

# MIMO-OFDMA 시스템에서 실시간 트래픽 적용을 위한 자원 할당 기법

이장욱\*, 양석철, 신요안  
승실대학교 정보통신전자공학부

## Resource Allocation Scheme for Real-Time Traffic in MIMO-OFDMA Systems

Janguk Lee\*, Sukchel Yang, and Yoan Shin  
School of Electronic Engineering  
Soongsil University  
E-mail : \*janguk77@amcs.ssu.ac.kr

### Abstract

In this paper, we propose P-SRA (Proposed Simplified Resource Allocation) algorithm for efficient resource allocation for real time traffic in MIMO-OFDMA (Multiple Input Multiple Output – Orthogonal Frequency Division Multiple Access) systems with V-BLAST (Vertical-Bell laboratories LAYered Space-Time coding) detector. The proposed P-SRA scheme employs efficient 3 step resource allocation algorithm with plain V-BLAST and no H-ARQ, however it achieves comparable performance of a MIMO-OFDMA system utilizing error compensated V-BLAST and H-ARQ IR scheme.

### 1. 서론

현재 이동통신 분야에서는 제한된 주파수 자원을 이용하여 고용량 멀티미디어 데이터를 전송할 수 있는 다양한 송수신 방식들이 대두되고 있으며, 특히 다중 송신 및 수신 안테나를 이용하는 MIMO (Multi Input Multi Output) 기술에 대한 연구가 다각도로 진행되고 있다. 한편, 주파수 효율을 증대시키고 다중 경로 페이딩에 효율적으로 대처하기 위해 다중 반송파를 이용하는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기법[1]

이 이러한 MIMO 시스템에 효과적으로 결합될 수 있으며, 최근에는 다중 사용자 환경까지 고려한 MIMO-OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 시스템이 전세계적으로 주목받고 있다[2].

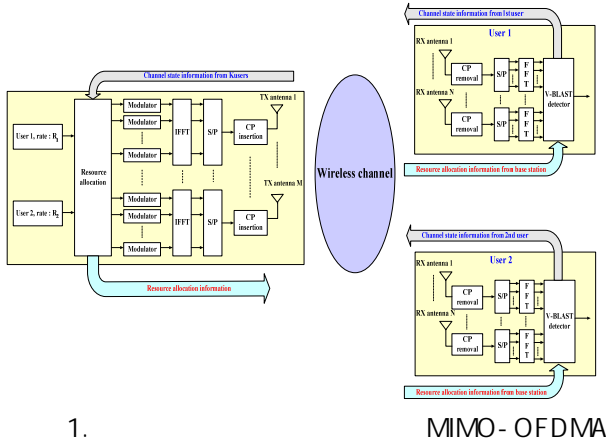
이를 위해 본 저자들은 이미 [3]에서 MIMO-OFDMA 시스템에서의 다중 사용자를 위한 자원 할당에 따른 연산량과 제한 정보량을 감소시키기 위한 방안으로 M-SRA (Modified Simplified Resource Allocation) 기법을 제안한 바 있다. 본 논문에서는 이를 개선하여 MIMO-OFDMA 시스템을 위한 보다 실제적인 실시간 트래픽 상황에 적합한 효율적인 자원 할당을 위해 P-SRA (Proposed SRA) 알고리즘을 제안하고자 한다. 본 논문에서 고려하는 MIMO-OFDMA 시스템에서는 전송률 향상을 위해 송신단에서 복잡한 부호화를 필요로 하지 않고 송신 안테나마다 서로 다른 신호를 전송하는 방식인 V-BLAST (Vertical-Bell labs Layered Space-Time coding) 기법[4,5]을 적용하였다. 또한, 실시간 트래픽을 위해 공간, 주파수, 시간 축으로 구성된 3차원 형태의 자원 세그먼트를 하나의 패킷 단위로 정의했으며, 이러한 세그먼트 기반의 다중 사용자 자원을 위해 3 단계에 걸친 자원 할당 과정을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 V-BLAST 기법 기반의 MIMO-OFDMA 시스템에 대해

본 논문은 삼성전자(주) SKYPASS4G 과제의 지원하에 이루어졌음.

