

# H-ARQ가 적용된 OFDMA 기반 연접할당자원에 대한 전송률 향상을 위한 채널 할당 방법

## Channel Allocation Method for OFDMA Based Contiguous Resources Units with H-ARQ to Enhance Channel Throughput

김상현\*, 정영호\*

Sang-Hyun Kim\*, Young-Ho Jung\*

### 요 약

인접한 OFDMA 부반송파를 그룹으로 자원을 할당하는 연접할당자원 전송은 IEEE 802.16e/m을 포함한 최근의 다양한 이동통신시스템에서 사용되고 있다. 한 사용자에게 2개 이상의 서로 다른 신호 대 잡음 비를 갖는 연접할당자원이 스케줄러에 의해 할당되고, 해당 사용자는 할당된 채널을 이용하여 복수의 독립된 패킷 스트림을 H-ARQ 전송하는 경우, 재전송 패킷과 신규 전송 패킷을 각각 어떤 채널에 할당하는가에 따라 전송률이 달라진다. 본 논문에서는 상기 문제에 대한 최적 채널 할당 방식을 살펴보고, 최적 할당 방식의 복잡도를 낮출 수 있는 준 최적 할당 방법을 제시하였다. 또한 이에 대한 실험적 성능 분석을 통해 초기전송에 우선하여 우수한 채널을 할당하는 준 최적 방식을 적용할 경우 최적 할당 방식의 복잡도를 대폭 낮추면서도 최적 할당 방식에 근접하는 성능을 얻을 수 있음을 보였다.

### Abstract

CRU (contiguous resource unit) composed of adjacent OFDMA subcarriers is popularly adopted for recently developed cellular communication standards, e.g. IEEE 802.16e/m. If multiple CRUs having different SNR are assigned to a mobile station, and multiple packet streams are independently transmitted by using H-ARQ transmission, an achievable data rate can be varied according to the channel allocation method of re-transmission packets and new transmission packets. In this paper, the optimum channel allocation method for the above stated problem, and several sub-optimum channel allocation methods to reduce the computational complexity of the optimum allocation method are proposed. According to the simulation results, a sub-optimum allocation method assigning a CRU having good SNR to new transmission packet shows marginal performance loss compared with optimum method, however, the computational complexity can be significantly reduced.

Key words : band-AMC, Contiguous Resource Unit(연접할당자원), 스케줄러 (scheduler), H-ARQ, OFDMA

### I. 서 론

OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 시스템에서 인접한 여러 개의 부반송파를 하

\* 한국항공대학교 정보통신공학과(Department of Information and Telecommunication Engineering, Korea Aerospace University)

· 제1저자 (First Author) : 김상현

· 교신저자 (Corresponding Author) : 정영호

· 투고일자 : 2011년 5월 9일

· 심사(수정)일자 : 2011년 5월 9일 (수정일자 : 2011년 6월 10일)

· 게재일자 : 2011년 6월 30일

나의 그룹으로 할당하는 자원은 IEEE 802.16e [1] 시스템에서는 band-AMC 채널, 802.16m [2] 시스템에서는 CRU (Contiguous Resource Unit) 라는 이름으로 설계되거나 이용되어, 주파수 선택적 페이딩에 따른 다수 사용자 이득을 얻을 수 있도록 각 사용자에게 할당된다 (본 논문에서는 통칭하여 CRU 채널로 부르기로 함). 하나의 단말이 복수개의 데이터 스트림을 동시에 전송할 수 있는 경우, 스케줄러에서는 각 사용자별로 어떠한 채널을 할당할지와, 할당된 채널 중 어느 자원을 어떠한 패킷에 할당할지를 정해야 한다.

