3)$$

## 1. 결합변조 DS/CDMA 시스템

MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템은 부호화 하지 않은 시스템을 AWGN 채널에서 먼저 고려한다. 불규칙한 신호들에 대한 동기 DPSK DS/CDMA 시스템의 효율적인 비트 에너지 대 잡음 스펙트럼 밀도 비는 다음과 같다[4].

$$\gamma_s' = \left[ \gamma_b^{-1} + \left( \frac{3N}{2(K-1)} \right)^{-1} \right]^{-1} \quad (4)$$

N : PN 부호열의 길이, K : 사용자수.

MDPSK-DS/CDMA 시스템에 대하여, 식 (3)에서  $M_f=1$  그리고  $M_p=2$ 로 갖는다고 하고, 여기에서 대역폭은  $W = NR_b$ 이 된다. 식 (4)에서 N을  $W/R_b$ 로 하면 시스템 용량은 다음과 같다.

$$\eta = \frac{K R_b}{W} \approx \frac{3}{2} \frac{\gamma_b - \gamma_s'}{\gamma_b \gamma_s'} \quad (5)$$

만약  $\gamma_b \rightarrow \infty$  이면, 비대칭적인 용량을 갖게 되는 데 이는 식 (6)이 되며, 이 때 비대칭적인 용량을 역으로 하면 비례적인  $\gamma_b'$ 가 된다.

$$\eta_{\max} = \frac{3}{2\gamma_s'} \quad (6)$$

MFSK DS/CDMA 시스템의 효율적인 비트 에너지 대 잡음 스펙트럼 밀도 비는 다음과 같다[1].

$$\gamma_b' = \left[ \gamma_b^{-1} + \left( \frac{3M_f N}{2(K-1)\log_2 M_f} \right)^{-1} \right]^{-1} \quad (7)$$

식 (3)에서  $M_p=1$ 을 가지면,  $W/R = M_f N / \log_2(M_f)$ 가 되며, 식 (4)와 (7)로부터  $\gamma_b'$ 는 다중접속 간섭과  $\gamma_b$ 를 갖도록 한다. MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템에 관하여  $\gamma_b'$ 에 대하여 같은 식으로써 존재하게 된다. MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템의 수신기는 두 개의 복조단을 필요로 하므로, 첫 번째 검파(MFSK)단에서의 에러 확률을  $P_f$ , 두 번째 검파(MDPSK)단에서의 에러 확률인  $P_p$ 를 갖게 된다. 이 때 심볼에러의 전체 확률은 다음과 같다.

$$P_s = 1 - (1 - P_f)(1 - P_p) \\ = P_f + P_p - P_f P_p \\ \approx P_f + P_p \quad (8)$$

$P_f$ 와  $P_p$ 는 참고문헌 [4], [5]에서 정의하였다.

$$P_f = \sum_{n=1}^{M_f-1} (-1)^{n+1} \binom{M_f-1}{n} \frac{1}{n+1} e^{-\gamma_c n/(n+1)} \quad (9)$$

$$P_p = Q\left(\sqrt{2\gamma_s'} \sin \frac{\pi}{2M_p}\right) \quad (10)$$

각 심볼이  $\log(M_f M_p)$ 로 된다고 하다면, 비트 에러 확률은 다음과 같다.

$$P_b \approx \frac{2^{\lceil \log_2(M_f M_p) \rceil - 1}}{2^{\lceil \log_2(M_f M_p) \rceil} - 1} P_s \quad (11)$$

## 2. 임펄스 간섭 모델

임펄스 잡음의 통계적 모델 중에서 Middleton의 A급 임펄스 잡음은 무선 통신 시스템의 성능 평가에 있어서 취급하기 쉽고, 거의 모든 종류의 실제 임펄스 잡음을 표현하는데 사용되는 정량화된 방법이다.

