

# 멀티셀 기반의 다중 사용자 OFDM-TDD 시스템에서 효과적인 프레임 크기 결정과 자원 할당 기법

준회원 금 승 원\*, 종신회원 김 정 곤\*\*, 정회원 신 길 호\*\*\*, 종신회원 김 형 명\*\*\*\*

## An Efficient frame size Decision and Resource Allocation Method for Multiuser OFDM/TDD System in Multicell Environment

Seung-Won Keum\* Associate Member, Jung-Gon Kim\*\* Lifelong Member  
Kil-Ho Shin\*\*\* Regular Member, Hyung-Myung Kim\*\*\*\* Lifelong Member

### 요 약

단일 사용자 OFDM-TDD 시스템에서 스펙트럼 효율을 최대화하는 부 대역과 자원 할당 주기결정 방식이 이미 제안되어 있다. 그러나 그 기법은 단일 사용자에 대한 것이며, 다중 셀 다중 사용자인 경우에는 사용자마다 부 대역으로 나누는 대역의 크기가 다르고 자원 할당 주기가 다르게 될 수 있다. 또한 다중 셀 환경에서 자원 할당을 할 경우에는 다른 셀에서 오는 간섭을 예측하기 힘들기 때문에 목표 BER을 만족시키면서 자원 할당을 하기 힘들게 되는 문제점이 있을 수 있다. 이런 다중 셀 환경에서도 목표 BER을 만족시키기 위해서, 효과적으로 자원 할당을 하는 기법을 제안하고, 이를 분석하였으며, 시뮬레이션을 통해 검증, 평가하였다. 본 논문의 결과는, 향후 OFDM 기반의 차세대 셀룰러 이동통신시스템의 성능 예측 및 자원할당기술 적용 시에 활용될 것으로 생각된다.

**Key Words :** Adaptive OFDM, subband-frame size, mode switching level, multi-cell, multi-user, Doppler frequency

### ABSTRACT

In this paper, a novel resource allocation scheme is proposed for adaptive multiuser OFDM-TDD systems in multiuser, multicell and frequency-selective time-varying channels. The optimal frame size and mode switching level of each user is determined by maximizing the spectrum efficiency. In multi-cell environment, the allocation scheme must consider the cochannel interference of other cells. The measured SINR is changed in one frame size because the interference is changed. The frame size is determined to consider both the optimal frame size and cochannel user's frame size of other cells. we propose the efficient resource allocation scheme which is satisfied the target BER.

### 1. 서 론

최근 4세대 이동통신 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되면서, 멀티미디어 전송과 같은 고속 전송

를 필요 하는 서비스에 대한 요구가 증가되고 있다. 그러나 이동통신에서의 고속 전송 통신은 다중 경로 환경으로 인한 심볼 간 간섭(ISI)에 의해 많은 제한을 받게 되고, 이러한 다중 경로 감쇄를 극복하

※ 본 논문은 정보통신부 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 정보통신 기초기술 연구자원사업의 연구결과입니다.

\* 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(benefic@kaist.ac.kr), \*\* 한국산업기술대학교 전자공학과 조교수(jgkim@kpu.ac.kr)

\*\*\* 삼성전자 통신연구소 차세대 기술팀 연구원(kilho.shin@samsung.com)

\*\*\*\* 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수(hmkim@csplab.kaist.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-06-257, 접수일자 : 2006년 6월 2일, 최종논문접수일자 : 2006년 7월 11일

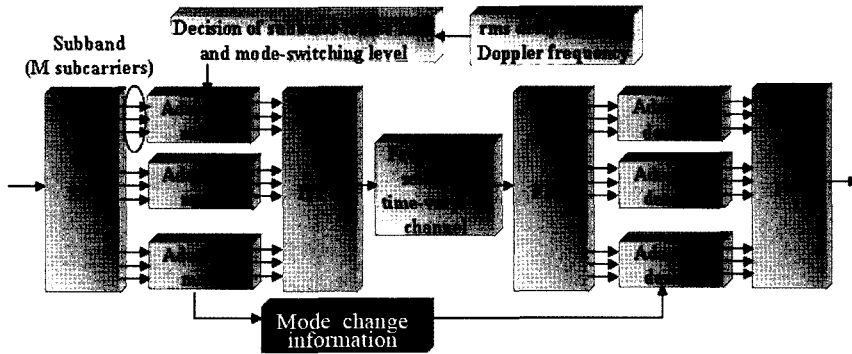


그림 1. 다중 사용자 OFDM-TDD 시스템

기 위해서, 다중 반송파를 사용하는 직교 주파수 분할 다중 접속 방식(Orthogonal frequency division multiplexing : OFDM)<sup>1), 2)</sup>을 사용하는 것이 대안으로 고려되어 논의되고 있다. 또한 이러한 다중 감쇄 채널에서 OFDM 시스템의 스펙트럼 효율을 높이기 위한 하나의 구현방식으로서, 적응 변조 방식(adaptive modulation)을 적용하여 사용한다. 이는 수신단에서 추정된 채널 상태 정보에 기반을 두고, 각각의 반송파에서의 변조 모드를 적응적으로 변화시켜주는 기법이다. 일반적으로, 채널 상태 정보는 신호 대 잡음비(SNR: Singal-to-Noise Ratio)를 주로 사용하며, 수신단에서 측정된 순간 SNR 정보가 피드백 채널을 통해서 전송되고 이는 송신단에서 변조 모드를 결정하는 정보로 사용된다<sup>3), 5)</sup>. 일반적으로, 다중 반송파 시스템에 적합한 반송파 기반의 적응 변조 방식에서는, 모든 반송파에 대한 모드 변환 정보가 수신단으로 전송되어야 하는데, 이는 전송되는 정보량의 증가로 인하여 시그널링 오버헤드를 증가시키게 된다. 이는 정보데이터의 전송률 또는 스펙트럼 효율을 감소시키게 된다. 이러한 시그널링 오버헤드를 줄이기 위해 블록 기반의 적응 변조 방식이 제안되었다.<sup>6), 7)</sup> 이 두 방식에서, 반송파들은 하나의 부대역(subband)으로서 정의된 주파수 블록으로 묶은 후 그 부대역을 하나의 채널처럼 생각한다. 최소의 BER 요구사항을 만족하기 위해서 하나의 부대역내의 최소 SNR<sup>6)</sup> 또는 평균 SNR<sup>7)</sup>에 따라서 적응 변조를 적용한다.

