

펄스폭변조 다중채널 DS/CDMA 시스템의 AWGN 환경하에서의 비트오율 성능 분석

*김명진 *오종갑 *김성필

*한국의국어대학교 정보통신공학과

Bit Error Probability Analysis of PW/CDMA System in AWGN Noise Environments

*Myoung Jin Kim *Jong Kap Oh *Sung Pil Kim

*Dept. of Information & Communications Engineering, Hankuk University of Foreign Studies

요약

DS/CDMA 시스템에서는 여러 채널의 신호를 더하여 전송하는 경우 신호의 레벨 수가 증가하여 높은 선형성의 전력증폭기의 사용이 요구된다. 펄스폭변조(Pulse Width: PW)/CDMA 시스템은 여러 채널의 데이터가 더해져서 만들어진 멀티레벨 신호를 펄스폭 변조를 하여 전송하는 방식으로, 신호의 레벨이 binary 형태로 유지되어 전력증폭기의 변복조 회로가 단순해지는 장점이 있다. 본 논문에서는 AWGN 잡음환경 하에서 PW/CDMA 시스템의 비트오율 특성을 해석적으로 유도하여 DS/CDMA 시스템과 비교하였으며, 유도한 결과를 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

Abstract

In DS/CDMA system the number of output signal levels increases as multi-channel signals are summed, hence the power amplifier with high linearity is required. PW/CDMA is a transmission technique that performs pulse width modulation on the multilevel signal synthesized from multiple channel data. In PW/CDMA system the signal level is maintained to be binary, hence the modulation and demodulation circuits become simple. In this paper we derive the probability of bit error of the PW/CDMA system in AWGN environment. The results are compared with DS/CDMA system and are verified through the computer simulations.

I. 서론

DS/CDMA 시스템의 기지국에서와 같이

여러 채널의 신호를 더하여 전송하면 신호의 레벨 수가 증가하여 선형성이 좋은 전력증폭기를 사용하지 않으면 신호의 특성이 나빠진다. 또한 고속의 데이터를 전송하기 위하여 여러 개의 채널을 사용하는 경우, 단말기에서도 선형성이 좋은 전력 증폭기를 사용해야 한다. PW(Pulse Width)/CDMA 전송방식[1]은 여러 채널의 이진 데이터가 더해져서 만들어진 멀티레벨 신호를 펄스폭 변조를 한 후 전송을 하는 기술이다. 따라서 신호의 레벨이 binary 형태로 유지되어 변복조 회로가 단순해지며, 무선 전송 과정에서 발생하는 phase skew 현상에 대한 복원 능력이 DS/CDMA에 비하여 우수하다[2].

채널의 개수가 증가할수록 DS/CDMA 시스템의 출력신호의 레벨 수는 증가하여 전력증폭기의 요구되는 선형성 범위가 넓어진다. 이에 비하여 PW/CDMA 시스템은 binary 형태의 출력이 유지된다. 그러나 전송신호의 최소 단위 펄스폭이 감소하여 대역폭이 증가한다. 출력신호의 극성을 교대로 반전시키는 극성교번 펄스폭변조(Polarity Alternated

Pulse Width: PAPW)를 사용하거나, 출력신호로부터 일정 레벨 이상은 truncate 시키는 방법을 사용하면 대역폭 증가를 방지할 수 있다 [1]. PW/CDMA 또는 PAPW/CDMA 시스템의 특성으로 출력신호에 대한 truncation을 하더라도 시스템의 성능은 크게 저하되지 않는 것으로 알려져 있다[2].

본 논문에서는 PW/CDMA 시스템의 비트오율 성능을 AWGN 잡음 환경하에서 해석적으로 유도하였다. 출력신호에 대한 truncation은 고려하지 않았으며, 유도한 수식을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 또한 분석한 결과를 DS/CDMA 시스템과 비교하였다. 논문의 구조는 다음과 같다. 제2절에서는 PW/CDMA 시스템의 전송방식에 대하여 알아보고, 제3절에서는 PW/CDMA 시스템의 비트오율을 유도해 본다. 제4절에서는 앞서 유도한 결과를 수치적으로 해석하고 시뮬레이션을 통해 분석한 결과를 보이며, 결론을 제5절에서 맺는다.

II. PW/CDMA 시스템

PW/CDMA 시스템은 여러 채널에서 입력되는 정보비트열을 확산코드열로 곱하여 더한 멀티레벨 신호를 펄스폭 변조하여 전송한다. 그림 1에 기저대역의 PW/CDMA 시스템 송신기의 구조를 보인다.

