

# 다중 사용자 OFDMA 시스템에서의 효율적인 적응 변조 및 부호화 기법

준회원 권 중 형\*, 이 두 호\*, 변 일 무\*, 종신회원 김 광 순\*°, 황 금 찬\*

## Efficient Adaptive Modulation Technique for Multiuser OFDMA Systems

Jung Hyoung Kwon\*, Duho Rhee\*, Il Mu Byun\*, Associate Members, Kwang Soon Kim\*°, Keum Chan Whang\* Lifelong Members

### 요 약

본 논문에서는 다중사용자 하향링크 직교 주파수 분할 다중 접속 방식 (OFDMA)에서 제한된 송신전력 하에서 시스템의 전송률을 높일 수 있는 사용자 선택 방식, 대역 할당 방식 그리고 전력 할당 방식에 관한 연구를 하였다. 기존에 제안된 방법은 단일 셀 내의 사용자가 모든 부대역의 채널 상태 정보 (CQI, channel quality information)를 기지국으로 전송하였으나, 이러한 방식은 심각한 제한 정보의 오버헤드가 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 제한 정보량을 줄이기 위하여 각 사용자가 일부 대역의 채널 상태 정보와 부가 채널정보를 기지국으로 제한하여 효율적인 대역할당을 하며, 할당된 대역에 따라 효과적인 전력 할당과 변조 및 부호화 방식을 결정하는 시스템을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 전체 시스템에서의 제한 정보량은 크게 줄어들면서 시스템의 전송률 측면에서 조금의 성능열화만 발생하는 것을 확인하였다.

**Key Words** : Multiuser downlink OFDMA, Sub-band allocation, Partial channel quality information (CQI), Reduced feedback information

### ABSTRACT

In this paper, we present a new method for user selection, sub-band allocation, and power allocation in order to maximize the system throughput under the constraint of transmit power in multiuser downlink orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) systems with partial channel quality information (CQI). In previous schemes, each user in one cell transmits CQI of all sub-bands to the base station, which requires enormous feedback overhead. Therefore, we propose an efficient power allocation and modulation and coding selection scheme in which each user transmits partial CQI and one additional information to reduce the amount of feedback. Simulation results show that we can greatly reduce the amount of feedback than full feedback system.

### 1. 서 론

무선 이동 통신 시스템에 대한 사용자들의 새로운 서비스에 대한 욕구와 멀티미디어 서비스에 대

한 요구가 크게 증가하고 있다. 이러한 요구를 만족하기 위해서 현재 논의 중인 차세대 이동 통신 시스템은 단순한 무선 데이터 서비스에 그치지 않고 이동 통신망 및 인터넷 망을 통합하여 음성, 동영상

\* 연세대학교 전기전자공학과 ({mercury628, dh.rhee, dlfan, ks.kim, kcwhang}@yonsei.ac.kr) (° : 교신저자)  
 논문번호 : KICS2006-03-103, 접수일자 : 2006년 3월 10일, 최종논문접수일자 : 2006년 12월 5일

및 인터넷 서비스등을 포함하는 광대역 멀티미디어 서비스 형태가 될 것으로 기대하고 있다. 이러한 고속의 데이터 전송 속도를 만족 시키고 효율적인 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서 적응 변조(adaptive modulation) 및 다중 접속(multiple access) 기법은 현재의 이동통신 시스템보다 더욱 주파수 효율을 높일 수 있어야 한다. 여러 다중 접속 방식 가운데 OFDMA(orthogonal frequency division multiple access) 방식은 주파수 선택적 페이딩 채널에서 각 주파수 대역 별로 채널이득이 가장 큰 사용자에게 해당 주파수 대역을 할당할 수 있는 장점을 가지고 있다<sup>[1]-[3]</sup>. 기지국에서 모든 사용자의 전 대역의 채널 상태 정보를 안다면, 제한된 전송률하에서 전체 전력을 최소화 할 수 있는 방법<sup>[1][2]</sup>과, 제한된 전력하에서 전송률을 최대화 할 수 있는 방법<sup>[3]</sup>인 부대역 할당과 전력 할당 방식에 대한 준최적 방식이 알려져 있다. 그러나 기존의 방식들은 많은 계산량에 의한 복잡성과 궤환 오버헤드 때문에, 고속의 이동성과 큰 주파수 선택성 두가지를 동시에 만족시키기 어려워 차세대 이동통신 시스템에 적합하지 않다. 따라서 궤환 정보량을 줄이기 위하여 모든 사용자가 기지국에 전 대역이 아닌 일부 대역의 채널정보와 전 대역의 평균값을 부가 채널정보로 전송하는 방법이 제안되었다<sup>[4]</sup>. 위의 방식은 할당되지 않은 대역에 대해서 부가 채널정보인 전 대역의 평균값을 채널정보로 사용하는 방식이나, 만약 실제 채널의 크기가 평균값보다 작을 경우 목표 비트 에러율(BER)을 만족하지 못하는 경우가 발생하여 패킷 손실이 일어날 수도 있다.