이중 첫 번째 단계는 일반적인 스케줄링 문제로서, 흔히 각 사용자별로 이미 전송 성공한 패킷 양과, 현재의 채널을 고려하여 사용자별로 할당하는 비례 공정 (PF: Proportional Fair) 스케줄러를 비롯하여 OFDMA 시스템에서 공정성과 효율을 적절히 절충할 수 있는 스케줄링 방식에 대한 연구가 많이 있었다 [3]-[5]. 두 번째 단계인 각 사용자별로 할당된 채널을 각각 어떤 패킷 스트림에 할당할지에 대한 문제는 지금까지 고려된 바가 없었다. OFDMA 시스템에서 전 주파수 대역에 넓게 퍼져 있는 부반송파를 모아서 할당하는 IEEE 802.16e 시스템의 PUSC (Partially Used Sub-Carrier) 채널과 같은 다이버시티 자원이나, IEEE 802.16m 시스템의 DRU (Distributed Resource Unit)의 경우에는 복수개의 채널이 한 단말에 할당되더라도 SNR (signal to noise ratio) 차이가 크지 않으므로, H-ARQ (Hybrid Automatic Repeat reQuest) 전송 시 재전송 패킷과 신규 전송 패킷이 어느 자원에 할당되더라도 성능차가 크지 않다. 하지만 각 단말에 복수개의 CRU가 할당되고, 이를 이용하여 H-ARQ 방식으로 전송되는 해당 채널 개수 만큼의 독립적인 패킷 전송 스트림이 존재하는 문제를 고려하면 각 CRU의 SNR이 차이가 크므로, 이러한 개별 사용자별 채널 할당 문제가 중요해진다. 예를 들어 2개의 패킷과 SNR이 다른 두 개의 CRU 채널이 있을 때, 재전송 패킷을 우수한 채널에 할당 할 수도 있고, 신규 전송 패킷을 우수한 SNR을 갖는 채널에 할당할 수도 있으며, 이러한 할당 방법에 따라 기대 전송률이 달라지게 된다.

본 논문에서는 특정 단말이 패킷 전송에 이용할 수 있는 복수개의 CRU 채널이 할당된 상황에서, 그

할당받은 자원의 전송효율을 최대화하는 H-ARQ 재전송 상태에 기반한 다양한 채널 할당 방식의 성능을 비교하고, 최적 할당 방식의 성능에 근접하는 저 복잡도 채널할당 방식을 제안한다. 구체적으로 채널 상태를 기반으로 최적의 전송효율을 얻을 수 있는 최적 할당 방식과, 재전송 패킷에 가장 좋은 채널을 할당하는 재전송 우선 방식, 초기전송 패킷에 가장 좋은 채널을 할당하는 초기전송 우선 방식과 랜덤하게 채널을 할당하는 방식을 비교하였고, 이 중 초기전송 패킷에 우수한 채널을 우선할당 하는 방식이 저 복잡도로 최적 할당 방식에 근접하는 성능이 보임을 모의 실험을 통해 확인하였다.

## II. 복수개의 CRU 채널을 이용하여 복수개의 H-ARQ 전송스트림을 송신하는 시스템 모형

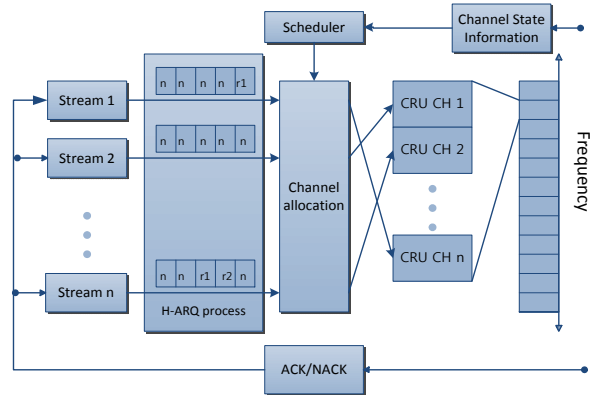


그림 1. 본 논문에서 고려하는 시스템 모형 (그림에서  $n$ 은 신규 패킷 전송,  $r_i$ 는  $i$ 번째 재전송을 의미함)  
Fig. 1. System model considered in this paper (in the figure,  $n$  means new transmission, and  $r_i$  means  $i$ -th re-transmission)

