

# OFDMA 시스템에서 효율적인 자원할당과 상향링크 궤환 정보 축소를 위한 FBL (Flexible Block-wise Loading) 알고리즘

준회원 선 태 형\*, 고 상 준\*, 종신회원 장 경 희\*, 정회원 황 성 현\*\*, 송 명 선\*\*, 김 창 주\*\*

## FBLA (Flexible Block-wise Loading Algorithm) for Effective Resource Allocation and Reduction of the Uplink Feedback Information in OFDMA System

TaeHyung Sun\*, SangJun Ko\* *Associate Members*, KyungHi Chang\* *Lifelong Member*,  
SungHyun Hwang\*\*, MyungSun Song\*\*, ChangJoo Kim\*\* *Regular Members*

### 요 약

다중 사용자를 위한 OFDM 시스템은 열악한 무선 전송 환경에서도, 고품질, 높은 신뢰성 통신을 제공하기 위해 각 사용자의 채널환경에 따른 적절한 변조방식과 코딩율을 선택하는 adaptive modulation and coding (AMC)가 사용된다. 기지국에서 AMC기술을 사용하여 각 단말기를 최상의 성능으로 동작시키기 위해서는, 각 단말기의 하향 링크에 대한 모든 부반송파 채널 정보를 필요로 한다. 그러나 실질적인 시스템 환경 하에서는 한정된 상향링크 자원으로 인하여 모든 부반송파의 채널 정보를 전송하는 것은 현실적으로 적합하지 않다. 본 논문에서는 AMC 시스템의 성능을 최적화시키기 위하여 기존의 시스템보다 더 적은 양의 Channel Quality Indicator (CQI) 피드백을 사용하는 새로운 기술을 자원할당을 위한 Flexible Block-wise Loading (FBL) 알고리즘과 결합한다. 제안된 알고리즘은 기존의 고정 부반송파 그룹 할당에서 탈피하여 가변적으로 부반송파 그룹의 크기를 조절하여 할당함으로써 sector throughput과 outage probability의 성능을 향상시킨다.

**Key Words** : OFDM, FBLA, CQI Reduction, AMC

### ABSTRACT

OFDM Systems for multi-user use adaptive modulation and coding (AMC) which is a method that selects suitable modulation order and code rate depending on channel state of each user. Using AMC, OFDM system can provide high quality and reliable communication. Base station using AMC scheme requires downlink channel information of each terminal to operate optimality. However, under practical system environment, it is unsuitable to transmit all channel information because uplink bandwidth of the system is limited. In this paper, we propose a flexible block-wise loading (FBL) algorithm combined with a novel CQI feedback scheme with reduced number of required bits to optimize the performance of AMC system. Proposed algorithm allocates sub-carrier groups dynamically to improve the sector throughput and outage probability performance.

※ 본 연구는 정보통신부 IT원천기술개발사업의 일환으로 이루어 졌음

\* 인하대학교 정보통신대학원 이동통신연구실 (khchang@inha.ac.kr), \*\* 한국전자통신연구원 (ETRI) 전파방송연구단  
논문번호 : KICS2006-12-546, 접수일자 : 2006년 12월 28일, 최종논문접수일자 : 2007년 6월 16일

## I. 서론

직교 주파수 분할 다중화 (OFDM : Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식은 인접한 부반송파간에 직교성을 유지함으로써 주파수 효율이 높고, 간단한 단일 탭 등화기로 채널의 왜곡을 보상할 수 있기 때문에 주파수 선택적 페이딩 채널에 강한 특성을 가지게 된다. 또한 ISI (Inter Symbol Interference)문제를 CP (Cyclic Prefix)를 사용하여 쉽게 해결 할 수 있는 장점을 가지고 있으므로, 4세대 이동통신 시스템에 적용하기 적합한 방식중의 하나로서 주목받고 있다. 이러한 OFDM 시스템의 장점을 기반으로 하여, 다양한 QoS (Quality of Service) 를 만족시키기 위한 다중 사용자 접속 방식인 직교 주파수 분할 다중 접속 (OFDMA : OFDM-FDMA) 시스템에 대한 연구가 진행 중에 있다. OFDMA는 각 사용자에게 서로 다른 서브 캐리어를 할당하는 다중 사용자 접속방식으로서, 사용자의 요구에 맞추어 다양하게 자원을 할당함으로써 다양한 QoS 를 제공할 수 있다는 장점을 가지고 있으며, 주파수 선택적 페이딩 현상과 협대역 간섭에 강한 특성으로 인해 차세대 광대역 무선 다중 접속 방식 중 하나로 제안되고 있다.