전력 할당의 경우 각 사용자별 할당된 대역에 제한된 전력을 최적으로 할당하여 시스템의 전송률을 높이는 방법을 고려하였다. 기존의 전력 할당 방법의 경우에는 워터 필링(water-filling) 방식이 최적의 전력 할당 방법이지만<sup>[5][6]</sup>, 많은 계산량에 의한 복잡도 증가로 인해 실제 시스템에서 적용하기 쉽지 않다. 이러한 복잡도를 쉽게 줄이기 위한 방법으로 각 대역별 동일한 전력을 할당하는 방식이 제안되었다<sup>[3]</sup>. 하지만, 이 방법의 경우에는 각 대역별 채널 이득이 고려가 되지 않았기 때문에 시스템의 성능 열화를 가져온다. 본 논문에서는 각 사용자별로 하나의 블록을 사용하되, 각 대역별로 채널 이득을 고려하여 비트를 할당하고 변조하는 방식을 제안하였다. 이러한 방법을 이용할 경우에 블록 크기에 따른 성능 이득을 얻을 수 있으며, 각 사용자별 채널 이득에 따른 주파수 다이버시티를 얻을 수 있는 장

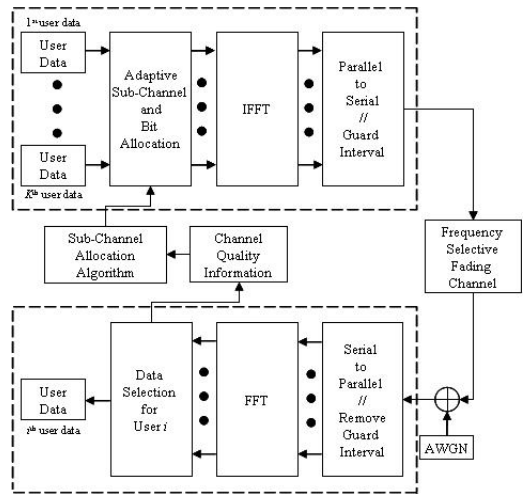


그림 1. 제안한 다중 사용자 OFDMA 시스템 구조

점을 가지고 있다.

이 논문에서는 다중사용자 OFDMA 시스템을 고려하였으며 두가지의 제한 조건을 두었다. 첫 번째는 기지국의 전체 전송 전력을 제한을 두었으며, 두 번째는 각 사용자별로 할당되는 부대역의 수를 일정수로 정해두었다. 두 번째 조건은 실제적인 물리계층 구조를 염두하여 가정한 것이다<sup>[8]</sup>. 일부 대역을 궤환하는 시스템에서 빈 대역의 채널정보를 알지 못할 경우 채널정보에 의한 변조와 전력 할당을 할 수 없기 때문에, 빈 대역이 생기지 않도록 하기 위해서 본 논문에서는 먼저 일부 대역의 채널의 위치정보와 부가 채널정보를 궤환하고, 이렇게 궤환된 정보를 이용하여 기지국에서 사용자별 대역을 할당하여 사용자에게 알려주면 두 번째 궤환정보로 할당된 채널정보를 궤환하는 방법을 제안하였다. 이 방식은 기존에 제안된 방식<sup>[4]</sup>보다 궤환 정보량을 더 줄일 수 있으며 더 나은 성능을 얻을 수 있다. 또한, 이렇게 사용자별 할당된 채널정보를 이용하여 각 사용자별 할당 받은 대역을 하나의 블록 부호에 의해서 부호화 된 비트로 할당하는 방식을 제안하였다.

## II. 시스템 모델

본 논문에서는 단일 셀 내에  $K$ 명의 사용자와  $N$ 개의 부대역으로 이루어진 OFDMA 시스템을 고려하였으며, 시스템의 블록 다이어그램은 그림 1에서 볼 수 있다. 각 부대역은  $M$ 개의 부반송파로 이루어져 있으며, 전체 시스템 대역의 부반송파의 개수는

$MN$ 개가 된다. 또한, 한 명의 사용자만이 한 개의 부대역을 할당받을 수 있으며, 각 사용자는 사용자별 독립적인 페이딩 채널을 겪는다. 이 때  $k$ 번째 사용자의  $n$ 번째 부대역의 채널 이득은  $h_{k,n}$ 으로 나타내며,  $n$ 번째 부대역 내의 부반송파 가운데 채널 이득의 절대값이 가장 작은 부반송파의 채널 이득으로 정의된다.  $k$ 번째 사용자의  $n$ 번째 부대역의 수신 신호대 잡음비(SNR)은 아래 수식 (1)과 같이 정의된다.

