

# OFDM 시스템에서 Adaptive Subcarrier Assignment 기법을 통한 간섭 경감에 관한 연구

준회원 조성구\*, 정회원 박용완\*\*, 최정희\*\*\*, 이동학\*\*\*\*, 정원석\*\*\*\*

## A study on the Adaptive Subcarrier Assignment techniques for interference suppression in OFDM System

Sung-gu Cho\* Associate Member, Yong-Wan Park\*\* Regular Member, Jeong-Hee Choi\*\*\*, Dong-Hahk Lee\*\*\*\*, Wonsuk Chung\*\*\*\*

### 요약

본 논문에서는 OFDM 방식의 무선통신 시스템에서 동종/이종 혹은 기타 재밍에 의한 통신 성능의 열화 시 간섭을 받은 부반송파를 추정하여, 간섭이 없는 부 반송파만 전송 함으로써 어떠한 간섭 상황에서도 정상적인 통신이 가능토록 하는 기법을 제안한다. 제안된 Adaptive Sub-carrier Assignment(ASA) 기법은 수신 단에서 FFT를 거친 각 부 반송파의 수신 전력 값을 추정하여, AWGN환경에서 원 신호의 평균 전력치 값인 문턱값(threshold) 보다 큰 부 반송파는 강한 간섭을 받은 부분으로 송신 단에서 신호전송 시 제외하고, 간섭에 영향을 받지 않은 주파수대역에 대해서만 부반송파에 정보를 보내는 방식으로, 기존의 무선 통신시스템의 물리계층 구조의 변경이 없이 강한 간섭 신호 하에서도 통신을 할 수 있는 시스템 구조를 제공한다. 제안된 ASA 방식을 사용하여 OFDM 시스템에서 시뮬레이션을 통해 간섭 신호의 주파수 대역 및 간섭 전력 값에 따른 부 반송파의 간섭 정보를 추정하고, 성능을 분석 한다.

Key Words : Adaptive Subcarrier Assignment, NBI, and Threshold, Distorted Subcarrier Block

### ABSTRACT

In this Paper, we propose the algorithm to provide stable communication in OFDM system under the highly interfered environment by the same/different systems which use same bandwidth or other jamming signal, i.e., radar signal. The proposed Adaptive Subcarrier Assignment(ASA) method first estimates the received power of each subcarrier in the block of FFT of OFDM receiver. Then we estimate the threshold level which is the average power of the transmitted OFDM signal with AWGN. The highly interfered subcarriers, which are greater powers than the specified threshold level, are rejected in the next transmission and the only non-interfered subcarriers are selected as the next transmission. This algorithm provides stable communication in any OFDM systems without changing the physical layer under the highly interfered communication environment. We estimated the status of the subcarriers based on the bandwidth and power of the jamming signal and showed the performance of the proposed algorithm by the simulation.

### 1. 서론

현재 초고속 무선통신 서비스 제공을 위하여 미국에서는 IEEE 802.11, 유럽은 ETSI(HIPERLAN/

2), 일본 MMAC등에서 기술개발 및 표준화를 위한 노력이 한창 진행 중에 있다. 이를 현실화하기 위해 무선 시스템들은 동일한 대역을 공유할 수 있어야 하고 허가 과정이 필요 없는 이종 시스템간의 통신

\* 영남대학교 정보통신공학과 이동통신연구실(gel99@hanmail.net)

\*\* 영남대학교 전자정보공학부(ywpark@yu.ac.kr)

\*\*\* 대구대학교 정보통신공학부(choijh@daegu.ac.kr)

\*\*\*\* SKT 차세대기술개발팀(dhlee@sktelecom.com)

\*\*\*\* SKT 차세대기술개발팀(wsjung@sktelecom.com)

논문번호 : 04104-0308, 접수일자 : 2004년 6월 8일

이 가능해야만 한다. 그러나 비허가 대역 사용은 스펙트럼 공유를 용이하게 하고 다양한 무선 매체에 접속을 허락하고 있지만 동종 및 이종 시스템간의 상호 간섭은 심각한 문제점으로 부각되고 있다. 그리고 실내 광대역 시스템들은 군용 및 일반 레이더 시스템에 의해 심각한 재밍을 받고 있다. 특히, 2.4GHz 대역에서 OFDM을 기반으로 한 802.11g 무선 랜에서는 인근 셀에서 사용하는 채널과 주파수상 충돌을 고려하여, 각 채널의 중심 주파수 간격에 따라 간섭 정도를 분석하였다[1]. 즉, 인접한 채널과의 중심 주파수 간격이 충분히 멀어지지 않을 경우 간섭에 의한 성능 열화가 심각함을 알 수 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 주파수 공유시 나타나는 문제점을 연구 분석하고 있으며 간섭을 효과적으로 경감 시키기 위한 기법들이 제안되고 있다.

