

# WiBro 상향링크에서 I/Q 불균형 성분을 추정하기 위한 새로운 부채널 할당 방식

준회원 김혜진\*, 정회원 진영환\*, 종신회원 안재민\*

## Novel allocation method of tiles in Subchannel for I/Q imbalances Estimation in WiBro uplink

Hye-jin Kim\* Associate Member, Young-hwan Jin\* Regular Member, Jae-min Ahn\* Lifelong Member

### 요약

본 논문에서는 RF 단에서 직접변환 방식을 사용하고 있는 Wibro 상향링크에서 대칭되는 부반송파 간 확산으로 작용하여 성능 저하를 일으키는 I/Q 불균형(I/Q Imbalances)의 영향을 분석하였다. 전체 부반송파를 한 사용자가 모두 사용하는 OFDM 시스템과 달리, OFDMA 시스템에서는 대칭되는 부반송파가 각기 다른 사용자에게 할당되는 부채널 할당 방법을 사용한다. 그러므로 I/Q 불균형 성분의 추정은 불가능 해지고, 이로 인해 왜곡된 수신 신호를 보상해줄 수 없다. 이러한 I/Q 불균형 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 대칭되는 부반송파들이 한 사용자에게 할당될 수 있도록 새로운 부채널 할당 방법을 제안한다. 새로운 부채널 할당방법을 적용하면, I/Q 불균형으로 인한 왜곡 성분의 추정이 가능해지고, I/Q 불균형이 존재 하지 않을 때의 성능과 비슷한 수준까지 보상할 수 있게 된다. 적절한 신호 검출 기법을 사용할 경우, 채널 성분과 결합한 I/Q 불균형 성분으로 인해 디버시티 이득으로 인한 성능 향상 효과까지 얻을 수 있음을 SER(Symbol Error Rate) 성능을 통해 확인 할 수 있다.

**Key Words** : I/Q Imbalances, WiBro, OFDMA, Diversity gain, PUSC

### ABSTRACT

In this paper, we analyze the I/Q imbalances effects at the WiBro uplink when using direct-conversion RF transceiver. If I/Q imbalance exists, the transmit signal is spread over two subcarriers. As a result, phenomenon of performance reducing is produced. Contrary to OFDM system in which one user uses all subcarrier, symmetrical two subcarriers are assigned other users in OFDMA system. I/Q imbalances elements can't be estimated such a conventional allocation method of tiles in subchannel and compensated. In order to solve the problem, We propose a new method in order that symmetrical two subcarriers are assigned one user. If novel method is applied, we can estimate I/Q imbalances and compensate distortion received signal. As a result, we can obtain a performance similar performance when I/Q imbalances is not existed. Also, if proper detection methods are used, we get the effect of performance improvement, because of diversity gain what is happened due to combining I/Q imbalances with multi path fading channel.

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구과제(No. R0120060001015402007) 지원으로 수행되었습니다.

\* 충남대학교 전자전파정보통신공학과 이동멀티미디어통신 연구실(jmahn@cnu.ac.kr)

논문번호 : KICS2007-09-408, 접수일자 : 2007년 9월 11일, 최종논문접수일자 : 2007년 11월 5일

## I. 서론

차세대 휴대 인터넷 서비스는 언제, 어디서나, 이동 중에도 고속으로 무선 인터넷 접속이 가능한 서비스이다. 이를 구현하기 위한 광대역 무선 접속 시스템의 국제 표준으로 Mobile WIMAX (IEEE 802.16e)가 진행되고 있고, 국내에서는 다중접속으로 OFDMA (orthogonal frequency division multiple access) 방식을 채택한 Wibro(Wireless Broadband Internet)시스템이 표준화되었다<sup>[1]</sup>.

WiBro 상향링크에서는 소형 저전력 RF 단말기를 구현하기 위해, 직접변환 (direct-conversion) 방식을 사용하고 있다. 그러나 직접변환 방식은 몇 가지 문제점을 가지고 있는데, 그 중 대표되는 것이 I/Q 불균형 (IQ imbalance)이다. I/Q 불균형은 기저대역 신호와 RF 신호를 처리하는 과정에서 실수부와 허수부의 이득(gain mismatch) 및 위상(phase mismatch) 불일치로 인해 발생한다. 이와 같은 IQ 불균형은 주파수 영역에서 대칭을 이루는 부반송파 사이의 상호 간섭으로 작용하여 성능 저하를 야기시키므로 이를 추정하고 보상해주는 연구가 진행되었다<sup>[2-7]</sup>. 먼저, 수신기의 RF단에서 발생하는 시간영역 및 주파수 영역에서 IQ 불균형 성분으로 인한 간섭 신호의 영향을 억제하여 수신 신호 검출 성능을 개선하는 방법이 연구되었고<sup>[2-3]</sup>, 수신기뿐 아니라 송신기에서도 직접 변환 방식을 사용하여 발생하는 IQ 불균형 문제를 해결하기 위해 위와 같은 방법으로 연구가 진행되었다<sup>[4-6]</sup>. 하지만 이러한 방식들은 간섭의 영향은 억제할 수 있어도 IQ 불균형에 의한 해당 부반송파의 전력 감소로 인해 성능 개선의 한계가 있다<sup>[7]</sup>.

