

다중 사용자를 위한 적응형 OFDM/FDD 시스템의 상향링크 정보 축소 방안

정희원 장 일 순*, 유 병 한*, 조 경 록**

A New Reduction Method of the Uplink Information for an Adaptive Modulation and Coding OFDM/ FDD System

Il-soon Jang*, Byoung-han Ryu*, Kyoung-rok Cho** *Regular Members*

요 약

본 논문은 다중사용자를 위한 OFDMA/FDD(Orthogonal Frequency Division Multiple Access/Frequency Division Duplex) 시스템에서 가변적인 전송율로 전송하기 위한 무선 채널의 피드백 정보를 감소하는 방안을 제시한다. 제한된 상향링크 제어채널을 통해 기지국으로 무선 채널 정보를 전송하기 위해서, 제안된 알고리즘은 인근 클러스터간의 무선 채널의 유사 정도를 나타내는 정보로 채널 변화 수준(channel variation level)을 사용하며, 모든 클러스터에 대해서 하나의 MCS(Modulation & Coding Scheme)을 사용한다. 시뮬레이션은 하나의 셀 내에서 수행되었으며, 기존의 알고리즘의 피드백 정보와 유사한 오버헤드로 대역 효율 및 outage probability에서 더 좋은 성능을 나타내었다.

Key Words : OFDM; AMC; CVL.

ABSTRACT

In this paper we proposed the reducing method of feedback information for transmitting of adaptable data rate in multi-user OFDMA/FDD systems. In order to transmit downlink channel information to Base-Station(BS) through the limited uplink control channel, the proposed algorithm exploits the channel variation level which describes the similarity among the adjacent clusters and uses just one modulation and coding scheme(MCS) level representing channel information of all clusters'. We investigated the performance in single cell environment. It has a similar overhead for feedback information with conventional algorithm and has better performance in that bandwidth efficiency and outage probability than the conventional algorithms.

I. 서 론

최근 무선 환경 하에서 무선 멀티미디어, 무선 인터넷 등을 포함하는 다양한 응용 서비스를 제공하기 위해 초고속 데이터 전송 기술의 요구가 증가되고 있다. 무선전송에서 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기법은 다중 경로

채널에 강한 특성과 주파수 효율이 높다는 장점을 가지고 있어 초고속 데이터 전송에 적합하다. 다중 사용자를 위한 OFDM 시스템에서 열악한 무선 전송 환경에서도 고품질, 높은 신뢰성 통신을 지속적으로 제공하기 위해 각 사용자의 채널 환경에 따른 적절한 변조방식과 코딩율을 선택하는 AMC(Adaptive Modulation and Coding) 기술이 사용되며 이러한 시스템을 AOOFDM(Adaptive OFDM) 시스템

* 한국전자통신연구원 광대역무선MAC연구팀(isjang@etri.re.kr), **충북대학교 전기전자공학부 통신회로및시스템연구실
논문번호 : 030382-0903, 접수일자 : 2003년 9월 3일

이라 한다.

AOFDMS 시스템을 위한 기존 AMC 알고리즘을 살펴보면, 기지국의 패킷 스케줄러가 최상의 성능으로 동작하기 위해서 각 단말기의 하향링크에 대한 모든 부반송파 채널 정보를 필요로 한다. J. Campello는 모든 부반송파의 채널 정보를 피드백하고 각 부반송파에 적절한 변조방식을 선택함으로써 최적의 성능을 갖는 알고리즘을 제안하였다^[1]. 그러나, 상향링크의 한정된 제어 채널에 모든 부반송파의 채널 정보를 피드백하는 것은 불가능하며, 이를 해결하기 위해서는 적은 정보량으로 많은 채널 정보를 포함하여 피드백하는 것이 효율적이다. T. Keller와 L. Hanzo는 피드백 정보를 줄이기 위해, 부채널 정보를 블록 단위로 적용하는 방법을 제안하였으며, HIPERLAN/2 시스템을 위한 블록 단위의 채널 정보를 이용하는 SBLA(Simple Block-wise Loading Algorithm)등이 해당된다^{[2][3]}.