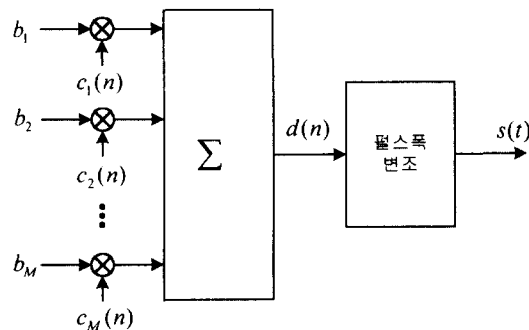


그림 1. PW/CDMA 시스템의 송신기(기저대역)

펄스폭 변조부에서 펄스의 폭은 모든 채널의 신호가 더해진 신호 $d(n)$ 의 값에 따라 결정되는데, 그림 2에 4개의 채널로 구성된 시스템의

기저대역 전송신호의 예를 보인다. 그림 2(a)는 DS/CDMA 시스템의 신호를 보이며, 그림 2(b)는 PW/CDMA 시스템의 신호를 보인다. PW/CDMA 신호의 펄스폭은 채널 개수가 많은 경우 chip 구간에 비해 크게 작을 수 있는데, 그림 2(c)와 같이 펄스의 극성을 교대로 바꾸어 주면 펄스폭이 넓어진다.

그림 2(a)를 보면 4개 채널의 DS/CDMA 신호가 더해졌을 때 5개의 신호레벨이 가능함을 알 수 있으며, (b)에서는 각 chip의 중앙을 '0'으로 하고 chip 구간을 신호의 최대레벨 개수로 나눈 다음, 해당 chip의 신호레벨을 그 크기에 해당하는 펄스 폭의 크기로 변환한다.

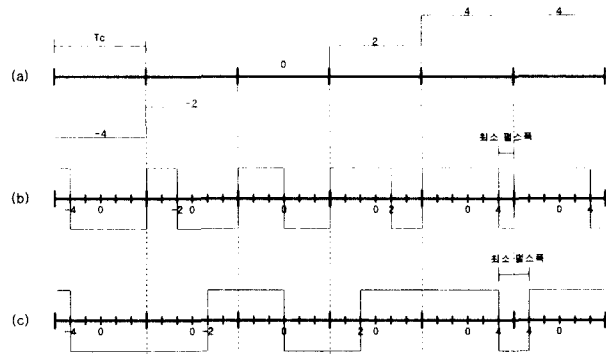


그림 2. 4채널 DS/CDMA 시스템 및 PW/CDMA 시스템의 전송신호

III. PW/CDMA 시스템의 비트오율 성능

PW/CDMA 시스템의 비트오율 성능을 유도하기 위하여 전송신호 $s(t)$ 를 수식으로 표현해보자. M 개의 채널로부터 입력되는 정보비트 $\{b_1, b_2 \dots b_M\}$ 는 비트길이 T_b 를 가지며, N 칩의 직교코드 $\{c_1(n), c_2(n) \dots c_M(n)\}$ 으로 각각 곱해진다. 각 채널의 신호를 더하여 만들어진 신호 $d(n)$ 은 synchronous 다중채널 DS/CDMA 신호가 되며 멀티레벨의 신호특성을 가진다. 한 비트구간에서 n 번째 칩의 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$d(n) = \sum_{m=1}^M b_m c_m(n) \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (1)$$

여기서

$$\sum_{n=0}^{N-1} c_m(n) c_k(n) = N \delta_{m,k} \quad (2)$$

이다. 채널의 개수가 많아질수록 $d(n)$ 이 가질 수 있는 레벨의 개수가 많아진다. 구체적으로 채널의 개수가 M 인 경우, $d(n)$ 의 가능한 레벨 개수는 $M+1$ 이 된다. 칩구간 T_c 동안 펄스폭 변조된 신호 $s(t)$ 는 +1로 시작하여 $d(n)$ 에 따라 결

정된 시구간 동안 값이 유지되다가 -1로 반전된다. 그림 3에 $0 \leq t \leq T_c$ 동안의 $s(t)$ 의 예를 보인다.