IQ 불균형에 의한 실수부와 허수부 신호 사이의 직교성 훼손은 직교성을 유지하여야 한다는 관점에서 보면 성능 저하의 요인이지만, OFDM과 같이 주파수 축으로 신호를 송신하는 시스템에서의 기저대역 수신신호의 경우, 다중 경로 페이딩 채널을 통과하였을 때, 오히려 적당한 신호 검출 방식을 사용하면 주파수 다이버시티 이득 효과로 인해, IQ 불균형이 존재하지 않을 때 보다 더 좋은 성능 향상 효과를 기대할 수 있음이 연구를 통해 증명되었다<sup>[8-10]</sup>.

기존의 연구는 사용자가 전체 대역을 사용하는 OFDM 방식에 한해 수행 되었으며, 이러한 방식은

대칭되는 각각의 부반송파를 모두 알기 때문에 Alamouti 기법을 적용한 주파수 영역에서의 연속한 2개의 프리앰블을 이용하여 송수신기에서 발생하는 I/Q 불균형을 추정 할 수 있게 된다<sup>[8-9]</sup>. 하지만 전체 대역을 여러 개의 부채널로 나누어 여러 사용자가 동시에 사용하는 Wibro 상향링크의 경우, 임의의 부반송파가 한 사용자에게 할당되어도 그것과 대칭되는 부반송파가 같은 사용자에게 할당 되지 않기 때문에, 대칭되는 부반송파 사이에 상호 간섭으로 발생하는 I/Q 불균형 성분을 추정할 수 없게 된다. 이는 곧, 서로 다른 부채널간 간섭으로 작용하여 성능 열화와 높은 SNR에서도 성능이 향상되지 않는 에러 플로어를 발생시킨다.

이러한 관점에서, 본 논문에서는 Wibro 상향링크에서 현재 사용되고 있는 부채널 할당 방식하에서 IQ 불균형이 발생하였을 때의 현상을 알아보고, I/Q 불균형 성분에 의한 성능 저하를 해결하기 위해 새로운 부채널 할당 방식을 제안하였다. 새로운 부채널 할당 방법을 적용하여 I/Q 불균형 성분을 추정/보상했을 때 I/Q 불균형 성분이 존재하지 않을 때의 성능과 거의 비슷한 성능을 얻을 수 있었다.

제 2장에서는 현재 사용되고있는 Wibro 상향링크의 부채널 할당 방식 및 I/Q 불균형이 발생하였을 때의 시스템 모델을 살펴보았다. 제 3장에서는 I/Q 불균형을 추정하기 위한 새로운 부채널 할당 방법을 제안하고, 추가적으로 다이버시티 이득을 얻기 위한 수신 기법을 설명한다. 제 4 장에서는 모의 실험을 통하여 새로운 타일 할당 방식을 적용하였을 때의 성능을 살펴보고, 이어 5장에서는 결론을 맺는다.

## II. WiBro 상향링크 타일구조 및 I/Q 불균형 영향

### 2.1 Wibro 상향링크의 타일 구조 및 부채널 할당

Wibro 상향링크는 PUSC(Partial Usage of Subchannels) 순열에 대하여 35개의 부채널을 지원하고, 여러 송신기가 하나 이상의 부채널에 할당 된다. 이때 1개의 부채널은 6개의 타일(Tile)로 이루어지게 되는데, 이때 1개의 타일은 3개의 연속되는 심볼 구간내의 인접한 4개의 부반송파를 모아 블록화하여 부채널을 구성하기 위해 만들어진 기본 할당 단위이다<sup>[1]</sup>.

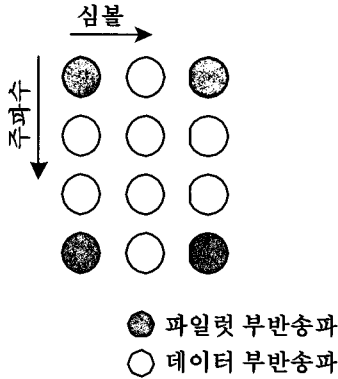


그림 1. WiBro 상향링크 타일 구조

그림 1은 Wibro 상향링크 PUSC부채널에서 사용되는 타일구조를 나타낸 것이다. 사용되는 주파수 대역은 총 210개의 타일로 나뉘어지고, 인접하는 35개의 타일들을 묶어 6개의 그룹을 만든다. 하나의 부채널은 이 6개의 그룹에서 표준에 제시된 식에 의해, 타일 한 개씩을 선택하여 만들어진다. 그림 2는 이러한 부채널 할당 과정을 그림으로 나타낸 것이다. 현재 사용되고 있는 이와 같은 부채널 할당 방식은 대칭되는 부반송파가 한 사용자에게 할당되지 않게 하므로, I/Q 불균형이 발생 하였을 때 추정을 불가능 하게 한다.