첫번째로는 DS-CDMA(혹은W-CDMA)와 TDMA 시스템간의 주파수 공유 상황에서 주파수 효율을 개선시키기 위해 몇 가지 알고리즘을 제안하고 있다[2][3][4]. TDMA 신호로부터 발생하는 intercell 간섭 즉, 상호 간섭을 줄이기 위해 이상적인 notch filtering과 signal clipper를 이용하여 간섭을 줄이고 W-CDMA 시스템의 대역 효율을 높여주고 있다. 그리고 2.4GHz 대역에서의 802.11b 무선 랜에 대한 연구에서는 Microwave Oven을 간섭 신호로 가정하여 간섭에 대한 무선 랜 성능을 다음과 같은 알고리즘을 통해 무선 랜 성능을 개선시키고 있다 [5]. 주파수 영역에서 간섭 채널을 제거하기 위해 수신된 각 샘플들을 문턱값을 통해 비교한다. 그리고 이러한 문턱값을 통해 간섭 신호를 추정하며, 송신 신호를 결정할 때 간섭 신호를 제외하여 복조함으로써 간섭에 대한 영향을 줄이고 있다. 그 결과 간섭 신호의 전력이 높을수록 간섭 신호의 추정이 높아져 더 좋은 성능을 보이고 있다.

두 번째로는 OFDM을 기반으로 한 시스템에서는 간섭 신호가 각 부반송파에 미치는 영향에 대해 연구가 되고 있다. 간섭 신호의 영향을 줄이기 위해 IS(Interference Suppressing)-OFDM를 이용한 간섭 경감 기법으로 간섭에 대한 영향을 줄이고자 하였다[6]. 이 논문에서는 간섭 신호는 OFDM 신호의 각 부반송파에 불규칙한 크기로 영향을 미치는 신호로 정의하고 있으며 고정된 대역에서 전력에 따라 분석한 것으로 간섭 신호의 전력이 클 경우 각 부반송파에 미치는 영향이 크게 나타나고 있었다. 이런 현상에 대해 walsh code를 각 부반송파마다

곱하여 확산시킴으로써 간섭 신호의 영향을 줄여 주고 있다. 그러나 IS-OFDM 기법은 기존의 시스템 변경으로 인하여 복잡성이 높아지며, 간섭 신호의 전력이 클 경우에는 BER 성능을 개선시키지 못하는 단점을 지니고 있다.

또한 Adaptive bit loading 기법은 송신단이 채널 정보를 알고 있다는 가정에서 적용되는 기법으로 주파수 응답에 매우 심한 널(null)이 존재하거나 강한 협대역 잡음이 존재하는 채널에서는 이러한 주파수의 신호는 거의 전송되지 못한다. 따라서 이러한 채널의 용량에 접근하기 위해서 전송되는 신호에 스펙트럼 성형(spectrum shaping)을 적용한다 [7][8]. 이러한 Adaptive bit loading과 같은 기법은 넓은 대역을 가진 간섭에 대해 정확한 채널 추정이 어려우며, 간섭 신호에 의해 왜곡된 부반송파들은 더 이상 데이터 전송하기 어려움을 지니고 있다. 그리고 각 부반송파별로 채널의 정보를 분석함으로써 채널 분석에 소요되는 복잡성이 높은 단점을 지니고 있다.

따라서 본 논문에서는 일반적인 OFDM 시스템의 구조적인 변화 없이 수신기에서 간섭 신호만을 추정할 수 있는 문턱치를 통해 간섭신호를 추정하고, 다음 송신 시에 간섭의 영향을 받지 않는 부반송파에는 데이터를 전송하는ASA 알고리즘을 제안한다. 즉, 간섭 환경 하에서 수신기의 FFT단에 수신된 각 부반송파의 전력을 분석함으로써 원하는 부반송파보다 높은전력의 특정 부반송파를 볼 수 있다. 그리고 수신 단에서 FFT를 거친 각 부 반송파의 수신 전력 값을 추정하여, AWGN환경에서 원 신호의 평균 전력치 값인 문턱값(threshold) 보다 큰 부 반송파는 강한 간섭을 받은 부분으로 송신 단에서 신호전송시 제외하고, 간섭에 영향을 받지 않은 주파수대역에 대해서만 부반송파에 정보를 보내는 방식이다. 특히, 제안된 알고리즘은 전력이 강한 간섭에 대해 추정이 더욱 정확하게 되는 특징을 가지고 있으며, 기존에 제안된 방식(IS-OFDM 기법 등)에서는 강한 전력을 가진 간섭 신호에 대해 시스템의 구조적 변화에도 불구하고 BER 성능을 개선시키지 못하고 있지만 제안하는 알고리즘은 기본적인 시스템 구조에서 구조적 변경 없이 성능을 개선시킬 수 있는 장점이 있다. 그러나 알고리즘 과정을 통해 에러가 발생하지 않는 부반송파에만 데이터를 보내게 됨으로 데이터 전송율은 추정된 부반송파의 수만큼 줄어들게 된다.

## II. 시스템 모델

### 1. OFDM 신호 모델링

OFDM 방식에서 입력으로 들어가는 직렬 데이터는 병렬로 변환(S/P)되며, 그 데이터의 각각의 심볼 길이는 부반송파의 개수인  $N$ 배 만큼 확장된다. 그리고 각각의 데이터는 각기 다른  $N$ 개의 부반송파에 의해 변조된 후, 다시 직렬 데이터로 변환된다. 그림 1은 일반적인 OFDM 시스템의 구조이다.