$$\gamma_{k,n} = p_{k,n} |h_{k,n}|^2 / N_o \quad (1)$$

여기서  $p_{k,n}$ 은  $k$ 번째 사용자의  $n$ 번째 부대역의 송신 전력을 나타내며,  $N_o$ 는 부가 백색 가우시안 잡음(AWGN)의 단방향(single-sided)전력 스펙트럼 밀도 함수이다. 만약, 목표 비트 오류율이 정해진다면, QAM(quadrature Amplitude Modulation) 을 사용할 때의 비트 오류율을 수신 신호대 잡음비인  $\gamma_{k,n}$ 의 함수로 아래와 같이 나타낼 수 있다<sup>7)</sup>.

$$BER(\gamma_{k,n}) \leq \frac{1}{5} \exp\left(\frac{-1.5\gamma_{k,n}}{2^{q_{k,n}} - 1}\right) \quad (2)$$

여기서,  $q_{k,n}$ 은  $n$ 번째 부대역에 할당된 비트의 수를 나타내며, 위의 수식 (2)을 비트의 수에 대해서 정리를 하면

$$q_{k,n} = \log_2\left(1 + \frac{\gamma_{k,n}}{\Gamma}\right) \quad (3)$$

이다. 여기서  $\Gamma = -\ln(5BER)/1.5$ 이며, 전체 시스템의 전송률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} \frac{M_{q_{k,n}}}{T} \quad (4)$$

$$= \frac{\rho B}{N} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} \log_2\left(1 + \frac{\gamma_{k,n}}{\Gamma}\right),$$

여기서,  $c_{k,n}$ 은 부대역 할당 지시기로  $\{0,1\}$ 의 값을 가지며,  $n$ 번째 부대역이  $k$ 번째 사용자에게 할당되면  $c_{k,n}$ 은 1이고, 그렇지 않으면  $c_{k,n}$ 은 0이다. 또한,  $T$ 는 보호구간을 포함한 OFDM 심볼 길이를 나타내며  $\rho = MN/TB$ 이다. 시스템 전송률을 최적화하기 위해 아래의 제한조건들 하에서 전체 전송률이 최대가 되는  $Q$ 를 구한다.

$$i) \quad \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N p_{k,n} \leq P, \quad p_{k,n} > 0,$$

$$ii) \quad \sum_{k=1}^K c_{k,n} = 1, \quad \forall n,$$

$$iii) \quad \sum_{n=1}^N c_{k,n} = c = \frac{N}{S}, \quad \forall k.$$

여기서,  $P$ 는 전체 송신 전력을 나타내며  $S$ 는 한 슬롯당 기지국에서 부대역 할당이 가능한 사용자의 수를 나타낸다.

### III. 제안하는 적응 전송 기법

하향링크 OFDMA 시스템에서, 기존의 방식은 각 사용자가 기지국으로 전 대역의 채널정보를 케환하여 기지국에서 모든 사용자의 대역 정보를 비교하여 최대의 성능을 낼 수 있도록 사용자별 대역 할당을 하고 그에 따른 전력 할당 및 변조방식을 결정하는 방법이었다. 하지만, 이러한 방식은 사용자별 케환하는 정보량이 많고 그에 따른 계산량이 많아지며, 처리 시간 또한 길어지는 단점을 가지고 있다. 일부 대역의 채널정보를 케환하는 방법은 각 사용자별로 일부 대역의 채널정보를 케환하면 기지국은 사용자들로부터 모든 대역의 채널정보를 얻을 수 없게 되며 그에 따른 빈 대역이 생기고, 이러한 빈 대역의 채널정보를 알지 못하기 때문에 전력 할당 및 변조방식을 결정하지 못하는 문제가 생긴다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 [4]에서 제안한 시스템에서는 전 대역의 평균 채널정보를 부가 채널정보로 기지국으로 케환하여 부가 채널정보를 이용하여 부가 채널정보가 가장 큰 사용자에게 빈 대역을 할당을 하는 방법을 제안하였다. 그러나 이러한 방법은 평균 채널 정보와 실제 채널정보 사이에 채널 이득의 차이에 따른 목표 비트 오류율을 만족하지 못하게 된다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서 기존의 적응 송신 방식과 동일한 방법으로 대역 할당 및 전력 할당을 하기 위해서는 빈 대역의 채널정보를 추정

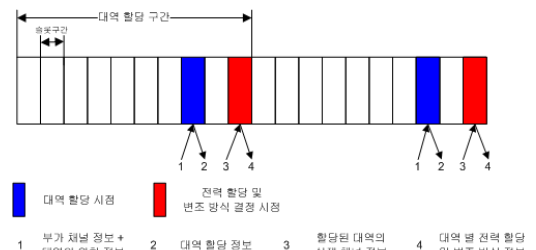


그림 2. 제안한 적응 송신 방식

하기 위한 방법과 기존의 적응 송신 방법과 다른 새로운 부대역 할당 방법을 제안하였으며, 대역 할당 후 사용자별 전력 할당과 변조 및 부호화 방식을 결정하는 방법을 제안하였다.