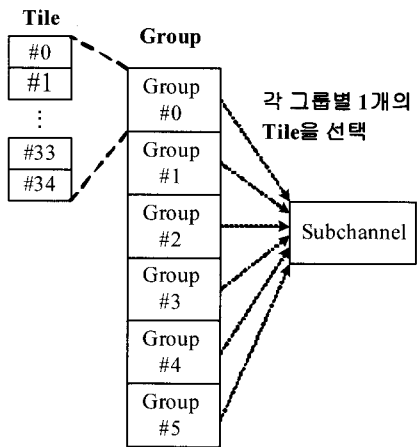


그림 2. WiBro 상향링크 부채널 할당 과정

2.2 Wibro 상향링크 시스템에서의 I/Q 불균형 모델

Wibro 상향링크의 송수신기가 RF 단에서 모두 직접변환 방식을 사용한다면, I/Q 불균형은 송수신

기 모두에 존재하게 된다. OFDMA 시스템의 송수신기에서 I/Q 불균형 모델은 우선 송수신기에서 발생하는 I/Q 불균형을 각각 모델링 한 후에 채널의 영향과 합쳐 전체 시스템의 I/Q 불균형을 동시에 모델링 할 수 있다<sup>[8]</sup>.

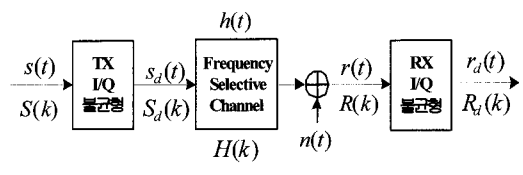


그림 3. 송수신 I/Q 불균형과 다중경로 채널 응답이 결합된 기저대역 시스템의 등가모델

그림 3은 주파수 선택적 페이딩 채널과 송수신 I/Q 불균형이 결합된 기저대역 시스템의 등가모델이다. 그림 3에서 송신 I/Q 불균형 성분에 의해 왜곡된 시간 영역의 신호  $s_d(t)$ 는 다음과 같이 표현된다<sup>[3,6]</sup>.

$$s_d(t) = \alpha s(t) + \beta s^*(t) \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \alpha &= \cos\theta_{tx} + j\epsilon_{tx}\sin\theta_{tx} \\ \beta &= \epsilon_{tx}\cos\theta_{tx} + j\sin\theta_{tx} \end{aligned} \tag{2}$$

식(2)에서  $\epsilon_{tx}$ 와  $\theta_{tx}$ 는 송신기에서의 이득 및 위상 불균형 성분을 나타내고,  $s^*(t)$ 는 I/Q 불균형이 발생하지 않은  $s(t)$ 의 켈레 복소 신호를 나타낸다. 이후, 송신 RF 단에서 왜곡된 송신신호  $s_d(t)$ 는 주파수 선택적 페이딩 채널  $h(t)$ 를 통과한 후,  $r(t)$ 의 형태로 수신되며, 다음의 식으로 표현된다.

$$r(t) = s_d(t)*h(t) + n(t) \tag{3}$$

식 (3)에서  $n(t)$ 는 평균이 0, 분산이  $\sigma^2$ 인 복소 백색 부가 잡음 (AWGN Additive White Gaussian Noise)을 나타내고,  $h(t)$ 는 채널 임펄스 응답, \*는 컨벌루션 기호를 나타낸다. 여기서 수신 신호  $r(t)$ 는 송신기에서의 같이 직접변환에 의한 왜곡이 발생하게 되고 이를 시간영역에서 표현하면 다음과 같다<sup>[6,7]</sup>.

$$r_d(t) = \gamma r(t) + \delta r^*(t) \tag{4}$$

$$\begin{aligned} \gamma &= \cos\theta_{rx} + j\epsilon_{rx}\sin\theta_{rx} \\ \delta &= \epsilon_{rx}\cos\theta_{rx} + j\sin\theta_{rx} \end{aligned} \quad (5)$$

식(4)에서와  $\gamma$ 와  $\delta$ 는 수신기에서의 왜곡 성분을 나타내고,  $\epsilon_{rx}$ 와  $\theta_{rx}$ 는 각각 수신기에서의 이득 및 위상 불균형 값을 나타낸다. 식(4)을 주파수 영역의 신호로 표현하기 위해 FFT를 적용하면 다음 식과 같다<sup>[6,7]</sup>.

$$\begin{aligned} R_d(k) &= FFT\{\gamma r(t) + \delta r^*(t)\} \\ &= \gamma R(k) + \delta R^*(-k), \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \end{aligned} \quad (6)$$

위 식에서  $k$ 는 OFDM 심볼 내의 부반송파 인덱스,  $N$ 은 전체 부반송파 수,  $-k$ 는  $N-k$ 를 의미한다. 식 (4)에서 FFT는 입력신호를 주기신호로 간주하므로  $k$ 번째 부반송파와  $-k$ 번째 부반송파는 서로 간섭으로 작용한다.