그러나 OFDMA 기반 셀룰러 시스템 구축을 위해서는 아직도 많은 부분에 대한 연구가 지속적으로 진행 되어야 하는데, 그 중 한 분야가 효율적으로 무선 자원을 관리하여 시스템의 용량을 증대시키는 자원 할당 알고리즘이다. OFDM 시스템에서 열악한 무선 전송 환경에서도 고품질, 높은 신뢰성 통신을 지속적으로 제공하기 위해 각 사용자의 채널 환경에 따라 적절한 변조방식과 코딩율을 선택하는 적응 변조 방식(AMC : Adaptive Modulation and Coding) 기법이 사용된다. 적응 변조 방식은 기존의 시스템에서 전력이나 대역폭등의 추가 자원을 요구하지 않고, 환경에 따라 적응변조 방식을 취함으로써 사용하는 채널 환경에서 발생하는 간섭을 최소화 한다. 하지만 기존의 AMC 알고리즘의 최상을 성능을 이끌어 내기 위해서는 모든 부반송파 채널 정보를 필요로 한다. 그러나 상향링크의 한정된 제어 채널에 모든 부반송파의 채널 정보를 feedback 하는 것은 불가능 하며, 이를 해결하기 위해서는 적은 정보량으로 많은 채널 정보를 포함하여 feedback 하는 것이 효율적이다. 본 논문에서는 OFDMA 시스템에서 AMC 관련 상향링크 피드백 정보를 축소

하며, 기존 알고리즘에 비해 성능면에서 향상된 방안을 제시한다.

논문 [1, 2]에서는 데이터 전송률을 최대로 하는 Loading 알고리즘을 제시하고 있으며, 논문 [3-5]에서는 일정한 데이터 전송률을 위한 전송 전력을 최소화 하는 알고리즘을 제시하고 있다. 또한, 기존의 CQI 피드백 정보를 감소시키기 위한 방법론에 대하여는 논문 [6-8]에서 기술하고 있으며, 기존 방법론과의 상세한 비교 분석을 section III에 기술한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.22 Cognitive Radio 시스템에 기고된 AMC 부채널 구성방법에 대해 기술한다. 3장에서는 기존의 CQI (Channel Quality Indicator) report 기법과 2장에 기술된 부채널에 적용했을 때의 문제점에 대해 기술한다. 4장에서는 제안된 CQI report 기법을 제시하고, 5장에서는 시뮬레이션 모델과 시뮬레이션을 통해 검증된 알고리즘의 성능을 분석한다. 마지막으로 6장에서는 결론을 도출한다.

## II. IEEE 802.22 시스템에서의 AMC 부채널

IEEE 802.22 Cognitive Radio 시스템에는 2가지의 AMC 구성방식이 기고되었다. 첫 번째는 M-WiMAX 에서 사용하는 방식과 동일한 Band-AMC이고, 다른 하나는 Scattered-AMC이다 [1].

### 2.1 Band-AMC Sub-channelization

그림 1은 IEEE 802.22 시스템에 기고된 Band-AMC 구조를 나타낸다.

Band-type AMC 부채널 구조의 가장 기본적인 단위는 BIN 으로서, 주파수 영역에서 14 개의 연속

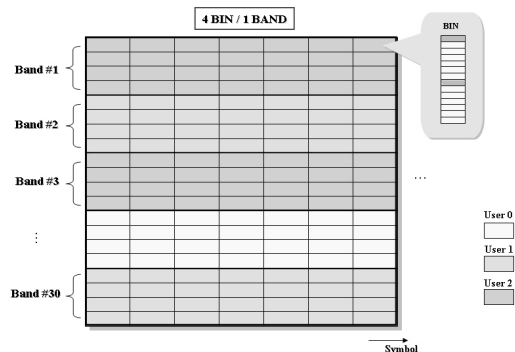


그림 1. Band-AMC 부채널 구조

된 Sub-carrier가 모여서 구성된다. 그리고 주파수 영역에서 4개의 연속된 BIN, 즉, 56 개의 연속된 Sub-carrier가 모여서 하나의 Band 를 이루며, FFT Size가 2048인 경우에, 전체 30 개의 Band로 구성된다. 사용자는 Band 단위로 CSI를 BS에 feedback 하고, 요구하는 서비스에 따라 한 Band 또는 그 이상을 사용한다. 이로써 Munti-user Diversity 이득 및 Implicit Frequency Diversity 이득을 얻음으로 시스템의 Throughput 및 주파수 효율을 향상시키는 장점을 가진다.

### 2.2 Scattered AMC Sub-channelization

그림 2은 IEEE 802.22 시스템에 기고된 Scattered-AMC 구조를 나타낸다. Scattered AMC 부채널 구조는 Band-type AMC 와 마찬가지로 가장 기본적인 단위는 BIN 으로서, 주파수 영역에서 14 개의 연속된 sub-carrier가 모여서 구성되며, BIN 은 12 개의 연속된 data sub-carrier와 채널 추정을 위한 2개의 pilot Sub-carrier로 이루어진다. 그리고 Band-type AMC와는 다르게 주파수 영역에서 1개 이상의 연속된 BIN이 모여서 하나의 band를 이루며, FFT Size가 1024경우에, 전체 96개의 band 로 구성된다. 사용자는 band 단위로 CQI를 기지국에 feedback하고, 요구하는 서비스에 따라 Band 별로 할당하는 Band-AMC 부채널 구조와는 다르게 BIN 별로 할당한다. 이로써 multi-user diversity 이득 및 frequency diversity 이득을 얻음으로써 Band-AMC 보다 시스템의 throughput 및 주파수 효율을 향상시키는 장점을 가진다. 또한 Scattered-AMC를 이용함으로써 유연한 채널 할당이 가능하여 스펙트럼 효율을 높일 수 있다.