### 3.1 제한정보를 나누어 전송하는 부대역 할당 방법

기존의 방법의 경우에는 한번에 채널정보를 제한하기 때문에 빈 대역에 대한 채널정보를 추정하여 대역 할당 및 전력 할당을 하여야 한다. 그렇기 때문에 정확한 채널정보를 얻지 못하여 성능의 손실이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 그림 3와 같이 기지국으로 제한하는 정보를 나누어서 먼저 채널위치 정보와 부가 채널정보를 제한하여 대역 할당을 한 뒤, 채널정보를 제한하여 전력 할당 및 변조방식을 결정하는 방법을 제안하였다. 먼저 채널이득이 좋은 일부개의 대역의 위치정보와 선택된 대역의 채널이득의 평균값을 이용하여 초기 대역 할당을 하게 된다. 부가 채널정보가 큰 사용자 순서대로 할당을 요구하는 부대역 중 이미 할당된 대역을 제외한 나머지 대역을 할당한다.

그림 4에서는 위의 방법을 알고리즘으로 설명하고 있다.  $P_k(n)$ 은  $P_k$ 의  $n$ 번째 원소를 나타낸다. 초기 부대역 할당 후, 제한 조건 iii)을 만족하지 못한 사용자에게 기지국은 빈 대역을 할당한다. 채널의 상관대역폭(coherence bandwidth)이 작지 않을 경우 선택된 대역과 이웃하는 빈 대역을 가지는 사용자에게 할당하는 것이 효율적이기 때문에, 그림 5과 같은 빈 대역 할당 방식을 제안하였다.

```

Initialization
    P = 1 × N zero vector
    U = φ
Iteration:
    for l = 1 : S
        M = {1, ..., S} - U
        k = arg maxm ∈ M (AVEm)
        for n = 1 : N
            if Pk(n) = 1 and P(n) = 0 and |Ck| < c
                Ck = Ck ∪ {n}
                P(n) = 1
            end
        end
        U = U ∪ {k}
    end
end
    
```

그림 3. 초기 부대역 할당 알고리즘

```

Initialization
    i = 1
Iteration:
    for n = 1 : N
        if P(n) = 0
            while
                Qn = {k | Pk(n - i) = 1 or Pk(n + i) = 1 and |Ck| < c}
                if Qn not empty
                    k' = arg maxk ∈ Qn (AVEk)
                break
            else
                i = i + 1
            end
            Ck' = Ck' ∪ {n}
        end
    end
end
    
```

그림 4. 제한한 빈 대역 할당 알고리즘

### 3.2 제한정보를 나누어 전송하는 사용자 선택 방법

기지국에서 한 셀 내에서 데이터를 전송할 수 있는 사용자가 정해진 경우 기지국은 시스템의 전송률을 최대로 하면서 데이터를 전송할 사용자와 그렇지 않은 사용자를 선택하여 적응 송신을 하여야 한다. 전 대역의 채널정보를 제한 하는 경우 각 대역별 채널정보가 가장 좋은 사용자를 선택하여 할당하는 방법이 최적의 방법이다. 하지만, 위에서 제안한 일부 대역의 채널정보를 제한하는 경우 사용자별 제한되는 대역의 위치가 다르고 일부 대역의 위치정보와 부가 채널정보만 제한되기 때문에 이 정보들을 이용하여 시스템의 전송률을 최대화할 수 있는 사용자 조합을 찾아야 한다. 부가 채널정보인 제한하는 대역의 평균값만을 가지고 사용자를 선택할 경우, 사용자들 사이에 제한하는 대역이 겹치는 경우 빈 대역이 많이 생길 수 있기 때문에, 시스템의 성능 열화를 가져온다. 사용자들이 제한한 대역이 겹치는 빈 대역이 생기지 않도록 하기 위해서 제한하는 대역의 위치가 다른 사용자의 조합을 선택하는 것이 시스템의 성능을 높일 수 있다.

$$Cost_k = (A(P_k - P) + \beta(N - A(P_k + P))) \times AVE_k \quad (5)$$

수식 (5)는 위의 방법을 표현한 수식이며, 여기서  $P$ 와  $P_k$ 는 원소를 0과 1을 가지는  $1 \times N$ 의 행벡터이고,  $A(Z)$ 는 벡터  $Z$ 의 0이 아닌 원소의 개수를 나타내며,  $\beta$ 는 가중요소(weighting factor)이며( $0 \leq \beta \leq 1$ ),  $AVE_k$ 는  $k$ 번째 사용자의 선택된 부대역의 평균 채널

Initialization:

$$N_{UE} = 1$$

$$U_{N_{UE}} = \{u\}$$

Iteration:

while  $N_{UE} < S$  do

$$Cost_k = (A(P_k - P) + \beta(N - A(P_k + P))) \times AVE_k, \quad k \in \{1, \dots, K\} - U_{N_{UE}}$$

$$l = \arg \max_k (Cost_k)$$

$$N_{UE} = N_{UE} + 1$$

$$U_{N_{UE}} = U_{N_{UE}} \cup \{l\}$$

$$P = P \oplus P_l$$

end

end

그림 5. 제한한 사용자 할당 알고리즘

이득이다.  $k$ 번째 사용자에게 의해  $n$ 번째 부대역이 선택이 되면  $P_k$ 의  $n$ 번째 원소는 1이 되고, 아닐 경우 0이 된다. 또한, 선택된 사용자중 한 명이라도  $n$ 번째 부대역을 선택하였으면  $P$ 의  $n$ 번째 원소는 1이 되고, 아닐 경우 0이 된다. 수식 (5)를 이용하여 그림 5와 같이 사용자 선택을 할 수 있다.