설명하고, 3 장에서는 본 논문에서 고려하는 자원 세그먼트의 구조와 특징 및 이를 기반으로 다중 사용자 환경을 위해 제안된 P-SRA 알고리즘에 대해 설명한다. 4 장에서는 모의실험을 통해 도출된 제안된 P-SRA 알고리즘의 주파수 효율 성능을 제시하고, 마지막으로 5 장에서 결론을 맺는다.

## II. V-BLAST 기반의 MIMO-OFDMA 시스템



1.

MIMO-OFDMA

본 논문에서는 그림 1 에서 도시된  $M$  개의 송신 안테나와  $N$  개의 수신 안테나를 사용하는 MIMO-OFDMA 시스템을 고려한다. 본 시스템에서의 각 사용자들은 각각의 채널 상태 정보를 기지국으로 반환하고 기지국에서는 반환받은 사용자들의 채널 상태 정보를 가지고 제안된 자원 할당 알고리즘을 수행하게 된다. 또한, 각 송신 안테나를 통해 전송되는 데이터 심벌간 간섭제거 (Ordered Successive Interference Cancellation; OSIC)를 수행하기 위해 다음과 같은 과정을 수행하는 V-BLAST 기법을 적용하였다.

각 송신 안테나에서  $N_c$  개의 반송파를 사용한다고 할 때, 한 사용자에 대한  $c$  ( $c=1, \dots, N_c$ ) 번째 반송파의  $M \times 1$  크기의 송신 신호 벡터  $\mathbf{x}_c$  는 다음과 같이 정의된다.

$$\mathbf{x}_c = [x_{1,c}, x_{2,c}, \dots, x_{M,c}]^T \quad (1)$$

여기서,  $h_{l,k,c}$  ( $k=1, \dots, M; l=1, \dots, N$ ) 가  $k$  번째 송신 안테나로부터  $l$  번째 수신 안테나로의 복소 페이딩 채널 계수를 나타내고  $\mathbf{H}_c^{M \times N}$  을 이들 채널 계수로 구성된  $c$  번째 반송파의 순시 채널 전달 행렬이라 하면,  $N \times 1$  크기의 수신 신호 벡터는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{y}_c = \mathbf{H}_c \mathbf{x}_c + \mathbf{n} \quad (2)$$

위 식에서  $\mathbf{n}$  은 평균이 0 이고 분산이  $\sigma^2$  인 복소 가우시안 잡음 벡터를 나타낸다. 이 때, 수신단에서 간섭제거를 수행할 경우 식 (2)의 수신 신호  $\mathbf{y}_c$  에 대해 전송 신호  $\mathbf{x}_c$  를 검출하기 위한 자세한 과정은 다음 식 (3)~(12)와 같다.

초기화 :

$$i = 1 \quad (3)$$

$$\mathbf{Z}_{i,c} = \mathbf{H}_c^+ = (\mathbf{H}_c^H \mathbf{H}_c)^{-1} \mathbf{H}_c^H \quad (4)$$

$$k_1 = \arg \min_j \|(\mathbf{Z}_{i,c})_j\|^2 \quad (5)$$

반복수행 :

$$\mathbf{w}_{k_i,c} = (\mathbf{Z}_{i,c})_{k_i} \quad (6)$$

$$\mathbf{v}_{k_i,c} = \mathbf{w}_{k_i,c} \mathbf{y}_{i,c} \quad (7)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_{k_i,c} = Q(\mathbf{v}_{k_i,c}) \quad (8)$$

$$\mathbf{y}_{i+1,c} = \mathbf{y}_{i,c} - \hat{\mathbf{x}}_{k_i,c} \mathbf{H}_{c,k_i} \quad (9)$$