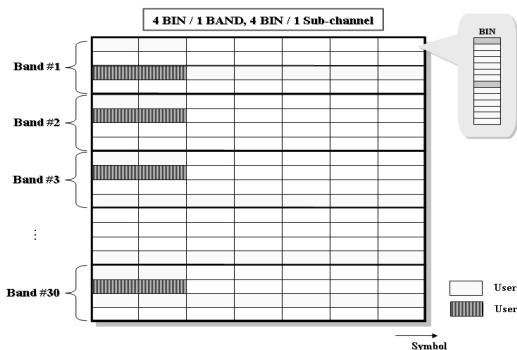


그림 2. Scattered-AMC 부채널 구조

## III. 기존의 CQI Report 알고리즘

IEEE 802.16 및 HIPERLAN/2 등의 시스템에서는 블록 단위의 채널 정보를 이용하는 SBLA (Simple Block-wise Loading Algorithm)을 사용한다. SBLA는 T. Keller와 L. Hanzo에 의해 제안되었으며, 현재 대부분의 CQI report를 위해 사용되고 있다<sup>6,7</sup>. SBLA 알고리즘은 모든 부반송파의 정보를 feedback하는 대신에 부반송파의 집합, 즉 블록 단위로 채널 정보를 feedback하는 알고리즘이다. 예를 들면, 그림 1의 경우에 FFT Size를 2048인 경우 한 블록은 1 Band가 되며, feedback하는 정보량은 2048에서 30개로 줄어들게 된다. IEEE 802.16e 시스템에서는 한정된 상향링크의 제어 채널을 다중사용자가 효과적으로 이용하기 위해 한명의 사용자는 측정된 CINR값이 가장 좋은 5개의 밴드의 채널 정보만을 feedback한다.

하지만 SBLA 알고리즘을 2.2에 기술한 Scattered-AMC에 적용할 경우 feedback량이 Band-AMC의 4 배로 증가한다. 그 이유는 Scattered-AMC의 할당 단위가 1 BIN이기 때문에 각 BIN별 CINR값을 측정하여 채널정보를 feedback하기 때문이다. 즉, Scattered-AMC의 장점인 스펙트럼 효율이 오히려 과도한 feedback 량으로 인해 감소될 수 있다. 따라서 Scattered-AMC를 효율적으로 사용하기 위한 새로운 CQI report 알고리즘이 요구된다.

## IV. Flexible Block-wise Loading Algorithm

제안된 FBLA (Flexible Block-wise Loading Algorithm)는 Scattered-AMC의 장점인 유연한 채널 할당을 이용한 알고리즘이다. 제안된 알고리즘은 전체 sub-carrier를 클러스터 단위로 구분하고 해당 클러스터 별 CINR값과 throughput을 이용하여 주파수 효율을 극대화 시키고, outage를 낮추는 방법이다. 클러스터 단위로 sub-carrier를 구분하는 방법은 이전의 논문에서도 언급되었다<sup>8</sup>. 하지만 이전의 논문들은 클러스터의 구분을 단 방향으로만 정의하여 시스템의 성능을 극대화 시키지 못했다. 본 논문에서는 새로운 클러스터를 정의하고, Scattered-AMC와 결합하여 성능을 극대화 하는 알고리즘을 제안한다.