본 논문은 AOFDM 시스템에서 AMC 관련 상향링크 피드백 정보를 축소하며 기존 알고리즘에 비해 성능면에서 향상된 방안을 제시한다. 즉, 기존의 고정된 크기의 부반송파 그룹에 대한 채널 정보 전송하는 방법에서 탈피하여, 제한된 피드백 정보 내에서 최대 전송량을 갖는 부반송파 그룹의 가변 크기와 변조방식의 조합을 한정된 피드백 정보에 포함시켜 시스템의 주파수 효율을 증가시키도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 제안된 알고리즘을 위한 용어 정의와 제안된 알고리즘에 대해 기술한다. 3장에서 기존의 알고리즘과 제안된 알고리즘 사이의 성능 비교를 위한 OFDM 시스템과 시뮬레이션 환경을 설명하며, 4장에서 시뮬레이션을 통해 검증된 알고리즘의 성능에 대해 설명한다.

II. 제안된 알고리즘

일반적으로 OFDM/FDD 시스템에서 하향 링크의 부반송파 수가 N 개이고, MCS 종류를 M 비트로 표현이 가능하다면, 부반송파별로 결정된 MCS를 전달하기 위해서는 총 $N \times M$ 비트 정보를 상향 링크로 전달하여야 한다. 그러나, 많은 부반송파 수로 인한 AMC 관련 피드백 정보의 증가는 상향 링크의 트래픽 처리량 증가로 시스템의 성능 저하를 가져온다. 이러한 단점을 보완하기 위해서, Chow등은 여러 개의 부반송파의 묶음인 클러스터별 MCS를 결정한다^[3]. 클러스터의 크기는 포함된 부반송파의

개수를 말하며, MCS는 클러스터에 속하는 부반송파의 평균 SNR에 의해 결정된다. 따라서, OFDM과 같이 광대역 시스템에서 주파수 선택적인 채널의 경우, 상향 링크 AMC 관련 피드백 정보를 감소시키기 위해서 클러스터의 크기를 확장하는 경우 MCS의 정밀도의 신뢰 수준은 많이 떨어진다. 이러한 단점을 보완하기 위해서, 본 논문은 채널의 상태에 따라 클러스터의 크기를 동적으로 변화시켜 클러스터의 MCS 정보를 전달하는 알고리즘을 제시한다.

그림 1과 그림 2는 각각 제안된 알고리즘 절차와 상향 링크를 통해 AMC 관련 피드백 정보의 포맷을 나타낸 것이다. CL_N 은 N 개의 부반송파를 갖는 클러스터이다. Base Cluster(BC)는 클러스터 중 가장 크기가 큰 클러스터로 BC_M 은 M 번째 BC를 의미한다. Channel Variation Level(CVL)은 인접 클러스터간 채널 유사 정도를 나타내며, 유사 정도는 각 클러스터간의 평균 SNR 값을 이용한다. 제안된 알고리즘으로 생성되는 AMC 관련 피드백 정보의 포맷은 MCS, CVL, 그리고 BC에 속하는 CL_{min} 중 전송 효율이 좋은 MCS를 갖는 위치 정보들로 구성된다. CL_{min} 과 BC는 MCS를 결정하는 클러스터들 중에서 각각 가장 작은 크기, 가장 큰 크기의 클러스터이다. BC는 여러 개의 CL_{min} 으로 구성된다. 그림 3은 부반송파가 256개인 경우에, 정의된 용어 및 BC 및 CL_{min} 등의 관계를 나타낸 것이다.

