

# IFDMA 시스템에서 주파수 오프셋에 의한 다중접속간섭 제거 기법

김정우\*, 원유준\* 서보석\*\* 정회원

## Multiple Access Interference Cancellation for IFDMA Systems with Frequency Offsets

Jeong-Woo Kim\*, Yu-Jun Won\*, Bo-Seok Seo\*\* *Regular Members*

### 요 약

이 논문에서는 상향링크에서 분산형 직교 주파수 분할 다중 접속방식(interleaved orthogonal frequency division multiple access: IFDMA)을 이용하는 전송 시스템에서 주파수 오프셋에 의해 발생하는 다중접속간섭을 제거하는 방법을 제안하고자 한다. IFDMA 시스템에서 주파수 오프셋이 발생하면 인접한 다른 사용자의 부반송파 성분이 간섭신호로 유입되어 시스템의 성능이 크게 저하된다. 이 논문에서는 시간 영역에서 주파수 오프셋을 보상한 후 주파수 영역에서 병렬 간섭 제거기법을 적용하여 다중접속간섭을 제거하는 방법을 제안한다. 모의실험을 통하여 제안방법이 특히 사용자의 수가 많을 때 효과적으로 다중접속간섭을 제거할 수 있음을 보인다.

Key Words : IFDMA, frequency offset, multiple access interference

### ABSTRACT

In this paper, we propose a cancellation scheme of multiple access interference (MAI), which is caused by carrier frequency offset, for the receiver of an interleaved orthogonal frequency division multiple access (IFDMA) uplink system. In the IFDMA systems, carrier frequency offsets introduce adjacent channel interference from other users' subcarriers, which results in performance degradation. In the proposed method, we compensate the carrier frequency offset in time domain and then eliminate MAI by using parallel interference cancellation in frequency domain. Simulation results show that the proposed method is effective in removing the MAI especially when the number of users are large and the MAI severely degrades the system performance.

### I. 서 론

직교 주파수 분할 다중 접속(orthogonal frequency division multiple access: OFDMA) 전송방식은 직교 주파수 분할 다중화(orthogonal frequency division multiplexing: OFDM) 방식에서 부반송파를 사용자에게 나누어 할당하는 방법으로, 대역효율이 높고 다중경로 채널에 의한 심볼간섭을 쉽게 제거할 수 있는 OFDM의 장점을 그대로 유지한다[1]. 한편 OFDM의 성능은 주파수 오프셋에 민감한 단점이 있다. 주파수 오프셋에 의해 부반송파간의 직교성이 깨지고 인접 채널 간섭이 유입되어 성능을 저하시킨다. OFDMA의 경우 인접채널 신호는 다른 사용자의 신호가 될 수 있어서 자기 신호에 의한 채널간 간섭(interchannel interference: ICI)뿐만 아니라 다른 사용자의 신호가 간섭신호로 유입되는 다중접속간섭(multiple access interference: MAI)이 발생한다[2].

주파수 오프셋의 영향을 제거하기 위해 다양한 방법들이 제안되었다[2-4]. Moose[1]의 방법은 시간 영역에서 주파수 오프셋에 의한 위상회전을 역으로 곱하여 보상해주는

수 오프셋에 민감한 단점이 있다. 주파수 오프셋에 의해 부반송파간의 직교성이 깨지고 인접 채널 간섭이 유입되어 성능을 저하시킨다. OFDMA의 경우 인접채널 신호는 다른 사용자의 신호가 될 수 있어서 자기 신호에 의한 채널간 간섭(interchannel interference: ICI)뿐만 아니라 다른 사용자의 신호가 간섭신호로 유입되는 다중접속간섭(multiple access interference: MAI)이 발생한다[2].

\*충북대학교 전자공학과, \*\*충북대학교 컴퓨터정보통신연구소, 교신저자 : 서보석(boseok@cbnu.ac.kr)