본 논문에서는, 다중 셀 상황에서 이동멀티미디어 전송을 위한 다중 사용자를 위한 OFDM-TDD 시스템에서, 프레임 크기에 따라서 적응적으로 최적화된 모드 변환점을 가지는 프레임 기반의 적응 변조 방식을 제안하고 이를 분석하였다. 프레임 길이는 주파수-시간 영역에서 같은 변조 모드를 사용하

는 인접한 반송파와 심볼의 갯수를 나타낸다. 그리고 프레임 크기는 사용자의 속도, 즉, 도플러주파수에 따라서 결정된다. 만약 프레임 크기가 증가하면 시그널링 오버헤드는 감소한다. 그러나 하나의 프레임 내에서는 채널 크기의 변화에 의해서 평균 BER은 증가하게 되므로, 목표 BER을 만족하기 위해서 모드 변환점이 증가해야 할 것이며, 이로 인해 결과적으로 스펙트럼 효율은 감소하게 될 것이다. 따라서 부대역-프레임 크기 증가와 모드 변환점 증가 사이에는 트레이드 오프 관계가 존재한다. 이러한 트레이드 오프 관계를 이용해서 목표 BER을 만족하면서, 스펙트럼 효율을 최대화시키는 관점에서 최적화 문제를 형성할 수 있으며, 본 논문에서는 이를 위해, 먼저 최적화된 모드 변환점을 도출한 후, 이를 이용해 최적의 프레임 크기를 결정할 것이다. 그리고 다중 셀인 경우에는 또한 다른 셀에서 들어오는 간섭이 프레임 안에서 바뀔 수 있다. 같은 대역을 사용하는 사용자가 프레임이 끝나 새롭게 자원 할당을 하기 때문에 간섭이 바뀔 수 있기 때문이며, 이로 인한 영향을 고려하여 문제를 해결하기 위한 프레임 사이즈 결정시 다른 셀의 같은 대역을 사용하는 사용자의 프레임 주기를 고려해서 정해야 한다. 이 논문에서는 다중 셀 다중 사용자 환경에서 프레임의 크기를 정하는 방식에 대해서 이야기를 한다.

## II. 본문

본문에서는 시스템 모델을 설명 한 후 다른 셀을 고려하지 않고, 부대역 크기가 정해져 있을 때 프레임 크기를 정하는 방식에 대해서 설명을 한다. 그 다음 다른 셀의 사용자들의 프레임 크기를 고려한 자원할당기법에 대해서 설명을 할 것이다.

2.1 시스템 모델

본 논문에서는 그림 1과 같은 다중 사용자 OFDM-TDD 시스템을 고려한다. L개의 다중 경로를 가지는 기판 주파수 선택적 시변 채널에서, 다중 셀, 다중 사용자 OFDM 시스템을 고려한다. 낮은 시스템 복잡도를 위해서 모든 반송파마다 같은 전력이 할당되고, 적응 변조를 위한 모드변환 정보는 에러가 없으며, 도플러 주파수와 rms지연 확산의 추정은 완벽하다고 가정하였다<sup>18, 9)</sup>. 단일 사용자인 경우 그림 2처럼 부대역-프레임 크기는  $(M, N_f)$ 와 같이 쌍으로 표현된다.

변조 모드는 프레임의 시작점에서의 각각의 부대역 내에 있는 한 개의 파일럿 심볼에 근거하여 결정된다. 인접한 M개의 반송파와  $N_f$ 개의 심볼로 이루어진 하나의 부대역-프레임 내에서는 같은 변조 모드가 사용된다. TDD 시스템에서의 채널의 대칭성에 의해서 같은 변조 모드가 상향링크와 하향링크에 적용된다. 그래서 적응 변조를 위한 피드백 채널은 필요하지 않다. 또한 목표 BER은 상향링크와 하향링크에서 같다고 가정하였다. 그러나 다중 사용자 환경이 되면 사용자마다 부대역 크기와 프레임

경에서 부대역의 크기는 일정하다고 가정한다.

$$\max_{N_f, S(N_f)} SE(N_f, S(N_f)) \text{ subject to } P_{ave} \leq P_{th} \quad (1)$$

여기서  $SE(N_f, S(N_f))$ 는 스펙트럼 효율(bit/sec/Hertz),  $N_f$ 는 프레임크기,  $S(N_f)$ 는 모드 변환점 집합,  $P_{ave}$ 는 평균 BER, 그리고  $P_{th}$ 는 목표 BER을 각각 나타내고 있다. 목표 BER 요구조건을 만족하기 위해서, 모드 변환점은 프레임 크기에 따라 변화되어야 한다. 실제적으로, 모드 변환점은 도플러 주파수와 rms지연 확산에 종속적이다. 특정 도플러 주파수와 rms지연 확산이 주어졌을 때, 최적의 모드 변환점이 결정된다. 따라서, 모드 변환점 집합은 다음과 같이 정의된다.