서론에서 언급한 바와 같이 본 논문에서 고려하는 시스템의 모형은 그림 1과 같다. 각 사용자별로 전송하고자 하는 패킷 스트림이 복수 개 있는 경우, 스케줄러에서는 채널 상태와 각 사용자별 기 전송 패킷량을 고려해서 요구하는 복수개의 패킷 중 몇 개의 패킷에 대한 전송을 할 수 있는 몇 개의 자원을 할당할 것인지와 (그림의 경우  $n$ 개), 어떠한 채널을 해당 사용자에게 할당할지를 (그림의 경우 CH1, CH2, CHn)

결정하게 된다. 스케줄러의 할당 결과에 따라 n개의 서로 다른 H-ARQ 프로세스에 따라 전송될 패킷이 구성되는데, 전송한 패킷의 디코딩 성공 여부에 따라 수신기에서 피드백 하는 ACK/NACK 결과에 따라 새로운 패킷을 전송하거나 (n), 미리 정해진 최대 재전송 횟수 내에서 재전송하게 된다 (ri). 본 논문은 그림 1의 채널 할당기의 할당 방법에 대한 내용을 다루게 된다. 복수개의 H-ARQ 프로세스에 따른 재전송, 신규 전송 상태와, 할당 받은 채널의 채널 상태 정보에 따라 어떤 스트림을 어떤 채널에 할당하는가에 따라 사용자의 전송용량이 달라지게 되고, 낮은 계산량으로 최적 채널 선택기의 성능에 가까운 용량을 얻을 수 있는 채널 할당 알고리즘을 개발하는 것이 목적이다.

III. 복수개의 CRU 채널에 대한 H-ARQ 패킷 할당 알고리즘

X(1,1) = 3	X(1,2)=5
X(2,1) = 9	X(2,2) = 6

그림2. 패킷 스트림과 할당받은 채널이 각각 2개인 경우 최적화 방식의 채널할당 예

Fig. 2. An example of optimum channel allocation method (N=2)

본 논문에서는 복수의 CRU 채널에 대한 H-ARQ 패킷 할당 알고리즘으로 초기전송 우선, 재전송 우선 및 최적화 채널 할당 방식과 랜덤 할당 방식을 다루었다. 초기전송 우선 알고리즘에서는 초기전송 패킷에 좋은 채널을 할당하기 때문에 처음 선택되는 MCS (modulation and coding scheme) 레벨이 높아져서 전송률도 따라서 증가하는 장점이 있지만, 송신 오류가 발생하여 재전송 패킷이 발생하였을 때는 초기전송 시 높게 결정된 MCS 레벨이 재전송 패킷에

대해서도 똑같이 적용되고 채널도 상대적으로 나쁜 채널이 할당되기 때문에 재전송 패킷의 전송오류 확률도 높아지게 되는 단점이 있다. 하지만 재전송 패킷에 대해서는 식 (1)과 같이 Chase combining 방식으로 최초전송 포함 p번 전송되었다면, n번째 채널의 SNR은 다음과 같이 재전송 횟수가 증가함에 따라 증가하게 되므로 재전송 패킷에 좋지 않은 채널을 할당함으로써 인한 손실이 줄어들게 된다.

$$SNR(n) = \sum_{i=1}^p SNR_i(n) \tag{1}$$

다음으로 재전송 우선 알고리즘에서는 재전송 패킷에 좋은 채널을 할당하기 때문에 재전송 패킷의 오류 발생 확률이 줄어들게 되고, 재전송 패킷의 오류로 최대 전송 횟수를 초과할 때 발생하는 패킷 손실이 일어나는 경우도 줄어드는 장점이 있지만, 초기전송 패킷에 대해 상대적으로 좋지 않은 채널을 할당하기 때문에 초기 MCS 레벨이 낮게 결정되어 전체적인 전송률이 감소하는 단점이 있다.