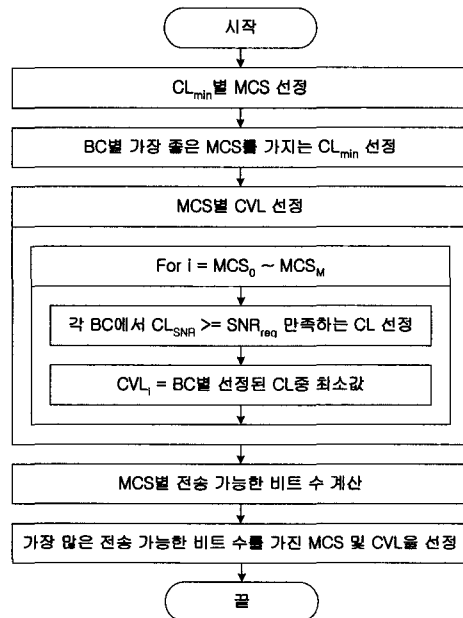


그림 1. 제안된 알고리즘 수행 절차

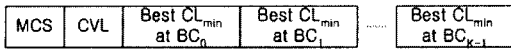


그림 2. 상향 링크 AMC 관련 피드백 신호의 포맷

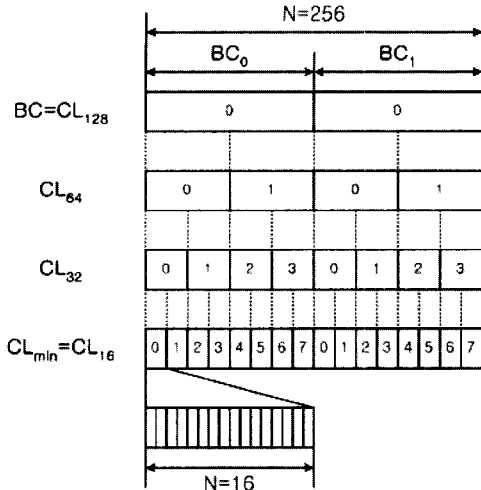


그림 3. 제안된 알고리즘에서 사용된 용어 정의

MCS별 BER_{target} 에 맞는 SNR_{target} 이 존재하며, $SNR_{received} > SNR_{target}$ 이면 해당 MCS로 트래픽 전송이 가능하다. 따라서, 제안된 알고리즘의 첫 번째 절차는 최소 클러스터 그룹 CL_{min} 별로 평균 SNR을 산출하여 MCS를 결정한다. 두번째는 AMC 관련 피드백 정보에서 각 BC에 속하는 CL_{min} 에서 전송 효율이 좋은 MCS를 갖는 클러스터의 인덱스(위치)를 결정하는 단계이다. 세번째 절차는 각 MCS마다 CVL을 선정하는 것이다. CVL 선정 절차는 BC별 해당 MCS로 전송 가능한 CL_N 를 선정한다. BC별 선정된 CL_N 에서 가장 작은 CL_N 를 선택하여, MCS별 CVL값을 선정한다. 최종적인 MCS 선정은 기지국의 패킷 스케줄러의 입장에서 고려한다. 패킷 스케줄러는 가장 많은 데이터를 전송하여 처리량(throughput)을 높여 시스템의 성능을 향상시키는 것을 목표로 한다. 따라서, 기지국 패킷 스케줄러는 단말기로부터 전달되는 AMC 관련 피드백 정보는 가급적 많은 양의 트래픽을 전송할 수 있는 무선 채널 정보를 요구한다. 이러한 점을 고려하여, 네번째 절차는 MCS별 최대 전송 가능 비트 수를 산출하며, 가장 높은 비트 수를 갖는 MCS를 선정하여 기지국으로 전달한다.

그림 4는 제안된 알고리즘을 보다 더 자세하게

설명하기 위해, 부반송파 수가 2048이며, 최소 클러스터 CL_{min} 의 크기는 32이고, 최대 클러스터 BC는 256인 OFDM 시스템을 예로 나타낸 것이다. 제안된 알고리즘에 의해 다음과 같은 절차를 수행한다.

절차 1은 가장 작은 클러스터 CL_{32} 에 속하는 클러스터의 MCS를 결정한다. MCS 결정은 Chow^[3]와 동일한 과정으로, 클러스터에 속하는 부반송파의 평균 SNR을 구하여, 그에 매핑되는 MCS를 결정한다.