이제 식 (1), (3), (4)를 결합하고, 식(6)의 행렬식을 이용하여 시스템 전체의 I/Q 불균형으로 인한 영향을 주파수 영역에서 행렬식으로 나타내면 식 (7-1)과 같이 표현된다<sup>[8,9]</sup>.

$$\mathbf{R}_d(k) = \mathbf{G}(k)\mathbf{S}(k) + \mathbf{W}(k) \quad (7-1)$$

$$k = 1, 2, \dots, N-1$$

여기서,

$$\mathbf{R}_d(k) \equiv [R_{d,l}(k) \quad R_{d,m}^*(-k)]^T \quad (7-2)$$

$$\mathbf{G}(k) \equiv [g_1(k) \quad g_2(k)]^T \quad (7-3)$$

$$\mathbf{S}(k) \equiv [S_l(k) \quad S_m^*(-k)]^T \quad (7-4)$$

$$\mathbf{W}(k) \equiv [W(k) \quad W^*(-k)]^T \quad (7-5)$$

$$g_1(k) = \begin{bmatrix} \alpha\gamma h(k) + \beta^*\delta h^*(-k) \\ \beta\gamma h(k) + \alpha^*\delta h^*(-k) \end{bmatrix} \quad (7-6)$$

$$g_2(k) = \begin{bmatrix} \alpha\delta^* h(k) + \beta^*\gamma^* h^*(-k) \\ \beta\delta^* h(k) + \alpha^*\gamma^* h^*(-k) \end{bmatrix} \quad (7-7)$$

이다. 위 식에서  $\mathbf{R}_d(k)$ ,  $\mathbf{G}(k)$ ,  $\mathbf{S}(k)$ ,  $\mathbf{W}(k)$ 는 각각 주파수 영역에서의 왜곡을 겪은 수신신호 행

렬, 채널과 결합된 송수신 왜곡 성분 행렬, 송신신호 행렬 그리고 수신기에서 I/Q 불균형에 의해 왜곡된 잡음 성분 행렬을 나타낸다.  $l, m$ 은  $1 \leq l, m \leq M$ 으로 서로 다른 사용자를 나타내고,  $M$ 은 WiBro 상향링크를 사용하는 전체 사용자 수를 나타낸다. I/Q 불균형으로 인한 영향은 밑의 식 (8-1, 2)에서 자세히 확인할 수 있다.

### 2.3 I/Q 불균형으로 인한 Wibro 상향링크에서의 성능 열화

원하는 수신신호를 살펴보기 위해, 식 (7-1)을 다시 정리하면 다음과 같이 표현된다.

$$R_{d,l}(k) = OS_l(k) + PS_m^*(-k) \quad (8-1)$$

$$R_{d,m}^*(-k) = US_l(k) + VS_m^*(-k) \quad (8-2)$$

여기서,

$$S_l, S_m \in \{S_1, S_2, \dots, S_M\} \quad (8-3)$$

$$R_{d,l}, R_{d,m} \in \{R_{d,1}, R_{d,2}, \dots, R_{d,M}\} \quad (8-4)$$

$$O \equiv \alpha\gamma h(k) + \beta^*\delta h^*(-k) \quad (8-5)$$

$$P \equiv \beta\gamma h(k) + \alpha^*\delta h^*(-k) \quad (8-6)$$

$$U \equiv \alpha\delta^* h(k) + \beta^*\gamma^* h^*(-k) \quad (8-7)$$

$$V \equiv \beta\delta^* h(k) + \alpha^*\gamma^* h^*(-k) \quad (8-8)$$

를 나타낸다.

OFDMA 시스템에서, I/Q 불균형이 발생하면 식 (8-1)에서 보듯,  $l$  사용자의  $k$  번째 수신 부반송파 데이터는  $m$  사용자의  $-k$  번째 부반송파 데이터에 의해  $PS_m^*(-k)$  만큼 간섭이 발생하게 된다. 기존의 OFDM 방식과 같이, 전 대역을 한 사용자가 사용하여  $k$ 와  $-k$  번째 부반송파 모두를 알고 있다면, 두 부반송파와 Alamouti 기법이 적용된 연속된 2개의 프리엠펙을 이용하여 왜곡 행렬의 성분  $O, P, U, V$ 를

모두 추정 할 수 있다<sup>8,9)</sup>. 그러나 2.1절에서 설명한 바와 같이, 전체 대역을 여러 개의 부채널로 나누어 여러 사용자에게 할당하는 OFDMA 시스템에서는  $l$  사용자의  $k$ 번째 부반송파에 파일럿이 실려도  $-k$ 번째 부반송파는  $m$ 이라는 다른 사용자에게 할당되므로 IQ 불균형으로 발생한 왜곡 행렬을 추정할 수 없게 된다. 이는 곧 부채널 간 간섭으로 작용하여, 심각한 성능 열화 및 에러 플로어 현상을 초래한다.