$$S(N_f) = \{s_1(N_f), s_2(N_f), s_3(N_f), s_4(N_f)\} \quad (2)$$

스펙트럼 효율과 평균 BER은 논문<sup>[11]</sup>에서 보인 것과 같이 각각 다음과 같다.

$$SE(N_f, S(N_f)) = \frac{(N_f - N_p)(M - 1)(N/M) \sum_{i=0}^4 b_i \int_{s_i(N_f)}^{s_{i+1}(N_f)} f(\gamma) d\gamma - \lceil N/M \log_2 5 \rceil}{N_f T_s \Delta f} \quad (3)$$

$$P_{ave} = \frac{(N/M) \sum_{i=0}^4 b_i \int_{s_i(N_f)}^{s_{i+1}(N_f)} \frac{1}{p_{m_i}(\gamma)} f(\gamma) d\gamma}{(N_f - N_p)(M - 1)(N/M) \sum_{i=0}^4 b_i \int_{s_i(N_f)}^{s_{i+1}(N_f)} f(\gamma) d\gamma} \quad (4)$$

여기서 N은 전체 부 캐리어 개수,  $N_p$ 는 프리앰블 심볼 개수,  $T_s$ 는 심볼 시간,  $\Delta f$ 는 부캐리어 간격,  $s_i(N_f)$ 는 모드 i로 심볼을 전송하기 위해 필요한 모드 변환점이고,  $s_0(N_f) = -\infty dB$ ,  $s_5(N_f) = \infty dB$  이다.

$\lceil N/M \log_2 5 \rceil$ 은 5개의 전송모드를 나타내기 위해 요구되는 전체 모드 변환 정보 비트수를 나타내며, 여기서  $\lceil x \rceil$ 은 x보다 크거나 같은 최소 정수,  $b_i$ 는 모드 i에서의 심볼당 비트수를 나타낸다. 그리고  $f(\gamma) = \frac{1}{\gamma} \exp(-\frac{\gamma}{\bar{\gamma}})$ 은 평균 채널 SNR  $\bar{\gamma}$ 을 가지는 Rayleigh 감쇄 채널에서의 순시 채널 SNR의 확률밀도함수를 나타낸다. 식 (4)의 분모와 분자는 각각 한 프레임 구간 동안의 모든 부대역에서의 전체 평균 전송 비트수와 전체 평균 오류 비트수를 나타낸다.

변조 모드 i가 적용되었을 때 하나의 부대역-프레임내의 평균 BER의 합을  $\overline{p_{m_i}(\gamma)}$ 로 정의하자.

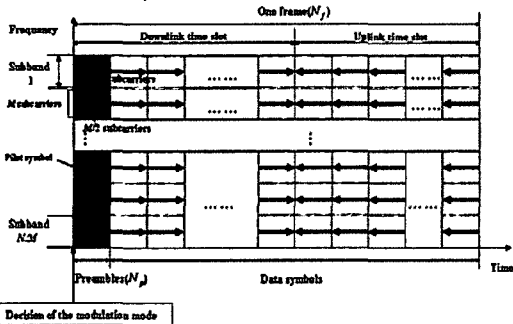


그림 2. 단일 사용자 부대역 프레임 크기

크기가 다르게 될 것이다. 일반적으로 부대역의 크기는 시스템에서 정하기 때문에 모든 사용자가 같은 M이라는 값을 가진다고 가정한다. 그러나 프레임 크기는 사용자의 도플러 시프트에 의존하는 서로 다른 값이라고 가정한다.

2.2 최적의 부대역-프레임 크기와 모드 변환점

2.2.1 문제 형성

5-모드 적응변조가 사용된다는 가정하에 BER 조건을 만족시키면서 스펙트럼 효율을 최적화하는 문제는 다음과 같이 나타낼 수 있다. 다중 사용자 환

$$\bar{p}_{m_i}(\gamma) = \begin{cases} 2 \sum_{n=N_p}^{N_f} \sum_{k=1}^{M/2-1} \int_0^\infty BER_{m_i}(y) f_{\gamma(k,n)}(y|\gamma) dy \\ \sum_{n=N_p}^{N_f} \int_0^\infty BER_{m_i}(y) f_{\gamma(M/2,n)}(y|\gamma) dy & (M \neq 2) \\ \sum_{n=N_p}^{N_f} \int_0^\infty BER_{m_i}(y) f_{\gamma(1,n)}(y|\gamma) dy & M=2 \end{cases} \quad (5)$$

여기서,  $BER_{m_i}(y)$ 은 AWGN 채널에서의 모드  $i$ 의 BER을  $f_{\gamma(k,n)}(y|\gamma)$ 은 파일럿 심볼의 순시 SNR이  $\gamma$ 로 주어졌을 때 파일럿 부반송파로부터  $k$ 개의 부반송파만큼, 파일럿 심볼로부터  $n$  심볼만큼 떨어진 지점에 대한 순시 채널 SNR  $y$ 의 조건부 확률밀도 함수를 나타낸다.

$$f_{\gamma(k,n)}(y|\gamma) = \frac{1}{\gamma(1-|r_H(k,n)|^2)} \times \exp\left(-\frac{\frac{y}{\gamma} + |r_H(k,n)|^2}{1-|r_H(k,n)|^2}\right) I_0\left(\frac{2|r_H(k,n)|^2 \sqrt{\frac{y}{\gamma}}}{1-|r_H(k,n)|^2} \sqrt{\frac{y}{\gamma}}\right) \quad (6)$$