본 논문에서는 FFT Size가 1024인 M-WiMAX

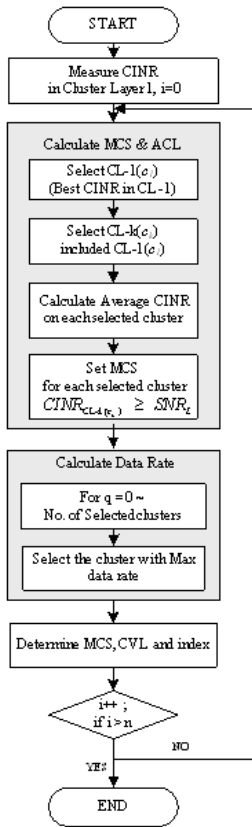


그림 3. 제안된 알고리즘 수행 절차

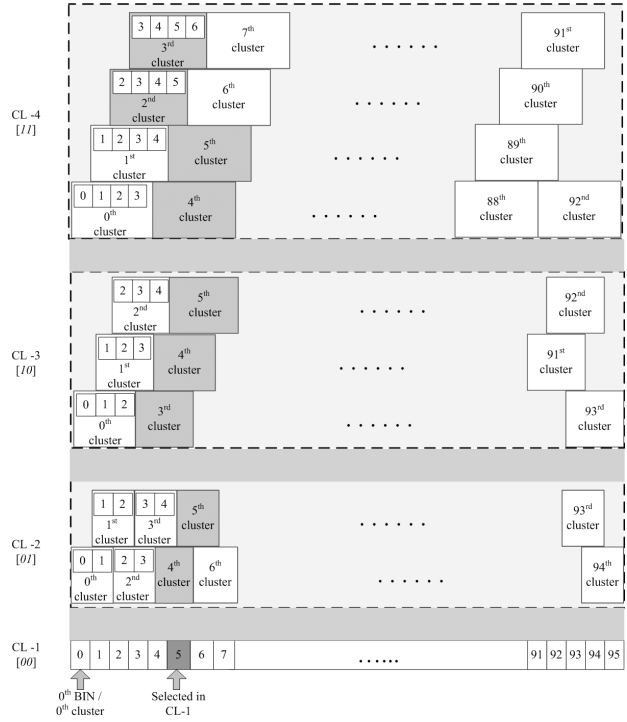


그림 4. 제안된 알고리즘의 수행 예

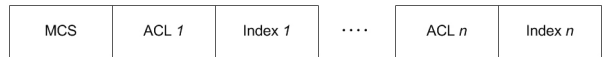


그림 5. 제안된 알고리즘의 feedback 신호 포맷

시스템을 가정하고, 클러스터를 4개로 구분하였다. 그림 3과 그림 4는 각각 제안된 알고리즘 절차와 예시를 나타낸 것이며, 그림 5는 상향링크를 통해 AMC 관련 피드백 정보의 포맷을 나타낸 것이다. 그림 3에서 CL-s 와 CL-k는 각각 가장 낮은 클러스터에서 선택된 인덱스와 CL-s를 포함하는 상위 클러스터의 인덱스를 나타낸다. 그리고 ACL

(Adjacent Channel Level)은 선택된 인덱스를 중심으로 한 인접 클러스터간의 채널 유사정도를 나타내며, 이를 이용하여 피드백 할 MCS level과 인덱스를 결정한다.

그림 4는 제안된 FBL 알고리즘과 CQI 피드백 scheme을 보다 자세히 설명하기 위해, 부분송파 수가 1024이고 CL-1의 한 인덱스의 크기가 9인

표 1. 성능비교를 위한 시스템 모델

	Sub-channelization	CQI Report	Up-link Overhead for CQI Report
System A	Band-AMC	Best 5 Band Report	$[5 (\text{Band\_Index}) + 5 (\text{CINR})] * 5$ (# of Report Band) = 50 bit/UE
System B	Scattered-AMC	Reference Method	$2(\text{CVL}) + 3(\text{MCS}) + 5(\text{Index}) * 3(\text{bits})$ = 20 bit/UE
System C (Proposed)	Scattered-AMC	Proposed Method	$3 (\text{MCS}) + k(\text{Index}) * 9(\text{ACL} + \text{Index bits})$ If(k=5) 48 bit/UE
System D	Scattered-AMC	Full-band Report	$[6 (\text{Band\_Index}) + 5 (\text{CINR})] * 96$ (# of Report Band) = 1056 bit / UE

OFDM 시스템을 예로 나타낸 것이다. 제안된 알고리즘에 의해 크게 3가지 절차를 통하여 수행된다.

절차 1은 수신된 부반송파를 이용하여 CL-1 에서 각 해당 인덱스의 평균 CINR값을 계산한다.

절차 2는 계산된 CL-1의 평균 CINR값 중 가장 큰 값 CL-1(5)를 선택한다. 여기에서 클러스터란 부반송파 set의 그룹을 의미한다. 그리고 CL-2, CL-3, CL-4에서 CL-1(5)의 인덱스를 포함하는 클러스터를 선택한다. 그 결과로 CL-2(4, 5), CL-3(3, 4, 5), CL-4(2, 3, 4, 5)가 선택된다. 선택된 클러스터에 대하여 CL-1의 CINR값을 이용하여 각각의 평균 CINR값을 구하게 된다.

절차 3은 절차 2에서 계산된 평균 CINR값을 이용하여 각 클러스터에서 선택된 밴드에 대한 Throughput 을 계산한다. 계산된 throughput 결과를 비교하여 가장 큰 값을 갖는 인덱스인 CL-4(5)를 선택하고, MCS level과 ACL, 그리고 인덱스를 선택한다.

절차 1~3의 과정을 n번 만큼 반복하여 그림 5의 피드백 신호를 이용하여 전송한다. 그리고 전송하는 MCS level은 선택된 n개의 MCS level 중에 가장 낮은 MCS를 선택하여 전송한다.

### V. 시스템 모델 및 시뮬레이션 결과 분석

#### 5.1 시스템 모델

제안된 알고리즘의 성능 비교를 위해서 표 1과 같이 4개의 시스템을 가정하였다. System A는 Scattered-AMC와 Band-AMC의 성능차이를 보이기 위하여 Band-AMC를 사용하고, IEEE 802.16e Mobile WiMAX와 같이 5개 밴드의 인덱스를 피드백 하는 시스템이다. System B는 기존의 단일 방향 클러스터 개념을 도입하여 CQI 피드백 량을 줄인 시스템이고, System C는 본 논문에서 제안된 방법으로 CQI를 피드백하는 시스템이다. System D는 모든 단말기가 모든 밴드에 대해 MCS정보를 전달 하는 이상적인 시스템이다.