### III. I/Q 불균형 성분을 추정하기 위한 새로운 부채널 할당 방법

#### 3.1 I/Q 불균형 성분을 추정하기 위한 새로운 부채널 할당 방법

2.3절에서 언급했듯이, Wibro 상향링크에서 발생하는 I/Q 불균형을 추정하기 위해서는, 부채널을 이루는 6개의 타일이 2개씩 쌍을 이루어 대칭된 위치에 있고, 타일에 위치한 파일럿 반송파들도 각각 대칭된 위치에 존재해야 한다. 그러기 위해, 부채널을 구성하는 타일 할당 방식을 다르게 하여 하나의 부채널에 존재하는 부반송파들을 서로 대칭되게 배치하여 I/Q 불균형 성분을 추정할 수 있게 하였다.

식 (7)에서 I/Q 불균형 성분을 추정하기 위해, 제한된 타일 할당 방법은 기존의 할당 방법을 그대로 사용하는 것을 기본으로 하되, 생성된 6개의 타일 중, 상위 3개의 타일  $Tiles(s,0)$ ,  $Tiles(s,1)$ ,  $Tiles(s,2)$ 만 그대로 사용하고, 나머지 3개의 타일은 식 (9-1, 2, 3)와 같이 할당하여 6개의 타일이 각각 대칭이 되어 하나의 부채널을 생성한다.

$$Tiles(s,3) = 209 - Tiles(s,2) \quad (9-1)$$

$$Tiles(s,4) = 209 - Tiles(s,1) \quad (9-2)$$

$$Tiles(s,5) = 209 - Tiles(s,0) \quad (9-3)$$

아래 그림 4는 새로운 타일 할당 방식을 그림으로 나타낸 것이다.

그림 4에서 보듯이 한 개의 부채널에 할당되는 타일을 각각 대칭을 이루게 하고, Alamouti 기법이 적용된 파일럿을 이용하면, 기존의 방법으로 왜곡행렬  $G(k)$ 를 추정할 수 있다<sup>9,10)</sup>.

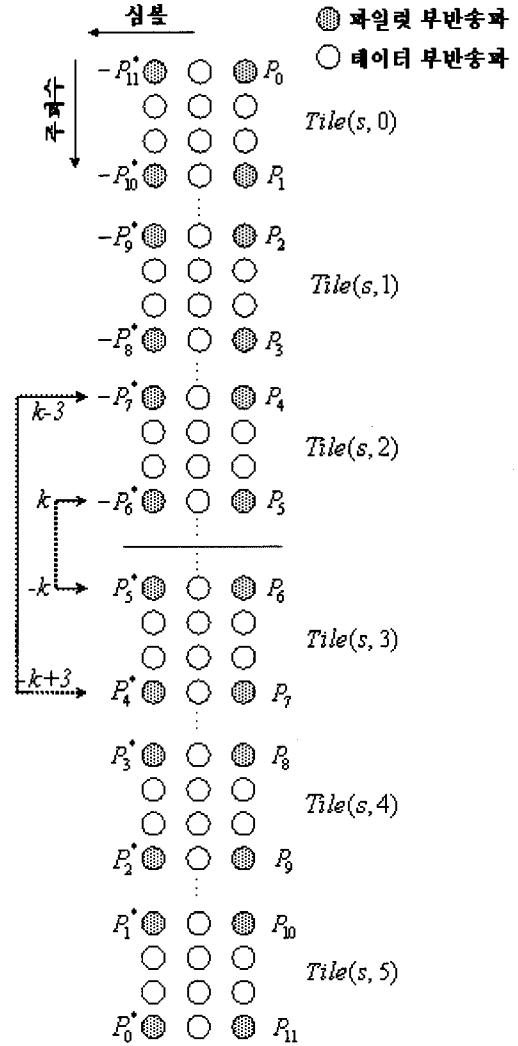


그림 4. 새로 제안된 새로운 부채널 할당 방식

3.2 다이버시티 이득을 얻기 위한 신호 검출 방식 부채널에 새로운 타일 할당 방식을 적용할 경우, 식 (7-1)로부터 송수신기에서 I/Q 불균형이 발생하면, 대칭되는 부반송파 간에 확산이 발생하여 송신 신호  $S(k)$ 는  $h(k)$ 와  $h^*(-k)$ 를 동시에 통과하게 된다. 그러므로 적당한 수신기 알고리즘을 적용할 경우, 다이버시티 이득을 얻을 수 있으며 기존의 간섭억제 기법에 비해 성능을 향상 시킬 수 있다.

