

논문 2009-46TC-9-4

릴레이 기반의 OFDMA 시스템에서 전송량 증대를 위한 간략화 된 자원 할당 방법

(A Simple Resource Allocation Scheme for Throughput Enhancement in
Relay Based OFDMA Cellular Systems)

오 은 성*, 주 형 식*, 한 승 엽*, 홍 대 식**

(Eunsung Oh, Hyungsik Ju, Seungyup Han, and Daesik Hong)

요 약

본 논문은 릴레이 시스템을 기반으로 한 직교 분할 다중 반송파 다중 접속 방식(OFDMA, Orthogonal Frequency Division Multiple Access)에서 전송량을 증대를 위한 자원 할당 방법에 관한 것이다. 최적화 문제를 기반으로 하는 자원 할당 방법은 할당 가능한 자원에 대한 검색 과정을 수반하기 때문에 높은 복잡도를 갖는다. 본 논문에서는 복잡도를 줄이기 위하여 세 단계의 자원 할당 방법을 제안한다. 각각의 단계에서 릴레이, 주파수, 시간 자원이 독립적으로 할당되며, 자원을 분리하여 할당함에 따라 복잡도를 줄일 수 있다. 실험 결과를 통하여 제안하는 방법이 복잡도를 줄이면서 최적화 성능에 근접할 수 있음을 보인다.

Abstract

This paper presents a simple resource allocation scheme for throughput enhancement in relay based orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) cellular systems. The resource allocation schemes, which are based on the optimization problem, have high computational complexity. That is why a searching process is required on the overall allocable resources. Since these schemes should be performed in real time, we propose a simple resource allocation scheme which has very low computational complexity. Firstly, we formulate the optimization problem and draw observations for throughput maximization. Based on observations, we propose a three step allocation scheme that separates the allocable resources into three (i.e. relay, frequency and time). By doing so, the computational complexity can be reduced. Simulation results show that the proposed scheme has near-optimum performance in spite of its low computational complexity.

Keywords : Resource allocation, relay system, orthogonal frequency division multiple access (OFDMA)

I. 서 론

사용자간 협력 통신은 무선 전송 시스템에서 채널 상태와 관련 없이 공간 다이버시티를 얻을 수 있는 방법

으로 연구되고 있다^[1].

특히 협력 다이버시티를 얻기 위하여 릴레이(RS, Relay Station)를 사용하는 시스템의 성능 분석과 자원 할당에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[2~4]. 논문 [2]의 경우 전송단과 수신단이 각각 한 개인 경우에 대하여 데이터 지연 시간을 제한 조건으로 전송량과 실패 확률에 대한 성능 분석을 수행하였다. 논문 [3]에서는 다중 수신단에 대하여 시스템 효율을 최대화하기 위한 RS 선택, 전력 및 채널 할당 방법이 제안되었으며, 논문 [4]의 경우 RS 시스템에서 전송량을 최대화하기 위

* 학생회원, ** 평생회원, 연세대학교 전기전자공학부 (School of Electrical and Electronic Eng., Yonsei University)

※ 이 논문은 한국과학재단이 주관하는 국가지정연구실사업(NRL:R0A-2007-000-20043-0)의 지원을 받아 연구되었음.

접수일자: 2009년3월12일, 수정완료일: 2009년9월14일

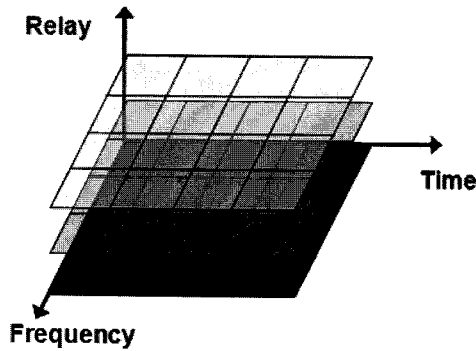


그림 1. RS를 기반으로 한 OFDMA 시스템에서의 할당 가능한 자원 영역.

Fig. 1. Radio resources that construct the achievable resource region.

한 전송단에서의 자원 할당 방법이 연구되었다. 그러나 이와 같은 연구들에서 사용되어진 최적화 문제를 해결하기 위해서는 높은 복잡도의 계산이 요구된다.