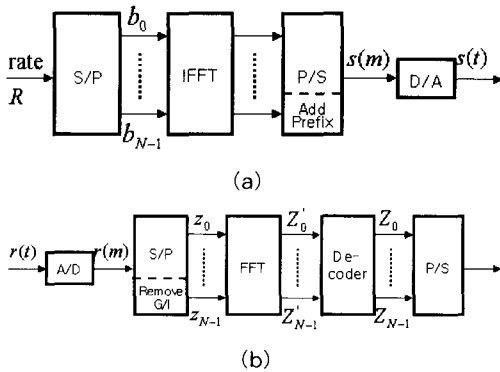


그림 1. OFDM 시스템system (a) 송신기 (b) 수신기

$i$ 번째 프레임에서 전송되는 이산 신호는 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)에서 나온  $m$ 번째 샘플들로 나타낼 수 있는데 식(1)과 같다.

$$s_i(m) = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{k=0}^{N-1} b_{i,k} e^{j2\pi(km/N)} \quad (1)$$

여기서,  $b_{i,k}$ 는 1번째 프레임에서  $k$ 번째 부반송파의 심볼이며,  $b_{i,k} = \alpha_k + j\beta_k$ 로 구성되고 이는 QAM(Quadrature Amplitude Modulation)에서의 복소값(complex value)을 나타낸다. 그리고  $N$ 은 부반송파의 개수,  $m = -N_g, \dots, N-1$ 이며,  $N_s = N + N_g$ 는 각 프레임의 샘플 수,  $N_g$ 는 보호구간의 샘플 수이다. 그리고 IFFT를 한 후, 연속된 시간에서 아날로그 신호로 변환(D/A)되어 전송되는 신호는 식(2)와 같다.

$$s(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \sum_I \sum_k b_{i,k} e^{j2\pi k[(t-T_g - IT_{total})/T]} f(t - IT_s) \quad (2)$$

$T_s = T + T_g$ 은 보호구간이 삽입된 시간 구간이며,  $T$ 는 심볼 주기,  $T_g$ 는 보호구간이다. 그리고 시간 구간에서의 샘플은  $T_N = T/N$ 으로 나타낸다.  $f(t)$ 은 구간 0에서  $T_s$ 까지 1의 값을 가지는 구형파이다.

### 2. 간섭 신호 Modeling

간섭 신호(NBI)는 시간 전 구간에 균일하게 간섭을 일으키는 일정한 형태의 신호 크기로 주파수 간섭 대역은 OFDM 신호가 가지는 대역보다 작은 대역으로 정의한다. 그리고 간섭 신호는 채널상에 OFDM 수신단에서 더해져 수신되는 신호이며, 주파수 영역에서 OFDM 신호에 영향을 주는 간섭 신호의 샘플은 일정한 크기의 형태로 가정하며, 더해지는 신호로써 다중 경로 페이딩과 같이 수신되는 OFDM 신호의 위상 천이를 발생시키는 신호로 고려하지 않는다. 간섭 신호원은 보호 구간을 포함한 구간으로 샘플된 신호로 생성하였으며, 이 때 수신된 신호는 보호구간을 삽입하는데 일반적으로 연속되는 심볼간 간섭을 없애기 위해 심볼의 앞 부분에 추가 삽입한다. 이러한 보호구간에 의해 OFDM 심볼은 ISI(Intersymbol-Interference)나 ICI(Intercarrier-Interference)는 발생하지 않는다고 가정한다. 그리고 채널의 환경은 frequency-flat fading으로 한다. 이에 따라 수신된 신호를  $r(t)$ 라 하면,

$$r(t) = \sum_i h_i(t)s(t-t_i) + I(t) + n(t) \quad (3)$$

여기서,  $h_i(t)$ 는 시간에 대한  $i$ 번째 채널 값이며,  $I(t)$ 는 NBI 신호이며, 간섭 신호의 대역폭은 부반송파로 정의하고 OFDM 신호의 대역보다 작은 대역을 가지도록 했으며,  $n(t)$ 는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이다. 그림 2는 주파수 영역에서 OFDM 신호에서 간섭 신호에 의한 신호 형태를 나타내고 있다.

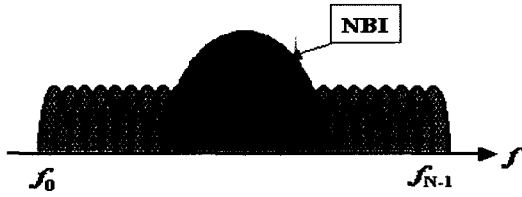


그림 2. 주파수 영역에서의 OFDM 신호와 간섭 신호

그리고  $t_n = nT_N$ 에서 샘플된 신호는 식 (3.4)과 같이 나타낸다.

$$r(n) = \sum_i \sum_{m=-N_g}^{N-1} h_i(n)s(n-m) + I(n) + n(n) \quad (4)$$

그리고 보호구간을 제거한 수신 신호를 1번째 프레임(혹은 OFDM 심볼)에서 N개만큼 샘플한 신호는 벡터로 표현되고 식 (5)와 같다.