### 3.2.1 ZF (Zero Forcing) 기법

송신신호  $S(k)$ 는 I/Q 불균형에 의한 간섭 신호를 아래 식(10)과 같이 등화 과정을 통해 복구 할 수 있다.

$$\hat{S}(k) = \mathbf{Q}_{ZF}(k)\mathbf{R}_d(k) \quad (10)$$

$$\mathbf{Q}_{ZF}(k) \equiv \tilde{\mathbf{G}}^{-1}(k)$$

여기서 등화 행렬  $\mathbf{Q}_{ZF}(k)$ 는 ZF을 수행하기 위한 행렬이고,  $\tilde{\mathbf{G}}(k)$ 는 추정된 왜곡행렬,  $(\cdot)^{-1}$ 는 역행렬을 나타낸다. ZF기법으로 수신 신호를 검출할 경우, I/Q 불균형이 없는 경우의 수신 성능에는 근접하지만, I/Q 불균형으로부터 다이버시티 이득을 획득 할 수는 없다.

### 3.2.2 ML (Maximum Likelihood) 기법

추정된 왜곡행렬  $\tilde{\mathbf{G}}(k)$ 를 이용하여, 다음의 ML 검출 방식을 통하여 수신 신호를 검출 할 수 있다.

$$\hat{S}(k) = \arg \min_{\mathbf{S}(k)} \|\mathbf{R}_d(k) - \tilde{\mathbf{G}}(k)\mathbf{S}(k)\| \quad (11)$$

이와 같은 ML 검출 방식은 최적의 성능을 제공하고, I/Q 불균형이 존재하고 주파수 선택적 특성을 갖는 환경에서 다이버시티 이득을 얻을 수 있다. 그러나 변조 차수가 증가함에 따라 연산량이 지수적으로 증가해 고차 변조방식에서는 구현이 어렵다는 단점이 있다.

### 3.2.3 OSIC (Ordered Successive Interference Cancellation) 기법

ML 기법으로 다이버시티 이득을 얻을 수 있지만, 변조차수에 따른 연산량 증가로 구현이 어렵기 때문에, 연산 복잡도는 줄이면서 성능은 ML에 근접하는 OSIC 기법을 통하여 수신신호를 검출 할 수 있다.

I/Q 불균형이 발생하면 두 대칭 부반송파 간의 비균일 확산이 일어나므로 채널 행렬  $\mathbf{G}(k)$ 의 각 원소가 달라지며, 채널 계수  $h(k)$ 와  $h^*(-k)$ 에 따른 SNR 차가 발생하므로 V-BLAST<sup>[11]</sup>에서 송신 신호 검출을 위해 사용하는 OSIC 방식을 적용 할 수 있다<sup>[10,11]</sup>.

## IV. 모의실험

Wibro 상향링크에서 I/Q 불균형이 발생할 경우, 기존의 타일 할당 방식으로 부채널을 구성할 때와 새로운 타일 할당 방식으로 부채널을 구성하여 I/Q 불균형을 추정 보상할 때의 성능을 비교하기 위해, I/Q 불균형이 없는 경우와 기존의 타일 할당 방법을 사용하여 채널을 보상한 결과를 비교 대상으로 삼아 모의실험 하였다.

모의실험에 사용된 조건들은 기본적으로 2.3GHz 휴대인터넷 표준의 물리 계층 및 매체접근제어 계층에 기재된 조건들을 따랐다. 시스템의 기본 조건은 FFT 크기= 1024, 사용된 부반송파수= 840, 부채널수= 35, 타일의 수= 210, 부채널 당 타일의 수= 6, 타일 당 파일럿 수= 4 이다. 무선 채널 모델은 각 경로 별 독립적인 특성과 Rayleigh 분포를 갖는 다중 경로 채널로 RMS 지연확산 200ns인 모델을 사용하였고 한 슬롯을 이루는 3심볼 동안 채널 특성은 같다고 가정하였다.

왜곡된 수신 신호를 보상에 주기 위한 왜곡 행렬  $\mathbf{G}(k)$ 는 3.1절에서 제안한 새로운 부채널 할당 기법을 적용한 파일럿을 이용하여 추정하였으며, 모든 그림에서 "Without IQ Imbalances"는 I/Q불균형 성분이 존재 하지 않을 때의 통상적인 수신기에서의 채널 추정 성능을 나타낸 것이고, "IQ Imbalances/ZF", "IQ Imbalances/ML", "IQ Imbalances/OSIC"는 새로운 타일 할당 방식을 적용 하였을 때, 3절에서 언급한 각각의 수신 신호 검출 기법 하에서의 성능을 나타낸 것이다. 마지막으로 "IQ Imbalances/Conventional"은 I/Q 불균형이 존재 할 때, 기존의 타일 할당 방식에서의 I/Q 불균형 성분을 고려하지 않은 통상적인 수신기 성능을 나타낸 것이다.

