

효율적인 스트리밍 전송을 위한 합성변조 CDMA 시스템에 관한 연구

이양선*, 강희조**

요약

본 논문에서는 효율적인 스트리밍 전송을 위한 합성변조 CDMA 시스템을 제안하고 전송 채널 환경은 나카가미 페이딩 모델을 도입하고 전자기기에서 방출되는 임펄스 간섭파를 채널 환경으로 모델링하여 합성변조기법을 채용한 CDMA 시스템의 성능을 분석하였다. 또한 MRC 다이버시티 기법과 BCH 코딩 기법을 이용하여 열화된 시스템 성능을 개선하였다.

A Study on the Joint-modulation CDMA System for Efficient Streaming Transmission

Yang-Sun Lee*, Heau-Jo Kang**

Abstract

In this paper, We proposed joint-modulation CDMA system for efficient streaming transmission. and, We analyzed joint-modulation CDMA system using nakagami fading model and impulsive interference model for transmission channel environment. Also, it can being compensate the performance degradation by using MRC diversity scheme and BCH coding scheme.

Key words : Streaming transmission, joint-modulation, CDMA

1. 서론

오늘날 정보의 양이 기하 급수적으로 증가하고, 여기에 따르는 멀티미디어 통신 서비스를 제공하는 네트워크에 대한 기대가 한층 높아가고 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 여러 성능면에서 더 낮은 확률을 보여주었다. DS/CDMA시스템에서는 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 MDPSK변조 기법을 합성한 새로운 시스템을 알아본다.

참고문헌 [3]에서 이의 특별한 경우를 고려하였는데, 이는 MFSK-BPSK DS/CDMA시스템의 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 여러 정정 부호화기법을 사용하여 성능을 개선한다.

* 제일저자(First Author) : 이양선

접수일 : 2005년 9 월 22 일, 완료일 : 2005년 11 월 18 일

* 목원대학교 대학원 IT공학과 박사과정

yslee@mokwon.ac.kr

** 목원대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 조교수

* 본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성 사업의 연구결과로 수행되었음

2. 시스템 모델

본 논문에서는 비동기 CDMA 시스템을 고려하기로 한다. 시스템은 균등하게 이용되도록 K명의 동일한 사용자가 제공된다. 두 개의 결합변조 시스템에서 MFSK의 주파수 tone 수는 Mf개가 이용되며, MDPSK는 차동위상에 대하여 Mp개가 이용된다. 입력 데이터는 log2(MfMp)비트로써 log2Mf 비트는 Mf개의 주파수 톤 중 하나를 선택하며, log2Mp 비트는 각 주파수 톤을 선택한 것 중에서 Mp개의 차동위상중 하나를 선택한다. MFSK변조기는 주파수 톤중에서 log2Mf의 입력 비트를 선택하면, MDPSK 변조기의 주파수 톤은 log2Mp개의 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 에너지대 잡음 전력 밀도 비는 $\gamma_b = E_b/N_0$, 심볼 에너지대 잡음전력 밀도비는 $\gamma_s = E_s/N_0$ 이다. 만약 Raised Cosine 필터기의 롤-오프 계수 α 를 이용하면 전체 신호 대역폭 W는 다음과 같다.

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

2.1 합성변조 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 Mf=1 그리고 Mp=2로 갖는다고 하고, 여기에서 대역폭은 $W = NR_b$ 이 된다. 식 (4)에서 N을 W/Rb로 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 되는데 이는 식 (6)이 되며, 이 때 비대칭적인 용량을 역으로 하면 비례적인 γ_b' 가 된다.

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

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

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

식 (3)에서 MP=1을 갖으면, $W/R = M_f N / \log_2(M_f)$ 가 되며, 식 (4)와 (7)로 부터 γ_b' 는 다중접속 간섭과 γ_b 를 갖도록 한다. MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템에 관하여 γ_b' 에 대하여 같은 식으로써 존재하게 된다. MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템의 수신기는 두 개의 복조단을 필요로 하므로, 첫번째 검파(MFSK)단에서의 에러 확률을 Pf, 두번째 검파(MDPSK)단에서의 에러확률인 Pp를 갖게 된다. 이 때 심볼에러의 전체 확률은 다음과 같다.