#### 5.2 모의실험을 위한 주요 고려사항

시스템의 간섭 모델을 설정하기 위한 CNR은 식 (1)과 같다<sup>9)</sup>.

$$(C/N)_{OFDM} = \frac{\sum_{j=1}^J \|\gamma_j\|^2}{G^{-1} + \sum_{k=1}^K \|\psi_k\|^2} \quad (1)$$

표 2. 기본 OFDM 시스템 변수

Item	OFDM System Parameters
Bandwidth	8.75 MHz
Sampling Frequency	10 MHz
Sampling Period	100 nsec
FFT Size	1024
Used Sub-carrier	864
Data Sub-carrier	768
Pilot Sub-carrier	96
Sub-carrier Spacing	9.765625 KHz
Effective Symbol Time	102.4 us
OFDM Symbol Time	115.2 us
TDD Frame Time	20 ms
Symbol / Frame	42

$$G = \frac{\hat{I}_{or}}{N_0 + \sum_{s=1}^S I_{oc}(S) \parallel \rho_s \parallel^2} \quad (2)$$

식 (1)에서,  $G$  는 웨도잉과 path-loss만을 고려한 geometry이며, 식 (2)와 같이 표현된다<sup>5)</sup>.  $\gamma_k$ 는 보호 구간 안에 존재하는 구분가능 한 multi-path fading component이며, 프레임 구간에서의 평균값으로 한다.  $\psi_k$ 는 보호구간 밖에서 존재하는 구분 가능한 multi-path fading component이며, 마찬가지로 프레임 구간에서의 평균값으로 한다.

단말과 기지국 간의 거리에 따라 감쇄 성분을 나타내는 path loss는 다음과 같이 표현된다<sup>10)</sup>.

$$L_{pl}(D) = 40 \times (1 - 4 \times 10^{-3} \Delta h_b) \times \log_{10}(D) - 18 \times \log_{10}(\Delta h_b) + 21 \times \log_{10}(f) + 80 \quad (3)$$

여기서,  $D$ 는 단말과 기지국간의 거리 (Km),  $\Delta h_b$ 는 기지국의 높이 (m),  $f$ 는 carrier 주파수 (MHz)이다.

Log-normal shadowing은 기지국과 단말간의 거리에 관계없이 주변 환경에 의해 발생하는 감쇄 성분을 나타내는 것으로, 기지국과 단말의 위치가 동일하더라도 주변 상황에 따라 신호가 겪는 감쇄효과는 다를 수 있음을 의미한다. 인접 셀 간섭을 분석하기 위해서는 둘 이상 기지국 사이의 propagation loss를 비교해야 하는데, 이를 위해서는 특정 단말과 기지국들 사이에 존재하는 propagation loss의 상관관계를 고려하여야 한다. 각 셀의 단말과 해당



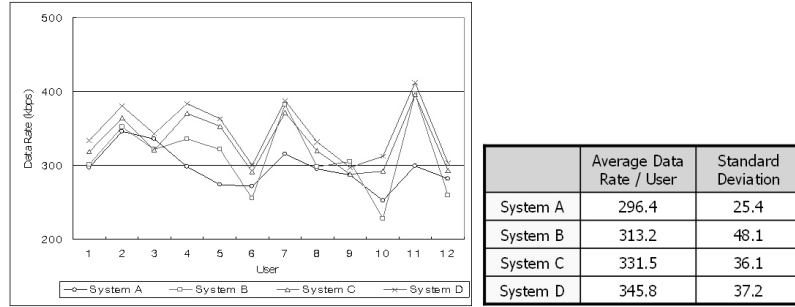


그림 6. 각 시스템 모델간의 Fairness 비교

기지국간 shadowing의 correlation은 1.0으로, 각 셀의 단말과 인접 기지국간의 correlation은 0.5로 한다.

path loss 와 shadowing을 포함한 단말과 각 기지국 간 하향 링크의 감쇄는 식 (4)과 같은 방법으로 모델링 된다<sup>[12]</sup>.

$$L = k_0 D^{-\alpha} 10^{X/10} R^2 \quad (4)$$

여기서,  $D$ 는 단말과 기지국 간의 거리(Km),  $\alpha$ 는 경로 감쇄 exponent,  $R$ 은 안테나 이득,  $X$ 는 평균은 0이고 표준편차는  $\sigma$ 인 가우시안 확률변수이다.  $k_0 D^{-\alpha}$ 는 선형 path loss값을 나타낸다.  $X$ 는 모든 기지국에 공통인 확률 변수  $Z_1$ 과 각 기지국에 독립적인 확률 변수  $Z_2$ 의 weight sum으로 표현된다. 두 확률변수  $Z_1$  과  $Z_2$ 는 평균이 0이고 표준편차가  $\sigma$ 인 가우시안 확률변수이다. 그러므로  $X$ 는 식 (5)와 같이 표현된다.

$$X = aZ_1 + bZ_2, \quad a^2 + b^2 = 1 \quad (5)$$

여기서 서로 다른 셀의 섹터간 shadowing 값은 correlation이 0.5를 적용한다.