이를 극복하기 위한 방법으로 채널 할당, 부화 균등 및 전력 할당의 세 단계 자원 할당 방법^[5]과 채널 할당 후 순차적 전력 할당 방법^[6] 등이 제안되었다. 그러나 이들 연구는 실험적 방법을 기반으로 하는 한계성을 가지고 있다.

본 논문에서는 RS 기반의 직교 분할 다중 반송파 다중 접속 방식(OFDMA, Orthogonal Frequency Division Multiple Access)에서의 자원 할당 방법을 제안한다. 제안되는 방법은 알고리즘의 계산 복잡도를 줄이면서 유사 최적화 성능을 얻는 것을 목적으로 한다. RS기반의 OFDMA 시스템은 그림 1에서 보는 것과 같이 RS, 주파수, 시간의 자원을 사용할 수 있다^[7]. 최적화 문제를 기반으로 하는 자원 할당 방법은 모든 자원 영역을 검색하여 최적화된 할당 방법을 선택하기 때문에 계산량에서 높은 복잡도를 갖는다. 본 논문에서는 계산량의 복잡도를 줄이기 위하여 RS, 주파수, 시간 자원을 독립적으로 할당하게 된다. 먼저 최적화 문제를 통하여 각 자원 영역을 분리할 수 있는 조건을 찾아내고, 이를 기반으로 한 자원 할당 방법을 제안한다.

II. 시스템 모델

1. 시스템 모델

본 논문에서는 그림 2와 같이, 한 개의 기지국(BS, Base Station) 영역에 R 개의 RS, K 개의 단말(UE, User equipment)이 있는 경우를 고려한다. 다중 접속

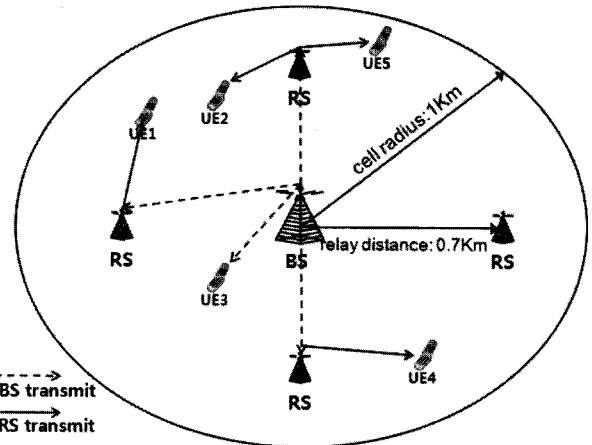


그림 2. 한 개의 BS 영역에 R 개의 RS, K 개의 UE가 있는 경우의 시스템 모델.

Fig. 2. System model with a source, R relays and K destinations.

방식으로 N 개의 부 반송파를 갖는 부 채널화 OFDMA 방식을 사용한다. 부 채널화 OFDMA 방식은 각각의 부 채널이 주파수 축으로 확산된 여러 개의 부 반송파로 구성되기 때문에 주파수 선택적 페이딩을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다^[8]. 부 채널화 OFDMA 시스템은 N_G 개의 부 채널과 각 부 채널 당 $N_E = N/N_G$ 개의 부 반송파가 할당된 시스템을 가정한다^[9].

RS는 단방향 통신, 즉 송신과 수신을 동시에 수행하지 않는 것을 가정하며, 복호 후 전달(DF, Decode and Forward) 방법을 사용한다^[10]. DF 방법의 경우 2단계로 데이터를 전송한다. 첫 단계에서 BS가 데이터를 전송하면, 두 번째 단계에서 RS는 데이터를 복호하여 오류가 없으면 수신한 데이터를 재전송하고, 그렇지 않은 경우 어떠한 데이터도 전송하지 않는다.