여기서  $I_0(x)$ 는 1종의 0차 변형 베셀 함수(the zeroth order modified Bessel function of the first kind)이고  $r_H(k,n)$ 는 파일럿 부반송파로부터  $k$ 개의 부반송파만큼, 파일럿 심볼로부터  $n$  심볼 만큼 떨어진 지점에 대한 채널 상관함수이며 다음과 같이 주어진다.

$$r_H(k,n) = \sum_{l=1}^L \sigma_l^2 e^{-j2\pi k \Delta f \tau_l} J_0(2\pi f_d n T_s) \quad (7)$$

여기서  $L, \sigma_l^2, \tau_l, f_d$ 는 각각 다중경로 개수, 1번째 경로의 채널이득 전력, 1번째 경로의 지연 확산, 그리고 도플러 주파수를 나타내고  $J_0(x)$ 는 1종의 0차 베셀 함수(the zeroth order Bessel function of the first kind)이다<sup>[10]</sup>.

우리는 프레임 크기들에서 목표 BER을 만족시키면서 스펙트럼 효율을 최대가 되도록 하는 모드 변환점들을 구하고, 다음으로 프레임 후보군 중에서 스펙트럼 효율을 최대화시키는 프레임 크기를 결정한다.

### 2.2.2 최적의 모드 변환점의 결정

고정된 도플러 주파수와 rms 지연 확산을 가지는 채널에서 특정 프레임 크기가 주어졌을 때, 목표 BER을 만족하면서 스펙트럼 효율을 최대화시키는 모드 변환점을 유도할 수 있다. 최적화 문제 (1)을 해결하기 위해 스펙트럼 효율을 최대화시키는 Lagrangian

곱수를 사용하면, 수정된 비용함수는 다음과 같이 주어진다.

$$Z = SE(N_f, S(N_f)) + \lambda \left\{ \begin{aligned} & (N/M) \sum_{i=0}^4 b_i \int_{s_i(N_f)}^{s_{i+1}(N_f)} \bar{p}_{m_i}(\gamma) f(\gamma) d\gamma \\ & - P_{th}(N_f - N_p)(M-1)(N/M) \sum_{i=0}^4 b_i \int_{s_i(N_f)}^{s_{i+1}(N_f)} f(\gamma) d\gamma \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

최적의 모드 변환점을 결정하기 위해서, 다음과 같은 조건을 만족해야만 한다.

$$\frac{\delta Z}{\delta s_i(N_f)} = 0, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (9)$$

$$\frac{\delta Z}{\delta \lambda} = 0 \quad (10)$$

식 (9)을 다시 정리하여 풀면, 다음 식을 얻을 수 있다.

$$\bar{p}_{m_i}(s_1(N_f)) = \frac{b_i \bar{p}_{m_i}(s_i(N_f)) - b_{i-1} \bar{p}_{m_i}(s_i(N_f))}{b_i - b_{i-1}} \quad (11)$$

만일 식 (11)의 좌변과 우변을  $Y_1(s_1(N_f))$ 과  $Y_i(s_i(N_f))$ 으로 각각 정의하면 다음을 얻을 수 있다.

$$Y_1(s_1(N_f)) = Y_i(s_i(N_f)) \quad \text{for } i = 2, 3, 4, \quad (12)$$

그러나  $Y_i(s_i(N_f))$ 가 단조특성을 가지고 있기 때문에  $Y_i(s_i(N_f))$ 의 역함수가 존재하고  $Y_i(s_1(N_f))$ 로부터 유일한  $Y_i(s_i(N_f))$ 를 결정할 수 있다.

따라서, 모드 변환점 집합은  $s_1(N_f)$ 에 종속적이며 다음과 같이 주어진다.

$$S(N_f) = S(s_1(N_f)) = \{s_1(N_f), s_2(s_1(N_f)), s_3(s_1(N_f)), s_4(s_1(N_f))\} \quad (13)$$

이제 목표 BER을 만족하는 최적의  $s_1(N_f)$ 을 결정해야만 한다. 식 (4)의 좌변의 분모를 식 (4)와 곱하고 우변을 좌변으로 이항하면,  $s_1(N_f)$ 을 이용하여  $T(S(s_1(N_f)))$ 를 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$T(S(s_1(N_f))) = E(S(s_1(N_f))) - P_{th} B(S(s_1(N_f))) \quad (14)$$

여기서

$$E(S(s_1(N_f))) = (N/M) \sum_{i=0}^4 b_i \int_{s_i(N_f)}^{s_{i+1}(N_f)} \bar{p}_{m_i}(\gamma) f(\gamma) d\gamma$$

$$B(S(s_1(N_f))) = (N_f - N_p)(M-1) \left(\frac{N}{M}\right) \sum_{i=0}^4 b_i \int_{s_i(N_f)}^{s_{i+1}(N_f)} f(\gamma) d\gamma \quad (15)$$

목표 BER 요구조건을 만족시키기 위하여, 모드 변환점 집합은 다음을 만족해야 한다.

$$T(S(s_i(N_f))) \leq 0 \quad (16)$$

스펙트럼 효율을 최대화시키기 위하여, 식(16)을 만족하는 가장 작은  $s_i(N_f)$ 가 최적의 모드 변환점으로 선택되어야 한다.  $s_{1,opt}(N_f)$ 가 결정되면, 유일한  $s_{2,opt}(N_f)$ ,  $s_{3,opt}(N_f)$ , 그리고  $s_{3,opt}(N_f)$  값 들을 결정할 수 있다.