$$\mathbf{Z}_{i+1} = (\mathbf{H}_{c,k_i=0})^+ \quad (10)$$

$$k_{i+1} = \arg \min_{j \neq k_1, \dots, k_i} \|(\mathbf{Z}_{i,c})_j\|^2 \quad (11)$$

$$i \leftarrow i+1 \quad (12)$$

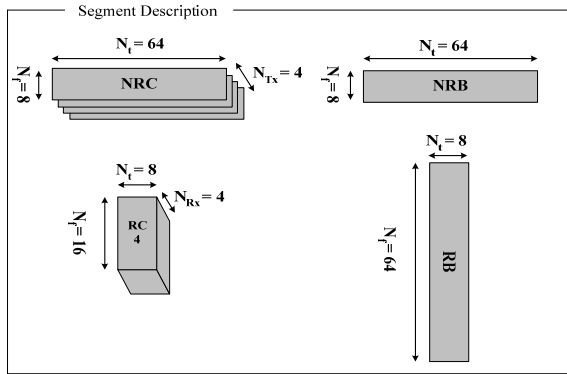
여기서, 식 (4)의  $+$  는 의사 역행렬을 의미하고 식 (6)의  $(\mathbf{Z}_{i,c})_{k_i}$  는 행렬  $\mathbf{Z}_{i,c}$  의  $k_i$  번째 행벡터 성분을 의미한다. 식 (8)의  $Q(\cdot)$  는 결정 통계치  $v_{k_i,c}$  에 대한 경관정 검출을 수행하고 검출된  $k_i$  번째 신호 성분을 식 (9)의 연산을 통해 제거한다. 식 (10)에서의  $(\mathbf{H}_{c,k_i=0})^+$  는 식 (9)의 연산을 통해 이미 검출된 신호 성분에 대한 채널 행렬  $\mathbf{H}_c$  의  $k_i$  번째 열 벡터의 성분을 Nulling 함을 의미한다. 식 (6)~(12)의 과정은  $c$  번째 반송파의 모든 데이터가 검출될 때까지 반복해서 수행되며 식 (3)~(11)의 과정을 사용하는 모든 반송파에 대해 적용하여 수신 신호로부터 데이터를 검출해낸다.

## III. 실시간 트래픽 적용을 위해 제안된 간단한 형태의 자원 할당 알고리즘

### 3.1 자원 세그먼트의 구조 및 특징

본 논문에서 고려하는 MIMO-OFDMA 시스템에서의 자원 세그먼트 구조 설계를 위한 트래픽 특성은 셀 내 단말기 위치와 신호의 페이딩 특성에 따라 구분된다[6]. 셀 내 단말기 위치에 따른 특성은, 셀 내 단말기와 기지국과의 거리에 따라

단말기가 셀 중앙에 위치할 경우에는 채널의 지연 확산이 작아서 채널의 주파수 선택적 특성을 이용하지 못하게 되며, 셀 가장자리에 위치할 경우에는 채널의 지연 확산이 커서 채널의 주파수 선택적 특성을 이용 가능하게 된다. 또한, 안정된 데이터 전송을 위해 페이딩 현상을 이용하여 채널 상황이 좋을 때까지 기다리는 전송 지연 문제에 따라 실시간 및 비실시간 전송으로 구분된다.



2

[6]