마지막으로 최적화된 방식으로 채널 할당을 하는 방식은 주어진 스트림과 채널의 모든 가능한 쌍에 대해서 기대 전송률을 비교하여 기대 전송률이 가장 높은 경우를 선택하는 방식이다. 예를 들어 사용자의 스트림이 2개이고, 할당받은 채널이 2개인 경우 그림 2의 예를 이용하여 설명하면 다음과 같다. 여기서 X(1,1)은 스트림 1에 채널 1이 할당된 경우, X(2,1)은 스트림 2에 채널 1이 할당된 경우, X(1,2)는 스트림 1에 채널 2가 할당된 경우, X(2,2)는 스트림 2에 채널 2가 할당된 경우의 전송률을 나타낸다. 이 경우에는 스트림 1에 채널 2을 스트림 2에 채널 1을 할당했을 경우에 전송률의 합이 14로, 스트림 1에 채널 1을 스트림 2에 채널 2를 할당했을 경우의 전송률의 합인 9보다 크기 때문에 앞의 경우와 같이 채널을 할당하는 것이 최적이다.

패킷 스트림 i를 채널 j에 할당 할때의 기대 전송률 X(i,j)는 식 (2)와 같이 j번째 채널을 할당하여

$$X(i,j) = \left\{ 1 - FER_{k(i)} \left( \sum_{r=1}^{n(i)-1} SNR_r(i) + SNR(j) \right) \right\} R_{k(i)} \tag{2}$$

연을 수 있는 누적 SNR에 대응되는 기대 디코딩 성공 확률에,  $i$ 번째 스트림의 전송률을 곱하여, 구할 수 있다. 식 (2)에서  $k(i)$ 는  $i$ 번째 패킷 스트림의 선택된 MCS,  $n(i)$ 는  $i$ 번째 패킷 스트림의 전송 회수,  $FER_{k(i)}(SNR)$ 은 주어진 SNR 값에서 MCS  $k(i)$ 의 프레임 오류율,  $SNR_r(i)$ 는  $i$ 번째 패킷 스트림에 대한  $r$ 번째 전송에서 선택된 채널의 SNR,  $SNR(j)$ 는 CRU 채널  $j$ 의 SNR,  $R_{k(i)}$ 는 MCS  $k(i)$ 의 유효 전송률이다. 이렇게 구한 모든  $X(i, j)$ 를 이용하여, 기대 전송률을 최적화 하는 조합을 선택하는 (3)과 같은 최적화 문제에 대한 해가 최적 채널 할당 방법이다.

$$\begin{aligned} \max \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \rho(i, j) X(i, j) \quad (3) \\ \text{subject to } \sum_{j=1}^N \rho(i, j) = 1, \\ \sum_{i=1}^N \rho(i, j) = 1, \\ \rho(i, j) \in 0, 1 \end{aligned}$$

여기서  $\rho(i, j)$ 는  $j$ 번째 채널에  $i$ 번째 패킷 스트림이 할당되는 경우 1이고, 할당되지 않는 경우는 0의 값을 갖는 지시자이고, (3)식의 제약조건은 하나의 패킷 스트림에는 하나의 채널만 각각 할당된다는 제약조건이다. 최적화 채널 할당 방식은 전송할 패킷에 최적화된 채널을 할당하게 되므로 전송률 또한 최적화 되는 장점이 있지만, 모든 조합에 대한 기대 전송률을 계산해야 하므로, 스케줄러의 계산량이 큰 문제가 있다.

각 채널 할당 방식의 복잡도를 기대 전송률을 계산해야 하는 회수를 기준으로 비교하면 다음과 같다. 시스템에서 패킷 스트림과 채널 개수가 각각  $N$ 개이고 초기전송일 확률이  $P_1$ 이라 할 때, 초기전송 우선과 재전송 우선방식은 초기전송 패킷에 대해서만 MCS 레벨을 결정해주고, 재전송의 경우는 이미 전송 MCS가 결정되어 있기 때문에  $NP_1$ 의 복잡도를 갖게 되어 스트림의 수와 복잡도가 비례하여 증가하게 되지만, 최적화 방식은  $N$ 개의 스트림과 채널에 대한 모든 할당 조합에 대하여 기대 전송률을 계산해야 하

므로  $N^2$ 의 복잡도를 갖게 된다. 따라서 스트림의 숫자가 증가할 때 최적화 방식이 초기전송 우선과 재전송 우선방식에 비해서 복잡도가 크게 증가하게 된다. 더욱이 최적화 방식에서는  $N^2$ 의 복잡도로 구해진 기대 데이터 율들을 조합하여 모든 조합 후보들 중에서 가장 큰 값을 선택해야 하므로 비교 과정을 위한 추가적인 계산량을 필요로 한다. 그 추가적인 계산량은 단순히 계산했을 때는  $M$ 회의 비교가 필요하나, Hungarian method를 사용하면 [6],  $N^3$ 의 복잡도로 줄일 수 있어 모든 가능한 조합에 대한 비교 계산을 하는 것에 비해서는 복잡도를 크게 줄일 수 있다.