2.2.3 프레임 크기의 결정

2.2에서 프레임 크기가 후보군 중에서 주어진다 고 가정하면, BER 요구조건을 만족하면서 스펙트럼 효율을 최대화시키는 모드 변환점을 결정 할 수 있다. 결정된 모드 변환점 집합을 기반으로, 스펙트럼 효율을 계산할 수 있고 다음과 같이 후보군 중에서 스펙트럼 효율을 최대화시키는 최적의 프레임 크기를 결정할 수 있다.

$$(N_{f,opt}) = \operatorname{argmax}_{N_f} SE(N_f, S_{opt}(N_f)) \quad (17)$$

여기서  $S_{opt}(N_f)$ 는 주어진  $N_f$ 에 대한 최적의 모드 변환점 집합이다.

2.2.4 다중 셀 다중 사용자 환경에서 자원 할당 기법

단일 사용자 환경에서는 앞의 식 (17)에 따라서 최적의 프레임 크기  $N_{f,opt}$ 를 정하면 된다. 그러나 다중 셀 다중 사용자 환경이 되면 앞의 식들을 활용하여 프레임 크기를 결정할 없다. 다중 사용자 환경에서 모든 사용자는 각각 자신의 프레임 크기를 가지고 있을 것이다. 즉 모든 사용자가 프레임 크기에 따라서 자원 할당 주기가 달라 질 것이다. 이는 특정 시간에 모든 유저가 자원 할당에 참여 하지 않고, 자신의 프레임이 끝난 사용자만 자원 할당을 하게 될 것이기 때문이다. 다음 그림 3은 다중 사용자 환경에서 4명의 사용자에게 대하여 각각의 프레임 크기에 따른 자원 할당 방안을 나타낸 것이다.

그림 3에서 user1은  $N_{f,opt}=3$ 로 user2는  $N_{f,opt}=4$ 로 모두 다른 프레임 크기를 가지고 있다. 그래서  $T_0$ 에서 자원 할당을 하게 되면 부대역 1에서만 자원 할당을 하게 된다. 이것은 사용자마다 프레임 크기가 다르기 때문이다. 이런 환경을 다중 셀에 적용을 해보자. 내가 만약 4라는 프레임 크기를 가지고 있다고 가정을 한다. 현재 측정된 SINR(signal to interference plus noise ratio)을 가지고 모드를 결정

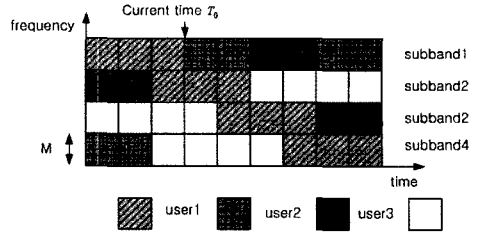


그림 3. 다중셀, 다중 사용자 환경에서 프레임 크기

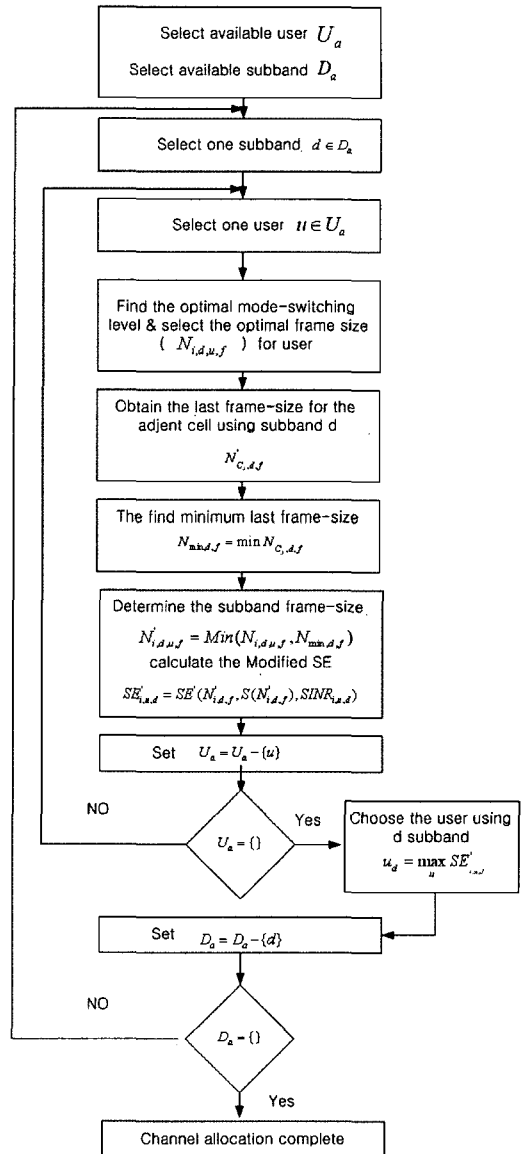


그림 4. 다중셀, 다중 사용자 환경을 위한 자원 할당 기법

하게 된다. 모드 변환점은 자신의 채널에 의해서 결정 되는 것이기 때문에 다른 셀에서 오는 간섭과는 상관이 없다. 즉 이러한 프레임 크기 4라는 동안에 SINR

이 변하지 않을 것이라고 가정을 하고 모드를 결정하게 된다. 그러나 다른 셀에서 같은 부대역을 사용하고 있는 사용자에게 따라서 다르기 때문에 다른 셀에서 자신의 프레임 크기 안에 프레임이 끝나 새로운 자원 할당을 해야 할 경우가 있다. 즉 프레임 크기 안에서 SINR이 변하게 된다. 즉 우리는 같은 subband를 사용하고 있는 사용자의 프레임 크기를 고려해야 한다. 다중셀 다중 사용자인 경우 그림 4에 나타난 것과 같은 방식의 자원 할당 기법을 제안 한다.