### 5.3 모의실험 환경 및 파라미터

인접섹터가 간섭으로 작용하는 시스템 레벨 간섭 분석 시뮬레이션을 위하여, hexagonal 셀로 구성된 2-Tier 다중 셀 환경을 고려한다. 이 경우의 다중 셀 환경은 중앙의 victim cell을 포함하여 총 19개의 셀로 각 셀은 3개의 섹터로 구성되어 총 57개의 섹터로 이루어진다. 또한 각 기지국은 hexagonal 셀의 중심에 위치하고, 각 기지국 간 거리는 2R 동일하다고 가정하며 각 sector 의 FRF (Frequency Reuse Factor)는 1이다. 시뮬레이션을 수행할 시 중앙의 victim cell에는 단말군을 1000번 이상 uniform 하

게 발생시킴으로써 이동성과 유사한 효과를 나타내며, 주변 cell 의 interferer 단말군은 한 번만 발생시킨다. 그리고 CINR 계산시 victim cell 의 사용자들은 자신의 sector로부터는 multi-path fading 을 겪고, 타 sector로부터의 간섭은 path loss, shadowing, antenna pattern 만을 고려한다. 또한 본 모의 실험에서는 1 frame 주기로 상호링크를 통하여 기지국의 feedback information assembler에 전달되며, 전달 지연은 4 frame인 20ms을 가정하고, packet scheduler는 현재 많이 사용되고 있는 general proportional fair 알고리즘을 사용한다.

표 3. 시스템 레벨 간섭 분석 시뮬레이션 파라미터

Item	Sub-Item	Parameters	Value
Link Modeling	Freq. Band	Carrier Frequency	2.3 GHz
		Effective B/W	8.75 MHz
	BS Tx Side	BS Tx power	43.0 dBm
		BS Tx Antenna Gain	15 dBi
		BS Cable Loss	3 dB
		BS Max EIRP	55 dBm
	MS Rx Side	BS Rx Antenna Gain	0.0 dBm
		BS Thermal Noise	-174.0 dBm / Hz
		MS Noise Figure	7.0 dB
		Frame Sync.	Perfect
Channel Model	Path Loss Model	ITU. Veh	
	Shadowing	Std. Dev. 10dB	
Input Parameters	# of Cells	19	
	Cell Configuration	Hexagonal	
	Cell Radius	1km	
	# of Users	12	
Packet Scheduler	Position	Uniform	
		General Proportional Fair[8,9]	

표 2와 표 3은 시뮬레이션에서 적용된 기본 OFDM 파라미터와 2-Tier 다중 셀 환경에서의 시스템 시뮬레이션 파라미터를 나타낸다<sup>14,15</sup>.

### 5.4 모의실험 결과 및 성능분석

본 절에서는 제안된 알고리즘의 성능을 throughput, fairness 및 outage probability 관점에서 비교 분석한다.

그림 6은 각 시스템 모델에 의한 사용자 별 데이터 전송률이고, 그림 우측의 표는 각 시스템의 사용자별 throughput 표준편차를 나타내고 있다. 표준편차가 낮을수록 fairness가 높은 것이다. 그림 6에서 확인할 수 있듯이 제안된 알고리즘을 적용한 System C는 System A와 비교할 때 데이터 전송률은 높지만 fairness 측면에서 성능 열화가 있음을 알 수 있다. 이는 System C는 유동적인 할당단위를 가지고 있기 때문에 고정적인 할당 단위를 가지는 System A에 비하여, 상대적으로 채널 상황이 좋은 사용자가 보다 많은 채널을 할당 받게 되기 때문이다. 반면 System A는 고정된 밴드의 크기로 인해 모든 사용자에게 보다 공평하게 채널을 할당하기 때문이다. 또한 System B는 가장 적은 양의 CQI 전송 비트가 필요하다는 장점을 가지고 있지만, 이 때문에 CQI 정보의 정확성이 떨어지게 되고, 따라서 System C에 비하여 throughput과 fairness 측면에서 모두 낮은 성능을 보이고 있다. 마지막으로 System D는 네 개의 System 들 중 가장 작고 고정된 할당 단위를 이용한다. 때문에 CQI 정보의 정확도가 가장 높음으로 throughput 측면에 매우 높은 성능을 보인다. 하지만 가장 작은 할당 단위로 인해 제안된 System C 보다는 채널 상황이 좋은 사용자에게 보다 많은 채널이 할당되기 때문에, 제안된 System C 보다 fairness 측면에서는 열화된 성능을 보인다.