절차 2는 BC별로 최상의 수신 SNR을 갖는 CL_{32} 를 선택한다. BC_0 에서는 4번째의 CL_{32} 를 BC_1 에서는 7번째의 CL_{32} 를 나머지 BC에서도 동일하게 1, 2, 7, 0번째의 CL_{32} 를 각각 선택한다.

절차 3은 MCS별 CVL을 선정한다. MCS_0 은 무선 채널 환경의 악화로 트래픽을 전송할 수 없는 경우 선택한다. 현재 수신된 SNR의 상태에서 모든 CL_{32} 는 MCS_1 로 전송이 가능하다. 따라서, MCS_1 부터 CVL을 산출한다. MCS_1 의 경우 평균 $SNR_{received}$ 이 SNR_{target} 보다 크다. 따라서, 모든 CL_{32} 에서 MCS_1 로 트래픽 전송이 가능하다는 것은 CL_{256} 으로 전송 가능하다는 것으로, CVL은 CL_{256} 이 된다. 이는 MCS_1 의 경우 모든 부반송파를 통해 SNR_{target} 을 만족한다는 것이다. MCS_2 의 경우, MCS_1 의 경우와 비슷하지만 그림 4 'A' 영역 부분에서 SNR_{target} 을 만족하지 못한다. 따라서 MCS_2 의 경우 CVL은 CL_{128} 이 된다. 동일한 방법으로 MCS_3 의 CVL은 CL_{128} 을, MCS_4 의 CVL은 CL_{64} 가 된다. CVL은 절차 2에서 BC별 가장 좋은 SNR을 갖는 CL_{32} 와 결부되어, 선정된 CL_{32} 의 인근 주파수의 무선 채널 환경과의 유사 정도를 나타낸다.

절차 4는 MCS별 전송 가능한 비트 수를 결정한다. MCS_0 는 트래픽을 전달할 수 없는 무선 채널 환경을 나타내므로 CVL에 상관없이 최대 전송 가능 비트 수는 항상 0비트이다. 각 MCS에서 전송 가능한 비트 수를 계산하기 전에, MCS_1 의 경우 부반송파별로 1비트를, MCS_2 의 경우 2비트를, MCS_3 의 경우 3비트를, MCS_4 의 경우 4비트를 전송한다고 가정하자. 각 MCS에서 전송 가능한 비트 수를 계산하면 다음과 같다. MCS_1 의 경우, CVL은 CL_{256} 이므로, 최대 전송 가능 비트수는 $6 \times 256 \times 1 = 1536$ 비트이다. MCS_2 의 경우, CVL은 CL_{128} 이므로, 최대 전송 가능 비트수는 $6 \times 128 \times 2 = 1536$ 비트이다. MCS_3 의 경우, CVL은 CL_{128} 이므로, 최대 전송 가능 비트수는 $6 \times 128 \times 3 = 2304$ 비트이다. MCS_4 의

경우, CVL은 CL_{64} 이므로, 최대 전송 가능 비트수는 $6 \times 64 \times 4 = 1536$ 비트이다. 따라서, 가장 많은 최대 전송 비트 수를 갖는 MCS_3 을 AMC 피드백 신호의 MCS Level로 선정하고 CVL은 CL_{128} 로 선정한다.