여기서  $U_a, D_a$ 는 현재 시간에 할당된 프레임 크기만큼의 시간이 지나 새롭게 자원 할당을 해야 하는 사용자와 부대역을 이야기 한다. 전체 사용자와 전체 대역을 대상으로 자원 할당을 하는 것이 아니라 현재 시간에 할당이 가능한 사용자와 대역만을 대상으로 한다. 그리고  $N_{i,u,d,f}$ 는  $i$ 번째 셀에서  $d$ 번째 subband를 사용하는  $u$ 번째 사용자의 프레임 크기를 나타낸다.

자원할당이 가능한  $d$ 라는 subband를 선택한다. 그후 자원할당을 원하는  $u$ 번째 사용자를 선택 후 단일셀 단일사용자 환경에서 최적의 프레임 크기인  $N_{i,u,d,f}$ 을 구한다.  $d$ 번째 부대역을 사용하는 주변 셀들이 가지고 있는 잔여 프레임 크기를 이용해서 자신의 프레임 크기와 주변 셀의 잔여 프레임 크기의 최소값과 비교하여 작은 것은  $u$ 번째 사용자의 프레임 크기로 결정 하게 된다. 이 이유는 결정된 프레임 크기 안에서 인접 셀에서 새로운 사용자의 유입이나, 이탈을 막기 위한 것이다. 그리고 결정된 프레임 크기와 측정된 SINR을 기반으로 변환된 스펙트럼 효율을 구하게 된다.

변화된 스펙트럼 효율은 다음과 같은 식으로 표현 할 수 있다.

$$SE(N'_{i,d,u,f}, S(N'_{i,d,u,f})) = \frac{(N'_{i,d,u,f} - N_p)(M-1)(N/M)b_i \int_{s_i(N'_{i,d,u,f})}^{s_{i+1}(N'_{i,d,u,f})} f(\gamma) d\gamma - \lceil N/M \log_2 5 \rceil}{N'_{i,d,u,f} T_s \Delta f} \quad (18)$$

단

$$s_i(N'_{i,d,u,f}) \leq SINR_{i,d,u} < s_{i+1}(N'_{i,d,u,f}) \quad (19)$$

단일 사용자인 경우에는 채널 마다 모두 SNR이 다르기 때문에 모든 SNR을 고려하여 최대의 스펙트럼 효율이 좋게 결정을 한다. 그러나 우리는 지금 모드 변환점 뿐만 아니라 사용자에게 채널을 할당 해야 하기 때문에 실제 그 대역에서 전송되는 전송 모드에 대한 스펙트럼 효율만을 고려하면 된다. 즉

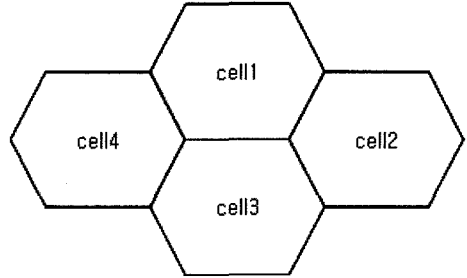


그림 5. 다중셀 모델

표 1. 모의실험 파라미터

반송파 주사수	2.3GHz
전체 대역폭	10MHz
FFT size	2048
평균 채널 SNR	20dB
채널 모델	ITU-R pedestrian channel B
도플러 주파수	0~50Hz(uniform distribution)
rms 지연	1260n sec

표 2. 모드에 따른 변조 방식

모드	0	1	2	3	4
변조 방식	NO transmission	BPSK	QPSK	16QAM	64QAM

현재의 대역에 대한 SINR을 알고 있기 때문에 그 SINR에 해당 되는 모드에서만 스펙트럼 효율을 계산 하게 된다.

자원할당을 원하는 모든 사용자에게 대해서 앞에서 설명한 방식으로 프레임 크기와 스펙트럼 효율을 구하게 되고, 최대의 스펙트럼 효율을 가진 사용자에게 자원을 할당하게 된다. 이런 방식으로 자원할당이 가능한 모든 부대역을 할당 하게 된다.

### III. 모의실험 결과

본 절에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 모의실험을 통해 제안방식의 성능을 평가하고자 한다.

다음의 모의실험은 그림 6에서 처럼 cell의 개수는 4, cell당 유저의 수는 16명으로 하였다. 채널의 수는 2048 ,부대역 크기는 48 그리고 목표 BER=  $10^{-3}$  으로 설정 하였다. 그리고 다른 셀에서 오는 간섭 유저의 채널의 값은 모르지만 링크 이득은 정확히 알고 있다고 가정하였다. 모의실험에 사용한 파라미터는 표 1과 같다

그리고 모드에 따른 변조 방식은 표 2와 같다.