#### IV. 모의실험 및 결과분석

이 장에서는 복수개의 패킷 스트림에 SNR이 다른 복수의 CRU를 할당할 경우에 대해서 초기전송 우선 할당, 재전송 우선 할당, 최적화 할당 및 랜덤 할당 방식에 따른 대역효율(spectral efficiency) 비교를 통하여 각 방식에 따른 성능을 살펴보고, 각 방식의 상대적인 복잡도도 비교해 본다. 본 모의실험에서 사용된 MCS 표 및 H-ARQ 전송 관련 파라미터는 표 1과 같다.

표 1. 모의 실험 조건

Table1. Parameters for simulation

H-ARQ type	Chase combining
MCS	BPSK 1/2
	QPSK 1/2
	16QAM 1/2
	64QAM 1/2
target PER	10 %

그림 3은 스트림이 2개인 경우에 채널의 평균 SNR 값에 따른 각 재전송 패킷 채널할당 방식들의 전송효율을 나타낸 그림으로 각 CRU의 채널 이득 값은 서로 독립인 정규분포를 따른다고 가정하였다. 초기전송 패킷에 좋은 채널을 할당하는 초기전송 우선 방식이 최적화 할당 방식에 비해 미미한 성능저하만 있는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 재전송 패킷에 좋은 채널을 할당하는 재전송 우선 방식은 임의로 채널을 할당하는 랜덤 할당 방식보다도 성능이 떨어짐

을 확인할 수 있다. 그림 4는 스트림이 3개인 경우에 채널 할당 방식에 따른 전송효율을 나타낸 것으로 스트림이 2개인 경우와 경향이 크게 다르지 않음을 확인할 수 있다.

그림 5는 각 방식들의 기대전송률 계산 회수를 기준으로 각 할당방식의 복잡도를 비교한 그림으로 그림을 살펴보면 최적화 방식이 초기전송 우선 방식과 재전송 우선 방식에 비해서 스트림 수가 증가함에 따라 복잡도가 크게 증가함을 확인할 수 있다. 따라서 초기전송 우선 할당방식은 계산복잡도를 최적 할당 방법에 비해 크게 낮출 수 있는 부 최적 방식이면서, 성능은 최적할당방식에 근접하게 얻을 수 있는 유용한 방법임을 알 수 있다.

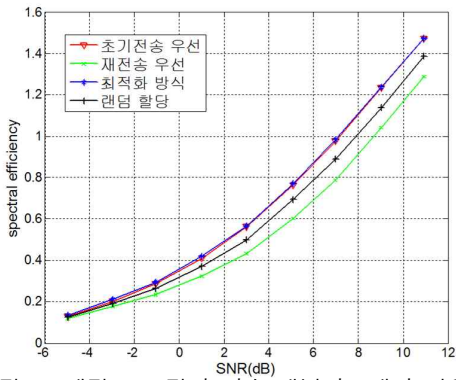


그림 3. 패킷 스트림과 전송 채널이 2개인 경우 채널 할당 방법에 따른 전송률 비교

Fig. 3. Comparison of spectral efficiency according to the channel allocation methods (N=2)

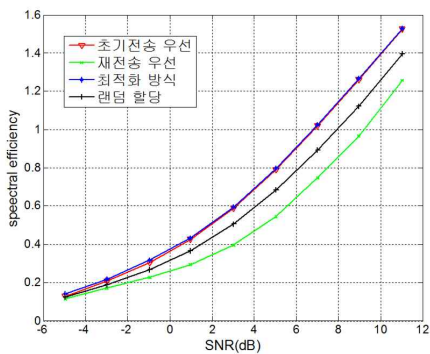


그림 4. 패킷 스트림과 전송 채널이 3개인 경우 채널 할당 방법에 따른 전송률 비교

Fig. 4. Comparison of spectral efficiency according to the channel allocation methods (N=3)

