

부호화된 OFDMA-CDM 시스템에서 협대역 재밍 신호 제거 기법

*이두호, 고병훈, 강민규, 김광순
연세대학교 전기전자공학과

e-mail : {dhrhee, letsko21, kangys8, kskim}@dcl.yonsei.ac.kr

Narrowband Jamming Rejection Technique for Coded OFDMA-CDM Systems

*Duho Rhee, Byung Hoon Ko, Min Gyu Kang, and Kwang Soon Kim
Department of Electrical and Electronic Engineering
Yonsei University

Abstract

The robustness to jamming signal is an important property for military communication systems. Some previous work has shown that erasure decoding or frequency domain code division multiplexing (CDM) can reject the interference. In general, however, the jamming signal has higher power than ordinary interference which leads to insufficient jamming rejection performance of these schemes. To mitigate this insufficiency, we propose an erasure combining technique which inserts erasure before despreading of the CDM scheme. By this approach, high power narrowband jamming could be efficiently rejected.

I. 서론

전술 통신 시스템은 재밍에 대한 강인성이 매우 중요한 성질로 요구된다. 그러나 최근 고속의 이동통신 및 차세대 전술 통신 시스템을 위해 주목을 받고 있는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기법은 대역 확산 기법 (spread spectrum)과 달리 재밍 신호를 완화하거나 제거할 수 있는 성질을 전혀 가

지고 있지 않아서 재밍에 매우 취약하다는 단점을 가진다. 따라서 OFDM 기법에 알맞은 항재밍 기법에 대한 연구가 필요하다.

기존의 연구로는, OFDM 시스템에서 주파수 축으로 확산 부호를 적용한 기법이 있다 [1]. 이 기법을 적용함으로써 한 심볼이 여러 부반송파에 퍼져서 전송되므로, 일부 부반송파에 재밍이 걸리더라도 역확산을 함으로써 재밍 신호를 완화시킬 수 있다. 한편, 재밍이 걸린 심볼을 채널 복호 과정에서 배제시키는 이레이저 복호 (erasure decoding) 기법이 제안되었다 [2]. 터보 부호나 LDPC (Low Density Parity Check) 부호 등은 복호 과정에서 수신 신호의 로그 우도 비 (LLR: Log Likelihood Ratio)를 이용하는데, 재밍이 걸린 심볼은 잘못된 로그 우도 비를 갖게 되어서 오히려 복호 성능을 떨어뜨린다. 따라서 재밍이 걸렸다고 판단되는 심볼을 이레이징 함으로써 복호 성능을 높일 수 있다.

본 논문에서는 주파수 축에 확산 부호를 적용해서 한 사용자의 데이터는 코드 분할 다중화 (CDM: Code Division Multiplexing)하고, OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)를 통해 다중 사용자 환경을 제공하는 OFDMA-CDM 시스템에서의 항재밍 기법을 제안한다. CDM을 통해 항재밍 성능을 얻을 수 있지만, 더 적극적인 재밍 신호 제거를 위해, 이레이저 복호 기법을 응용한 이레이저 결합 (erasure combining) 기법을 제안한다.

II. 본론

OFDM 심볼은 보호 대역을 제외한 N 개의 부반송파로 이루어지고, J 명의 사용자가 각각 L 개의 부반송파를 할당받는다 ($N=JL$). 각 사용자의 데이터 심볼은 길이가 L 인 확산 부호로 확산 및 다중화된다. j 번째 사용자의 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{r}_j = \mathbf{H}_j \mathbf{X}_j + \mathbf{w}_j \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{H}_j = \text{diag}(h_{j,1}, \dots, h_{j,L})$ 은 주파수축 채널 응답 행렬이고, $\mathbf{X}_j = \sqrt{P_j} \mathbf{C} \mathbf{s}_j$ 는 확산 및 다중화된 송신 신호로써, P_j 는 송신 전력, $\mathbf{C} = [c_{l,k}]$ 는 $L \times K$ 직교 부호 행렬, $\mathbf{s}_j = [s_{j,1}, \dots, s_{j,K}]^T$ 는 데이터 심볼 벡터이고, \mathbf{w}_j 는 평균이 0인 AWGN (Additive White Gaussian Noise) 벡터로써, 공분산 행렬이 $\sigma_0^2 \mathbf{I}_L$ 이다. 또한, K 는 다중화되는 심볼의 개수로써 $K \leq L$ 이다. \mathbf{H}_j 와 σ_0^2 는 완벽하게 추정된다고 가정했을 때, MMSEC (Minimum Mean Square Error Combining) 계수 \mathbf{G}_j 는

$$\mathbf{G}_j = \mathbf{H}_j^H (\mathbf{H}_j \mathbf{C} \mathbf{C}^H \mathbf{H}_j^H + \sigma_0^2 \mathbf{I}_L)^{-1} \quad (2)$$

로 주어지고, $\hat{\mathbf{s}}_j = \mathbf{C}^H \mathbf{G}_j \mathbf{r}_j$ 와 같이 등화된다.