이러한 트래픽 특성을 만족시키기 위해 본 논문에서는 [6]의 접근 방법에 따라 공간, 주파수 및 시간 축으로 구성된 3 차원 형태를 가지는 자원 세그먼트를 정의한다. 특정 자원 세그먼트는 공간 축으로  $N_{RX}$  개의 수신 안테나, 시간 축으로  $N_t$  만큼의 길이를 가지며 주파수 축으로  $N_f$  만큼의 부반송파를 점유한다. 따라서 하나의 세그먼트는  $(N_{RX} \times N_t \times N_f)$  개의 데이터 심볼로 구성된다. 또한, 트래픽에 따른 세그먼트의 종류는 그림 2 에 도시된 것과 같이 트래픽 특성에 따라 NRT (Non-Real Time) 세그먼트 (NRC, NRB)와 RT (Real Time) 세그먼트 (RC, RB)로 나뉘며, 또한 셀 내 단말기 위치에 따라 채널 환경이 좋은 셀 중앙에서의 사용자를 위한 세그먼트 (NRC, RC)와 채널 환경이 열악한 셀 가장자리에서의 사용자를 위한 세그먼트 (NRB, RB)로 나뉘어진다. NRT 세그먼트는 전송 지연에 민감하지 않으므로 다중 사용자 이득 (Multi-User Diversity)을 최대한 얻어 내기 위하여 주파수 선택적 특성을 고려할 필요가 없어서 이를 위하여  $N_f$  가 작고 비교적 큰  $N_t$  로 설계되어야 한다. 반면에, RT 세그먼트는 채널의 주파수 선택적 특성을 최대한 이용해야하며, 전송 지연에 민감하기 때문에 작은  $N_t$  를 갖도록 설계되어야 한다[6]. 이에 본 논문에서는 자원 세그먼트 당 512 개의 부반송파가 배치된다고 가정하였고, 자원 세

그먼트 종류에 따라  $N_t$  및  $N_f$  가 결정되며 여기서는 송신 및 수신 안테나 개수  $N_{TX}$ ,  $N_{RX}$  가 각각 4 인 경우를 가정하고 있다.

본 논문에서는 고려하는 MIMO-OFDMA 시스템에서의 안정된 데이터 전송을 위해 채널 상황이 좋고 공간 다중화를 이용할 수 있는 셀 중앙에서의 실시간 트래픽인 RC 세그먼트를 고려하였다. RC 세그먼트를 위해 제안된 P-SRA 기법에서는 두 명의 사용자가 두 개의 세그먼트를 자원 맵으로 하게 되며, 기지국에서의 3 단계 자원 할당 결과에 따라 각 사용자들은 각각 하나의 세그먼트 크기만큼의 자원을 할당받게 된다.

### 3.2 다중 사용자를 위한 자원 할당 알고리즘 : P-SRA

제안된 P-SRA 기법에서는 두 명의 사용자들에게 두 개의 RC 세그먼트에 해당되는 자원 맵이 할당되며, 이를 통해 사용자들 각각은 하나의 세그먼트만큼의 자원을 요구하게 된다. 세부적으로 두 명의 사용자들은 주어진 자원 맵 내 각 부채널에 대한 채널 상태 정보를 계산하여 기지국으로 반환하고, 이를 기반으로 하여 기지국에서는 3 단계에 걸친 자원 할당 과정을 수행하게 된다.

제안된 P-SRA 기법은 사용자 측과 기지국 측으로 나누어 다음과 같이 설명될 수 있다. 두 사용자들은 우선 두 개의 세그먼트로 이루어진 자원 맵에서 SBA (Simple Bit Allocation) 기법[7]을 적용해 후보 부채널들을 선정한다. 한편, 기지국에서는 사용자들로부터 계산된 채널 상태 정보를 반환 받아 자원 할당을 수행하게 되는데, 이 때 만약 특정 부채널에서의 송신 안테나에 대해 서로 다른 사용자의 데이터 심볼이 할당될 경우, OSIC 기반 V-BLAST 를 이용하는 본 시스템에서는 오류전과가 발생하게 되어 심각한 시스템 성능 열화를 유발시키게 된다. 따라서, 이로 인한 다중 사용자 다이버시티의 이득의 감소를 방지하기 위해 제안된 P-SRA 알고리즘에서는 각각의 부채널을 위한 모든 송신 안테나에 대해 한 명의 사용자에게만 자원을 할당하게 된다.

또한, 각 사용자들이 서로 독립적으로 채널 상태 정보를 계산하기 때문에 사용자들간에 사용하고자 하는 후보 부채널들 간의 충돌이 발생하게 된다. 따라서, 기지국에서는 제안된 P-SRA 알고리즘을 이용하여 다음과 같이 3 단계로 구성된 자원 할당 기법을 적용한다.