Wibro 상향링크에서 송수신기에 I/Q 불균형이 발생할 경우, 기존의 타일 할당 방식에서는 I/Q 불균형 성분을 추정할 수 없기 때문에 그림 5와 그림 6에서 확인 할 수 있듯이 큰 성능 저하를 보인다. 또한 그림 7과 그림 8에서도 확인 할 수 있듯이, 이득 불균형 0.05, 위상 불균형 1°와 같은 작은 IQ 불균형 값에서도 기존의 부채널 할당 방식에서는 무시 할 수 없는 성능 저하 현상이 나타난다. 그러나 3.1에서 제안한 새로운 타일 할당 방식을 적용하여 모의실험을 한 결과, ZF 방식으로 검출한 성능이 IQ 불균형이 없는 경우의 성능과 거의 비슷해지는 것을 확인 할 수 있다.

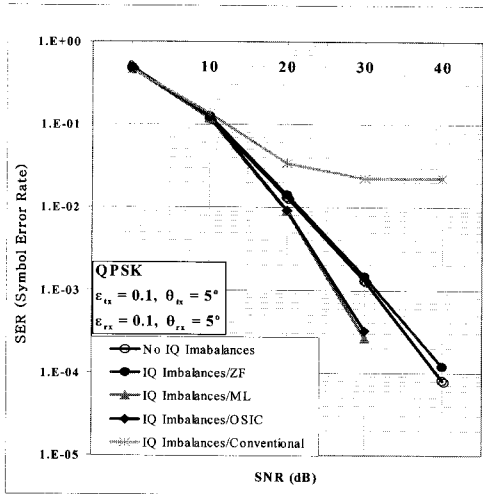


그림 5. 송수신 이득 불균형 0.1, 위상 불균형 5°인 경우 QPSK에서의 SER 성능

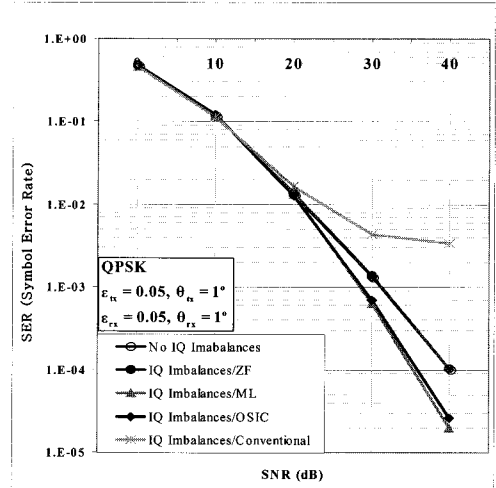


그림 7. 송수신 이득 불균형 0.05, 위상 불균형 1°인 경우 QPSK에서의 SER 성능

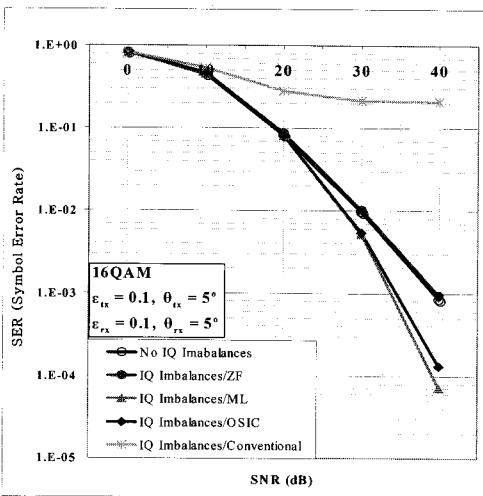


그림 6. 송수신 이득 불균형 0.1, 위상 불균형 5°인 경우 16QAM에서의 SER 성능

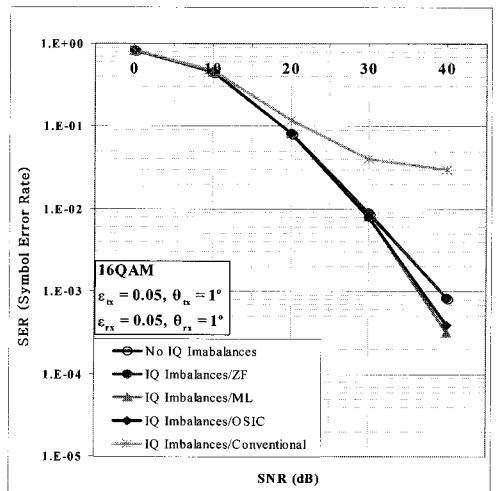


그림 8. 송수신 이득 불균형 0.05, 위상 불균형 1°인 경우 16QAM에서의 SER 성능

## V. 결론

본 논문에서는 송수신기에서 직접 변환 방식을 사용하는 Wibro 상향링크에서 I/Q 불균형이 발생할 경우의 영향을 살펴보았다. I/Q 불균형이 발생하면 두 대칭 부반송파 간의 비균일 확산이 일어나기 때문에 부반송파 간 간섭으로 작용하여 성능이 열화된다. 이러한 IQ불균형 성분으로 인한 성능 열화를 개선하기 위해, IQ 불균형 성분을 추정 이를 보상해 주어야 하는데, IQ불균형 성분을 추정하기 위해서는

한 사용자가 대칭 관계에 있는 부반송파들을 모두 할당 받아 사용하여야 한다. 이러한 관점에서 볼 때, 현재 표준에 제시된 부채널 할당 방식으로는 I/Q 불균형 성분을 추정할 수 없다. 그렇기 때문에 I/Q 불균형이 발생 할 경우 큰 성능저하를 보인다.