그림 5에서  $U_{N_{UE}}$ 는 선택된 사용자의 집합이며,  $K$ 는 셀 안의 사용자 수를 나타내며,  $S$ 는 한 슬롯당 선택 가능한 최대 사용자의 수를 나타내며,  $\oplus$ 는 OR 논리연산을 나타낸다.

### 3.3 전력 할당, 변조 및 부호화 방식

위에서 할당된 사용자별 대역 할당을 통하여 기지국에서는 제한된 전력하에서 전송률을 최대화 할 수 있도록 사용자별 전력 할당과 변조 및 부호화 방식을 결정하여 데이터를 전송하여야 한다. 변조 및 부호화 방식과 전력 할당 방식을 결정할 경우, 각 대역별 다른 변조 및 부호화 방식을 선택하는 경우에는 부호 길이가 짧아지기 때문에 부호화 이득을 얻지 못하는 경우가 생기게 된다. 사용자별 하나의 긴 부호 길이의 부호를 사용하여 대역별 동일한 변조를 사용할 경우에는 부호의 길이가 길어지기 때문에 부호화 이득을 얻을 수 있지만, 동일한 변조 방식을 사용하여 전력 할당을 하기 때문에 다른 대역과 비교하여 채널이득이 좋지 않은 대역에 많은 전력을 할당하여 전력 손실을 가져오는 문제점을 안고 있다.

이러한 문제점들을 보완하기 위해서 본 논문에서는 사용자별 하나의 긴 부호 길이의 부호를 사용하여 각 대역별 다른 변조방식을 사용하여 전력 할당

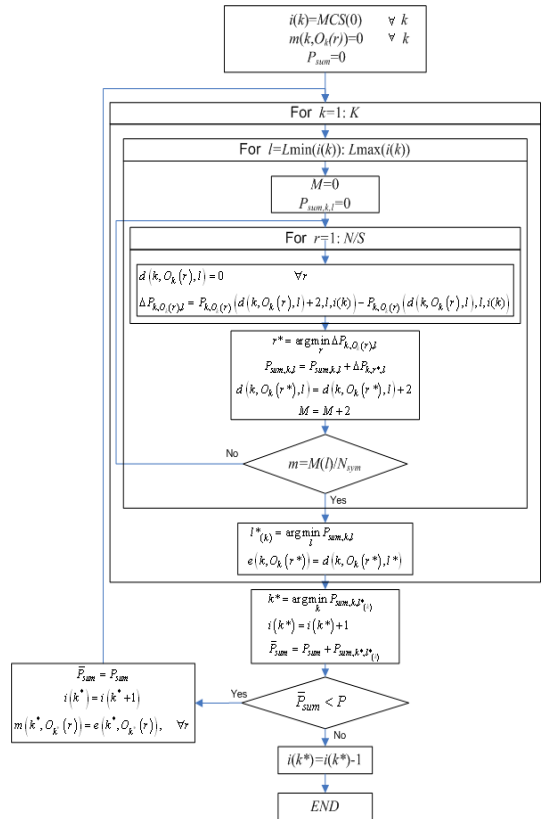


그림 6. 제한한 전력 할당, 변조 및 부호화 방법 순서도

을 하는 방식을 제안하였다. 그림 6에서는 제한한 방식에 대한 순서도를 나타내고 있다.  $i(k)$ 는  $k$ 번째 사용자의 정보 길이의 단위를 나타내며,  $Lmin(i(k))$ 는  $i$ 번째 정보길이를 사용하는 MCS 가운데 부호어 길이 인덱스의 최소치를 나타낸다.  $Lmax(i(k))$ 는  $i$ 번째 정보길이를 사용하는 MCS 가운데 부호어 길이 인덱스의 최대치를 나타내며,  $M(l)$ 은 부호어 길이 인덱스가  $l$ 일 때의 부호어 길이를 나타낸다.  $N_{sym}$ 은 한 슬롯당 심볼 수를 나타내며,  $O_k(r)$ 은  $k$ 번째 사용자의  $r$ 번째로 할당된 대역의 순서 위치를 나타낸다.