※ 이 논문은 2009년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

접수일자 : 2011년 2월 4일, 수정완료일자 : 2011년 2월 28일, 최종게재확정일자 : 2011년 3월 11일

방식으로 단일 사용자인 경우 유용한 방법이다. 그러나 다중 사용자인 경우 다른 사용자 신호로부터의 ICI는 보상할 수 없는 단점이 있다. Choi[2]는 시간영역에서 주파수 오프셋에 의한 위상회전을 반대로 곱하여 보상하는 대신 이산 푸리에 변환(discrete Fourier transform: DFT)을 한 후 주파수 영역에서 순회 가중합(circular convolution)을 하여 보상하는 방식으로 사용자의 수에 상관없이 한 번의 DFT 연산만 수행하므로 계산량을 감소시킬 수 있는 장점이 있다. Huang[3]은 DFT 후에 병렬 간섭 제거(parallel interference cancellation: PIC)를 적용하여 MAI를 제거하는 방법을 제안하였다. [2]보다는 성능이 향상되었지만 PIC 때문에 계산량이 증가된다. Manohar[4]는 원하는 사용자의 신호에 대해 시간영역에서 주파수 오프셋을 보상한 후 주파수 영역에서 WLPIC(weighted linear parallel interference cancellation)를 적용하여 ICI를 제거하는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 일반적인 PIC에 비해 계산량이 많고, 또한 모든 부반송파에 대하여 동일한 처리를 하여 비교적 간섭신호 성분이 적은 부반송파에 대해서는 비효율적인 계산량을 가진다.

지금까지 제안된 방식은 대부분 집중형 OFDMA(localized OFDMA: LFDMA)에 적용한 방식이며, 분산형 OFDMA(interleaved OFDMA: IFDMA)의 경우 인접 부반송파는 다른 사용자의 신호이므로 LFDMA와 동일한 방법을 적용할 수 없다. 저자는 [5]에서 LFDMA를 위한 ICI 제거방법을 제안하였는데, 이 논문에서는 IFDMA에 적용할 수 있도록 수정하였다. 즉 시간영역 주파수 오프셋 보상 및 주파수 영역 ICI 제거의 두 단계로 수행하는데, ICI 제거 단계에서 동일 사용자가 아닌 다른 사용자로부터의 ICI를 제거하도록 PIC를 수정하였다.

## II. 시스템 모델

### 1. 상향링크 IFDMA 시스템

$u$  번째 사용자의  $n$  번째 시간에서의 IFDMA 전송신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_n^{(u)} = \frac{1}{N} \sum_{k \in S_u} X_k^{(u)} e^{\frac{j2\pi nk}{N}}, \quad 0 \leq n \leq N-1 \quad (1)$$

여기서  $N$ 은 DFT 크기이고,  $X_k^{(u)}$ 는  $u$  번째 사용자의  $k$  번째 부반송파 심볼을 나타낸다.  $S_u$ 은  $u$  번째 사용자에게 할당된 부반송파 집합을 의미하며  $S_i \cap S_j = \emptyset$  ( $i \neq j$ ) 이고  $\cup_{u=1}^K S_u = \{0, \dots, N-1\}$ 을 만족한다. 시간 동기화가 맞고 주파수 오프셋이 없는 경우 수신된 IFDMA 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_n = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^U \sum_{k \in S_u} X_k^{(u)} H_k^{(u)} + w_n \quad (2)$$

여기서  $H_k^{(u)}$ 는  $u$  번째 사용자의  $k$  번째 부채널의 이득을 나타내고,  $U$ 는 전체 사용자의 수, 그리고  $w_n$ 은 부가성 백색 가우스 잡음(additive white gaussian noise: AWGN)을 나타낸다. 수신신호는 DFT를 통해 복조되며 DFT의 출력은 다음과 같다.

$$Y_k = \sum_{n=0}^{N-1} y_n e^{-\frac{j2\pi nk}{N}} \quad (3)$$

### 2. 상향 OFDMA 시스템에서의 주파수 오프셋

수신기에서 주파수 오프셋이 발생하면 식 (3)의 수신신호는 다음과 같이 된다.

$$y_n = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^U \sum_{k \in S_u} X_k^{(u)} H_k^{(u)} e^{\frac{j2\pi n(k+\epsilon_u)}{N}} + w_n \quad (4)$$

여기서  $\epsilon_u$ 는  $u$  번째 사용자와 수신기 사이의 주파수 오프셋을 나타낸다. DFT 후의 신호는 식 (3)과 (4)로부터 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_k^{(u)} = \{X_k^{(u)} H_k^{(u)}\} \frac{\sin \pi \epsilon_u}{N \sin(\pi \epsilon_u / N)} e^{j\pi \epsilon_u (N-1) / N} + I_k + W_k \quad (5)$$

우변의  $X_k^{(u)} H_k^{(u)}$ 와 곱해지는 부분은 주파수 오프셋  $\epsilon_u$ 에 의해 감소되는 크기와 위상회전을 나타낸다.  $I_k$ 는  $k$  번째 부반송파로 유입되는 MAI와 자기 신호로부터 유입되는 ICI(self-ICI)를 의미한다. self-ICI는 특정 사용자에게 할당된 부반송파들 사이에서 발생하는 간섭이고, MAI는 다른 사용자로부터 유입되는 간섭이다. 간섭신호  $I_k$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_k = \sum_{u=1}^U \sum_{\substack{q \in S_u \\ q \neq k}} \{X_q^{(u)} H_q^{(u)}\} \frac{\sin(\pi \epsilon_u)}{N \sin(\pi(q-k+\epsilon_u)/N)} \cdot e^{\frac{j\pi \epsilon_u (N-1)}{N}} e^{-\frac{j\pi(q-k)}{N}} \quad (6)$$