그림 7은 각 시스템 별 sector throughput을 나타낸다. 채널 밴드에 대해서 CQI를 피드백 하는 System D가 가장 많은 throughput을 보이는 것을 확인할 수 있다. 이는 보다 정확한 채널 할당을 할 수 있기 때문이다. 그리고 제안된 방법을 사용하는 System D는 이상적인 시스템인 System D에 비하여 약 4.3%의 성능 열화가 있지만, System A와 System B에 대해서 약 11.8%, 5.8%의 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다. 제안된 알고리즘을 적용한 System C는 System A, B에 비하여 CQI 정보를 효율적으로 피드백을 함으로써 주파수 효율이 좋아지고, 그림 8 각 시스템 모델간의 outage probability throughput이 향상되었다.

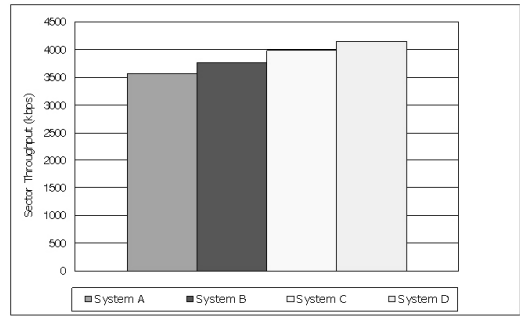


그림 7. 각 시스템 모델간의 throughput 비교

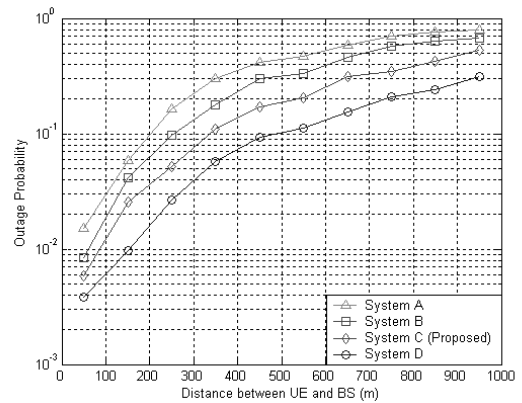


그림 8. 각 시스템 모델간의 outage probability

그림 8은 각 시스템 모델별 outage probability를 나타낸 것이다. 본 논문에서는 사용자별 데이터 전송률이 256kbps를 받지 못할 경우 outage가 발생한 것으로 판단하였다. 그림 8에서 나타나듯이 모든 정보를 피드백하여 CQI정보의 정확성이 높은 System D가 가장 좋은 성능을 나타내고, 제안된 알고리즘을 사용하는 System C가 2번째로 좋은 성능을 나타낸다. 제안된 알고리즘은 보다 유연한 채널

할당으로 인하여 사용자의 데이터 전송률이 높아짐으로써 outage가 좋아짐을 확인할 수 있다. System B는 System A보다는 성능이 좋아지지만 단방향의 고정된 클러스터를 사용하는 구조를 사용하기 때문에 System C보다 outage가 많이 발생하게 된다.

## VI. 결론

본 논문에서는 OFDMA 시스템에서 AMC관련 상향링크 피드백 정보를 축소하며, 기존의 상향링크 정보축소 알고리즘에 비하여 throughput과 outage

probability 성능 측면에서 향상된 FBLA (Flexible Block-wise Loading Algorithm)를 제안하였다.