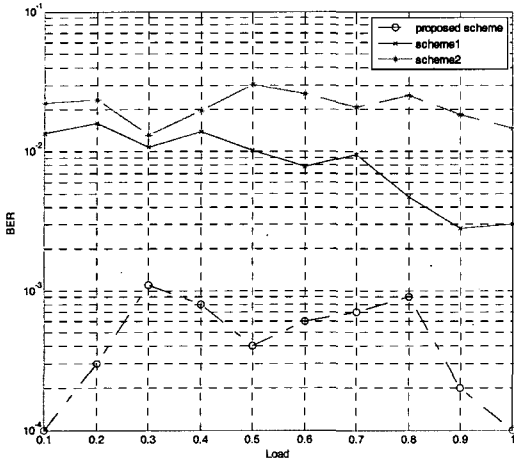


그림 6. Load의 변화에 따른 BER 성능

다중 셀 자원 할당 방식은 staggered frame<sup>[13]</sup> 기법을 사용하여 한 번에 한 cell에서만 채널 할당을 한다. 예를 들어 첫 번째 시간에는 1번 셀이 자원 할당을 하고 다음 시간에는 2번째 셀이 자원 할당을 하는 것이다. 이것은 자원 할당을 SINR을 기준으로 하고 모든 셀이 동시에 자원 할당을 하면 SINR을 추정 할 수 없기 때문에 한 시간에 한 셀에서만 자원 할당을 한다. conventional scheme 2<sup>[12]</sup>는 기존의 방식으로 프레임 크기에 상관없이 매 자원 할당 시간에 모든 채널에 새로 자원을 할당 하는 것이다. conventional scheme 1<sup>[11]</sup>는 본문에서 구한 방식으로 프레임 크기를 가지고 자원 할당을 하지만 다른 셀의 프레임 크기의 정보를 고려하지 않고 자신의 프레임 크기만을 고려하여 자원 할당을 하는 것이다. 이 경우 자신의 자원 할당 주기 안에서 다른 셀에서 같은 대역을 사용하는 대역에 새로운 유저가 할당 될 수도 있고, 할당 되었던 밴드를 내놓을 수도 있다. 즉 현재 측정하고 있는 SINR에 변화가 올 수도 있다.

그림 6은 load에 따른 BER의 변화를 나타내는 그림이다. load는 총 밴드 중에서 사용하고 있는 밴드의 비율이다. 즉 load=1은 모든 밴드를 사용하고 있다는 것을 이야기 하고, load=0은 모든 밴드를 사용하지 않는다는 뜻이다.

여기서 알 수 있듯이 conventional scheme 2와 conventional scheme 1에서는 load가 변함에 따라 한순간도 목표 BER을 만족 시키지 못하는 모습을 보여 준다. 이것은 다른 셀에서 오는 간섭을 고려하지 않았기 때문이다. 즉 현재 측정하는 SINR이 시간에 따라 유지 되지 못한다. load가 1에 가까워짐에

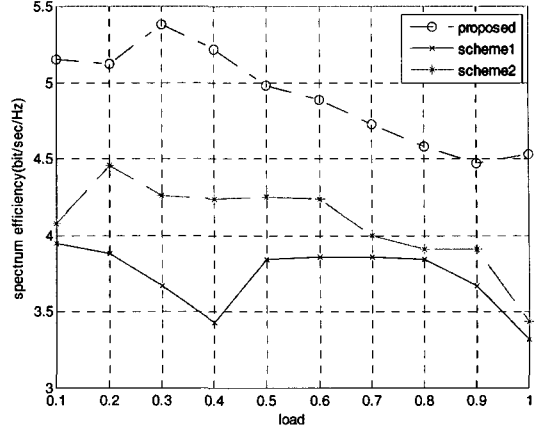


그림 7. load에 따른 채널당 전송률

따라 BER이 감소하는 모습을 보인다. 이것은 모든 채널을 사용하고 있기 때문에 SINR이 크게 변하지 않기 때문이다. SINR이 변하는 가장 큰 이유는 같은 대역을 사용하는 사용자의 수가 변하는 것인데 load가 1인 경우는 사용자의 수에는 변화가 없고 사용자만 변하게 된다. 그때 링크 이득에 따른 SINR의 변화가 있기 하지만 확률적으로 볼 때 SINR에는 큰 변화가 없다. 그래서 full load에 가까워짐에 따라 BER 특성이 좋아 지게 된다.

그림 7은 기존 방식과 제안 방식들 간의 채널당 전송 비트수를 나타낸 것이다. 하나의 채널을 사용해서 몇 개의 비트를 보낼 수 있는가를 나타내었다.

conventional scheme1 과 conventional scheme 2를 비교 하면 conventional scheme 1이 보다 많은 비트를 전송 하는 것을 알 수 있다. 이 이유는 멀티유저 다이버시티 이득 때문이라고 생각을 한다. 다중 사용자 이득을 고려하지 않고 자신의 채널 상황을 고려하여 프레임 크기를 정하게 된다. 즉 conventional scheme 2는 자신의 최대 프레임 크기를 가지고 있기 때문에 자원 할당 주기가 길다. 즉 한번 자원 할당을 할 때 적은 수의 사용자와 적은 수의 채널을 가지고 자원 할당을 하게 된다. 이런 이유로 인하여 다중 사용자 다이버시티 이득이 감소하게 된다.

모의실험 결과 제안된 방식은 다른 방식보다 더 많은 데이터를 보내고 작은 BER를 가지게 된다. 이 이유는 다른 셀의 자원 할당 상황까지 고려하여 자신의 자원 할당 주기 동안에 다른 셀에서 새로운 사용자의 유입이나, 이탈이 없게 된다. 즉 SINR의 보장을 통해 원하는 BER 함수를 얻게 된다. 그리고 conventional scheme 2보다 자원 할당 주기, 즉

프레임 크기가 작아지기 때문에 다중 사용자 다이버시티 이득도 보게 된다. 이러한 이유로 인하여 높은 채널당 전송률을 가지게 된다.