**1단계 :** 특정 부반송파의 각 송신 안테나에 해당하는 자원들에 대한 사용자 각각의 요구 자원량을 비

교하여 더 많은 자원을 요구하는 사용자에게 모든 자원 할당

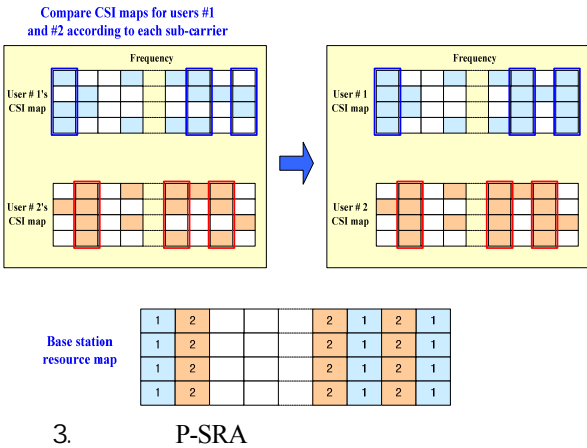
**2 단계** : 특정 부반송파에 대하여 요구하는 자원량이 같을 경우 추가적으로 할당해야 할 자원이 더 많은 사용자를 우선으로 모든 자원 할당

**3 단계** : 전체 자원 맵에서 사용자들 모두 요구하지 않는 채널에 대해서는 각 사용자들에게 랜덤하게 할당

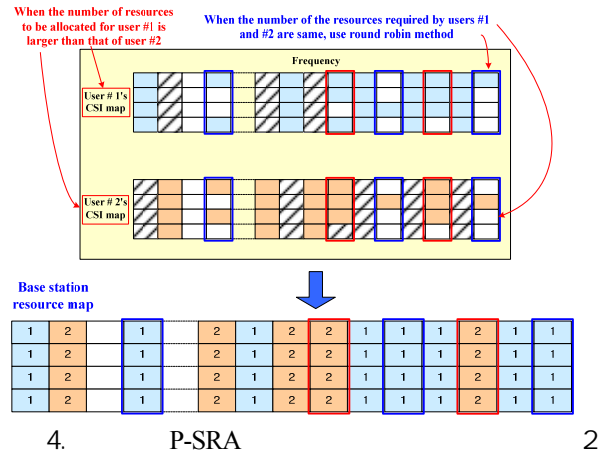
우선 1 단계에서는 두 사용자들로부터 반환받은 후보 부채널들에 대해서 특정 부반송파의 각 송신 안테나에 해당하는 자원들에 대한 사용자 각각의 요구 자원량을 비교하여 더 많은 자원을 요구하는 사용자에게 모든 공간 자원을 할당한다.  $s_{i,c,k}$  를  $k$  번째 사용자가 요구하는  $i$  번째 송신 안테나 및  $c$  번째 부채널에 대한 CSI 비트라 정의할 때, 제안된 P-SRA 알고리즘의 1 단계에 해당되는 자원 할당은 식 (13)에 의해 수행된다.

$$\sum_{i=1}^j s_{i,c,1} \leq \sum_{i=1}^j s_{i,c,2} \quad (13)$$

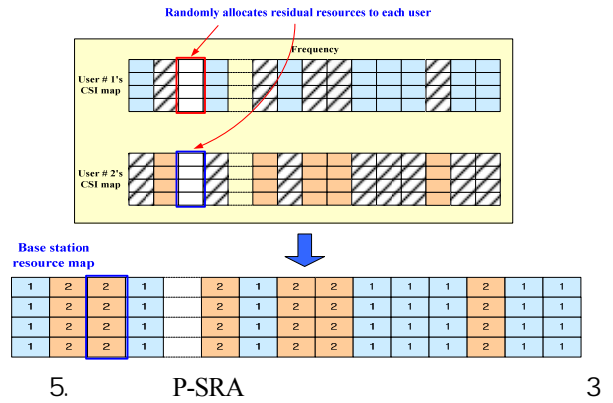
식 (13)에 의해 결정된 사용자는  $c$  번째 부반송파의 모든 공간 자원을 할당받게 된다. 그림 3은 제안된 P-SRA 알고리즘을 위한 1 단계 자원 할당 과정의 예를 도시하고 있다.



