

다중 사용자 OFDMA 시스템에서 제한 정보량을 줄이기 위한 부대역 할당 알고리즘

권중형, 이두호, 변일무, 김광순, 황금찬
연세대학교 전기전자공학부

Sub-band Allocation Algorithm for Reducing Feedback Information Rate for Multiuser OFDMA System

Jung Hyoung Kwon, Duho Rhee, Il Mu Byun,
Kwang Soon Kim, and Keum Chan Whang

Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University

E-mail : {mercury628, dh.rhee, dlfan, ks.kim, kcwhang}@yonsei.ac.kr

Abstract

In this paper, we investigate the method for reducing the amount of feedback in multi-user downlink orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) systems. The objective is to maximize the total throughput of the system under the constraints of transmit power. In previous methods, each user in a cell transmits channel quality information (CQI) of its all sub-bands to the base station, which requires extremely high feedback overhead. Thus, we propose an efficient sub-band allocation algorithm 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.

I. 서론

사용자들의 새로운 서비스에 대한 요구를 만족시키기 위해서, 3G (generation) 무선 이동 통신의 진화 노력과 더불어 주목해야 할 것은 3G 이후의 시스템을 위한 기술 개발과 표준화이다. 현존하는 시스템과 진화하는 시스템들이 항상

최적으로 연결된 형태로 패킷 기반상에서 통합된 형태가 그 하나이며, 새로운 무선 인터페이스를 갖는 무선 접속 시스템으로 새로운 이동 액세스와 새로운 로컬 영역 무선 액세스 기술에 의해 제공되는 형태가 또 다른 하나이다. 이러한 고속의 데이터 전송 속도를 만족시키고 효율적인 멀티미디어 서비스를 제공하기 위하여 다중화 접속 기법은 현재의 이동 시스템보다 더욱 더 주파수 효율적이고 유연한 형태로 주파수 선택적인 광대역 신호에 적용되어야 한다.

여러 가지 다중 접속 방식 가운데 OFDMA 방식은 주파수 선택성 페이딩 채널을 겪는 주파수 대역에서 채널이득이 가장 큰 사용자에게 각각의 주파수 대역을 할당할 수 있는 장점을 가지고 있다 [1]-[3]. 기존의 연구에서는 기지국에서 모든 사용자의 전체 대역의 채널 상태 정보를 알고 있으며, 이러한 채널 상태 정보를 바탕으로 기존에는 제한된 전송률 하에서 전체 전력을 최소화할 수 있는 기법 [1][3]과, 제한된 전력하에서 전송률을 최대화할 수 있는 기법 [2]인 준 최적 방식이 제안되었다. 하지만, 이러한 기존 방식들은 많은 계산량으로 인하여 시스템의 복잡성이 크며, 제한 정보량이 많기 때문에 제한 오버헤드가 매우 크다는 문제점을 가지고 있으며, 이러한 문제점으로 인하여 고속 이동성과 큰 주파

본 논문은 한국전자통신연구원(ETRI)의 지원하에 이루어졌음.

수 선택성을 지원해야 하는 차세대 이동통신 시스템에서 사용하기에는 적합하지 않다. 따라서 퀘환 정보량을 줄이기 위하여 모든 사용자가 전체 대역의 정보가 아닌 일부 대역의 채널정보와 전 대역의 평균값을 부가 채널정보로 전송하는 방식이 제안되었다 [4]. 위의 방식은 할당되지 않은 대역에 대하여 부가 채널정보인 전체 대역의 평균값을 채널정보로 사용하는 방식이나, 만약 실제 채널의 크기가 평균값보다 작을 경우 목표 비트 에러율 (BER)을 만족하지 못하는 경우가 발생하여 패킷 손실이 발생한다.