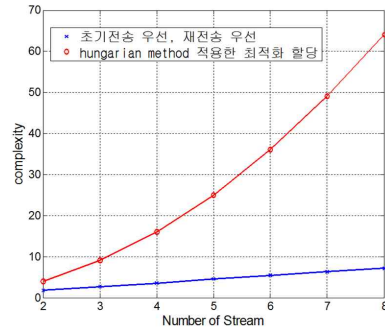


그림 5. 할당방식별 계산 복잡도 비교 (기대전송률 계산 회수)

Fig. 5. Comparison of computational complexity according to the channel allocation methods (computation of expected data rates)

### V. 결 론

본 논문에서는 서로 다른 채널 SNR을 갖는 복수개의 채널을 이용하여 복수개의 패킷을 H-ARQ 재전송하는 경우 효과적인 채널 할당 방법을 비교하였다. 임의 할당, 초기전송 우선, 재전송 우선, 최적화 할당하는 방식들에 대하여 모의실험을 통한 성능비교와 복잡도 비교 결과 초기전송 우선 할당방식이 낮은 복잡도로 최적 할당방식에 근접하는 성능을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 경기도지역협력연구센터(GRRC) 프로그램에 의해 한국항공대학교 차세대방송미디어기술 연구센터의 지원으로 수행되었음 (GRRC항공 2010-A01).

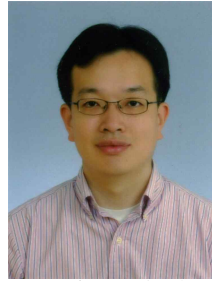
### 참 고 문 헌

[1] *IEEE Std. 802.16e-2005*, "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems", Feb 2006  
 [2] *IEEE Std 802.16m D12*, "Amendment to IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks

- Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems - Advanced Air Interface", Mar. 2011.

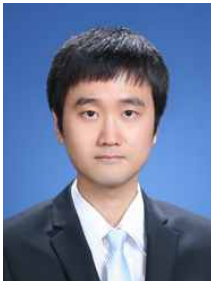
- [3] 김동철, 신현준, 홍인기, "OFDMA 시스템에서 AMC를 위한 전력할당 방식에 관한 연구", *한국항공학회논문지*, 제 9권 2호, 2005. 12.
- [4] 박정식, 조호신, "OFDMA 시스템에서 실시간 트래픽 전송을 위한 효율적 스케줄링 기법", *한국통신학회논문지*, 32권 제 1호, 2007. 1.
- [5] 기영민, 김동구, "TDD OFDMA 하향링크에서의 수율 공평성과 서비스 커버리지 보장을 위한 패킷 스케줄러 연구", *한국통신학회논문지*, 30권 7A호, 2005. 7.
- [6] H. W. Kuhn, "The Hungarian method for the assignment problem", *Naval. Research. Logistic. Quarterly.*, pp. 83-97, 1955.

정 영 호 (丁英鎬)



1998년 2월 : KAIST 전기 및 전자공학과 (공학사)  
 2000년 2월 : KAIST 전자전산학과 (공학석사)  
 2004년 2월 : KAIST 전자전산학과 (공학박사)  
 2004년 2월 ~ 2006년 2월 : 삼성  
 종합기술원 전문연구원  
 2006년 3월 ~ 2007년 8월 : 삼성전자 책임연구원  
 2007년 9월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보  
 통신공학부 조교수  
 관심분야 : 이동통신/이동방송 시스템, 단말 간 직접통신,  
 통신 신호처리 등

김 상 현 (金相賢)



2010년 2월 : 한국항공대학교 정보  
 통신공학과 (공학사)  
 2010년 3월~현재 : 한국항공대학교  
 정보통신공학과 (석사과정 재학중)  
 관심분야 : 이동통신 시스템, 통신  
 신호처리