### 3.4 각 방식별 제한 정보량 비교

대역 할당 방법의 경우에는 기존의 방식인 전 대역 제한 시스템에서 각 사용자는 전 대역의 채널정보를 제한하나, [4]에서 제안한 일부 대역 제한 시스템은 선택된 부대역의 채널이득과 위치정보 그리고 각 사용자의 평균 채널이득을 제한한다. 본 논문에서 제안한 방식중 빈 대역을 추정하는 방법의 경우에는 기존의 일부 대역 채널정보를 제한하는 방식과 같은 량의 제한 비트가 필요하나, 제한 정보를

표 1. ITU Vehicular Channel A Mode.

지연시간(ms)	평균전력(dB)
0	0.0
310	-1.0
710	-9.0
1090	-10.0
1730	-15.0
2510	-20.0

표 2. 시뮬레이션 방식

	사용자 선택 방식	부대역 할당 방식
CDD	Cost Function	Direct Channel + Distance
ADD	Max. Average	Direct Channel + Distance
CMD	Cost Function	Mean + Distance
AMD	Max. Average	Mean + Distance
CMR	Cost Function	Mean + Random
AMR	Max. Average	Mean + Random

나누어 케환하는 방법의 경우에는 두 번째 케환시 데이터를 기지국과 주고 받는 실제 사용자만의 채널정보를 케환하기 때문에 셀 내의 사용자 수가 많아야 하면 [4]에서 제안한 방식보다 케환 정보량을 더 줄일 수 있다. 전 대역 채널 정보를 케환하는 시스템, [4]와 같은 일부 대역 정보를 케환하는 기존의 시스템, 그리고 케환정보를 나누어 케환하는 시스템의 케환 정보량을 각각  $N_{full}$ ,  $N_{conv}$ ,  $N_{prop}$ 라 하면 다음과 같이 주어진다.

$$N_{full} = N_{ch}NK \quad (5)$$

$$N_{conv} = (\lceil \log_2 N \rceil \times N_{par} + (N_{par} + 1)N_{ch})K \quad (6)$$

$$N_{prop} = (\lceil \log_2 N \rceil \times N_{par} + N_{ch})K + N_{par}N_{ch}S \quad (7)$$

여기서,  $N_{full}$ ,  $N_{conv}$ ,  $N_{prop}$ 는 전 대역 케환 시스템, [4]에서 제안한 일부 대역 케환 시스템, 본 논문에서 제안한 시스템의 케환 비트의 수를 나타내며,  $N_{par}$ 는 기지국으로 케환하는 일부 대역의 대역 수를 나타내며,  $N_{ch}$ 는 채널이득 정보를 나타내기 위한 비트의 수이다.  $N_{par}=8$ ,  $N=96$ ,  $K=28$ ,  $S=12$ ,  $N_{ch}=5$ 라고 할 때, 전 대역 케환 시스템의 비트수는 13440 비트이며, [4]에서 제안한 시스템과 제안한 시스템의 비트수는 각각 2828과 2188비트이다. 따라서, 본 논문에서 제안한 방식은 전 대역 케환 시스템과 [4]에서 제안한 시스템에 비하여 16%와 77%의 비트량만을 사용한다.

#### IV. 시뮬레이션 결과

아래의 시뮬레이션들은 표 1과 같은 ITU Vehicular Channel A 모델을 가정하였으며, 변조 방식은 전송하지 않을 경우, BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 5단계로 가정하였다. 각 사용자는 독립적이고 동등한 분포(i.i.d)의 페이딩을 겪고, 96개의 부대역중 8개의 부대역을 할당받으며, 기지국에서 선택하는 사용자의 수는 12명이다. 전체 대역의 채널정보를 케환하는 시스템(Full Channel Information Feedback System : FCIF)과 [4]에서 제안한 일부부대역의 채널정보와 전 대역의 평균 채널 정보를 케환하는 시스템(Partial and Average Information Feedback System : PAIF)을 비교하였다. PAIF의 경우에 빈대역 할당시 실제 채널이득이 평균 채널이득보다 작을 경우 목표 비트 오류율을 만족시키지 못하기 때문에 이 경우에는 전송 실패(transmission failed)로 간주하여 시뮬레이션을 하였다. 먼저, 케환 정보를 나누어 전송하는 부대역 할당 방식에 대해서 성능을 기존의 것과 비교한다.