## III. 주파수 오프셋 보상 및 다중접속간섭 제거

### 1. 시간영역 주파수 오프셋 보상

이 논문에서는 사용자마다 다르게 나타나는 주파수 오프셋과 채널응답을 모두 알고 있다고 가정한다. 제안 방법에서는 여러 개의 주파수 오프셋이 동시에 존재하는 신호에서 먼저 시간영역에서 원하는  $u$  번째 사용자의 신호를 보상한다. 즉 다음과 같이 주파수 오프셋에 의한 위상회전을 역으로 곱한다.

$$y_n' = y_n^{(u)} e^{-j2\pi \epsilon_u n / N} \quad (7)$$

이것을 DFT한 신호는 다음과 같다.

$$Y_k = X_k^{(u)} H_k^{(u)} + I_k' + W_k' \quad (8)$$

식 (8)를 보면  $k$ 번째 부반송파 신호인  $X_k^{(u)} H_k^{(u)}$ 의 크기 및 위상이 보상된 것을 볼 수 있다. 이 때 MAI인  $I_k'$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_k' = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq u}}^U \sum_{q \in S_i} \{X_q^{(i)} H_q^{(i)}\} \frac{\sin(\pi \epsilon_{iu})}{N \sin(\pi(q-k+\epsilon_{iu})/N)} \cdot e^{\frac{j\pi \epsilon_{iu}(N-1)}{N}} e^{-j\frac{\pi(q-k)}{N}} \quad (9)$$

이것은  $i$ 번째 사용자의  $q$ 번째 부반송파에서  $u$ 번째 사용자의  $k$ 번째 부반송파로 유입되는 MAI를 의미하며,  $\epsilon_{iu} = \epsilon_i - \epsilon_u$ 은  $i$ 번째 사용자와  $u$ 번째 사용자 신호 사이의 주파수 옵셋의 차를 나타낸다.

## 2. 주파수영역 다중접속간섭 제거

MAI를 제거하기 위하여 주파수 영역에서 모든 부반송파에 대해 인접 부반송파로부터 유입되는 간섭량을 계산하고 이를 빼주어 제거하는 PIC를 적용한다. 이 때 간섭으로 유입되는 인접 부반송파 신호는 거리가 멀수록 간섭 신호의 크기가 지수함수적으로 감소하므로 [5]에서 제안한 바와 같이 3~5개의 부반송파만 고려해도 성능이 크게 악화되지 않는다. 따라서 이 논문에서는 인접한 5개 부반송파로부터의 MAI만 제거한다.

채널등화기를 통과한 후 식 (8)과 (9)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{X}_k^{(u)} = X_k^{(u)} + I_k^{(u)} \quad (10)$$

$$I_k^{(u)} = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq u}}^U \sum_{q \in S_i} X_q^{(i)} \alpha_{qk}^{(iu)} \quad (11)$$

여기서  $\hat{X}_k^{(u)}$ 는 등화기의 출력값을,  $I_k^{(u)}$ 는  $u$ 번째 사용자의  $k$ 번째 부반송파로 유입되는 간섭을 나타내고,  $\alpha_{qk}^{(iu)}$ 는  $q$ 번째 부반송파에서  $k$ 번째 부반송파로의 간섭정도를

나타내는 간섭계수를 의미하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\alpha_{qk}^{(iu)} = \left\{ \frac{H_q^{(i)}}{H_k^{(u)}} \right\} \frac{\sin(\pi \epsilon_{iu})}{N \sin(\pi(q-k+\epsilon_{iu})/N)} \cdot e^{\frac{j\pi \epsilon_{iu}(N-1)}{N}} e^{-j\frac{\pi(q-k)}{N}} \quad (12)$$

따라서 (10)식으로부터 PIC를 적용하여 다음과 같이 MAI를 제거할 수 있다.

$$X_k^{(u)} = \hat{X}_k^{(u)} - \sum_{i=1}^U \sum_{q \in S_i^K} \tilde{X}_q^{(i)} \alpha_{qk}^{(iu)} \quad (14)$$

여기서  $\tilde{X}_q^{(i)}$ 는 등화기 출력을 임의로 관정하여 얻은 값이고  $S_i^K = \{k-K, \dots, k-1, k+1, \dots, k+K\}$ 는  $k$ 번째 부반송파로 유입되는 간섭 부반송파의 인덱스로 이 논문에서는  $K=5$ 를 사용하였다. 즉 인접 5개까지 부반송파로부터의 간섭만을 고려하였다.