일반적으로 협대역 잡음  $n(t)$ 를 동상 성분과 직교 성분으로 나타내면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$n(t) = x(t) \cos w_c t - y(t) \sin w_c t \quad (12)$$

여기서  $w_c$ 는 협대역 잡음의 중심 각 주파수이다. 잡음  $n(t)$ 를 A급 임펄스 잡음으로 가정할 때 이에 대한 결합확률밀도함수(p.d.f.)는 다음과 같다.

$$p_i(x, y) = e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{m! 2\pi W \sigma_m^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2W \sigma_m^2}\right) \quad (13)$$

여기서,  $\sigma_m^2 = \frac{m/A + \Gamma'}{1 + \Gamma'}$ ,  $\Gamma' = \sigma_c^2 / \sigma_i^2$ 는 가우스 잡음 전력 대 임펄스 잡음 전력비,  $A$ 는 임펄스 지수(단위 시간당 임펄스 성분이 차지하는 비율),

$W = \sigma_c^2 + \sigma_i^2$ 는 전체 잡음 전력을 나타낸다[6].

## III. 페이딩과 임펄스 간섭 환경하에서의 MRC 다이버시티 기법

주파수 선택성 페이딩을 개선을 위하여 다이버시티 효과가 가장 우수한 최대비 합성 다이버시티를 채용하여 페이딩에 의한 성능 저하를 보상한다. 다이버시티의 가지의 수가  $L$ 개인 MRC다이버시티 출력단의 SNR,  $\gamma_D$ 는 다음과 같다[7].

$$\gamma_D = \sum_{i=1}^L \gamma_i \quad (14)$$

각 다이버시티 가지에서의 페이딩과 잡음의 영향이 독립적이라면, 나카가미 페이딩 환경에서 수신 신호  $\gamma$ 의 순시 SNR에 대한 확률밀도 함수는 다음과 같이 주어진다.

$$p_L(\gamma_D) = \frac{m^{mL} \gamma_D^{mL-1}}{\Gamma(mL) R^{mL}} e^{-\frac{m\gamma_D}{R}} \quad (15)$$

$\Gamma(\cdot)$  : 감마함수,  $\gamma_D$  : 순시 SNR,

$R$  : 평균 SNR,  $m \geq 1/2$  : 페이딩 지수,

$L$  : 다이버시티 가지의 수.

나카가미 페이딩과 임펄스 간섭 채널에서 MRC 다이버시티 수신시 MFSK 신호의 심벌 오류식은 다음과 같이 구한다.

$$P_{eFL} = \int_0^{\infty} P_f \cdot p_i(x, y) \cdot p_L(\gamma_D) d\gamma_D \quad (16)$$

## IV. 페이딩과 임펄스 간섭 환경하에서 에러 정정 부호화 기법

BCH 부호는 순환부호 중 가장 중요한 부호로서 이 부호는 에러 정정 부호로서 우수한 부호 중의 하나이

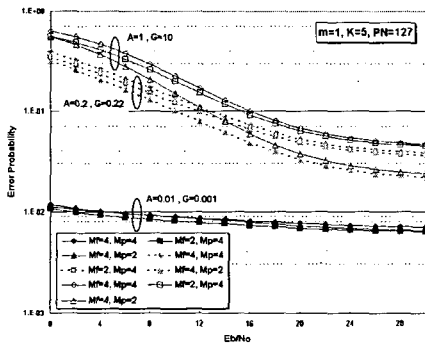
다. BCH 부호화를 한 경우의 비트 오류율은 다음과 같이 구한다[8].

$$P_{BCH} = \frac{M}{2(M-1)} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n i \binom{n}{i} P_e^i (1-P_e)^{n-i} \quad (17)$$

단,  $P_e$  : 변조신호의 오류 ( $E_b/N_0 = r_1 \cdot E_b/N_0$ ),  $r_1 (=k/n)$  : 부호율,  $t=[(d-1)/2]$  : 채널의 비트 에러 정정 수,  $d$  : 부호의 최소거리,  $n$  : 블록의 최소거리.