2. 신호 모델

본 논문에서 전송단은 평균 채널 이득만을 알고 있고, 수신단에서는 정확한 채널 이득을 알고 있는 경우를 가정한다. $h_{B,R_r,n}$ 과 $h_{R_r,K_k,n}$ 을 각각 부 채널 n 에 대한 BS에서 r 번째 RS와, r 번째 RS에서 k 번째 UE사이의 채널 이득이라고 정의하면, 평균 채널 전력은 아래와 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} a_{r,n} &= |h_{B,R_r,n}|^2, \quad \forall r,n, \\ b_{r,k,n} &= |h_{R_r,K_k,n}|^2, \quad \forall r,k,n. \end{aligned} \tag{1}$$

수식 (1)로부터 BS에서 r 번째 RS와, r 번째 RS에서 k 번째 UE사이의 데이터 전송량은 다음과 같이 표현할

수 있다^[11].

$$\begin{aligned} I_{r,n} &= \frac{B}{T} \log_2 \left(1 + \frac{a_{r,n} P_b}{N_r} \right), \quad \forall r, n, \\ I_{r,k,n} &= \frac{B}{T} \log_2 \left(1 + \frac{b_{r,k,n} P_r}{N_r} \right), \quad \forall r, k, n. \end{aligned} \quad (2)$$

이때, B 는 부 채널의 대역폭, T 는 전송 시간을 나타내며, P_b 와 P_r 은 BS와 RS에서의 전송 전력, N_r 과 N_k 는 RS와 UE에서의 백색잡음 전력을 나타낸다. 평균 채널 이득에 대한 정보를 갖는 다중 반송파 시스템에서 동일 전력 할당이 최적화 된 성능을 나타내기 때문에^[12], 본 논문에서는 전력 할당을 고려하지 않는다.

III. 문제 제시 및 자원 할당 방법

본 장에서는 전송량을 최대화하기 위한 최적화 문제를 통하여 자원 영역을 분리할 수 있는 근거를 도출하고 이를 통하여 자원 할당 방법을 제안한다.

1. 최적화 문제를 통한 문제 제시

전송량을 최대화하기 위한 최적화 문제는 아래와 같이 정리 될 수 있다.

$$\begin{aligned} \max_{r,n} & I \\ \text{s.t.} & I \in \mathcal{C}(r,n). \end{aligned} \quad (3)$$

이때 I 는 모든 UE의 데이터 전송량의 합을, $\mathcal{C}(r,n)$ 은 모든 자원 영역을 통하여 할당 가능한 정보 영역을 의미한다^[3].

K_1 과 K_2 을 각각 직접 링크를 통하여 데이터를 전송받는 UE와 RS를 통하여 데이터를 전송받는 UE들의 집합으로 정의하면, 모든 UE의 데이터 전송량의 합은 다음과 같이 계산된다.

$$\begin{aligned} I &= \sum_{k \in K_1} I^k + \sum_{k \in K_2} I^k \\ &= \sum_{k \in K_1} I_B^k + \sum_{k \in K_2} \min \{ I_B^k, I_R^k \}. \end{aligned} \quad (4)$$

I^k 는 k 번째 UE의 수신 데이터 전송량을 의미하며, I_B^k 와 I_R^k 은 k 번째 UE를 위한 BS와 RS 링크, RS와 UE 링크의 송신 데이터 전송량을 나타낸다. RS를 사용하지 않는 UE의 경우 BS의 송신 데이터 전송량, I_B^k ,은 UE의 수신 데이터 전송량, I^k ,이 된다.

Max-min 문제에서와 같이 수식 (4)를 통하여 시스템 전송량을 최대화하기 위하여 아래와 같은 관찰 결과를 얻게 된다^[4].

관찰 결과 1 (링크 간 데이터 전송량): 데이터 전송량을 최대화하기 위하여 RS를 사용하는 k 번째 UE의 경우 링크 간 데이터 전송량을 동일하게 유지, $I_B^k = I_R^k$,시켜 주어야한다.

관찰 결과 1을 적용하여 수식 (4)는 다음과 같이 재 정리 할 수 있다.

$$\begin{aligned} I &= \sum_{k \in K_1} I_B^k + \frac{1}{2} \left\{ \sum_{k \in K_2} I_B^k + \sum_{k \in K_2} I_R^k \right\} \\ &= \frac{1}{2} \sum_{k \in K} I_B^k + \frac{1}{2} \left\{ \sum_{k \in K_1} I_B^k + \sum_{k \in K_2} I_R^k \right\}. \end{aligned} \quad (5)$$

수식 (5)의 두 번째 부분을 통하여 시스템 전송량을 최대화하기 위한 UE의 전송 방법을 결정할 수 있다.