재밍 신호는 평균이 0이고 각 부반송파에서의 분산이 σ_{jam}^2 인 Gaussian 분포를 갖는 부분대역 잡음 재밍을 가정한다. 수신측에서 재밍 신호의 위치와 σ_j^2 를 완벽하게 안다면, (2)에서 재밍이 걸린 위치에 σ_0^2 대신 $\sigma_0^2 + \sigma_{jam}^2$ 를 사용해서 MMSEC를 할 수 있고, MMSE 관점에서 최적의 성능을 얻는다.

이레이저 결합 기법은 재밍 신호에 대한 정보가 전혀 없을 때 L 개의 수신 심볼 중에서 전력이 정해진 임계치보다 큰 것을 결합 과정에서 제외시킴으로써 재밍 신호의 영향을 줄인다. 임계치는 [2]에서처럼 다음과 같이 정할 수 있다.

$$T = P_j + T' \sigma_0^2 \quad (3)$$

여기서 T' 는 임의로 정할 수 있는 값으로써, 시스템 성능을 좌우하게 된다.

III. 모의 실험 결과

그림 1은 제안한 기법의 비트 오류 성능을 나타낸다. 모의 실험 환경은 ITU-R Vehicular A 채널에서 $N=720$, $L=16$, $K=8$ 이고, JSR (Jamming to Signal Ratio)은 3dB일 때를 가정하였다. 임계치 $T'=12$ 로 정하였다. 여기서 ρ 는 신호 대역폭 대 재밍 신호 대역폭 비로써, 1/6과 1/3인 경우를 고려하였다. 결과를 통해

알 수 있듯, ρ 값에 관계없이, 재밍 신호 정보를 모두 알 때의 'Perfect MMSEC' 기법이 가장 좋은 성능을 갖는다. 반대로 항재밍 기법을 전혀 적용하지 않은 'No anti-jamming'은 AWGN만 존재할 때의 MMSEC 계수를 적용한 것으로써, SNR (Signal to Noise Ratio)이 증가해도 전혀 성능 향상이 없다. 제안한 기법인 'Erasure combining'은 'Perfect MMSEC'보다는 수 dB 정도 떨어지는 성능을 보이지만, 'No anti-jamming'과 비교했을 때 곡선이 'Perfect MMSEC'와 유사한 형태로 떨어지므로, 비교적 간단한 기법으로 높은 항재밍 성능을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다.

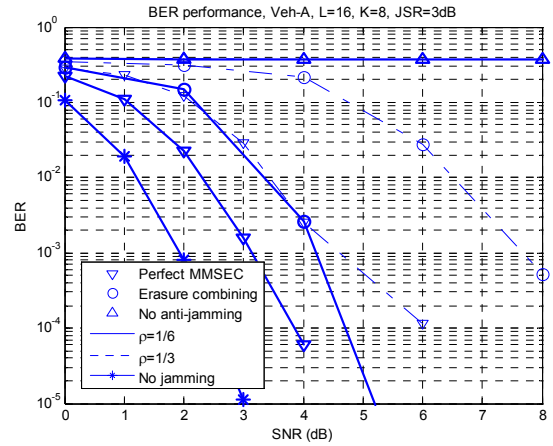


그림 1. 비트 오류 성능

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는, 전술 통신 시스템에서 재밍에 강인한 시스템의 하나로 OFDMA-CDM 시스템에서의 이레이저 결합 기법을 제안하였다. 모의 실험을 통해 부분 대역 잡음 재밍이 존재할 때, CDM만을 적용한 기법에 비해 훨씬 좋은 항재밍 성능을 가짐을 보였다. 성능을 최적화하기 위해 최적 임계치를 찾는 방법에 대해 향후 연구가 진행 중이다.

참고문헌

- [1] Z. Wu and C. Nassar, "Narrowband interference rejection in OFDM via carrier interferometry spreading codes," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 4, pp. 1491-1505, Jul. 2005.
- [2] Y. H. Kim, K. S. Kim, and J. Y. Ahn, "Erasure decoding for LDPC-coded FH-OFDMA system in downlink cellular environments," *Electr. Letters*, vol. 40, no. 22, pp. 1433-1434, Oct. 2004.