### V. 시스템 성능 해석 및 검토

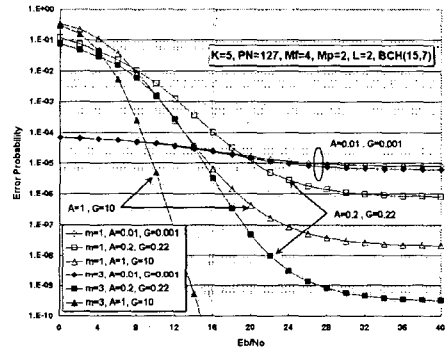
앞에서 유도한 비트 오류율을 이용하여 비트 에너지 대 잡음 전력 밀도비( $E_b/N_0$ ), 사용자 수(K), 심볼 수( $M_p, M_f$ ), PN 부호열의 길이(N), 다이버시티 가지 수(L), 부호화 이득 등을 함수로 하여 시스템 오류 성능을 [그림 1-3]에 나타내었다.



▶▶ 그림 1. 주파수 선택성 페이딩과 임펄스 간섭 환경하에서  $M_f, M_p$ 의 변화에 따른 MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템의 오류 특성

[그림 1]에서는 주파수 선택성 페이딩과 임펄스 간섭 환경하에서  $M_p, M_f$ 를 2, 4-ary로 변화를 주었다. 결과와 같이  $M_f=4, M_p=2$ 인 경우에 오류 성능이 가

장 좋았으며 강한 임펄스 간섭 환경에서는 페이딩 보다는 임펄스 간섭의 영향이 시스템에 크게 영향을 미침을 알 수 있다. 또한, 강한 임펄스 간섭 환경 ( $A=0.01, \Gamma'=0.001$ )보다 약한 임펄스 간섭 환경 ( $A=0.2, \Gamma'=0.22$ )에서 성능이 훨씬 열악한 것을 볼 수 있는데 이는 강한 임펄스성 전자간섭과 환경은 임펄스성 전력은 크지만 빈번하게 발생하지 않고, 약한 임펄스성 전자간섭과 환경은 비록 임펄스성 전력은 상대적으로 작지만 훨씬 빈번하게 발생하므로 낮은 신호 전력에서 BER 성능에 더 큰 영향을 미치기 때문이다.



▶▶ 그림 2. 주파수 선택성 페이딩 환경하에서  $M_f=4, M_p=2$ 인 경우, 성능개선기법을 채용한 경우, MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템의 오류 특성

[그림 2]에서는 주파수 선택성 페이딩에서  $M_f=4, M_p=2$ 이고 성능개선기법으로 다이버시티와 부호화 기법을 채용한 경우, 임펄스 잡음 지수와  $m$ 값의 변화에 따른 시스템 오류특성이다. 결과에 의하면 강한 임펄스 간섭 환경에서는  $m$ 값의 변화와는 무관하게 임펄스 간섭에 의해 시스템에 큰 영향을 줄을 알 수 있고 신호전력이 증가할수록 약한 임펄스 간섭 ( $A=0.2, \Gamma'=0.22$ ) 환경에서 개선 효과가 큼을 알 수 있다.

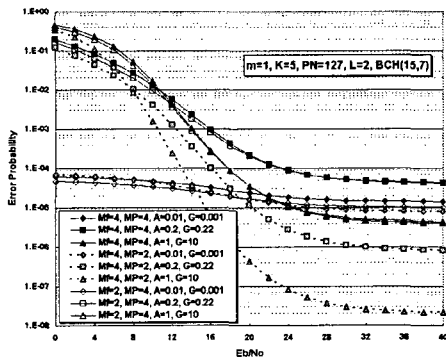


그림 3. 주파수 선택성 페이딩과 임펄스 간섭 환경하에서 성능개선기법을 채용한 경우,  $M_f$ ,  $M_p$ 의 변화에 따른 MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템의 오율 특성