III. 시스템 모델

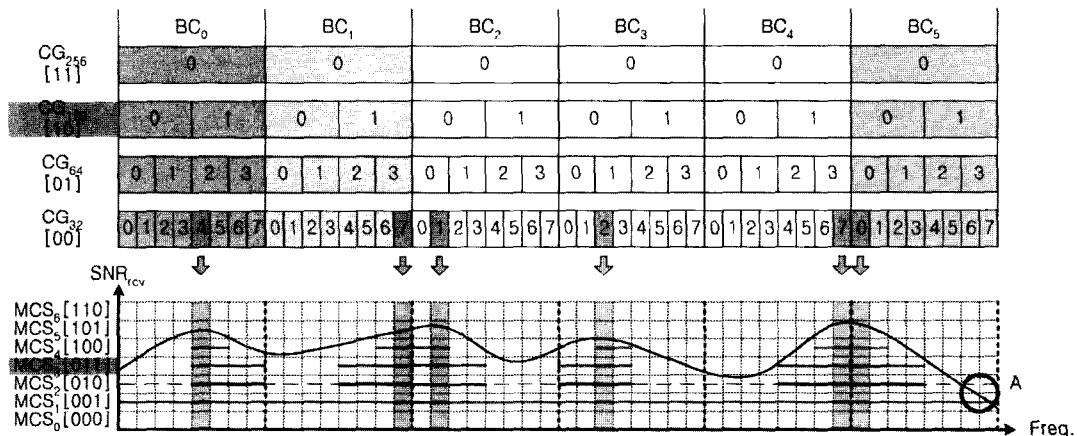
제안된 알고리즘의 성능을 비교하기 위해서 표 1과 같이 3개의 시스템을 설정하였다. System #1은 모든 단말기가 모든 부반송파의 MCS 정보를 상향링크로 전달하는 경우로 이상적인 시스템이다. System #2는 고정된 클러스터의 크기를 사용하는 시스템으로, 제안된 알고리즘을 사용하는 System #3과 동일한 AMC 피드백 정보량을 사용하기 위해서 클러스터의 크기를 256으로 고정하였다.

그림 5는 시뮬레이션 수행을 위한 AOOFDM/FDD 시스템 모델을 나타낸다. 시스템의 구조를 살펴보면, 기지국의 Feedback Information Assembler는 각 단말기별로 상향 링크 채널로 전송되는 MCS 관련 정보를 수집한다. 관련된 정보를 패킷 스케줄러는 각 클러스터를 각 사용자에게 할당한다. 클러스터별 MCS는 동일하며, 따라서 동일한 변조 방식을 갖는다. 부호화 및 변조된 데이터는 일반적인 OFDM 시스템과 동일하게 각 단말기로 전송된다. 각 단말기는 전송된 파일럿 신호로부터 채널 추정을 수행

하며, 제안된 알고리즘을 이용하여 MCS 및 위치를 선정하여 상향 링크 채널을 통하여 기지국으로 전송한다. 또한 결정된 MCS를 저장하고 있어, 앞으로 전달될 데이터의 채널 코딩 복호화 및 복조를 수행하게 된다. FFT(Fast Fourier Transform)로부터 출력된 부반송파별 데이터는 각 사용자에게 할당된 부반송파 정보를 이용하여, 할당된 부반송파로부터 전달된 데이터를 수집하여 채널 코딩 복호화기로 전달한다. 본 시뮬레이션에서 채널 추정기의 오차는 없다고 가정하며, MCS는 1ms 단위로 상향 링크를 통하여 기지국의 Feedback Information Assembler에 전달되며, 전달 지연은 없다고 가정한다.

표 1. 성능 비교를 위한 3개의 시스템 모델

System #1	<ol style="list-style-type: none"> All UEs send MCS of all sub-carrier Dynamic allocation of sub-carrier for each user Uplink overhead = $3(MCS) \times 1536$ (sub-carrier #) = 4608bit/UE
System #2	<ol style="list-style-type: none"> OFDM-FDMA system with AMC for 6 cluster(256 sub-carrier) Each UE send MCS of 6 clusters Uplink overhead = $3(MCS) \times 6(\text{cluster\#}) = 18\text{bit/UE}$
System #3 (Proposed)	<ol style="list-style-type: none"> AOOFDM system with the proposed method Each UE send MCS of 4 among 6 clusters fixed at Call Setup Uplink overhead = $2(CVL) + 3(MCS) + 4(256CL\#) \times 3(\text{best } CL_{32\#}) = 17\text{bit/UE}$