다중 셀 환경에서 가장 문제가 되는 목표 BER을 유지 할 수 없는 것이다. 이 문제는 다른 셀의 자원 할당 주기를 고려함으로써 해결을 할 수 있었다. 앞으로 다중 사용자 다이버시티 이득을 같이 고려한다면 다중셀 다중 사용자 환경에서 최고의 채널당 전송률을 만들 수 있는 프레임 크기를 결정할 수 있을 것이다.

#### IV. 결론

다중셀 다중 사용자 OFDM-TDD 환경에서 프레임 크기를 결정하고, 목표 BER을 만족시키면서 스펙트럼 효율을 극대화 하는 방식을 제안 하였다. 기존의 방식들이 추정 SINR이 다른 셀에서의 자원 할당으로 변하는 문제점을 해결하고 목표 BER을 만족 시키고, 할당 주기를 스펙트럼 효율을 극대화 할 수 있도록 정하였다. 채널의 추정이 정확하다고 가정하였고, 채널이 바뀔 때 마다 사용자의 프레임 크기를 실시간으로 새로 정해야 하는 문제점을 가지고 있다.

#### 참 고 문 헌

[1] J. A. C. Bingham, "Multicarrier modulation for data transmission: An idea whose time has come," *IEEE Commun. Mag.*, Vol.28, pp.5-14, May, 1990.

[2] L. J. Cimini, "Analysis and simulation of a digital mobile channel using orthogonal frequency division multiplexing," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.33, pp.665-675, July 1995.

[3] L. Hanzo, W. Webb, and T. Keller, *Single and Multi-Carrier Quadrature Amplitude Modulation*. New York: Wiley; *IEEE Press*, 2000.

[4] J. F. Hayes, "Adaptive feedback communications," *IEEE Trans. Commun. Technol.*, Vol.16, pp.29-34, Feb. 1968.

[5] L. Hanzo, C. Wong, and M. Yee, *Adaptive Wireless Transceivers*. New York: Wiley; *IEEE Press*, 2002.

[6] T. Keller and L. Hanzo, "Adaptive modulation techniques for duplex OFDM transmission," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.49, pp.1893-1906, Sep. 2000.

[7] R. Grunheid, E. Bolinith, and H. Rohling, "A blockwise loading algorithm for the adaptive modulation technique in OFDM systems," in *Proc. Veh. Technol. Conf. 2001 Fall*, Vol.2, pp. 948-951, Oct. 2001.

[8] C. Tepedelenlioglu and G. B. Giannakis, "On velocity estimation and correlation properties of narrow-band mobile communication channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.50, pp.1039-1052, July 2001.

[9] M. S. Varela and M.G. Sanchez, "RMS delay and coherence bandwidth measurements in indoor radio channels in the UHF band," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol.50, pp.515-525, Mar. 2001.

[10] Y. Li, L. J. Cimini Jr., and N. R. Sollenberger, "Robust channel estimation for OFDM Systems with rapid dispersive fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.46, pp.902-915, July 1998.

[11] 신길호, "시분할 듀플렉싱 기반의 적응 직교 주파수 분할 다중 접속 시스템에서 부대역-프레임 크기와 모드 변환점의 최적 결정 기법", *한국통신학회논문지* pp.512-522, May 2005.

[12] W. T. Webb and R. Steele, "Variable rate QAM for mobile radio," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.43, pp.2223-2230, July 1995.

[13] Chuang, j. and Sollenberger, N, "Beyond 3G: wideband wireless data access based on OFDM and dynamic packet assignment," *IEEE Commun. Mag.*, Vol.38, pp.78-87, July 2000.

금 승 원 (Seung-Won Keum)

준회원



2002년 2월 KAIST 전기 및 전자 공학과 졸업  
 2004년 2월 KAIST 전기 및 전자 공학과 석사 졸업  
 2005년 2월~현재 KAIST 전기 및 전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 전자공학, 통신공학



김 정 곤 (Jung-Gon Kim)

중신회원



1991년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과(공학사)  
1993년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과(공학석사)  
1998년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과(공학박사)  
1998년 6월~1999년 5월 미국

University of Hawaii 전기공학과 Post-Doc.

1999년 6월~2001년 3월 LG 텔레콤 차세대 통신 연구소 선임연구원

2001년 4월~2003년 2월 삼성전자 통신 연구소 표준 연구팀 책임연구원

2003년 3월~현재 한국산업기술대학교 전자공학과 조교수

<관심분야> 4G 이동통신 시스템 물리계층 설계 및 성능분석, 3G/4G 이동통신 표준화, WPAN 관련 무선 전송기술

김 형 명 (Hyung-Myung Kim)

중신회원



1974년 2월 서울대학교(공학사)  
1982년 4월 미국 Pittsburgh 대학교 전기공학과(공학석사)  
1985년 12월 미국 Pittsburgh 대학교 전기공학과(공학박사)  
1986년 4월~현재 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 교수

<관심분야> 디지털 통신 신호처리, 이동통신 기술, 다중사용자 검파기 다차원 시스템 이론, 디지털 신호와 영상처리 및 부호화

신 길 호 (Kil-Ho Shin)

정회원



2003년 2월 고려대학교 전기전자전파공학부(공학사)

2005년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 공학석사

2005년 3월~현재 삼성전자 통신연구소 차세대 기술팀 연구원

<관심분야> 무선 통신 시스템 물리

계층 설계 및 성능 분석, Radio resource management, subcarrier allocation and adaptive modulation, MIMOOFDM