관찰 결과 2 (데이터 전송 방법): RS와 UE간의 링크 데이터 전송량이 BS와 UE간의 데이터 전송량 보다 큰 경우 UE는 RS를 통하여 데이터를 전송 받고, 그렇지 않은 경우는 직접 통신 방법을 사용하여야 한다.

관찰 결과 2는 데이터 전송 방법의 선택에 관한 근거를 제시한다. 링크 데이터 전송량과 관찰 결과 2를 통하여 RS를 다른 자원 영역과 독립적으로 할당 할 수 있다. 또한 관찰 결과 1은 링크 데이터 전송량을 결정하는 근거를 제시한다. 이를 통하여 주파수와 시간 자원에 대한 할당이 이루어진다.

2. 제안하는 간략화 된 자원 할당 방법

앞에서 논의한 관찰 결과는 자원 할당에 관한 근거를 제시해 준다. 본 논문에서는 이를 근거로 3단계의 간략화 된 자원 할당 방법을 제안한다.

1번째 단계에서 관찰 결과 2를 이용하여 RS 자원을 위한 전송 모드 선택을 하고, 2번째와 3번째 단계에서 관찰 결과 1을 이용하여 주파수와 시간 자원에 관한 자원 할당을 한다. 전송량을 최대화시키기 위해서는 각 전송단 (BS 또는 RS)에서 최대의 채널 전력을 갖는 경우에 대하여 주파수를 할당하여야한다^[4]. 이를 근거로 2번째 단계에서 주파수를 이용한 전송량 최대화 작업을 수행하며, 3번째 단계에서 시간 자원을 이용하여 링크 간 데이터 전송량을 동일하게 유지시킨다.

제안하는 자원 할당 방법은 아래와 같이 정리될 수 있다.

1단계 (RS 자원 할당): UE는 직접 또는 RS를 이용하여 데이터를 수신한다. 관찰 결과 2를 통하여 RS와 UE간의 채널 전력이 BS와 UE간의 채널 전력보다 좋은 경우 UE는 RS를 통하여 데이터를 전송 받게 된다.

[Relay allocation algorithm]

For $u = 0, \dots, K-1$ do

$$\tilde{r} = \underset{r=0, \dots, R-1}{\operatorname{argmax}} I_{R(r)}^k$$

if $I_B^k > I_{R(\tilde{r})}^k$ then $k \rightarrow K_1$

else $k \rightarrow K_2, k \rightarrow \Theta_{\tilde{r}}$ end.

end

$\Theta_{\tilde{r}}$ 은 r 번째 RS를 사용하는 UE들의 집합이다.

2단계 (주파수 자원 할당): 주파수 자원 할당은 부 채널 할당을 통하여 이루어진다. 부 채널은 BS와 각각의 RS에서 이루어진다. BS에서는 K_1 에 속한 UE와 RS들이 할당 대상이며, RS에서는 K_2 에 속한 UE들이 할당 대상이 된다. 전송량을 최대화시키기 위해서는 각 전송단 (BS 또는 RS)에서 최대의 채널 전력을 갖는 경우에 대하여 부 채널을 할당하여야한다^[4].

[Frequency allocation algorithm]

For $n = 0, \dots, N_G-1$ do

$$\tilde{k}_{BS} = \underset{k \in K}{\operatorname{argmax}} I_B^k, \tilde{k}_{RS} = \underset{k \in K_2}{\operatorname{argmax}} I_R^k$$

$$n \rightarrow N_{\tilde{k}_{BS}}^{BS}, n \rightarrow N_{\tilde{k}_{RS}}^{RS}$$

end

이때 \tilde{r} 은 1 단계에서 선택된 RS 집합이다.

3단계 (시간 자원 할당): 관찰 결과 1에서 링크 간의 데이터 전송량이 동일 한 경우 전송량이 최대화 된다. 시간 자원 할당을 통하여 BS와 RS 그리고 RS와 UE간의 링크 전송량을 동일하게 맞추어 줄 수 있다.