그러므로 IQ불균형 성분을 추정하기 위해 본 논문에서는 새로운 타일 할당 방식을 제안하였고, 제안된 타일 할당 방식을 사용할 경우, 3-2장에서 보인 수신 기법을 사용할 경우, I/Q 불균형이 없을 때의 성능과 거의 유사하거나 또는 다이버시티 이득으로 인한 성능 향상까지 얻을 수 있음을 확인 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] IEEE, "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment 2: Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands and Corrigendum 1," IEEE Std 802.16 e-2006, 28 Feb. 2006.

[2] J. Tubbx, B. Come, L. Van der Perre, L. Deneire, S. Donnay and M. Engles, "Compensation of IQ imbalance in OFDM systems," in *Proc. IEEE International Conference on Communications*, vol. 5, pp. 3403-3407, May 2003.

[3] A. Tarighat and A.H. Sayed, "On the base-band compensation of IQ imbalances in OFDM systems," in *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, vol. 4, pp. 1021-1024, May 2004.

[4] T.C.W. Schenk, P.F.M. Smulders and E.R. Fledderus, "Estimation and Compensation of TX and RX IQ Imbalance in OFDM-based MIMO Systems," in *Proc. IEEE Radio and Wireless Symposium*, vol. 1, pp.215-218, Jan. 2006.

[5] M. Valkama, Y. Zou and M. Renfors, "On I/Q Imbalance Effects in MIMO Space-Time Coded Transmission Systems," in *Proc. IEEE Radio and Wireless Symposium*, vol. 1, pp.223-226, Jan. 2006.

[6] A. Tarighat and A.H. Sayed, "OFDM Systems with both Transmitter and Receiver IQ Imbalances," in *Proc. IEEE Signal Processing Advanced in Wireless Communications*, vol. 1, pp.735-739, Jun. 2005.

[7] K.W. Park and Y.S Cho, "A Detection Method for An OFDM Signal Distorted by IQ Imbalance," in *Proc. International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, vol. 4, pp. 2396-2399, Sept. 2005.

[8] 진영환, 권지현, 이유로, 안재민, "I/Q 불균형에 의하여 왜곡된 OFDM 시스템에서의 다이버시티 이득 획득 기법," *한국통신학회 논문지*, Vol.31, Dec. 2006.

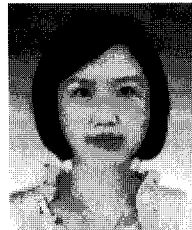
[10] Younghwan Jin, Jihyun Kwon, Yuro Lee, Jaemin Ahn, Wongyu Choi, Dongchan Lee, "Obtaining Diversity Gain Coming from IQ Imbalances in

OFDM Receivers," *VTC 2007-Spring*, Ireland, P.P. 2175-2179, April 2007.

[11] P.W. Wolniansky, G.J. Foschini, G.D. Golden, R.A. Valenzuela, "V-BLAST: an architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering wireless channel," invited paper, *International Symposium on Signals, Systems, and Electronics'98*, Pisa, Italy, Sept. 1998.

김혜진 (Hye-jin Kim)

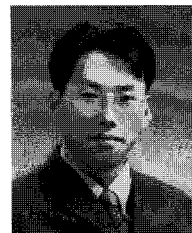
준회원



2004년 2월 충남대학교 전자전파 정보통신공학과 졸업  
 2004년 3월~현재 충남대학교 전자전파정보통신공학과 석사 과정  
 <관심분야> wireless communications and wireless network, broadband multicarrier/OFDM techniques

진영환 (Young-hwan Jin)

정회원



2002년 2월 충남대학교 정보통신공학과 졸업  
 2004년 8월 충남대학교 정보통신공학과 석사  
 2005년 3월~현재 충남대학교 전자전파정보통신공학과 박사과정  
 <관심분야> wireless communications, broadband multicarrier/OFDM techniques, and cooperative communications

안재민 (Jae-min Ahn)

중심회원



1987년 서울대학교 전자공학과 졸업  
 1989년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사  
 1994년 8월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사  
 1994년~1999년 삼성전자 선임연구원  
 1999년~현재 충남대학교 전자전파

정보통신공학과 부교수  
 <관심분야> wireless communication physical layer and radio resource management.