MCS Level	CVL	Best CL_{32} at BC_0	Best CL_{32} at BC_1	Best CL_{32} at BC_2	Best CL_{32} at BC_3	Best CL_{32} at BC_4	Best CL_{32} at BC_5
[011]	[10]	[100]	[111]	[001]	[010]	[111]	[000]

그림 4. 제안된 알고리즘 수행

제안된 알고리즘을 사용하기 위해서, CL은 CL₃₂, CL₆₄, CL₁₂₈, CL₂₅₆을 사용하였으며, 단말기는 BC 6개 모두에 대하여 MCS를 전달하지 않으며, 기지국에서 호 설정시 결정하여 주는 4개의 BC에 대해서만 MCS 피드백 정보만 전달하는 것으로 가정한다. 따라서, MCS 관련 피드백 정보 수 총 17비트로 CVL(2 비트), MCS(3 비트) 및 각 BC에서 가장 좋은 MCS를 갖는 CL32의 위치(3 비트)에 각각 사용된다. 동일한 AMC 관련 피드백 정보량 측면에서 각 시스템의 성능을 비교하기 위해서, System #2는 클러스터 크기를 256으로 고정하고 클러스터의 평균 SNR을 이용하여 MCS를 결정하며, 따라서 MCS 관련 피드백 정보 수는 18비트를 사용한다.

본 논문의 성능 시뮬레이션에서는, 하향 링크 20MHz의 대역폭을 갖는 OFDM/FDD 시스템을 고려하였으며 표 2는 성능 시뮬레이션을 위한 시스템 파라미터와 채널 모델을 나타내며, 셀 반경은 1km, OFDM 한 슬롯(10 OFDM symbols, 1ms)에 할당되는 Active 상태의 단말기 수는 8명, 각 단말기는 3.84Mbps의 전송률을 요구한다고 가정하였다. 또한, 기지국의 송신 전력은 셀 경계에 있는 UE가 요구되는 전송률을 만족하지 못하는 확률이 1%가 되도록 설정하였다. 패킷 스케줄러는 단말기의 우선 순위에 따라 순차적으로 부반송파 및 비트를 할당하는 방식을 사용한다. 제안된 방법을 이용하는 시스템과 기존 시스템을 3가지로 구분하여 시뮬레이션을 수행하였다. MCS는 전송하지 않음, 1/2-QPSK, 1/2-

16QAM, 1/2-64QAM 4가지를 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한, 상향 링크 채널로 전달되는 AMC 관련 피드백 정보는 오류없이 전달되는 것으로 가정하였다.

IV. 시뮬레이션 결과

단말기가 요구되는 전송속도 3.84Mbps를 이루지 못하는 경우 outage가 발생한 것으로 고려한다. 그림 6은 UE와 기지국과의 거리에 따른 outage probability에 대한 성능 그래프를 나타낸다. 셀 경계에서의 outage probability를 살펴보면, 부반송파별 피드백 정보를 갖는 System #1의 경우 최적의 성능으로 제안된 System #3보다 1/10정도 낮은 outage probability를 갖는다. 그렇지만, 제안된 알고리즘을 사용하는 가변적인 클러스터를 갖는 제안된 시스템은 비교대상인 고정적인 클러스터를 갖는 System #2보다 1/10정도의 낮은 outage probability의 성능 이득을 갖는다. System #2는 주파수 선택적인 무선 환경 채널에서 많은 수의 부반송파로 구성된 클러스터의 평균 SNR에 따른 MCS를 사용함으로써 많은 성능 저하를 발생시킨다. 이에 비해 System #3은 거의 비슷한 양의 피드백 정보를 이용하여 채널 상태에 따라 클러스터의 크기를 동적으로 변경하여 보다 정밀한 무선 채널에 대한 MCS를 전달하므로써 시스템의 성능이 향상되었다.