[Time allocation algorithm]

Initialization

$$I_{BR} = \sum_{k \in K_2} I_B^k, I_{RU} = \sum_{k \in K_2} I_R^k$$

$$|Y| = \lceil I_{RU} / I_{BR} \rceil$$

Allocation

For $k \in K_2$ do

$$\tilde{k} = \underset{k \in K_2}{\operatorname{argmax}} I_R^k, \tilde{y} = \underset{y=0, \dots, |Y|-1}{\operatorname{argmin}} \sum_{k \in Y_y} I_R^k$$

$$\tilde{k} \rightarrow Y_{\tilde{y}}$$

end

Y_y 는 y 번째 시간에서 함께 데이터를 전송 받는 UE의 집합이다.

제안되는 알고리즘은 각각의 자원 영역을 분리하여 할당하게 된다. 따라서 수식 (3)과 같은 최적화 문제를 풀기 위하여 모든 자원 영역을 검색하기 위하여 지수승의 복잡도, $O(e^{NKR})$,가 필요한 것에 비하여^[13], 제안되는 알고리즘은 자원 영역 분리를 통하여 선형적 복잡도, $O(NKR)$,만을 요구한다.

IV. 모의실험

모의실험에 사용된 환경은 표 1에서 정리된 것과 같이 도심 환경을 가정한다^[11]. 부 채널화 OFDMA 시스템은 1MHz 대역폭의 512개의 부 반송파를 가정하며, 각 심볼 당 $N_E = 32$ 개의 부 반송파로 구성된 $N_G = 16$ 개의 부 채널이 구성된다^[14]. BS의 셀 반경은 1Km이고, RS는 BS로부터 700m에 위치하며, UE는 셀 영역에 랜덤하게 분포한다고 가정한다.

표 1. 모의실험 환경
Table 1. Simulation Environment.

파라미터	값
페이딩 모델	레이리 페이딩 모델
다중 경로 모델	ITU Peb. B Ch 103 ^[11]
경로 감소 모델	로그 정규 분포 모델
경로 감소 지수	4
음영 표준 편차	8dB

실험 결과에서는 아래와 같은 자원 할당 방법들이 비교 되었다.

- *Optimum scheme*: 수식 (3)의 결과를 도시한 것으로 exhaustive 검색 방법을 통하여 도출되었다^[12].
- *Bae's scheme*[5]: 참고 문헌 [5]에서 제시하는 간략화 된 자원 할당 방법을 통한 결과이다. 선형적 복잡도를 갖지만, 반복적 자원 할당을 통하여 제안하는 자원 할당 방법 보다 높은 복잡도를 갖는다.
- *E3AS*: 제안하는 3단계 RS, 주파수 및 시간 자원에 대한 자원 할당 방법에 대한 결과이다.

- *E3AS w/o grouping*: 시간 자원 할당을 제외한 RS와 주파수 자원 할당만을 고려한 결과이다.
- *E3AS w/o ch. allocation*: RS와 시간 자원에 대한 할당이 이루어지며, 2단계에서의 채널 할당은 동일 개수의 채널 할당이 이루어진다.

그림 3은 $R=4, K=8$ 인 경우에 대한 시스템 전송량을 도시한 결과이다. 그림 3을 통하여 제안하는 자원 할당 방법이 기존 [5]에서의 *Bae's scheme*에 비하여 시스템 전송량을 향상 시키며, 유사 최적화 성능을 보임을 알 수 있다. 또한 제안하는 방법의 계산량 복잡도가 [5]에서의 $O(N_C K R \log_2(N_C K R)) = O(4608)$ 에 비하여 $O(N_C K R \log_2 R) = O(1024)$ 로 더 낮은 것을 알 수 있다. 이는 제안하는 자원 할당 방법이 자원 영역을 효율적으로 분리 할당하기 때문이다.

그림 4는 UE의 개수에 따른 시스템 전송량을 비교한 것이다. 그림 4에서 UE의 개수가 증가함에 따라 시스템 전송량이 증가하게 된다. 이는 UE의 개수가 증가함에 따라 다중 사용자 다이버시티가 증가하기 때문에 발생하는 현상이다.

그림 5는 RS의 개수에 따른 시스템 전송량을 도시한 것이다. RS가 증가하게 되면 그림 4의 경우와 마찬가지로 RS를 선택할 수 있는 다이버시티가 증가하지만, RS 간 직교성을 보장하기 위한 전송 시간의 증가로 시스템 전송량이 감소하게 된다.