FBLA는 기존의 고정된 크기의 클러스터 단위로 CQI정보를 피드백하는 것을 유동적인 클러스터 단위로 CQI정보를 피드백 시킴으로써 주파수 효율을 극대화 시킨다. 또한 제안된 알고리즘을 이용할 경우 up-link 무선자원을 효율적으로 사용할 수 있고, 기존의 시스템과 비슷하거나 적은 up-link overhead를 가지고, throughput 측면에서 Band-AMC에 비하여 약 10%의 성능향상을 보이고, 기존에 제안된 상향링크 정보축소 알고리즘과 비교하여 약 5%의 성능 향상이 있음을 확인하였다. 또한 fairness 와 outage probability 측면에서도 전에 제안된 상향링크 정보축소 알고리즘보다 성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] A. Leke and J. M. Cioffi, "A maximum rate loading algorithm for discrete multitone modulation systems," in *Proc. IEEE Globecom*, 1997, pp.1514-1518.
- [2] Jiho Jang, Kwang Bok Lee and Yong-Hwan Lee, "Transmit power and bit allocations for OFDM systems in a fading channel," in *Proc. IEEE Globecom*, 2003, pp.858-862.
- [3] Motorola R1-051334, "CQI feedback scheme for EUTRA", 3GPP TSG-RAN WG1 #43, Nov. 2005.
- [4] I.S. Jang, B.H. Ryu, and K.R. Cho, "A new reduction method of the uplink information for an adaptive modulation and coding OFDM/FDD system", *KICS*, vol.29, No.2A, pp. 140-146, Feb. 2004.
- [5] 김정주, 고상준, 장경희, "WRAN 응용을 위한 하향링크 무선전송 방식 : OFDMA 상황 인식 시스템에서의 적응 부채널 할당 및 고정 빔 형성 기법," *한국통신학회 논문지*, vol.31, No.3A, pp. 291-303, 2006. 03.
- [6] T. Keller and L. Hanzo, "Adaptive Modulation Techniques for Duplex OFDM Transmission," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 49, no. 5, pp. 1893-1906, Sep. 2000.
- [7] R. Grunheid, E. Bolin, and H. Rohling, "A Blockwise Loading Algorithm for the Adaptive Modulation Technique in OFDM Systems," *VTC 2001 Fall IEEE VTS 54th*, vol. 2, pp. 948-951, 2001.
- [8] 장일순, 유병한, 조경록, "다중 사용자를 위한 적응형 OFDM/FDD 시스템의 상향링크 정보 축소 방안", *한국통신학회 논문지*, vol.29, No.2A, pp. 140-146, 2004. 02.
- [9] 3GPP R1-030042, Update of OFDM SI Simulation Methodology, Jan. 2003.
- [10] Recommendation ITU-R M.1225, Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000, 1997
- [11] CDG Evolution Study Report, Revision 4.00, Dec. 1999.
- [12] Aniba G. and Aissa S, "Adaptive proportional fairness for packet scheduling in HSDPA," in *proc. IEEE GLOBECOM*, Nov. 2004, pp. 4033-4037
- [13] Wengerter C., Ohlhorst J., and Elbwart A.G.E., "Fairness and throughput analysis for generalized proportional fair frequency scheduling in OFDMA," in *proc. IEEE VTC Spring*, May 2005, pp. 1903-1907.
- [14] 고상준, 허 주, 장경희, "다중 사용자 OFDMA 시스템에서의 사용자간 전송효율 최적화를 위한 aggressive subchannel allocation 알고리즘," *한국통신학회 논문지*, vol.31, No.6A, pp. 617-626, 2006. 06.
- [15] S.J. Ko, J. Heo, and K.H. Chang, "Aggressive sub-channel allocation algorithm for efficient dynamic channel allocation in multi-user OFDMA system," in *Proc. IEEE International Conference on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, Sep. 2006, TJ5-13.



선 태 형 (TaeHyung Sun)

준회원



2005년 2월 인하대학교 컴퓨터공학(공학사)  
2007년 2월 인하대학교 정보통신대학원(공학석사)  
2007년 3월~현재 삼성전자 정보통신총괄 무선사업부  
<관심분야> 4세대 이동통신 시스템, MIMO 시스템 및 WiBro 시스템 무선 전송규격, Cognitive Radio

고 상 준 (SangJun Ko)

준회원



2005년 2월 인하대학교 GIS 공학(공학사)  
2007년 2월 인하대학교 정보통신대학원(공학석사)  
2007년 3월~현재 LG 전자 단말 연구소  
<관심분야> 4세대 이동통신 시스템, Cognitive Radio, WiBro 시스템 무선 전송규격, Dynamic Resource Allocation

장 경 희 (KyungHi Chang)

중신회원



1985년 2월 연세대학교 전자공학과(공학사)  
1987년 2월 연세대학교 전자공학과(공학석사)  
1992년 8월 Texas A & M Univ., EE Dept. (Ph.D.)  
1989년~1990년 삼성종합기술원

주임연구원  
1992년~2003년 한국전자통신연구원, 이동통신연구소 무선전송방식연구팀장(책임연구원)  
2003년~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수  
<관심분야> 4세대 이동통신 및 3GPP LTE 무선전송방식, WMAN 및 DMB 시스템 무선전송기술, Cognitive Radio, Cross-layer Design, Cooperative Relaying System

황 성 현 (SunHyun Hwang)

정회원



2001년 2월 성균관대학교 전자공학과 공학사)  
2001년 2월 성균관대학교 통신공학(공학석사)  
2001년 2월 성균관대학교 통신공학(공학박사)  
2001년~2005년 삼성전자 SOC

연구소 책임연구원  
2005년~현재 한국전자통신연구원, 전파기술연구그룹 선임 연구원  
<관심분야> Cognitive Radio, OFDM(A) 기술, 디지털 모뎀용 동기 및 채널 추정 알고리즘

송 명 선 (MyunSun Song)

정회원



1984년 2월 충남대학교 전자공학과(공학사)  
1986년 2월 충남대학교 전자공학과(공학석사)  
1986년~현재 한국전자 통신연구원, 인지무선연구팀장  
<관심분야> Cognitive Radio, 밀

리미터파 시스템

김 창 주 (ChangJoo Kim)

정회원



1980년 2월 한국항공대학교 전자공학과(공학사)  
1988년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학(공학석사)  
1993년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학(공학박사)  
1979년~1983년 ADD 연구원  
1983년~현재 한국전자통신연구원, 전파기술연구그룹장

<관심분야> 전파자원이용기술, 전자파환경기술, 안테나 기술, Cognitive Radio, 이동통신 및 방송기술 등