이 논문에서는 다중 사용자 OFDMA 시스템을 고려하였으며 두가지의 제한 조건을 두었다. 첫 번째는 기지국의 전체 전송 전력에 제한을 두었으며, 두번째는 [6]과 같은 실질적인 물리계층 구조를 염두에 두고 각 사용자별로 할당되는 부대역의 수를 일정한 수로 정해두었다. 일부 대역의 채널정보를 퀘환하는 경우 빈 대역의 채널정보를 알지 못하기 때문에 빈 대역의 채널정보에 의한 변조와 전력 할당을 할 수 없으므로, 본 논문에서는 부가 채널정보로 목표 비트 오류율을 만족시키면서 빈 대역의 채널의 정보를 추정할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 방식은 기존에 제안된 방식 [4]와 퀘환 정보량은 동일하며 목표 비트 오류율을 만족시킬 경우 더 나은 시스템의 성능을 얻을 수 있다.

본 논문은 II 장에서 시스템 모델에 대해서 설명하였으며, III 장에서는 본 논문에서 제안한 부대역 할당방식에 대한 알고리즘을 설명하였다. IV 장에서는 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 비교 분석하였으며, 마지막으로 V 장에서는 결론을 기술하였다.

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 개이다. 한 사용자만이 한 개의 부대역을 할당받을 수 있으며, 각 사용자는 독립적인 페이딩 채널을 겪고 이때의 k 번째 사용자의 n 번째 부대역의 채널이득은 $H_{n,k}$ 로 나타내며, n 번째 부대역 내의 부반송파의 크기의 최소값이 된다. k 번째 사용자의 n 번째 부대역의 수신 신호대 잡음비(SNR)은 $\gamma_{k,n} = p_{k,n} |H_{k,n}| / N_o$ 으로 정의되며, 여기서 $p_{k,n}$ 은 k 번째 사용자의 n 번째 부대역의 송신전력을 나타내며, N_o 는 부가 백색 가우시안 잡음의 단방향

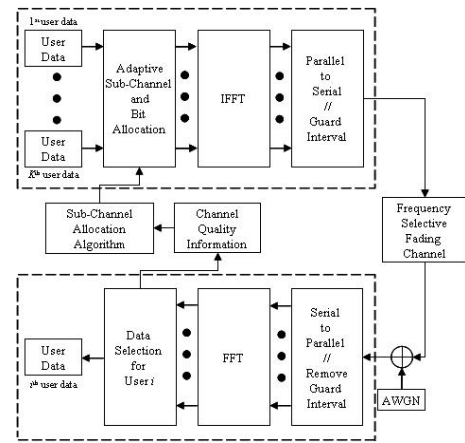


그림 1. 제안한 다중사용자 OFDMA 시스템 구조

(single-sided) 전력 스펙트럼 밀도 함수이다. 만약 목표 비트 오류율이 정해진다면, 비트 오류율을 수신 신호대 잡음비인 $\gamma_{k,n}$ 의 함수로 아래와 같이 나타낼 수 있다 [5].

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

여기서, $q_{k,n}$ 은 n 번째 부대역에 할당된 비트의 수를 나타내며, 위의 수식 (1)을 비트수에 대해서 정리하면,

$$q_{k,n} = \log_2\left(1 + \frac{\gamma_{k,n}}{\Gamma}\right) \quad (2)$$

와 같이 나타낼 수 있다. 그러면, 전체 시스템의 전송률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Q = \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} \frac{Mq_{k,n}}{T} = \frac{\rho B}{N} \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N c_{k,n} \log_2\left(1 + \frac{\gamma_{k,n}}{\Gamma}\right) \quad (3)$$

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

$$\begin{aligned} \text{i) } & \sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N p_{k,n} \leq P, & p_{k,n} > 0, \\ \text{ii) } & \sum_{k=1}^K c_{k,n} = 1, & \forall n, \end{aligned}$$