그림 4와 5에서 *E3AS w/o grouping*의 경우 *E3AS*와 비슷한 성능을 보이지만, *E3AS w/o ch. alloc.*는 *E3AS*에 비하여 약 70%의 성능을 보인다. 이를 통하여

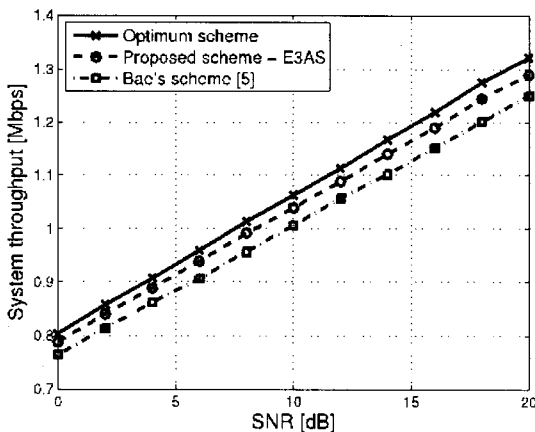


그림 3. $R=4, K=8$ 인 경우의 시스템 전송량 비교
Fig. 3. System throughput for each allocation scheme versus SNR at $R=4$ and $K=8$.

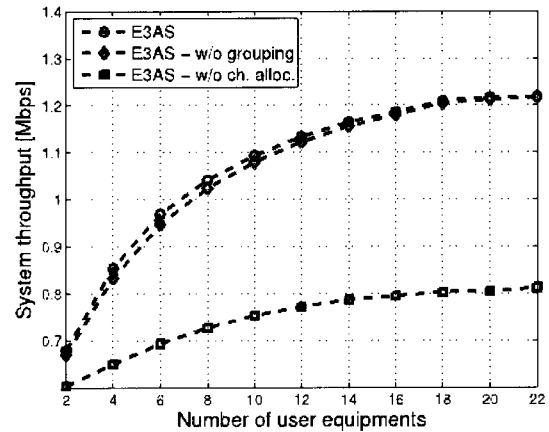


그림 4. $R=4$ 인 경우 UE 개수에 따른 시스템 전송량 비교
Fig. 4. System throughput versus number of user equipments at $R=4$.

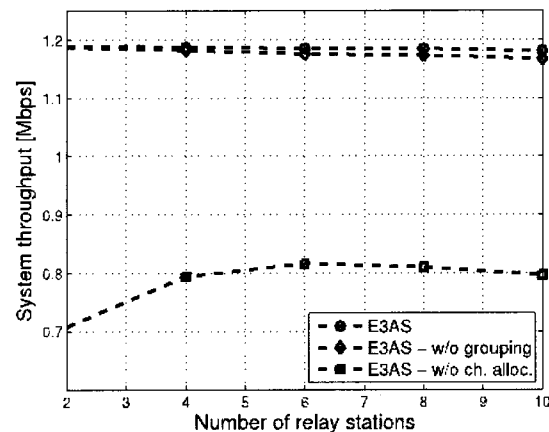


그림 5. $K=16$ 인 경우 RS 개수에 따른 시스템 전송량 비교
Fig. 5. System throughput versus number of relay stations at $K=16$.

주파수 자원 할당이 시간 자원 할당에 비하여 시스템 전송량에 더 크게 영향을 주는 것을 알 수 있다. 또한 각 자원 할당 단계에 따라 (*E3AS w/o ch. alloc.* → *E3AS w/o grouping* → *E3AS*) 시스템 전송량이 개선되는 것을 통하여 제안하는 3단계 자원 할당 방법이 효율적으로 동작하고 있음이 확인된다.

