

MC-CDMA 시스템에서 위상 오프셋을 이용한 최대전력 대 평균전력 비의 감소 방안

김성필*, 김명진**, 이재혁*
한국의외국어대학교 *제어계측공학과, **정보통신공학과

Reducing the Peak-to-Average Power Ratio of MC-CDMA System Using Phase Offset

Sung Phil Kim*, Myoung Jin Kim**, Jae Hyeok Lee*

*Department of Control and Instrumentation Engineering, **Information and Communication Engineering
Hankuk University of Foreign Studies

요약

MC-CDMA(Multi-Carrier Code Division Multiple Access) 시스템에서 전송 신호의 피크 전력 대 평균 전력(Peak-to-Average Power: PAP)율을 낮추는 방안을 제시한다. 확산 코드에 의해 결정된 각 부 캐리어의 위상 오프셋은 전송 신호의 복소 포락선 형성에 영향을 주게 되어 전송 신호의 PAP 율을 결정하게 된다. 따라서 각 부 캐리어의 위상 오프셋을 적절히 조정함으로써 PAP 율을 낮출 수 있다. 본 논문에서는 PAP 율을 감소시키는 부 캐리어 위상 오프셋 코드의 한 예를 제시하며, 모의 실험을 통하여 전송신호의 크기 분포 특성과 PAP 율의 감소를 확인한다.

1. 서론

고속의 데이터를 전송하기 위한 변조 방식으로 멀티 캐리어 변조 방식인 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)이 있다[1]. OFDM 시스템은 입력 데이터를 N 개의 병렬 데이터 열로 변환하여 각각의 직교 부 캐리어를 변조한다. 이 방식의 장점은 부 캐리어의 심볼 길이가 증가함에 따라 멀티 패스 환경에서 심볼 간 간섭이 줄어 든다는 것이다[1].

MC-CDMA 전송 방식은 입력 데이터를 동일한 병렬 N 개의 열로 만든 후 각각 다른 캐리어를 변조하는 기술로서 각 사용자에 대하여 서로 직교하는 확산 코드를 할당함으로써 다중접속 방식으로 사용될 수 있다. MC-CDMA 시스템은 DS-SS-CDMA 시스템과 달리 주파수 영역에서의 확산을 통해 주파수 다이버시티를 얻을 수 있다[2].

멀티캐리어 전송 방식은 여러 개의 정현파가 더해지므로 각각 정현파의 위상이 동일한 경우 신호 크기가 커지고 그렇지 않은 경우 신호의 크기가 상대적으로 낮아진다. 따라서 여러 캐리어로부터 합성된 전송신호는

캐리어 개수가 클수록 높은 PAP 율을 가지게 된다. 이러한 멀티캐리어 전송 방식의 높은 PAP 율 특성은 송신기의 전력 증폭기 효율을 저하시킨다. MC-CDMA 나 OFDM 의 송수신기는 FFT(Fast Fourier Transform) 알고리즘을 이용하여 디지털 회로로써 구현하는데, 양자화 비트의 결정에 있어서 신호의 PAP 율이 중요한 요소로서 고려되어야 한다. 낮은 PAP 율을 갖는 신호는 작은 비트 수로도 충분히 양자화 에러를 줄일 수 있으므로 하드웨어 구현 관점에서 용이하다. 이러한 이유들로 멀티 캐리어 전송 시스템의 PAP 율을 감소시키는 것이 바람직하다.

OFDM 에서 PAP 율을 줄이려는 기존의 방안을 살펴보면, 전송신호를 클리핑[3]하는 방식, 피크 윈도우잉[4], 코딩 방식[5] 등이 있다. 클리핑 방식의 문제점은 대역 내 잡음과 대역 외 간섭을 발생시키며 BER(Bit Error Rate) 성능의 열화이다. 그리고 피크 윈도우잉 또한 BER 성능의 저하와 대역 외 간섭을 발생시킨다[4]. 코딩 방식은 대역 외 간섭을 발생시키지는 않으나 대역폭 효율이 떨어지며, 임의의 부 채널 수에 대해 적절한 코딩 율을 유지하는 코딩 방식이 제시되지 못하였다[4].

OFDM 에서의 피크 발생은 각 부 캐리어들의 영향으로 인하여 발생한다. 그러므로 클리핑으로 인한 효과는 각기 다른 병렬 데이터 각각에 나누어져서 BER 성능에 큰 영향을 주지 않는다. 그러나 Walsh 코드를 확산 코드로 채택하여 구성된 MC-CDMA 시스템에서는 사용자 마다 할당된 확산 코드에 따라 PAP 율이 달라지게 되는데, 이 경우 클리핑 또는 피크 윈도우잉을 한다면 사용자간 BER 성능이 달라진다.