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

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

III. 제안하는 방식

하향링크 OFDMA 시스템에서, 기지국에서 모든 사용자의 전체 대역의 채널 상태 정보를 알 경우, 가장 채널이득이 좋은 부대역을 가지는 사용자에게 할당하는 방식이 최적화 방법이다. 하지만 한 사용자가 기지국으로 일부 대역의 채널정보를 반환하면 기지국은 사용자들로부터 모든 대역의 채널정보를 얻을 수 없다. 그렇게 되면 빈 대역이 생기며, 시스템의 전송률은 감소한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 [4]에서 제안한 시스템에서는 평균 채널정보가 가장 큰 사용자에게 빈 대역을 할당하게 된다. 그러나 이럴 경우 목표 비트 오류율을 만족하지 못하게 되며, 이러한 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 이웃하는 대역의 채널정보의 차이의 최대치를 부가 채널정보로 반환하여, 부가 채널정보를 이용하여 빈 대역의 채널정보 추정하여 사용자에게 할당한 후 기지국에서는 할당된 채널의 채널정보를 이용하여 전력과 변조 방식을 결정한다. 본 논문에서는 빈 대역이 발생하여 시스템의 성능을 시키는 문제점을 해결하기 위해서 식 (4)와 같이 이웃하는 대역의 채널정보의 차이의 최대값을 부가 채널정보로 기지국으로 반환하는 방식을 제안하였다.

$$D_k = \max(|H_{k,1} - H_{k,2}|, |H_{k,2} - H_{k,3}|, \dots, |H_{k,N-1} - H_{k,N}|) \quad (4)$$

각 사용자들은 선택된 일부 대역의 채널정보와 식 (4)에서 선택된 부가 채널정보를 기지국으로 반환하며, 기지국에서는 반환된 각 사용자의 채널정보를 이용하여 채널정보가 가장 큰 사용자에게 대역을 할당한다. 그림 2에서 초기 부대역 할당 방식의 알고리즘을 설명하였다. $ChAl_i$ 는 i 번째 대역의 모든 단말기들의 채널정보 중에서 가장 큰 채널정보를 나타내며, C_k 는 k 번째 단말기가 할당받은 대역을 나타낸다. 초기 부대역 할당 후, 제한 조건 iii)을 만족하지 못한 사용자에게 기지국은 빈 대역을 할당한다. 빈 대역을 할당하는 쉬운 방법은 랜덤하게 할당하는 방법이다. 그러나 부가 채널정보로 반환한 이웃하는 대역의 채널정보의 차이의 최대값을 이용하여, 반환된 일부 대역의 채널정보와 빈 대역간의 거리의 차이로 빈 대역의 채널정보를 추정할 수 있다. 위

에서 설명한 방식의 세부적 알고리즘은 그림 3에서 설명되

Iteration:

for $i=1:N$

$$ChAl_i = \max_k (H_{k,i})$$

$$k' = \arg \max_k (H_{k,i})$$

$$C_{k'} = C_{k'} \cup \{i\}$$

end

end

그림 2. 초기 부대역 할당 알고리즘

Iteration:

for $i=1:N$

if $ChAl_i = 0$

for $k=1:K$

$$E_{k,i} = \max_j (CH_k(j) - \alpha_{k,i}(j)D_k)$$

end

$$ChAl_i = \max_{k, \#C_k < c} (E_{k,i})$$

$$k' = \arg \max_{k, \#C_k < c} (E_{k,i})$$

$$C_{k'} = C_{k'} \cup \{i\}$$

end

end

그림 3. 제안한 빈 대역 할당 알고리즘

어 있다. $\#C_k$ 는 k 번째 사용자가 할당받은 대역의 개수를 나타내며, $CH_k(i)$ 는 k 번째 단말기에서 기지국으로 전송하기 위해서 선택한 채널의 i 번째 원소를 나타내며, $E_{k,i}$ 는 k 번째 사용자의 i 번째 대역의 채널을 사용자로부터 전송된 채널을 이용하여 추정한 추정값을 나타내며, 이는 이웃하는 채널의 주파수 응답의 차이가 가장 큰 값을 전송한 부가 채널정보와 추정하고자 하는 대역과의 거리 차이를 이용하여 알고자 하는 대역의 채널정보를 추정할 수 있다. $\alpha_{k,i}(j)$ 는 k 번째 사용자의 추정하고자 하는 i 번째 대역과 사용자에서 전송된 j 번째로 큰 채널 사이의 대역 개수를 나타낸다.