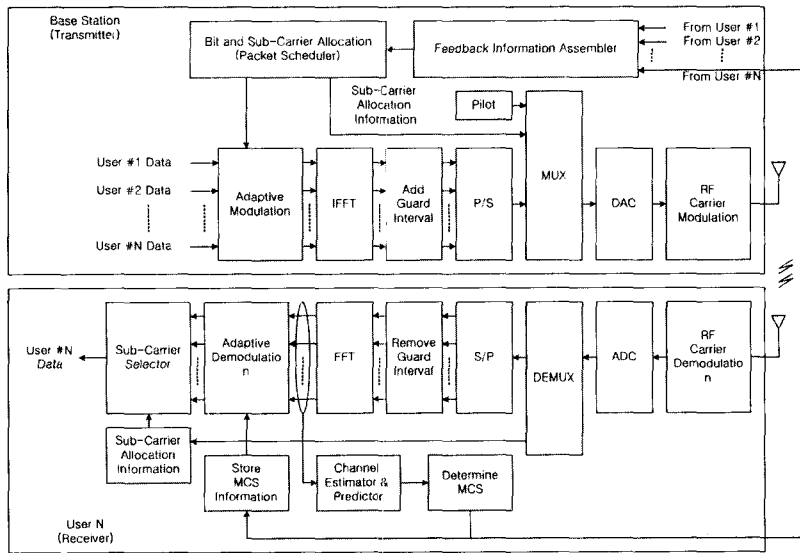


그림 5. 시뮬레이션에서 사용된 AOFDM/FDD 시스템

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Carrier frequency	2 Ghz
Number of FFT	2048
Number of data Subcarrier	1536
Number of virtual carrier	512
Guard Interval	18.08 us
Symbol duration	81.92 us
Symbol # per Packet	10
Coding	1/2 rate convolution code (k=7)
Fading channel model	IMETRA Channel (Pedestrian A)
Path loss model	Category B Model ^[4]
Cell radius	1 Km
Number of active users per cell	8 users
Data(Transmission) rate requirements of each user	3.84 Mbps (Coded Bit Rate)
Power Control	No
Base station transmission power	Cell boundary outage prob. = 1%
Received SNR measurement	Perfect
Channel estimation	Perfect
Synchronization (freq. , timing)	Perfect
Packet scheduler	Priority scheduling ^[5]

그림 7은 단말기를 기지국으로부터 거리에 따라 분포하도록 하였으며, 분포된 위치에서 평균 대역 효율을 나타낸 그래프이다. System #1의 경우 기지국의 패킷 스케줄러는 모든 단말기의 모든 부반송파에 대한 MCS를 알고 있으며, 보다 좋은 MCS를 갖는 단말기에 부반송파 할당이 가능하므로, 거리에 따른 대역 효율이 거의 감소하지 않는다. System #2와 3의 경우 단말기와 기지국 간의 거리에 따라 클러스터 단위의 MCS 결정으로 부반송파별 MCS를 결정하는 System #1의 경우보다 다소 낮은 MCS를 결정한다. 따라서, 클러스터를 사용하므로써 대역 효율이 떨어지게 된다. 그러나, 무선 채널에 따라 클러스터의 크기를 변화하는 System #3의 경우는 System #2에 비해 대역 효율이 좋은 것을 알 수 있다.

그림 8은 시뮬레이션 조건을 수정하여 사용자의 전송 요구율을 1Mbps(coded bit rate)로 가정하고, 기지국과의 거리가 900m이상 되는 셀 경계의 사용자 수 증가에 따른 outage probability에 대한 성능 그래프이다. 시스템의 셀 경계에서 outage 확률을 5%로 할 경우 System #2는 8명의 사용자만을 System #3은 System #2보다 5배 많은 40명 이상의 사용자를 수용할 수 있는 성능을 갖는 것을 알 수 있다.