$$r_i = [r_{i,n}] = [r_{i,0}, r_{i,1}, \dots, r_{i,N-1}] \quad (5)$$

여기서,  $r_{i,n}$ 은  $r((n+N_g+IN_s)T)$ 이며, FFT에 의해 변조된 신호이다. 그리고 채널의 환경이 OFDM 프레임의 구간에 변하지 않는다고 가정하고, 1번째 프레임에서 k번째 부반송파의 FFT에 의한 출력값은 식(6)과 같다.

$$Z'_{i,k} = b_{i,k} \cdot H_{i,k} + I_{i,k} + \eta_{i,k} \quad (6)$$

여기서,  $b_{i,k}$ 는 1번째 프레임에서 k번째 부반송파의 심볼이며,  $H_{i,k}$ 는  $f_k = k/T$ 의 부반송파의 주파수에서 그리고 1번째 프레임 동안의 채널 전달 함수이다. 또한  $I_{i,k}$ 와  $\eta_{i,k}$ 는 1번째 프레임에서 k번째 FFT에서의 출력 값이다. 이를 전송 filter와 채널 응답을 고려한 것이며, 이는 식(7)과 같으며,

$$H_{i,k} = \sum_i h_i(k)e^{-j2\pi k(\tau_i/T)} \quad (7)$$

식 (6)과 (7)에 의해서 FFT 출력들은 송신될 때 N개의 부반송파에 보내진 심볼들로 복원된다. 일반적으로 FFT에 출력되는 심볼들은 선택적 Rayleigh

다중 경로 채널과 AWGN채널을 통하여 전송될 때 그 크기 및 위상이 변화되어 정상도에 변화가 생긴다. 특히 다중 경로 채널을 고려하지 않은 상황에서는  $I_{i,k}$ 와  $\eta_{i,k}$ 는 크기 변화에 영향을 주므로 수신된 신호의 정상도는 크기만 변화하게 된다. 이렇게 FFT를 거쳐 나온 각 신호는 병렬데이터를 직렬 데이터로 변환(P/S)하여 복조를 하게 된다. 그리고 OFDM 신호에 대한 간섭 신호의 전력은 JSR (Jamming-to-Signal Ratio)로 나타내며 식(8)과 같이 나타낸다.

$$JSR = P_I / P_s \quad (8)$$

여기서  $P_I$ 는 간섭신호의 평균 전력이며,  $P_s$ 는 전송되는 평균 전력이다. 이는 OFDM에 대해 일정한 간섭 전력 비로 영향을 주게 된다. 그리고 수신 신호에서 전체 전력은  $P_z = P_s + P_I + P_\eta$ 이 되고,  $P_\eta$ 은 평균 잡음 전력이며 모든 부반송파에 대해  $\sigma_\eta^2 = E(\eta_n^2)$ 을 가진다. 간섭 신호에 의한 OFDM 신호의 성능을 분석하기 위한 신호대 잡음비(SINR)은 식(9)과 같다.

$$SINR = \frac{P_s}{P_I + P_\eta} = \frac{N^2 b_i^2}{\left\{ \sum_{k=1}^L E|I_k|^2 \right\} + N\sigma_\eta^2} \quad (9)$$

여기서  $P_s$ 는 각 채널값에서 유용한 신호를 정규화한 값이다. 그리고 L은 부반송파의 개수(N)보다 작은 값이다. 따라서 식(9)에서 모든 부반송파 중 N보다 작은 L만큼의 부반송파에만 간섭 전력에 의해 영향을 받아 수신된 신호는 (N-L)만큼의 부반송파의 데이터는 유효하게 된다.

### III. Adaptive Subcarrier Assignment

본 장에서는 높은 간섭 신호(jamming signal)을 경감시키기 위해 제안된 ASA 기법 절차를 설명한다. 우선 OFDM 수신기의 FFT단에서 각 부반송파의 수신 전력을 분석하고, 그리고 주파수 영역에서 부반송파별 수신 전력을 관찰한다. 부반송파별 수신 전력은 각각의 부반송파 신호크기의 복소수 형태이

므로 그 신호크기의 켈레복소수를 곱하여 얻을 수 있는 것이다. 따라서 1번째 프레임에서 k번째 부반송파별로 나타나게 되는 수신 전력  $P_{l,k}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{l,k} = Z'_{l,k} Z_{l,k}^* = (b_{l,k} \cdot H_{l,k} + I_{l,k} + \eta_{l,k})(b_{l,k} \cdot H_{l,k} + I_{l,k} + \eta_{l,k})^* \quad (10)$$

식 (10)과 같이 부반송파별 전력 레벨을 계산함으로써  $P_{l,k}$ 는 각 부반송파 신호의 1번째 프레임에서 k번째 부반송파별로 나타나게 되는 수신 전력이다. 결국 우리는 jamming이나 다른 어떤 형태의 간섭 신호에 의해 특정 부반송파에 높아진 수신 전력을 확인할 수 있다. 따라서 식 (10)을 통해 간섭 신호를 추정하기 위한 적절한 문턱값 전력 레벨을 결정해야 됨을 알 수 있다. 그리고 이러한 문턱값 ( $P_K$ )은 각 부반송파의 수신 전력 레벨에서 가장 큰 전력에서 결정된다.