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

Pf와 Pp는 참고문헌 [4], [5]에서 정의하였다.

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

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

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

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

2.2 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 가정할때 이에 대한 결합확률밀도함수(p.d.f.)는 다음과 같다.

$$p_1(x, y) = e^{-A} \sum_{m=0}^{\infty} \frac{A^m}{m! 2\pi W \sigma_m^2} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{2W \sigma_m^2}\right) \quad (13)$$

여기서, $\sigma_m^2 = \frac{m/A + \Gamma'}{1 + \Gamma'}$, $\Gamma' = \sigma_0^2 / \sigma_1^2$ 는 가우스 잡음 전력 대 임펄스 잡음 전력비, A 는 임펄스 지수(단위 시간당 임펄스 성분이 차지하는 비율), $W = \sigma_0^2 + \sigma_1^2$ 는 전체 잡음 전력을 나타낸다[6].

3. 페이딩과 임펄스 간섭환경에서의 MRC 다이버시티 기법

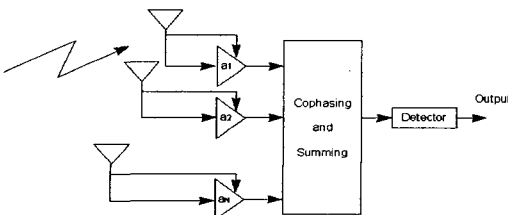


그림 1. 최대비합성 다이버시티 수신 기법

주파수 선택성 페이딩을 개선을 위하여 다이버시

티 효과가 가장 우수한 최대비 합성 다이버시티를 채용하여 페이딩에 의한 성능 저하를 보상한다.

그림 1은 최대비 합성 다이버시티 수신 기법의 기본적인 구조를 나타낸 것이다. 이 기법의 구조는 수신기 앞단에 위상 검출기가 있어서 각 다이버시티 가지 입력의 위상이 동상으로 되도록 조정한다. 각각의 포락선에 비례하여 SNR이 큰 것일수록 증폭기의 증폭 가중치를 크게 하고 SNR이 작은 것은 가중치를 작게 하여 합성하는 수신기법으로 그 성능이 다른 기법에 비해 우수하다[7].

다이버시티의 가지의 수가 L개인 MRC다이버시티 출력단의 SNR, γ_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 γ 의 순서 SNR에 대한 확률밀도 함수는 다음과 같이 주어진다.

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

- $\Gamma(\cdot)$: 감마함수, γ_D : 순서 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 오율식은 다음과 같이 구한다.

$$P_{eFL} = \int_0^{\infty} P_f \cdot p_1(x, y) \cdot p_L(\gamma_D) d\gamma_D \quad (16)$$

4. 페이딩과 임펄스 간섭환경에서의 에리정정 부호화 기법

선형 부호 중 가장 중요한 부호로는 순회 부호가 있는데, 순회 부호는 풍부한 대수학적 구조를 가지고 있어서 지금까지 많은 연구가 되어 왔다.

순회 부호는 부호화와 신드롬 계산 회로의 구성이 간단하여 가장 많이 실용화되고 있다. 또한 순회 부

호 중 가장 중요한 부호로서 BCH 부호가 있는데, 이 부호는 에러 정정 부호 중에서 가장 중요한 부호 중의 하나이다. BCH 부호는 넓은 범위의 부호장 (code length)과 에러 정정 능력을 갖고 있으며 부호장이 수천 이하인 경우, 같은 정도의 부호장과 에러 정정 능력을 갖는 부호 중에서 용장도가 제일 작은 우수한 부호이다.

BCH 부호기의 구성은 그림 2와 같다.

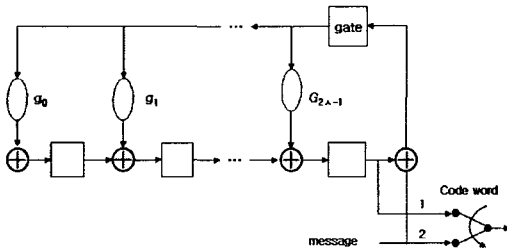


그림 2. BCH 부호기

BCH 부호화를 한 경우의 비트 오류율은 다음과 같이 구한다[8].