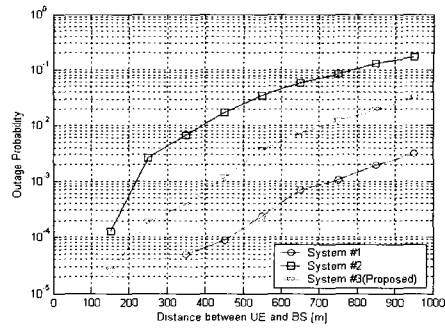


그림 6. Comparison of the outage probability as a function of the distance between UE and BS in single cell environment

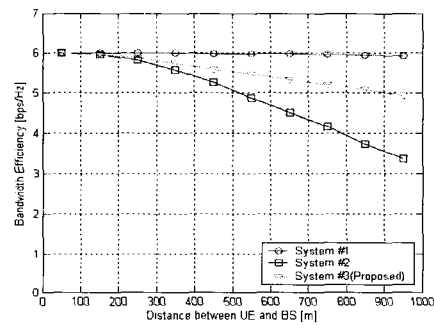


그림 7. Comparison of the bandwidth efficiency as a function of the distance between UE and BS in single cell environment

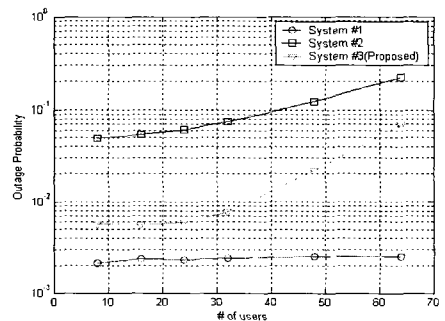


그림 8. Comparison of the outage probability according to # of users at the boundary (900m) of single cell environment

V. 결 론

본 논문에서는 AOFDM/FDD 시스템에서의 제한된 상향 링크 제어 채널의 양을 고려하여 AMC 관련 피드백 정보량의 축소 방안에 대해 제안하였다. 기존의 고정된 클러스터 단위의 정보를 올리는 방

법과 비교하여 오버헤드의 증가 없이 AMC가 적용되어 1/10 정도의 낮은 outage probability로 시스템의 성능을 향상시키는 결과를 얻었다. 또한, 제안된 알고리즘을 사용하는 가변적인 클러스터를 갖는 시스템은 기존의 고정적인 클러스터를 갖는 시스템보다 대역 효율이 좋은 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] J. Campello, "Practical Bit Loading for DMT," *Proc. ICC '99*, pp. 801-805, Jun. 1999

[2] 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.

[3] 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.

[4] V. Erceg et al., "An Empirically Based Path Loss Model for Wireless Channels in Suburban Environments," *IEEE Journal on selected areas in communications*, vol. 17, no. 7, pp. 1205-1211, Jul. 1999.

[5] Y. Zhang and K. B. Letaief, "Multiuser Subcarrier and Bit Allocation Along with Adaptive Cell Selection for OFDM Transmission," *Proc. ICC 2002*, vol. 2, pp. 861-865, 2002.

장 일 순(Il-soon Jang) 정회원

1997년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 학사
 1999년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 석사
 1999년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 박사과정
 1999년 6월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 광대역무선 MAC연구팀 연구원

<관심분야> MAC 규격 및 프로토콜 개발

유 병 한(Byoung-han Ryu) 정회원

1985년 : 한양대학교 산업공학과 학사
 1988년 : 서울대학교 산업공학과 석사
 1997년 : 오사카대학 기초공학 연구과 정보공학과 박사
 1985년~1986년: (주)퍼시픽 콘트롤즈
 1988년~현재: 한국전자통신연구원 광대역무선MAC 연구팀 책임연구원 (팀장)

<관심분야> MAC 규격 및 프로토콜 개발, 트래픽 제어, 시스템 성능분석

조 경 록(Koung-rok Cho) 정회원

1977년 : 경북대학교 전자공학과 학사
 1989년 : 동경대학교 전자공학과 석사
 1992년 : 동경대학교 전자공학과 박사
 1979년~1986년 : 금성사 TV 연구소 선임연구원
 1992년~현재 : 충북대학교 공과대학 정보통신공학과 교수

<관심분야> VLSI 시스템 설계, 통신시스템용 LSI 개발 및 고속 마이크로프로세서 설계 등