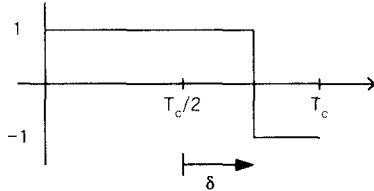


그림 3. 펄스폭 변조된 신호의 예($\delta > 0$ 인 경우)

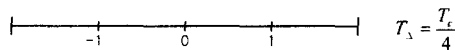
여기서 δ 는 펄스폭을 결정하는 파라미터로 $d(n)$ 에 비례하며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\delta = d(n)T_{\Delta} \quad (3)$$

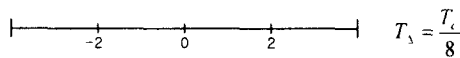
여기서 T_{Δ} 는 채널개수 M 에 의하여 결정되는 단위펄스폭으로 식(4)와 같이 표현할 수 있다. 그림 4에 M 과 T_{Δ} 의 관계를 보인다.

$$T_{\Delta} = \begin{cases} \frac{T_c}{4}, & \text{if } M = 1 \\ \frac{T_c}{2(M+2)}, & \text{if } M = 2, 4, 8, \dots \end{cases} \quad (4)$$

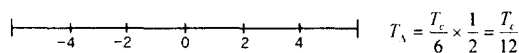
$M = 1$ 인 경우, $d(n)$: 2 levels
 $\{d(n)\} = \{-1, 1\}$



$M = 2$ 인 경우, $d(n)$: 3 levels
 $\{d(n)\} = \{-2, 0, 2\}$



$M = 4$ 인 경우, $d(n)$: 5 levels
 $\{d(n)\} = \{4, 2, 0, -2, -4\}$



$M = 8$ 인 경우, $d(n)$: 9 levels
 $\{d(n)\} = \{-8, -6, -4, -2, 0, 2, 4, 6, 8\}$

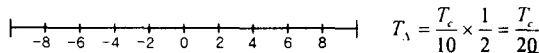


그림 4. M 과 T_{Δ} 의 관계

펄스폭변조된 전송신호 $s(t)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$s(t) = P_{\frac{T_c}{2} + \delta}(t) - P_{\frac{T_c}{2} - \delta}(t - \delta), \quad 0 \leq t \leq T_c$$

여기서 $P_{\tau}(t)$ 는 펄스폭이 τ 인 사각펄스이다. 즉,

$$P_{\tau}(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq \tau \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

다음에는 신호 $s(t)$ 의 적분 특성을 살펴 보자. $0 \leq t \leq T_b$ 구간동안 n 번째 칩의 신호가 그림 2와 같다면, 한 칩 구간 동안 $s(t)$ 를 적분하면 다음과 같이 된다.

$$\int_{nT_c}^{(n+1)T_c} s(t)dt = \left(\frac{T_c}{2} + \delta\right) - \left(\frac{T_c}{2} - \delta\right) = 2\delta = 2T_{\Delta}d(n) \quad (7)$$

신호를 한 비트 구간동안 적분하면 다음과 같이 된다.

$$\int_0^{T_b} s(t)dt = \sum_{n=0}^{N-1} \int_{nT_c}^{(n+1)T_c} s(t)dt = 2T_{\Delta} \sum_{n=0}^{N-1} d(n) \quad (8)$$

채널 개수 M 이 큰 경우, $d(n)$ 의 레벨 개수가 많아져서 펄스폭 변조 후의 신호의 최소 펄스폭이 작아지는데, 이 경우 매우 높은 정밀도의 클럭이 필요하고 신호의 대역폭이 넓어지는 현상이 발생한다. 이러한 문제에 대한 대응책으로 [1]에서는 멀티레벨 신호 $d(n)$ 을 일정 크기 이하로 truncate시키는 것을 제안하였으며, [2]에서는 $d(n)$ 을 적당히 truncate시키면 시스템의 성능에 큰 영향이 없음을 보이고 있다. 본 논문에서는 truncation을 고려하지 않고 시스템의 성능을 분석하였다.

PW/CDMA 시스템의 수신기는 기존의 DS/CDMA 시스템의 수신기와 같이 PN 신호와의 상관기를 사용하여 구현할 수 있다. 그림 5에 k 번째 채널의 데이터 비트를 복구하는 수신기의 블록도를 보인다.