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

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.

5. 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 이득등을 함수로 하여 시스템 오류 성능을 그림 3~5에 나타내었다.

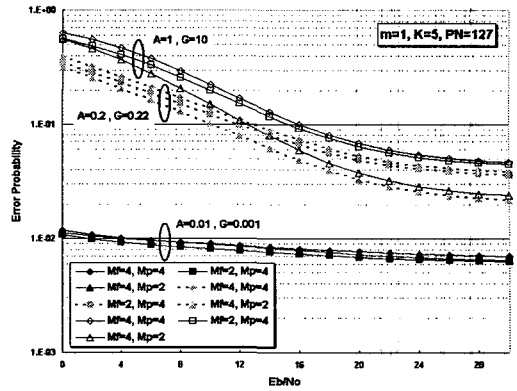


그림 3. 주파수 선택성 페이딩과 임펄스 간섭 환경 하에서 M_f, M_p 의 변화에 따른 MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템의 오류 특성

그림 3에서는 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 가장 좋았으며 강한 임펄스 간섭 환경에서는 페이딩보다는 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.

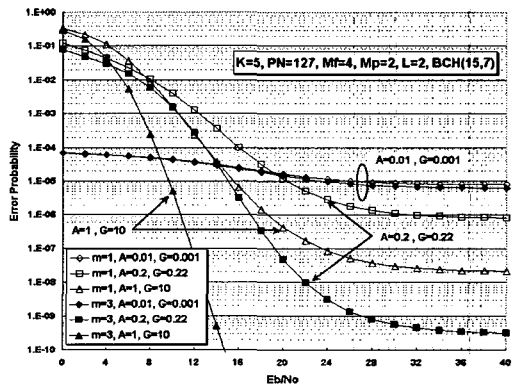


그림 4. 주파수 선택성 페이딩 환경하에서 $M_f=4, M_p=2$ 인 경우, 성능개선기법을 채용한 경우, MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템의 오류 특성

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

그림 5에서는 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.

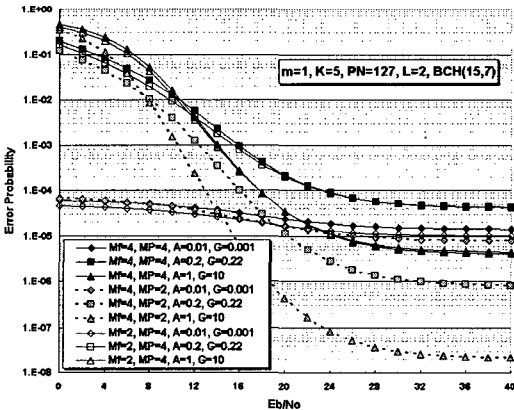


그림 5. 주파수 선택성 페이딩과 임펄스 간섭 환경하에서 성능개선기법을 채용한 경우, M_f, M_p 의 변화에 따른 MFSK-MDPSK DS/CDMA 시스템의 오율 특성

5. 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 시스

템에 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 시스템 보다 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. Yongaçoğlu, "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 1 : 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.

이 양 선



2001년 동신대학교 전기전자공학과
(공학사)
2003년 동신대학교 전기전자공학과
(공학석사)
2004년~현재 복원대학교 IT공학과
(박사과정)

2003년 3월~2004년 2월 (주)휴메이트/H/W개발부

관심분야 : 멀티미디어통신, UWB통신, 텔레매틱스,
무선통신시스템 등

강 희 조



1994년 한국항공대학교 대학원 항공
전자공학과 (공학박사)
1996년 8월~1997년 8월 오사카대학교
공학부 통신공학과 객원교수

1990년 3월~2003년 2월 동신대학교 전자정보통신
공학부 교수

2003년 3월~현재 복원대학교 컴퓨터멀티미디어
공학부 조교수

관심분야 : 멀티미디어통신, 유비쿼터스, 텔레매틱스,
무선통신, 가시광통신, 이동통신 및 위성통신,
환경전자공학, 무선광통신, 디지털컨텐츠,
RFID 등