동일한 전송 전력에서 AWGN의 레벨은 문턱값을 결정하는 요인이 된다. 즉, 문턱값의 레벨은 낮은 Eb/No에서 더 낮게 결정될 수 있다. 식(11)에서 문턱값 레벨을 나타내고 있다.

$$P_K = [(b_{l,k} \cdot H_{l,k} + \eta_{l,k})(b_{l,k} \cdot H_{l,k} + \eta_{l,k})^*]_{\max} \quad (11)$$

식 (10)과 (11)을 통해 식 (12)에 주어진 것처럼 특정 문턱값 전력 레벨에서 부반송파별로 수신 전력을 비교함으로써 간섭이 발생된 부반송파들을 추정한다.

$$P_{l,k} = Z'_{l,k} Z_{l,k}^* > P_K \quad (12)$$

식 (12)을 통해 특정 문턱값 전력 레벨( $P_K$ )보다 큰 부반송파별 수신 전력 레벨( $P_{l,k}$ )들을 간섭 신호로 간주하게 된다. 이는 M-QAM계열과 같은 다중 크기를 가지는 변조 방식에서도 최대를 가지는 문턱값을 통해 쉽게 간섭을 추정할 수 있는 적응적 기법이다. 이러한 과정을 통해 추정된 간섭 신호는 송신단에 알려지게 되며, 송신단에서는 다음에 전송될 데이터들을 간섭 신호가 위치하지 않은 부반송

파들에만 보내지게 된다. 그리고 송신단에 알려진 간섭 신호에 대한 부반송파 위치는 null값으로 처리하게 된다. 이러한 과정은 각부반송파에 정보를 전송하는 OFDM 신호의 특성상 각 부반송파 중 채널 상황이 좋은 부반송파에만 정보를 전송함으로써 강한 재밍 신호와 같은 간섭 신호에 대해 안정된 통신을 제공하게 된다.

다음은 제안된 ASA 알고리즘을 적용하기 위한 송수신기 구조를 보여 준다. 그림 3은 제안된 알고리즘에 의한 구조이다.

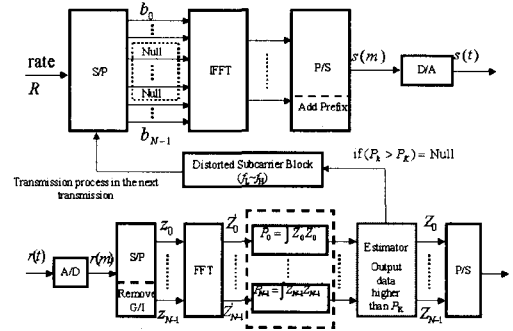


그림 3. 제안된 알고리즘 개념도

그림 3에서 재구성한 OFDM 수신기는 다음과 같은 과정으로 처리한다. 수신된 샘플들은 FFT를 거쳐 각 부반송파에 위치하는 샘플들은 k번째 부반송파  $Z'_k$ 로 나타난다. 다음의 점선 영역은 각 부반송파별로 나타나는 전력을 계산 과정을 나타내고 있으며,  $P_k$ 는 k번째 부반송파에서 샘플의 수신 전력이다. 이는 각각의 부반송파 신호크기의 복소수 형태이므로 그 신호크기의 켈레복소수를 곱하여 얻을 수 있는 것이다. 그리고 다음의 Estimator단에 정해진 문턱값을 통해 간섭 신호를 추정하게 있다. 특히 송신단에는 추정된 간섭 신호의 주파수 범위를 fL에서 fH로 결정하고 Distorted subcarrier block으로 정의한다. 결국 이러한 블록이 송신단에 알려지게 된다. 그리고 나서 Distorted Subcarrier Block에 해당하는 주파수의 부반송파를 Null값으로 처리하고 그 나머지 부반송파에만 데이터를 삽입하게 된다. 그 다음의 전송 과정은 일반적인 시스템에서 처리와 동일하다.

### IV. Simulation

이 본 장에서는 NBI 및 AWGN 환경에서 OFDM 시스템이 가질 수 있는 BER 성능을 분석하며, 기존에 제안된 알고리즘과 제안하는 알고리즘에 대해 성능을 비교 분석한다. 실험을 위한 기본적인 요소들은 다음과 같다. 신호 대역폭은 20MHz, 부반송파의 개수는 64개, 부반송파간의 간격(subcarrier spacing)은 312KHz, QPSK 변조, 간섭 신호의 대역폭은 10MHz이다. 그리고 채널 환경은 AWGN이며, JSR은 10, 0, 10dB로 변화시키며 실험하였다.

또한 간섭 신호는 일반적인 재밍 신호와 레이더 및 위성 신호와 같이 전력이 강하고 주파수 영역에서 연속적으로 간섭을 일으키는 신호로써 고려한다.

다음은 ASA 알고리즘에 관한 기본적 절차에 대한 과정에 대한 분석들을 그림 4와 5에서 나타내고 있다.