전 대역 채널정보를 반환하는 시스템, [4]와 같은 일부 대역 정보를 반환하는 기존의 시스템, 그리고 제안한 시스템의 반환 정보량을 각각 N_{full} , N_{com} , N_{prop} 라 하면 다음과 같이 주어진다.

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

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

여기서, N_{ch} 는 채널이득 정보를 나타내기 위한 비트의 수이다. $N_{par}=8, N=96, K=12, N_{ch}=5$ 라고 할 때, 전대역 케환 시스템의 비트수는 5760 비트 이며, [4]에서 제안한 시스템과 본 논문에서 제안한 시스템의 비트수는 1212 비트이다. 따라서, 본 논문에서 제안한 방식은 전 대역 케환 시스템에 비하여 79%의 비트량을 줄일 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

아래의 시뮬레이션들은 표 1 과 같은 ITU Vehicular Channel A 모델을 가정하였으며, 변조방식은 전송하지 않은 경우, BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM, 5 단계로 가정하였다.

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

표 1. ITU Vehicular Channel A 모델

각 사용자는 독립적이고 동등한 분포 (i.i.d)의 페이딩을 겪고, 96 개의 부대역중 8 개의 부대역을 할당받으며, 기지국에서 선택하는 사용자의 수는 12 명이다. 시뮬레이션에서는 제안한 시스템 (Partial and Distance Information Feedback System; PDIF)의 성능을 비교하기 위해서 그림 4 에서 전체 대역의 채널정보를 케환하는 시스템 (Full Channel Information Feedback System; FCIF)과 [4]에서 제안한 일부 대역의 채널정보와 전 대역의 평균 채널정보를 케환하는 시스템 (Partial and Average Information Feedback System; PAIF)과 정해진 대역의 채널정보 만을 케환하는 시스템 (Fixed Channel Information Feedback System; FiCIF)을 비교 분석하였다. [4]에서 제안한 방식의 경우에는 실제 채널값이 평균 채널값 보다 작을 경우 목표 비트 오류율을 만족시키지 못하기 때문에, 이 경우에는 전송실패로 간주한다.

그림 4 에서 보는 바와 같이 FCIF 의 경우가 가장 좋은 성능을 가지는 것을 확인할 수 있으며, FiCIF 의 경우가 사용자별 채널상태에 따른 적응 전송을 하지 못하기 때문에 시스템의 성능이 가장 나쁜 것을 볼 수 있다. 본 논문에서 제안한 PDIF 의 성능이 [4]에서 제안한 PAIF 보다 조금 더 좋은 것을 확인할 수 있다.

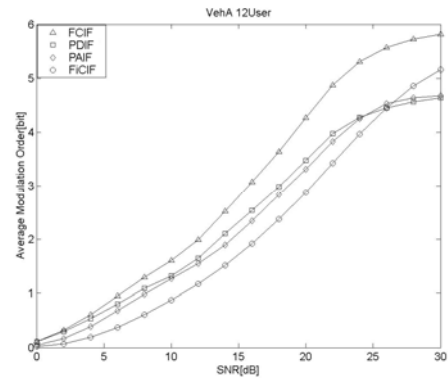


그림 4. 사용자 수가 12 명일 경우, 여러 가지 적응 송신 방식의 평균 변조 차수

V. 결론

본 논문에서는 전체 대역의 채널정보를 케환하지 않고 일부 대역의 채널정보와 나머지 대역을 채널정보를 추정할 수 있는 부가 채널정보를 케환하여, 케환 정보량을 줄이면서 시스템의 성능을 높일 수 있는 방식을 제안하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여, 기존 방식에 비해 제안한 시스템의 전송률이 증가된 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] C.Y. Wong, R.S. Cheng, K.B. Letaief and R.D. Murch, "Multiuser OFDM with adaptive subcarrier, 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 Areas 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. Han 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 1999.
- [5] J.G Proakis, *Digital communications*, 4th ed. New York : McGrawHill, 2001.
- [6] IEEE P802.16e/D8 *Draft IEEE Standard for Local and Metropolitan area networks Part 16 : Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems*, May 2005.