

OFDM 시스템의 ICI 감소를 위한 상관부호의 Precoding 과 비터비 복호화 기법

김한걸, 윤정국, 김동규, 신동준
한양대학교 전자통신컴퓨터공학부
부호 및 통신 연구실

{valkyli, logzzang, yamgl}@ccrl.hanyang.ac.kr, djshin@hanyang.ac.kr

Precoding and Viterbi Decoding of Correlative Coding for ICI Reduction in OFDM Systems

Han-Gul Kim, Jung-Kug Yun, Dong-Kyu Kim, Dong-Joon Shin
Division of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University, Seoul, Korea

요 약

Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)은 고속 무선 통신 환경에서 매우 효과적인 기법이다. 그러나 OFDM 은 주파수 오차에 의한 인접 부반송파 간섭(ICI)에 매우 민감하다는 단점이 있다. 본 논문에서는, 상관부호 기법을 적용하여 ICI 에 강한 특성을 갖게 하고 상관부호 기법에 Precoding 기법과 비터비 복호화 기법을 적용하여 성능 평가를 하였다. 그리고 제안된 시스템과 BPSK-OFDM 시스템의 Signal-to-Interference and Noise Power Ratio (SINR)를 유도하고 비교함으로써 ICI 감소 성능을 살펴보았다.

1. 서론

채널 주파수 오차로 인해 발생하는 부반송파 간섭(ICI)은 무선 통신 환경의 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) 시스템 [1] [2]에서 가장 중요한 문제점 중의 하나이다 [3]. OFDM 시스템의 이러한 불규칙적인 주파수 오차는 부반송파 간의 직교성을 약화시키고 주파수 오차가 증가함에 따라 비트 오류율(BER)도 빠르게 증가시킨다. ICI 를 감소시키는 방법으로, 주파수 영역 등화 기법 [4], 시간 영역 윈도잉 기법 [5], ICI 자기 상쇄 기법 [6] 등이 있다. 이 방법들은 공통적으로 대역폭 효율이 줄어든다는 단점이 있다. 반면에 상관부호 기법 [7]은 대역폭 효율을 줄이지 않는 효과적이고 간단한 ICI 감소 기법이다.

2. OFDM 시스템에서의 ICI 와 SINR 유도

OFDM 에서 도플러 주파수 천이 또는 수신기 주파수 측 정오류로 인해 송신부와 수신부 사이에서 주파수 차이가 발생하기 때문에, 부반송파들이 완벽하게 동기화되지 않는다. OFDM 시스템의 이러한 랜덤 주파수 오차들은 부반 송파들 간의 직교성을 깨고, 결과적으로 인접 부반송파 간섭 (ICI)를 발생시킨다. 이러한 경우 주파수 오차가 커 짐에 따라 BER 이 빠르게 증가한다. OFDM 시스템의 부채널 k 에서 수신된 신호 $R(k)$ 는 부반송파의 백색잡 음을 고려하여 다음과 같이 정의된다.

$$R(k) = \sum_{l=0}^{N-1} X(l)I(l-k) + n_k. \quad (1)$$

여기서 $k=0,1, \dots, N-1$ 이고, N 은 OFDM 심볼들의 개수이다. $X(l)$ 는 l 번째 부반송파에서 전송된 메시지 심볼로 BPSK 인 경우 $-1, 1$ 의 값을 갖는다. n_k 는 k 번째 부반송파의 백색 잡음, $I(l-k)$ 는 l 번째와 k 번째 부반송파사이의 ICI 계수이고 다음과 같이 유도하여 정의 된다.

$$\begin{aligned} I(l-k) &= \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} \exp\left(\frac{j2\pi n(l-k+\epsilon)}{N}\right) \\ &= \frac{\sin(\pi(l-k+\epsilon))}{N \sin\left(\frac{\pi}{N}(l-k+\epsilon)\right)} \cdot e^{j\pi\left(1-\frac{1}{N}\right)(l-k+\epsilon)}. \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 ϵ 은 정규화된 채널 주파수 오차이다. 수신 신호 $R(k)$ 는 식 (1), (2)에 의해 아래와 같이 원하는 신호 $W(k)$ 와 ICI 신호 $A(k)$ 로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R(k) &= W(k) + A(k) + n_k \\ &= X(k)I(0) + \sum_{l=0, l \neq k}^{N-1} X(l)I(l-k) + n_k. \end{aligned} \quad (3)$$

주파수 오차가 없으면 $l-k=0$ 일 경우, $I(l-k)=1$ 이고 나머지 경우는 0 이 된다. 여기서 $X(k)$ 는 모든 부 반송파에서 서로 i.i.d 이기 때문에 다음의 값을 구할 수 있다.

$$E[X(k)X(l)] = \begin{cases} E[X(k)^2] & , \text{ for } k=l \\ 0 & , \text{ for } k \neq l \end{cases}. \quad (4)$$

그러므로 $W(k)$ 인 경우

$$\begin{aligned} E[|W(k)|^2] &= E[|X(k)I(0)|^2] \\ &= E[|X(k)|^2] \frac{\sin^2(\pi\epsilon)}{\left(N \sin\left(\frac{\pi\epsilon}{N}\right)\right)^2} \end{aligned} \quad (5)$$

이고 $A(k)$ 인 경우

$$\begin{aligned} E[|A(k)|^2] &= E\left[\left|\sum_{l=0, l \neq k}^{N-1} X(l)I(l-k)\right|^2\right] \\ &= E[|X(k)|^2] \sum_{l=1}^{N-1} |I(l)|^2. \end{aligned} \quad (6)$$

따라서 BPSK 를 이용한 OFDM 의 SINR 은