그림 4는 AWGN 환경에서 Eb/No 변화에 따른 부반송파별 수신 전력 변화를 연속적으로 나타내고 있다. Eb/No가 증가함으로써 잡음 전력에 대한 영향이 감소하여 더 낮은 전력레벨을 예상할 수 있다. 그리고 그림 4에서처럼 실험을 위해 Eb/No값이 12dB에서 2Watts를 문턱값을 결정한다.

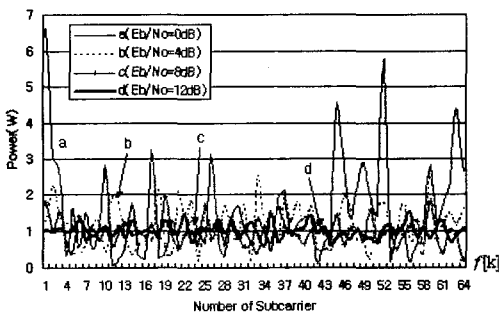


그림 4. AWGN 환경에서 Eb/No에 따른 수신샘플의 전력

그림 5에서 실험에서 가정한 간섭 신호는 10MHz의 대역으로 일정한 크기의 형태로써 부반송파의 위치는 17에서 49번째까지 그리고 JSR은 0dB에서 2.5dB까지 변화하도록 할당되어 있다. 이는 특정 부반송파에 JSR값에 따라 수신 전력의 레벨을 나타내게 된다. 그림 5에서 전체부반송파들로부터 간섭이 발생된 특정 부반송파들의 수신 전력이 정해진 문턱값 레벨보다 크게 나타남을 알 수 있다.

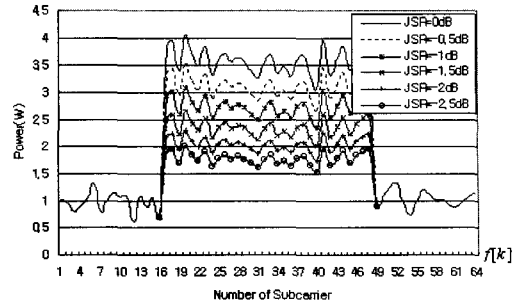


그림 5. AWGN 및 NBI 환경에서 수신샘플의 전력(Eb/No=12dB)

그리고 근사적으로 JSR이 2dB일 때, 간섭의 영향을 받는 부반송파들은 정해진 문턱값 레벨보다 낮게 형성되어 있다. 또한 간섭에 의한 부반송파들은 JSR이 0dB이상에서 문턱값보다 높게 나타남을 알 수 있다. 그리고 JSR이 0dB에서 2dB로 변화할 때 간섭이 위치한 부반송파들 중은 몇몇의 부반송파는 문턱값 이상으로 나타나지 않음을 보여준다. 결국 그림 5의 결과를 통해 JSR값이 충분히 높은 값을 가진다면 간섭이 위치한 부반송파 전체를 모두 추정 가능하며, 더 높은 Eb/No에서 실험에서 정한 2watts의 문턱값보다 낮은 레벨을 통해 JSR이 0dB에서 2dB사이에도 간섭 추정은 더욱 명확해질 수 있다. 그러나 정해진 문턱값을 통해서는 JSR이 2dB 이하에서는 간섭 신호를 추정하기가 어렵다. 따라서 제안된 알고리즘은 간섭 신호가 높은 전력을 가질 때 더욱 완벽하게 적용될 수 있다. 그러나 간섭이 발생한 부반송파를 제외한 만큼 데이터를 전송함으로써 그에 따른 용량 또한 감소하게 된다. 만약은 OFDM이 가진 전체 대역을 BW, 추정된 간섭 신호의 대역을 (fHfL)로 가정하면, 대역폭 효율은  $(BW(fHfL))/BW$ 가 된다. 결국 데이터 전송율도 이에 따르게 되어 간섭신호의 대역이 증가하면서 주파수 효율 측면에서 단점을 가지게 되지만 간섭 신호의 대역이 줄어들게 되면 데이터 전송율은 증가하게 된다.

다음은 제안하는 ASA 기법과 기존의 간섭 경감 기법에 대해 실험을 통해 각각을 비교 분석하였다.

그림 6에서 일반적인 OFDM(A), 기존에 제안된 IS-OFDM(B), 채널 코딩(convolutional coding, R=1/2)(C) 및 제안하는 ASA 알고리즘(D)에서 간섭에 따른 각각의 OFDM의 BER 성능을 비교한 것이다.