본 논문에서는 부 캐리어에 적절한 위상 오프셋을 주면, 사용자에 할당된 확산 코드와 관계없이 PAP 율을 감소시키면서도 BER 성능의 열화가 발생되지 않게 할 수 있음을 보이고 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어있다. 2 절에서는 부채널 캐리어의 위상을 편이 시킨 MC-CDMA 시스템의 구조를 간단히 설명하고, 3 절에서는 MC-CDMA 에 따른 전송 신호 포락선의 크기 변화와 PAP 율 변화 특성을 보인다. 4 절에서는 위상 편이 MC-CDMA 에서 PAP 율을 감소시키는 위상코드 선택에 대해 언급한다. 5 절에는 모의 실험을 통해서 제시된 안의 유용성을 확인하며, 6 절에서는 결론을 내린다.

2. 위상 편이 MC-CDMA 시스템

가. MC-CDMA 시스템

MC-CDMA 에서는 입력 데이터 열을 N 개의 병렬 데이터로 복사하여 각각 직교하는 부 캐리어에 실어 보낸다. 동일한 N 개의 심볼에 Walsh 코드를 곱하여 N 개의 부채널로 다중화하여 전송하는데 i 번째 데이터 비트에 대한 기저 대역 전송 신호의 복소 포락선은 식 (1) 과 같이 표현된다.

$$s_i(n) = \sum_{k=0}^{N-1} b_i C_k e^{j2\pi n k / N}, 0 \leq n \leq N-1 \quad (1)$$

여기서 b_i 는 i 번째 데이터이며, C_k 는 Walsh 코드이고, N 은 부 캐리어 개수이다. 수신된 신호 r_i 는 DFT 연산을 거쳐 Walsh 코드를 곱하고 역확산하여 복조 된다.

나. 위상편이 MC-CDMA 시스템

본 논문에서는 Walsh 코드에 의해 할당된 부 캐리어의 0° 또는 180° 의 위상에 추가로 위상코드에 의한 오프셋을 부여하는 MC-CDMA 전송 방식을 제안하며 그림 1 에 송신기의 구조를 보인다. 이 다중접속에서는 사용자간 직교성을 유지하기 위하여 사용자 공용의 위상 코드를 사용한다. 다중 사용자 전송 신호는 식 (2) 로 표현 될 수 있다.

$$s_i(n) = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} b_{m,i} C_{m,k} e^{j\phi_k} e^{j2\pi n k / N} \quad (2)$$

여기서 $e^{j\phi_k}$ 는 주어진 위상 코드이며, $C_{m,k}$ 는 M 번째 사용자 Walsh 코드의 k 번째 비트를 나타낸다. 따라서 위상편이 MC-CDMA 시스템은 정보 데이터 비트를 복소 Walsh 코드로 확산하는 멀티캐리어 전송시스템이라고 할 수 있다. 특정 사용자의 수신 신호를 DFT 연산한 신호는 식 (3)와 같이 표현 할 수 있다.

$$r_{0,i}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} b_{0,i} C_{0,k} e^{j\phi_k} + \sum_{m=1}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} b_{m,i} C_{m,k} e^{j\phi_k} + \sum_{k=0}^{N-1} n_0(n) e^{-j2\pi n k / N} \quad (3)$$

여기서 $n_0(n)$ 은 잡음의 영향을 나타낸다. 송신기에서 인위적으로 천이 시킨 위상을 복원하기 위하여 송신기에서 사용한 위상코드의 공액 복소수를 곱하면 식 (4) 와 같은 신호를 얻는다.

$$r_{0,i}(n) = \sum_{k=0}^{N-1} b_{0,i} C_{0,k} + \sum_{m=1}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} b_{m,i} C_{m,k} + \sum_{k=0}^{N-1} n_0(n) e^{-j2\pi n k / N} e^{-j\phi_k} \quad (4)$$