제안한 시스템의 성능을 비교하기 위해서 표 2에서 보는 것과 같이 여러 가지 방법에 대해서 비교 분석 하였다.  $C_{xx}$ 와  $A_{xx}$ 는 식(4)의 비용함수와 평균 채널이득을 사용한 사용자 선택 알고리즘을 나타내며,  $xMx$ 와  $xDx$ 는 선택된 실제 채널이득 정보를 이용한 부대역 할당 방식과 이용하지 않은 부대역 할당 방식을 나타내며,  $xxD$ 와  $xxR$ 은 제안한 빈대역 할당 방식과 랜덤 빈대역 할당 방식을 나타낸다. CMD시스템 방식이 제안한 시스템 방식이다. 그림 7에서는 제안한 사용자 선택 알고리즘과 평균이 큰 사용자를 선택하는 알고리즘과의 성능을 비교해 보았다. 제안한 사용자 선택 방식( $C_{xx}$ )이 기존의 평균 채널이득을 사용하는 방식( $A_{xx}$ )에 비해서 조금 더 성능이 우수한 것을 알 수 있으며, 그림 8과 9에서 사용자의 수가 12명일 경우와 28명일 경우의 여러 방식의 시스템의 성능을 비교해 보았다. 채널의 위치정보와 평균 채널이득을 이용한 제안한 대역 할당 방식( $xMx$ )은 실제 채널이득정보를 이용하여 비교하는 방식( $xDx$ )에 비해 성능 열화가 없다는 것을 확인할 수 있으며, 제안한 빈대역 할당 알고리즘( $xxD$ )은 랜덤 빈대역 할당 알고리즘( $xxR$ )보다 성능이 더 좋은 것을 볼 수 있으며, 제안한 방식(CMD)은 전 대역 케환 시스템(FCIF)과 비교하여 성능 열화는 거의 없으며, 많은 케환 정보량을 줄일 수 있다. 또한, 제안한 방식은 [4]에서 제안한

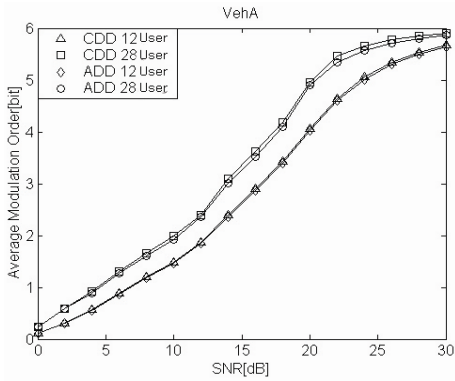


그림 7. CDD와 ADD 시스템의 평균 변조 차수

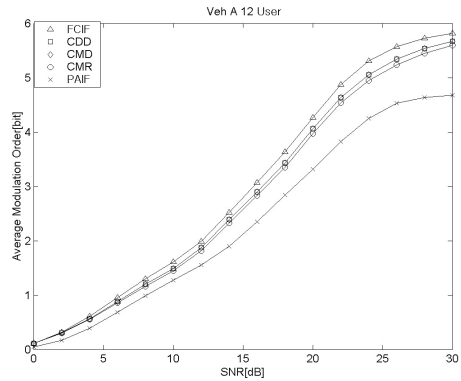


그림 8. 사용자가 12명 일 경우 적응 송신 방식의 평균 변조 차수

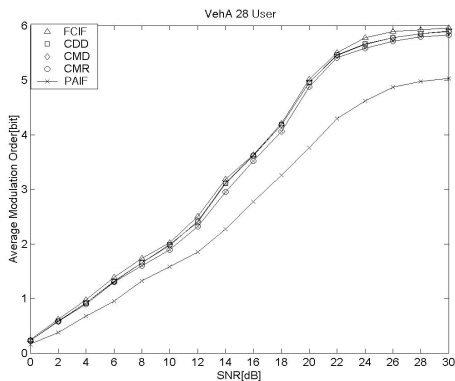


그림 9. 사용자가 28명 일 경우 적응 송신 방식의 평균 변조 차수

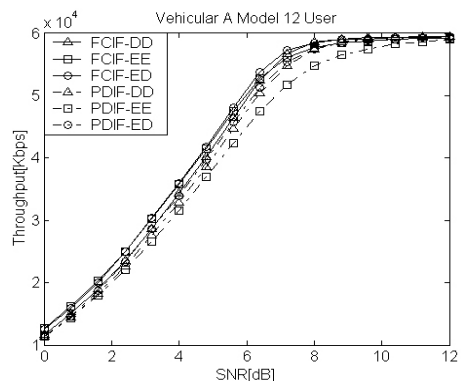


그림 10. 사용자가 12명 일 경우 적응 송신 방식의 평균 변조 차수

시스템(PAIF)보다 성능이 우수하며 제한 정보량 또한 줄일 수 있음을 확인하였다.

전력 할당과 변조 및 부호화 방식에서 본 논문에서 제안한 방식인 사용자별 하나의 긴 부호와 서로 다른 변조 방식을 사용하는 방식(Equal and Difference : ED)의 성능을 비교 분석해 보고자 한다. 표 3은 제안한 방식의 MCS(Modulation and Coding Set) 단위를 나타내며, 표 4와 표 5는 BER이  $10^{-3}$ 일 경우 MCS별 수신 SNR와 각 레벨별 부호어의 길이와 정보 길이를 나타낸다. 각 사용자별 할당된 대역별로 다른 부호화 및 변조 방식을 선택하는 경우(Difference and Difference : DD)와 사용자별 하나의 긴 부호 및 변조 방식을 선택하는 경우(Equal and Equal : EE)에는 표 3에 MCS 단위중에 밑줄 친 MCS 단위만을 사용하였으며, 대역별 다른 부호 및 변조방식을 선택하는 경우에는 부호의 길이가 한 사용자가 사용하는 모든 대역이 아니기 때문에 동일한 부호화율에 부호길이는 부대역수만큼 짧아진