첫째, JSR이 10dB에서의 각각에 대한 성능들은 기존의 알고리즘은 Eb/No 값을 높여줌으로써 BER

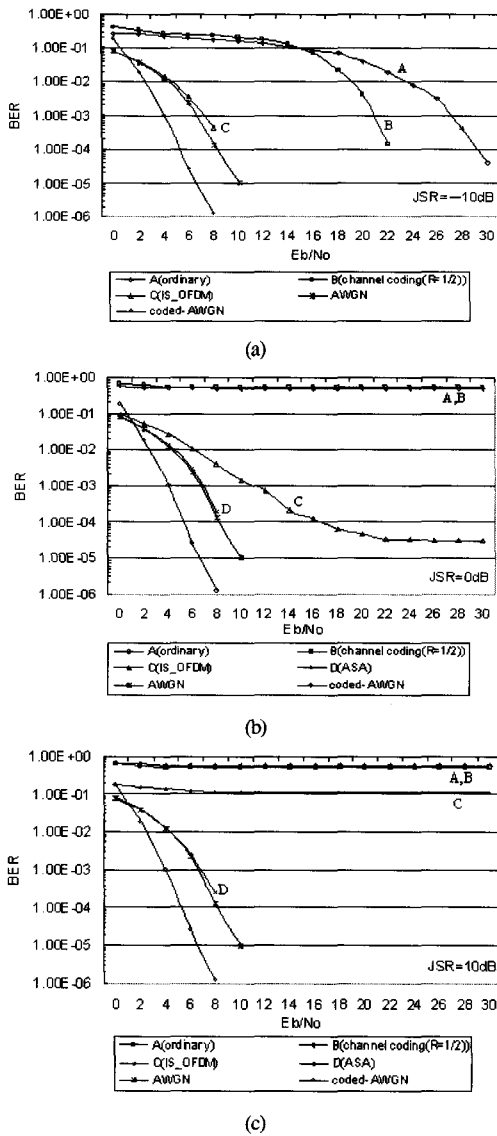


그림 6. 각 기법에 따른 OFDM 신호의 BER 성능 (A:ordinary B:channel coding( $R=1/2$ ), C:IS-OFDM, D:ASA) (a) JSR=-10dB (b) JSR=0dB (c) JSR=10dB

성능이 개선되고 있음을 알 수 있다(그림 6(a)). ASA 알고리즘의 특성상 간섭 신호가 낮은 전력을 가질 때 추정이 어려워 그림 6(a)에서는 고려하지 않는다. 그러나 JSR이 낮은 값에서는 채널 코딩을 통해 충분히 BER 성능을 개선시켜 주고 있다.

둘째, JSR이 0dB인 결과에서도 기존 알고리즘에서는 IS-OFDM이 BER 성능을 많이 개선시키고 있다(그림6(b)). 그러나  $E_b/N_0 > 20dB$ 에서 BER 값이 2104 이하로 성능을 보이지 못하고 있다. 그러나

ASA 알고리즘을 통해 error floor현상에서 완전히 벗어남을 알 수 있다.

셋째, JSR이 10dB인 결과에서 가정한 간섭 신호의 특성에 따라 채널 코딩에 대한 이득은 볼 수 없었다(그림 6(c)). 그리고 IS-OFDM 알고리즘 또한 높은 전력을 가진 간섭 신호에 의해 BER 성능을 개선시키지 못하고 있다. 특히 기존의 알고리즘들은 OFDM 신호의 BER 성능에서 error floor현상을 전혀 개선시키지 못하고 있다. 그러나 제안된 ASA기법을 통해 간섭 신호의 영향을 완전히 벗어남으로써 잡음신호(AWGN)에 대한 BER 성능을 가질 수 있게 된다. 그리고 일반적인 OFDM 시스템에서 전력이 강한 간섭 신호에 의해 통신은 불가능하게 될 것을 주시해야 하며, 제안된 알고리즘을 통해 안정적인 통신을 가능하게 함을 보여주고 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 일반적인 OFDM 시스템의 구조적인 변화 없이 수신기에서 간섭 신호만을 추정할 수 있는 문턱값을 통해 간섭 신호를 추정하고, 다음 송신 시에 간섭의 영향을 받지 않는 부반송파에는 데이터를 전송하는 알고리즘을 제안하였다.

제안된 ASA 기법은 수신 단에서 FFT를 거친 각 부반송파의 수신 전력 값을 추정하여, 원 신호의 평균 전력 값인 문턱치(threshold) 보다 큰 부 반송파는 강한 간섭을 받은 부분으로 송신 단에서 신호전송 시 제외하고, 간섭에 영향을 받지 않은 주파수대역에 대해서만 부반송파에 정보를 보내는 알고리즘이다. 따라서 기존 적응적으로 부반송파별로 채널을 분석하여 전송량을 결정하는 과정에 비해 간략한 문턱값을 통해 간섭 신호를 판단함으로써 구조적 복잡성을 줄여주고 있다.

그리고 JSR값이 높을 경우 제안된 알고리즘을 적용함으로써 좋은 BER 성능을 가질 수 있는 반면, 기존에 제안된 IS-OFDM이나 채널 코딩 기법은 BER 성능을 개선시키지 못하고 있음을 알 수 있었다. 그러나 간섭 신호의 전력이 낮을 경우 추정이 어려워져 알고리즘 적용에 어려움을 가지고 있지만, 기존의 간섭 경감 기법을 통해 충분히 성능을 개선시켜주고 있음을 알 수 있다.

따라서 ASA 기법은 낮은 전력을 가진 간섭 신호에 대해서 추후 간섭 신호를 추정해내는 방법으로 채널 상황에 대해 추정이 더 쉬운 파일럿(pilot) 심볼 이용에 대한 연구가 필요하다. 그리고 제안된

알고리즘은 물리계층의 변화가 필요 없어 IEEE802 계열의 시스템에 적용이 쉬운 특징을 가지고 있으므로 간섭 신호에 대한 더욱 명확한 추정을 통하여 전체 대역에서 통신이 가능한 부반송파에 적응적 변조(Adaptive modulation) 기법을 통해 전송율 또한 증대시킬 수 있을 것이다.