V. 결론

본 논문은 RS를 고려한 OFDMA 시스템에서 시스템 전송량을 증대를 위한 간략화 된 자원 할당 방법을 제안하고 있다. 먼저 최적화 문제를 통하여 각 자원 영역

을 독립적으로 할당 할 수 있는 관찰 결과를 도출하고, 이를 통하여 계산량 복잡도를 줄일 수 있는 3단계 자원 할당 방법을 제안하였다. 각각의 단계에서 RS, 주파수, 시간 자원이 할당되며, 이와 같은 분리 자원 할당은 계산량 복잡도를 줄일 수 있다. 모의실험 결과를 통하여 제안하는 자원 할당 방법이 낮은 복잡도를 갖으며 유사 최적화 성능을 보임을 증명하였다.

참 고 문 헌

- [1] A. Sendonaris, E. Erkip, and B. Aazhang, "User cooperation diversity. Part I. system description," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, no. 11, pp. 1927 - 1938, Nov. 2003.
- [2] D. Gunduz and E. Erkip, "Opportunistic cooperation by dynamic resource allocation," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 1446 - 1454, Apr. 2007.
- [3] T. C. Y. Ng and W. Yu, "Joint optimization of relay strategies and resource allocations in cooperative cellular networks," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 25, no. 2, pp. 328 - 339, Feb. 2007.
- [4] W. Nam, W. Chang, S. Y. Chung, and Y. H. Lee, "Transmit optimization for relay-based cellular OFDMA systems," in *Proc. IEEE Int. Conf. Communications*, Jun. 2007, pp. 5714 - 5719.
- [5] C. Bae and D.-H. Cho, "Adaptive resource allocation based on channel information in multihop OFDM systems," in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.*, Sep. 2006, pp. 1 - 5.
- [6] L. Huang, M. Rong, L. Wang, Y. Xue, and E. Schulz, "Resource allocation for OFDMA based relay enhanced cellular networks," in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf.*, Apr. 2007, pp. 3160 - 3164.
- [7] A.N. Zadeh, B. Jabbari, R. Pickholtz, and B. Vojcic, "Self-organizing packet radio ad hoc networks with overlay (SOPRANO)," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 6, pp. 149 - 157, Jun. 2002.
- [8] I. Koffman and V. Roman, "Broadband wireless access solutions based on OFDM access in IEEE 802.16," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 40, no. 4, pp. 96 - 103, Apr. 2002.
- [9] E. Oh, M.-G. Cho, S. Han, C. Woo, and D. Hong, "Performance analysis of reuse-partitioning-based subchannelized OFDMA uplink systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 3, 2008.
- [10] J. N. Laneman, D. N. C. Tse, and G. W. Wornell, "Cooperative diversity in wireless networks: Efficient protocols and outage behavior," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 50, no. 12, pp. 3062 - 3080, Dec. 2004.
- [11] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [12] I. Barhumi, G. Leus, and M. Moonen, "Optimal training design for MIMO OFDM systems in mobile wireless channels," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 51, no. 6, pp. 1615 - 1624, Jun. 2003.
- [13] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex Optimization*. Cambridge, CB2 2RU, UK: Cambridge University Press, 2004.
- [14] *Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems Amendment for Physical and Medium Access Control Layers for Combined Fixed and Mobile Operation in Licensed Bands*, IEEE 802.16 Std., 2006.

— 저 자 소 개 —



오 은 성(학생회원)
2003년 연세대학교 전기전자
공학과 학사 졸업.
2006년 연세대학교 전기전자
공학과 석사 졸업.
2006년~현재 연세대학교 전기
전자공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 이동통신시스템, 무선 자원 할당,
간섭 관리>



주 형 식(학생회원)
2005년 연세대학교 전기전자
공학과 학사 졸업.
2005년~현재 연세대학교 전기
전자공학과 석박사
통합과정.

<주관심분야 : 다중 반송파 시스템, 멀티 홉 시스
템, 무선 자원 할당>



한 승 엽(학생회원)
2002년 연세대학교 전기전자
공학과 학사 졸업.
2004년 연세대학교 전기전자
공학과 석사 졸업.
2004년~현재 연세대학교 전기
전자공학과 박사 과정.

<주관심분야 : 이동 통신, 간섭 제거, UWB, 다중
반송파 시스템>



홍 대 식(평생회원)
1990년 Purdue University
Electrical Engineering
박사 졸업
1991년~현재 연세대학교
전기전자 공학과 교수

<주관심분야 : 디지털통신, 통신신호처리, 4G시스
템, OFDM 시스템>