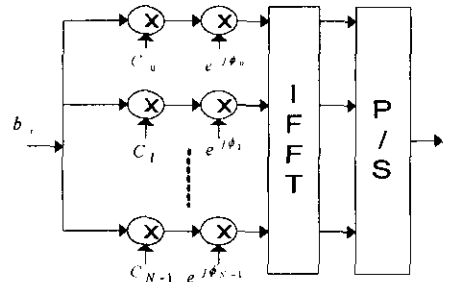


그림 1. 위상 편이 MC-CDMA 시스템의 송신기 모델

그리고 확산 코드를 곱하면 결정 변수는 식 (5)와 같이 된다. 식 (5)의 오른쪽 두 번째 항은 다른 사용자들로부터의 간섭이며 확산 코드의 직교성으로 인해 0 이 된다.

$$v_{0,i} = \sum_{k=0}^{N-1} b_{0,i} + \sum_{m=1}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} b_{m,i} C_{m,k} \cdot C_{0,k} + \eta_0 \quad (5)$$

$$= N \cdot b_{0,i} + \eta_0$$

$$\eta_0 = \sum_{k=0}^{N-1} n_0(n) C_{0,k} e^{-j2\pi n k / N} e^{-j\phi_k}$$

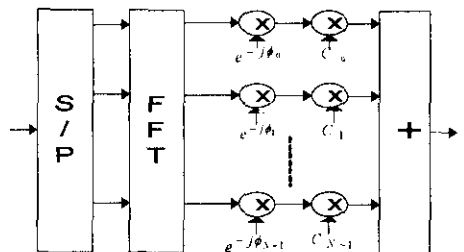


그림 2. 위상 편이 MC-CDMA 시스템의 수신기 모델

식 (5)로부터 위상 편이 MC-CDMA 에서 사용자간 직교성을 제공하는 Walsh 코드에 사용자 공통의 위상코드를 사용한 복소 Walsh 코드와 그 복소 공액 코드를 확산, 역확산에 사용함으로써 수신기의 복조를 위한 결정변수는 MC-CDMA 와 동일함을 알 수 있다. 따라서 제안된 시스템의 BER 성능은 AWGN(Additive White Gaussian Noise) 환경에서 MC-CDMA 와 동일하다.

3. MC-CDMA 의 PAP 율

MC-CDMA 에서 복소 포락선은 식 (1)로 부터, 입력 데이터 b_i 는 모든 채널에 공통으로 입력되므로 b_i 의 값에 의하여 멀티캐리어 전송 신호의 포락선 크기 변화가 일어나지 않으며, 확산 코드 비트의 부호에 의하여 각 캐리어의 위상이 $0, \pi$ 만큼 변화하여 캐리어를 다중화한 전송신호 포락선의 크기가 균일하지 않게 된다. 캐리어의 개수가 늘수록 전송신호 포락선의 최대값과 최소값의 차이가 커진다.

벡터 $e^{j\theta_k(n)}$ 를 식 (6)에서와 같이 정의 하면, 복소 포락선의 크기가 가장 커지는 경우는 k 에 대한 모든 벡터, $e^{j\theta_k(n)}$ 의 위상이 동일하면 가장 큰 값을 갖는다.

$$s_i(n) = \sum_{k=0}^{N-1} C_k e^{j2\pi kn/N} = \sum_{k=0}^{N-1} e^{j\theta_k} \quad k, n=1,2,\dots,N-1 \quad (6)$$

여기서 k 는 부채널 인덱스를 나타내고 n 은 i 번째 비트 구간 중 n 번째 시간 인덱스를 나타낸다. 식 (6)에서 $\theta_k(n)$ 는 다음과 같다:

$$\theta_k(n) = \begin{cases} \frac{2\pi k}{N} n & \text{if } C_k = 1 \\ \frac{2\pi k}{N} n + \pi & \text{if } C_k = -1 \end{cases} \quad (7)$$

그림 3 에는 확산 코드 [1,1,1,1,-1,-1,-1,-1] 을 사용한 전송 신호를 식 (9)에서의 벡터, $e^{j\theta_k(n)}$ 로 나타낸 것이다. 시간 $n=0,2,4,6$ 의 경우 각 부 캐리어 신호 벡터의 합은 0 벡터이다. 시간 $n=1,3,5,7$ 의 경우 각 부 캐리어 신호 벡터의 합은 0 벡터가 되지 않는 것을 볼 수 있으며, 그림에 보인 큰 크기의 벡터는 합성 신호 벡터를 나타낸다. 시간대 복소 포락선 크기를 나타내는 그림 4 와 각 부 캐리어의 크기와 위상을 벡터로 나타낸 그림 3 을 비교해 보면 그 관계를 좀더 명확히 알 수 있다.