### 참고 문헌

[1] 박정호, 강창언, 홍대식, "802.11g 기반 OFDM 무선 랜 시스템의부분대역 재밍 신호에 의한 성능 열화 분석", *Telecommunication Review*, vol:6, pp. 834-845, December, 20

[2] Jie ZHOU, "Forward Link Performance of TDMA/W-CDMA Spectrum Overlaid System with Interference Cancellation for future Wireless Communications", *IEICE TRANS*, vol.E85-A, No.7, pp. 1536-154, July 2002,

[3] Shinsuke Hara, "Co-Existence Problem of TDMA and DS-CDMA Systems -Application of Complex Multirate Filter Bank", 1996 *IEEE*. pp. 1281-1285, 1996

[4] Matsuda, T.; Hara, S.; Morinaga, N. "Feasibility study on DS-CDMA/TDMA frequency sharing system" *IEEE International Conference on* , vol: 2 , pp. 974-978, 1997

[5] Unawong, S.; Miyamoto, S.; Morinaga, N. "Techniques to improve the performance of wireless LAN under ISM interference environments", *APCC/OECC '99*, vol: 1, pp. 802 805, 1999

[6] Gerakoulis, D.; Salmi, P. "An interference suppressing OFDM system for Wireless Communications" *IEEE International Conference on*, vol.1, pp. 480 484, 2002

[7] Juha Heiskala, John Terry, *OFDM Wireless LANs: A Theoretical and Practical Guide*, SAMS, 2002

[8] Armada, A.G. "A simple multiuser bit loading algorithm for multicarrier WLAN", *IEEE International Conference on*, vol: 4, pp. 1168-1171, 11-14, June, 2001

[9] Richard van Nee, Ramjee Prasad, *OFDM For Wireless Multimedia Communications*, Artech House, 2000

[10] H. Harada and R. Prasad, *Simulation and software radio for mobile communications*, Artech House, 2002 communications, Artech House, 2002

조 성 구(Sung-gu Cho)

준회원

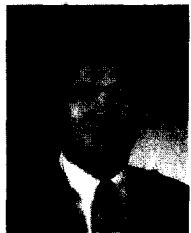


2002년 2월 : 영남대학교  
전자공학과 졸업  
2004년 2월 : 영남대학교  
정보통신공학과 석사 졸업  
2004. 3월~현재: LG 정보통신,  
연구원

<관심분야> 전자공학, 이동통신공학, 간섭 경감

박 용 완(Yong-Wwan Park)

정회원



1982년 2월: 경북대학교  
전자공학과 학사  
1984년 4월: 경북대학교  
전자공학과 석사  
1989년 2월: State University  
of New York at Buffalo 전  
자공학과 석사

1992년 2월: State University of New York at Buffalo 전자공학과 박사

1992년 10월~1993년 12월: 캘리포니아 공과대학 Research Fellow

1997년 1월~1996년 8월: SK Telecom 기술연구팀 장

2001년 1월~2001년 2월: NTT DoCoMo 초빙교수

2003년 1월~2004년 2월: UC Irvine 방문교수

1996년 9월~현재: 영남대학교 전자정보공학부 부교수

<관심분야> 차세대 무선접속기술, RF Engineering



최 정 희(Jung-Hee Choi)

정회원



1986년 2월: 경북 대학교  
전자공학과, 학사  
1989년 2월: State University  
of New York at Buffalo 전  
자공학과, 석사  
1992년 6월: State University  
of New York at Buffalo 전  
자공학과, 박사

1994년 1월~1998년 2월: SK Telecom 중앙 연구원  
선임연구원  
1996년 4월 ~ 1998년 1월: 정보통신연구진흥원 파  
견, 전파/방송기술평가실장  
1998년 3월~현재: 대구대학교 정보통신공학부 부교  
수  
2004년 1월~ 현재: UC Irvine 방문 교수  
<관심분야> 이동/위성통신, Active Imaging System

정 원 석(Wonsuk Chung)

준회원



1987년 2월: 서울대학교 전자  
공학과 학사  
1989년 2월: KAIST 전기 및  
전자공학과 석사  
1994년 2월: KAIST 전기 및  
전자공학과 박사  
1994년 3월~2001년 7월: (주)신

세기통신 기술연구소  
2001년 7월~현재: SK Telecom Network 연구원 차  
세대기술개발팀장  
<관심분야> 휴대인터넷, SDR, Home Network,  
BcN등

이 동 학(Dong-Hahk Lee)

준회원



1988년 2월: 경북대학교 전자  
공학과 학사  
1991년 2월: 포항공과대학교  
전자전기공학과 석사  
1996년 8월: 포항공과대학교  
전자전기공학과 박사  
1988년 1월~1989년 1월: LG

전자, 연구원  
1996년 8월~현재: SK Telecom Network 연구원,  
책임연구원  
<관심분야> W-CDMA모델설계, OFDM,  
W-LAN/WiBro/Cellular 연동, HPI, Beyond 3G  
시스템