그림 1은 제안방법을 적용한 주파수 옵셋 보상 및 MAI 제거 방법을 수신기를 나타낸다.

## IV. 모의실험 결과

모의실험에서는 사용자마다 서로 다르게 나타나는 주파수 옵셋이 존재하는 환경에서 IFDMA 신호가 받는 영향을 살펴보고, 사용자의 수에 따른 주파수 옵셋의 영향을 살펴본다. AWGN 채널을 사용하고, IFDMA를 위한 DFT 크기는 64이며, 보호구간은 16이다. 하나의 OFDMA 심볼을 이루는 사용자의 수는 4명과 16명 두 경우에 대해 모의실험 하였다. 각각의 사용자에서 발생한 주파수 옵셋은 사용자가 4명인 경우  $[\epsilon_1, \dots, \epsilon_4] = [0.1, 0.2, 0.15, 0.05]$  이고, 16명인 경우는  $[\epsilon_1, \dots, \epsilon_{16}] = [0.1, 0.15, 0.2, 0.05, -0.05, -0.1, -0.15, 0.08, 0.19, 0.25, 0.17, 0.12, 0.13, 0.02, 0.16, 0.23]$ 이다.

그림 2와 3은 ICI를 제거하지 않은 IFDMA, LFDMA 및 제안방법을 적용한 IFDMA의 성능을 나타낸다. 그림 2를 보면 IFDMA가 LFDMA에 비해 주파수 옵셋에 대해 더 민감한 것을 알 수 있다. 그러나 이 차이는 사용자의 수가 많아 한 사용자에게 할당되는 부반송파의 수가 적은

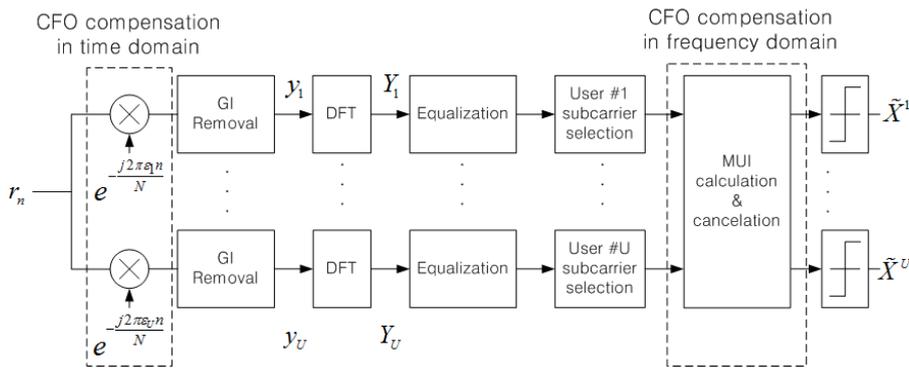


그림 1. PIC를 적용한 IFDMA 수신기

경우 두 방식의 주파수 오프셋에 대한 민감도는 비슷하게 나타난다. 이것은 LFDMA가 IFDMA와 유사하게 인접채널 간섭의 영향을 받는 부반송파가 많아지기 때문이다. 또한 IFDMA가 영향이 약간 적은 것은 주어진 모의실험 조건에서 인접 부반송파들의 주파수 오프셋 차가 LFDMA에 비해 작기 때문에 나타나는 것으로, 그 성능의 우열은 인접 부반송파들의 주파수 오프셋 차에 의해 결정된다. 한편 두 경우 모두 IFDMA에 제안방법을 적용한 경우 성능이 크게 향상됨을 확인할 수 있다. 이것은 IFDMA의 경우 사용자의 수가 적더라도 ICI가 모두 다른 사용자의 신호로부터 유입되므로 성능이 크게 악화되지만, LFDMA의 경우는 양쪽 가장자리의 일부 부반송파만 MAI의 영향을 받기 때문이다.