다. 그림 10에서 보는 것과 같이 전 대역의 채널정보를 제한하는 경우에는 ED, EE, DD 방식 순으로 시스템의 성능이 열화되나, 일부 대역의 제한정보를 나누어 부대역 할당하는 방식을 선택하여 전력 할당과 변조 및 부호화 방식을 택할 경우 ED DD EE 순으로 확인할 수 있다. EE 방식은 동일한 변조 방식을 사용하기 때문에 전 대역의 채널정보를 제한하면 한 사용자가 할당받은 대역에서 각 대역별 채널이득이 비슷하므로 변조 방식 또한 비슷하기 때문에 부호 길이에 의한 부호화 이득으로 전 대역의 채널정보를 이용하여 대역할당 할 경우에는 EE의 성능이 DD의 성능보다 더 나은 것을 확인할 수 있다. 하지만, 제안한 대역할당방식의 경우에는 사용자별 할당된 빈 대역이 다른 할당된 대역의 채널이득과 차이가 날 수 있기 때문에 그에 따라서 동일한 변조 방식에 의한 전력 손실이 발생하여 EE의 성능이 DD보다 안 좋은 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안한 ED방식은 어느 대역 할당의

표 3. 제안한 방식의 변조 및 부호화 결합

MCS 단위	변조	부호어길이	정보길이	부호화율
MCS0	No Trans.	No Trans.	No Trans.	No Trans.
MCS1	No Trans 4-QAM 16-QAM 64-QAM	2048	736	0.36
MCS2		3072	736	0.24
MCS3		2048	1440	0.70
MCS4		3072	1440	0.47
MCS5		3072	2144	0.70
MCS6		4096	2144	0.52
MCS7		4096	2848	0.70
MCS8		5120	2848	0.56
MCS9		4096	3552	0.87
MCS10		5120	3552	0.69
MCS11		5120	4256	0.83
MCS12		6144	4256	0.69
MCS13		6144	4960	0.81

표 4. BER이 10<sup>-3</sup>일 경우 각 MCS 단위 별 SNR

MCS 단위	SNR(dB)
MCS0	-
MCS1	-0.3
MCS3	4
MCS6	8.2
MCS7	10.8
MCS9	13.7
MCS12	17
MCS13	18.4

방법에서도 가장 좋은 성능을 얻을 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는, 제한된 전력 하에서 일부 대역의 채널정보를 케환하여 케환 정보량을 줄이면서 전송률을 최대화 할 수 있는 대역 할당 방식, 전력 할당과 변조 및 부호화 방식에 대해서 제안하였으며 성능을 비교 분석해 보았다. 대역 할당 방식의 경우에는 케환 정보를 나누어 전송하는 방법에 대해서 제안하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 전 대역 채널 정보를 케환하는 시스템에 비해서 성능 열화가 거의 없으면서 많은 량의 케환 정보를 줄일 수 있는 것을 확인하였다. 전력 할당과 변조 및 부호화 방식에서는 여러 방식 중에 전 대역 할당 시스템과 제안한 대역 할당 시스템 모두에서 우수한 성능을 얻을 수 있는 전력 할당과 변조 및 부호화 방식을 제안하였다.

표 5. 부호어 길이와 정보 길이 레벨

<i>l</i>	부호어길이	<i>i</i>	정보길이
1	2048	1	736
2	3072	2	1440
3	4096	3	2144
4	5120	4	2848
5	6144	5	3552
		6	4256
		7	4960

### 참고 문헌

- [1] C.Y. Wong, R.S. Cheng, K.B. Letaidf and R.D. Murch, "Multiuser OFDM with adaptive sub-carrier, bit and power allocation," *IEEE J. Select Areas Commun.*, vol. 17, pp. 1747-1758, October 1999.
- [2] J. Jang and K.B. Lee, "Transmit power allocation for multiuser OFDM system," *IEEE J. Select Area Commun.*, vol. 21, pp. 171-178, February 2003.
- [3] D. Kivanc, G. Li, and H. Kiu, "Computationally efficient bandwidth allocation and power control for OFDMA," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 2, pp. 1150-1158, November 2003.
- [4] Z.H. Ham and Y.H. Lee, "Opportunistic scheduling with partial channel information in OFDMA/FDD systems," *IEEE Vehic. Technol. Conf.(VTC)*, vol. 1, pp. 511-514, September 2004.
- [5] T.M Cover and J.A. Thomas, *Elements of Information Theory*, Wiley, New York, NY 1991.
- [6] A.J. Goldsmith and S.G. Chua, "Adaptive coded modulation for fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, pp. 595-602, May 1998.
- [7] J.G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw Hill, NY, 2001.
- [8] IEEE P802.16e/D8 *IEEE Standard for Local and Metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems*, May 2005.