확산 코드는 각 부 캐리어의 초기 위상을 결정하고 이 위상 배열에 따라 최대 크기의 정도를 결정한다. 따라서 각 부 캐리어 초기 위상을 이동시키면 복소 포락선의 최대 크기 정도를 낮출 수 있음을 알 수 있다.

4. 위상편이 MC-CDMA 전송 신호의 PAP 율

위상편이 MC-CDMA 시스템에서 m 번째 사용자의 i 번째 비트 신호는

$$s_{m,i}(n) = b_{m,i} \sum_{k=0}^{N-1} C_{m,k} e^{j\theta_k} e^{j2\pi kn/N} \quad (8)$$

과 같다. PAP 율을 최소화하는 위상 코드는 확산 코드 C_k 에 종속되므로 사용하는 확산 코드에 따라 다르게

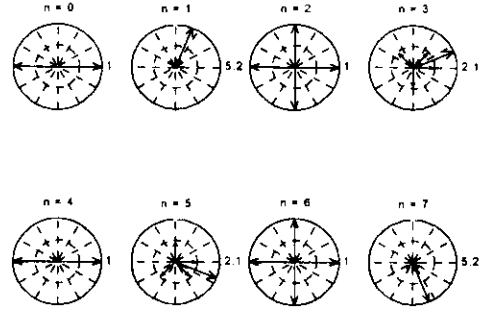


그림 3. 각 부 캐리어 신호의 크기와 위상

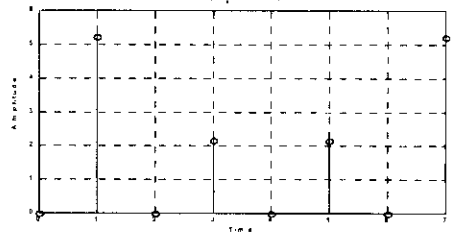


그림 4. 복소 포락선의 크기

결정 된다. 그러나 다중접속으로서 MC-CDMA 가 사용될 때 사용자 고유의 확산코드에 의해 결정된 서로 다른 위상 코드를 사용한 경우 사용자 간의 직교성이 손상된다. 사용자간 직교성을 유지하면서 PAP 율을 감소시키는 방안을 위해서는 모든 사용자가 동일한 위상 코드를 사용하게 할 필요가 있다.

본 논문에서는 Walsh 코드를 확산코드로 사용하는 경우, 모든 시스템에서 PAP 율을 감소시키는, Walsh 코드에 의존하지 않는 위상 코드가 존재함을 보이고 있다. 본 논문에서는 PAP 율을 최소화하는 최적의 위상코드를 해석적인 방법으로 유도하는 것을 목표로 하지는 않고 컴퓨터를 이용한 연산에 의하여 PAP 율 크게 감소시킬 수 있는 위상코드를 탐색하는 것을 목표로 한다. 컴퓨터 연산량을 줄이기 위하여 각도 2π 를 정수 개(본 논문에서는 N 개)로 분할하여 가능한 위상코드 집합 중에서 PAP 율을 최소로 하는 코드를 찾는 방법을 사용하였다. 8 개의 캐리어를 가지고 BPSK(Binary Phase Shift Keying) 변조를 사용하는 시스템에 대하여 얻은 위상코드의 예를 식 (9)에 보인다.

$$[e^{j\theta_0}, e^{j\theta_1}, \dots, e^{j\theta_{N-1}}] = \left[1, 1, 1, 1, e^{j\frac{3\pi}{4}}, e^{-j\frac{\pi}{4}}, e^{-j\frac{\pi}{4}}, e^{j\frac{3\pi}{4}} \right] \quad (9)$$

PAP 율의 감소를 얻게 하는 다른 위상코드의 다른 예를 식 (10)에 보이는데, 이 위상코드는 캐리어 개수와 무관

함을 알 수 있다.

$$e^{j\phi_k} = \begin{cases} e^{j\pi/2}, & 0 \leq k \leq \frac{N}{4} - 1, N - \frac{N}{4} - 1 \leq k \leq N - 1 \\ e^{-j3\pi/4}, & \frac{N}{4} \leq k \leq \frac{N}{4} + \frac{N}{8} - 1 \\ & N - \frac{N}{4} - \frac{N}{8} \leq k \leq N - \frac{N}{4} - 1 \\ e^{j\pi/4}, & elsewhere \end{cases} \quad (10)$$

여기서 k는 부 캐리어 인덱스, N은 캐리어 수이다.