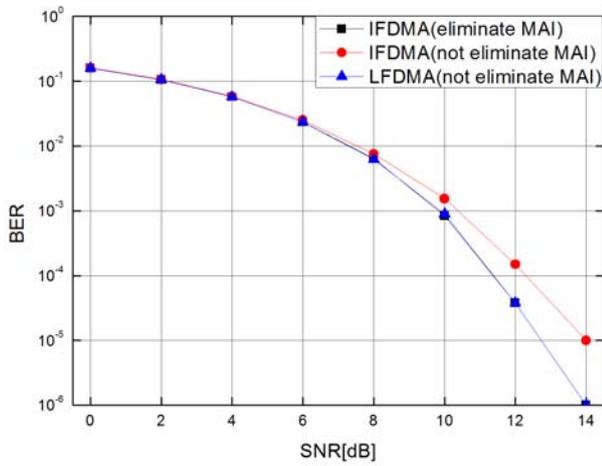


그림 2. 제안한 MAI 제거 방식을 적용한 시스템의 성능 (사용자가 4명인 경우)

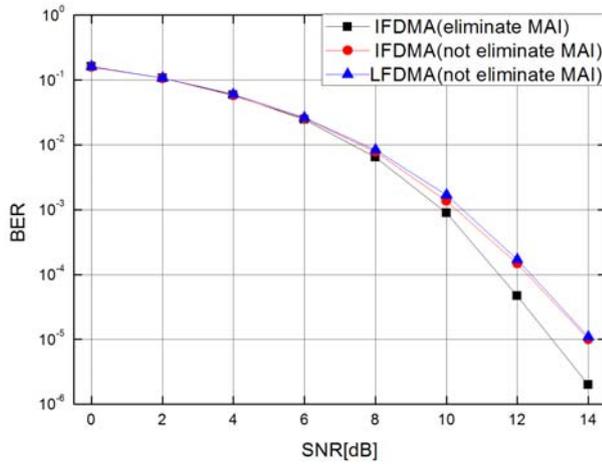


그림 3. 제안한 MAI 제거 방식을 적용한 시스템의 성능 (사용자가 16명인 경우)

### V. 결론

이 논문에서는 상향링크 IFDMA 시스템에서 각 사용자마다 서로 다른 주파수 오프셋이 존재하는 경우 수신신호가

받는 영향을 살펴보고, MAI를 제거하기 위한 방법을 제안하였다. 제안방법에서는 먼저 주파수 오프셋을 시간영역에서 보상하고, 이어 주파수 영역에서 사용자간의 주파수 오프셋 차이에 의한 MAI를 PIC에 적용하여 제거하였다. PIC 적용시에는 간섭의 영향이 큰 몇 개의 인접 부반송파만을 고려함으로써 계산량을 감소시켰다. 모의실험 결과 제안방식은 주파수 오프셋의 영향이 큰 IFDMA에서 성능을 크게 향상시킴을 확인할 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] P.H. Moose, "A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction," IEEE Trans. on Communications, vol. 42, no. 10, pp. 2908–2914, 1994.
- [2] J. Choi, C. Lee, H. W. Jung, and Y. H. Lee, "Carrier frequency offset compensation for uplink of OFDM–FDMA systems," IEEE Communications Letters, vol. 4, no. 12, pp. 414–416, 2000.
- [3] D. Huang and K.B. Letaief, "An interference cancellation scheme for carrier frequency offsets correction in OFDMA systems," IEEE trans. on Communications, vol. 53, no. 7, pp. 1155–1165, 2005.
- [4] S. Manohar, D. Sreedhar, V. Tikiya and A. Chockalingam, "Cancellation of multiuser interference due to carrier frequency offsets in uplink OFDMA," IEEE Trans. on Communications, vol. 6, no. 7, pp. 2560–2571, 2007.
- [5] Yu–Jun Won, Jeong–Woo Kim and Bo–Seok Seo, "Multiuser interference cancellation in OFDMA uplink systems with multiple frequency offsets," IEEE 2011 Digest of Technical Papers, International Consumer Electronics (ICCE), pp. 373–374.

### 저자

김 정 우 (Jeong–Woo Kim)

정희원



2010년 2월 : 충북대학교 전자공학과  
학사졸업

2010년 3월~현재 : 충북대학교  
전자공학과 석사과정

<관심분야> 디지털통신, OFDMA

원 유 준 (Yu-Jun Won)

정회원



2007년 2월 : 충북대학교 전자공학과  
학사졸업

2009년 2월 : 충북대학교 전자공학과  
석사졸업

2009년 3월~현재 : 충북대학교  
전자공학과 박사과정

<관심분야> 디지털통신, OFDMA

서 보 석 (Bo-Seok Seo)

정회원



1987년 2월 : 서울대학교 전자공학과  
학사졸업

1989년 2월 : 서울대학교 전자공학과  
석사졸업

1997년 2월 : 서울대학교 전자공학과  
박사졸업

2004년 9년~현재 : 충북대학교 전자공학부 부교수

<관심분야> 이동통신, 디지털 방송, 통신신호처리