[그림 3]에서는 주파수 선택성 페이딩과 임펄스 간섭 환경하에서 성능 개선 기법을 채용한 경우,  $M_f$ ,  $M_p$ 의 변화에 따른 시스템의 오율 특성을 나타내고 있다. MFSK-MDPSK DS/CDMA에서 다이버시티 ( $L=2$ )기법, BCH(15,7) 부호화기법을 채용한 경우,  $M_f=4$ ,  $M_p=2$ 일 때, 우수한 전력 효율과 대역폭 효율을 얻을 수 있었고, 강한 임펄스 간섭 환경에서도 성능을 크게 개선시킬 수 있었다.

## VI. 결론

본 논문에서는 다중경로 페이딩이 존재하는 주파수 선택성 페이딩과 임펄스 간섭 환경에서 성능 개선 기법을 도입한 MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템의 성능 개선 정도를 정량적으로 분석하였다. 성능개선 기법으로는 MRC 다이버시티 기법과 BCH(15,7) 부호화 기법을 채용하였다.

그 결과 주파수 선택성 페이딩에서 결합변조 시스템에 대하여  $E_b/N_0=20$ 일 때를 기준으로 한 경우,  $M_f=4$ ,  $M_p=2$ 인 경우가 가장 성능이 좋았으며, 그 다음으로  $M_f=2$ ,  $M_p=4$ 인 경우, 그리고  $M_f=4$ ,  $M_p=4$ 인 순서대로 오율 성능이 좋았다. 그리고 MRC 다이버시티 기법 및 부호화 기법을 채용한 경우 다이버시티 기법으로 페이딩에 의한 성능 열화를 보상하고

부호화 기법으로 임펄스 간섭에 의한 에러를 정정함으로써 효과적으로 시스템 성능의 열화를 보상할 수 있었다. 또한, 결합변조기법을 사용함으로써 강한 임펄스 환경에서도 만족할 만한 시스템 성능을 얻을 수 있었다.

본 논문에서 분석한 MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템은 비록 복잡한 하드웨어 구조를 갖는 단점이 있으나 기존의 MFSK 및 MDPSK DS/CDMA 시스템보다 우수한 오율 성능을 보임으로 채널환경에 적절한 결합변조 파라미터를 사용함으로써 효과적인 통신시스템을 설계할 수 있을 것이다.

## 참고 문헌

- [1] E. A. Geraniotis, "Performance of noncoherent direct sequence multiple-access communications," IEEE J. Select. Area Commun., Vol.SAC-3, pp.687-694, Sep. 1985.
- [2] B. Sklar, "Defining, designing, and evaluating digital communication systems," IEEE Commun. Magazine, Nov. 1993.
- [3] J. Wang and A. Yongaçoglu, "MFSK modulated PSK direct sequence CDMA," 16th Biennial Symposium on Communications, Kingston, Canada, May 27-29, 1992.
- [4] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase coded spread-spectrum multiple-access communication Part I : system analysis," IEEE Trans. Commun., Vol.COM-25, No.8, pp.795-799, Aug. 1977.
- [5] J. G. Proakis, Digital Communications, McGraw-Hill : New York, 1989.
- [6] D. Middleton, "Statistical-physical models of electromagnetic interference," IEEE Trans. on Electromag. Compat., Vol.EMC-19, No.3, pp.106-127, Aug. 1977.
- [7] E. Al-Hussaini and A. Al-Bassiouni, "Performance of MRC diversity systems for the detection of signals with Nakagami fading," IEEE Trans. Commun., Vol.COM-33, No.12, pp.1315-1319, Dec. 1985.
- [8] D. J. Torrieri, "The information bit error rate for block code," IEEE Trans. Commun., Vol.COM-32, No.4, pp.474-479, Apr. 1984.