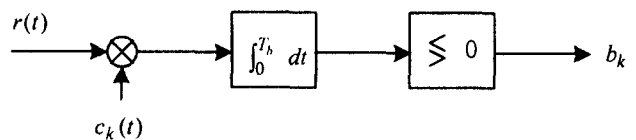


그림 5. k 번째 채널의 수신기의 블록도

그림에서 $c_k(t)$ 는 식(9)와 같이 표현되는 k 번째 채널의 PN 신호이다.

$$c_k(t) = \sum_{n=0}^{N-1} c_k(n)P_{T_c}(t - nT_c) \quad (9)$$

상관기의 출력은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$z = \int_0^{T_b} r(t) c_k(t) dt = s_o + n_o \quad (10)$$

여기서 수신신호는 $r(t) = s(t) + n(t)$ 로서, 잡음 $n(t)$ 는 전력스

팩트럼밀도가 $N_0/2$ 인 가우시안 백색잡음이 라고 가정하자. 결정변수 z 에 포함된 s_o 와 n_o 는 각각 신호성분과 잡음성분을 나타낸다. n_o 는 평균이 0이고 분산이 $\sigma^2 = N_0 T_b / 2$ 인 가우시안 확률변수가 된다[3]. 한편, 식(8)로 부터 신호성분 s_o 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} s_o &= \int_0^{T_b} s(t)c_k(t)dt \\ &= 2T_\Delta \sum_{n=0}^{N-1} d(n)c_k(n) \\ &= 2T_\Delta \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{m=1}^M b_m c_m(n)c_k(n) \\ &= 2NT_\Delta b_k \\ &= \pm 2NT_\Delta \end{aligned} \tag{11}$$

따라서 PW/CDMA 시스템의 비트오율은 다음과 같이 된다.

$$P_B = Q\left(\frac{2NT_\Delta}{\sigma}\right) \tag{12}$$

PW/CDMA 신호의 비트에너지를 구하면

$$E_b = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{N-1} \int_{nT_c}^{(n+1)T_c} s^2(t) dt = \frac{1}{M} T_b \tag{13}$$

과 같이 되어 식(13)과 식(4)를 이용하여 비트오율을 E_b / N_0 의 함수로 표현하면 다음과 같이 된다.

$$P_B = \begin{cases} Q\left(\sqrt{\frac{1}{2} \frac{E_b}{N_0}}\right) & \text{for } M=1 \\ Q\left(\sqrt{\frac{2M}{(M+2)^2} \frac{E_b}{N_0}}\right) & \text{for } M=2,4,6,8 \end{cases} \tag{14}$$

PW/CDMA 시스템의 비트오율 성능을 다중채널 DS/CDMA BPSK 시스템과 비교해 보기로 하자. M 개의 채널로부터 입력된 정보 데이터를 직교코드로 확산하여 더한 신호 $d(n)$ 로부터 기저대역 전송신호는 다음과 같이 표현된다.

$$s(t) = \sum_{n=0}^{N-1} d(n)P_{T_c}(t - nT_c) \quad 0 \leq t \leq T_b \tag{15}$$

AWGN 채널의 경우, DS/CDMA 시스템의 비

트오율은 BPSK 시스템과 동일하게 식(16)과 같이 된다.

$$P_B = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \tag{16}$$

IV. 분석 결과

AWGN 환경에서 PW/CDMA 시스템의 비트오율 성능을 식(14)에 유도된 결과를 사용하여 수치적으로 분석을 하였으며, 시뮬레이션을 통하여 확인을 하였다. 그림 6에 채널 개수가 1, 2, 4, 8인 경우에 대하여 해석적으로 분석한 결과와 시뮬레이션 결과를 보인다. 그림 7에는 동일한 환경에서 DS/CDMA 시스템의 비트오율 성능을 비교하여 보인다. 결과를 비교하면 비트오율 측면에서의 성능은 PW/CDMA 시스템이 DS/CDMA 시스템에 비해 떨어지는 것을 알 수 있다.

V. 결론

PW/CDMA 시스템은 여러 채널의 데이터가 더해져서 만들어진 멀티레벨 신호를 펄스폭 변조를 하여 전송하는 방식으로, 신호의 레벨이 binary 형태로 유지되어 전력증폭기의 변복조 회로가 단순해지는 장점이 있다. 본 논문에서는 PW/CDMA 시스템의 비트오율 성능을 AWGN 잡음 환경하에서 해석적으로 유도하였으며, 분석한 결과를 DS/CDMA 시스템과 비교하였다. 분석결과에 의하면 비트오율 측면에서의 성능은 PW/CDMA 시스템이 DS/CDMA 시스템에 비해 떨어진다. 유도한 결과를 시뮬레이션을 통하여 확인하였다.

참고문헌

- [1] 극성교번 펄스폭 / 부호다중분할 변조 및 복조방식 (PAPW/CDMA Modulation and Demodulation), 대한민국특허청 출원번호 특1998-009543, 1998.
- [2] 류승문, 김제우, 문장식, 김효성, "PW/CDMA와 DS/CDMA의 성능비교", JCCI 춘계학술대회, 2001년 4월.
- [3] J. Proakis, *Digital Communications*, New York: McGraw-Hill, 1983.