5. 결과 및 검토

모의 실험에서는 시스템 캐리어 수가 8개이고, BPSK로 데이터를 변조하고 위상 오프셋을 4절에서 제시한 방법으로 할당한 위상편이 MC-CDMA 시스템을 고려하였다. 식 (9)와 같은 위상코드를 사용하였을 때 제안된 시스템의 전송신호의 포락선을 그림 5 (b)에 보인다. 그림 5 (a)는 MC-CDMA 시스템의 신호 포락선을 보이는데 제안된 시스템의 최대 전력이 낮음을 볼 수 있다. 모의 실험 결과 제안된 시스템에서는 약 6[dB]의 PAP을 감소를 얻었다.

그리고 그림 6에는 위의 두 시스템의 전송신호 크기의 분포를 히스토그램으로 나타냈었다. 여기서 신호는 최대 크기로 각각 정규화 하였다. 제안된 시스템의 전송신호 크기 분포가 MC-CDMA 시스템 비해 '1' 주위에 밀집하여 분포되어 있으며 이를 통해서 제안된 시스템이 MC-CDMA 시스템에 비해 PAP율이 상대적으로 낮아짐을 유추할 수 있다.

표 1. PAP 율 비교.

N	MC-CDMA의 PAP 율[dB]	제안된 시스템의 PAP 율[dB]
8	9.031	4.50
16	12.04	7.15
32	15.05	10.10
64	18.06	13.09
128	21.07	16.10

식 (10)의 위상코드를 사용했을 때 캐리어 개수에 따른 두 시스템의 PAP 율을 표 1에 비교하여 보이고 있는데, 부 캐리어 수와 무관하게 약 5[dB] 감소됨을 알 수 있다.

6. 결론

본 논문에서는 MC-CDMA 시스템에서 부 캐리어의 위상 오프셋을 이용하여 전송신호의 PAP 율을 낮추는 방안을 제시하였다. 확산 코드는 각 부 캐리어 초기 위상을 결정하며 이는 또한 전송신호의 포락선 결정에 영향을 준다는 사실을 살펴 보았으며, 초기위상을 재배치하는 위상 코드를 적절히 선택함으로써 PAP 율의 감소를 기대 할 수 있음을 보였다. 제안된 방안은 캐리어

수에 크게 제한을 받지 않으며 BER 성능의 감소 또는 대역 내 잡음이나 대역 외 간섭을 발생시키지 않고 PAP 율의 감소를 얻을 수 있다.

참고 문헌

[1] William Y. Zou, Yiyan Wu, "COFDM: AN OVERVIEW," *IEEE, Transactions on broadcasting*. Vol. 41. No.1. March. 1995

[2] Shinsuke Hara, Ramjee Prasad, "Overview of Multicarrier CDMA," *IEEE Communications Magazine*. December. 1997

[3] X. Li, L. J. Cimini: "Effects of Clipping and Filtering on the Performance of OFDM," *Proc. IEEE VTC '97*. Phoenix, May 1997

[4] R. Nee and A. Wild, "Reducing the Peak-to-Average Power Ratio of OFDM," *IEEE VTC 48th Vehicular Technology Conference (VTC '98)*, pp. 2072-2076. Ottawa, Canada, May 1998.

[5] T. A. Wilkinson and A. E. Jones, "Minimization of the peak to mean envelope power ratio of multicarrier transmission schemes by block coding," in *Proc. VTC*, Chicago, pp. 825-829, July. 1995

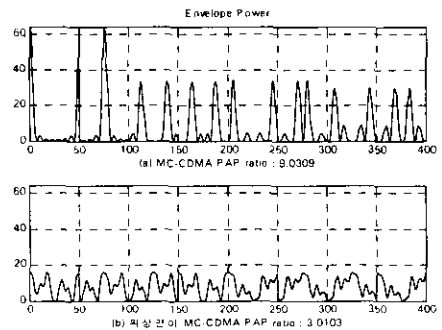


그림 5. 포락선 전력 비교

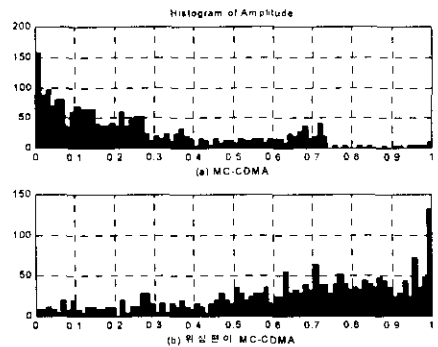


그림 6. 전송 신호의 크기 분포