된다. 그림 4는 P-SRA 기법의 2 단계 자원 할당 과정의 예를 도시하고 있다.



위의 2 단계 자원 할당 과정이 수행된 후 자원 할당의 마지막 단계로써 기지국은 전체 자원 맵에서 사용자들 모두 요구하지 않는 부채널에 대해서 각 사용자들이 요구하는 자원을 다 할당 받을 때까지 랜덤하게 자원을 할당한다. 이러한 3 단계 자원 할당 과정은 두 명사용자들의 모든 요구 자원량을 만족할 때까지 진행되며, 그림 5는 P-SRA 기법의 3 단계 자원 할당 과정의 예를 도시하고 있다.



IV. 모의실험 결과

이러한 1 단계 과정이 종료되면, 특정 부반송파에 대하여 요구하는 자원량이 같은 경우에 대한 자원 할당 과정인 2 단계를 수행한다. 2 단계에서는 1 단계 수행 후 추가적인 자원을 더 필요로 하는 사용자에게 우선적으로 자원을 할당하며, Round Robin 방식을 통해 교대로 자원을 할당하게

1 AMC

| Modulation | Convolution code rate | Information bit size | Resource (Utilization per user) |
|------------|-----------------------|----------------------|---------------------------------|
| QPSK       | 1/2                   | 512                  | 100% (512/512)                  |
| QPSK       | 3/4                   | 768                  |                                 |
| 16-QAM     | 1/2                   | 1024                 |                                 |

|        |     |      |  |
|--------|-----|------|--|
| 16-QAM | 3/4 | 1536 |  |
| 64-QAM | 3/4 | 2048 |  |

모의실험을 위해 지연 확산 (Delay Spread)이 436 nsec 인 18 개 경로로 구성된 주파수 선택적 레일리 (Rayleigh) 페이딩 채널을 고려하였다. 또한 이동성이 작은 상황을 가정하여 도플러 주파수는 16 Hz 를 고려하였고, 채널 추정과 시스템 동기는 완벽히 이루어졌다고 가정하였다. OFDM 을 위한 부반송파수는 2048 개를 사용하였으며 OFDM 심벌 주기는 20.48  $\mu$ sec, 부반송파 간격은 48.828 kHz, 보호 구간은 5  $\mu$ sec 로 설정하였다. 송수신 안테나는 각각 4 개인 시스템 환경을 가정하였고, 제한 정보 감소를 위해 도플러 채널의 시변 특성에 따른 제한 정보 전송 주기를 64 로 가정하였다. 또한, 본 논문에서 제안된 P-SRA 기반의 MIMO-OFDMA 시스템을 위한 링크 적응과 관련하여 RC 세그먼트에 적용되는 AMC 세트를 표 1 과 같이 정의하였다. 그리고 제안된 P-SRA 알고리즘과 의 비교를 위해 별도의 자원 할당 과정없이 한 명의 사용자가 하나의 RC 세그먼트를 점유하여 데이터 전송을 수행하는 MIMO-OFDMA 시스템을 고려하였으며, 여기서는 Error Compensation 기반의 V-BLAST 기법[8] 및 H-ARQ IR (Hybrid Automatic Repeat Request Implemental Redundancy) 기법 [9]이 사용되었다. 그림 6 은 Error Compensation 기반의 V-BLAST 기법 및 H-ARQ IR 기법을 사용하는 MIMO-OFDMA 시스템의 주파수 효율 (Spectral Efficiency) 성능을 반송파대간섭전력비 (Carrier-to-Interference Ratio; CIR) 및 AMC 세트에 따라 도시하고 있으며, 그림 7 은 표 1 의 AMC 세트에 따른 제안된 P-SRA 알고리즘의 주파수 효율 성능을 도시하고 있다. 그림 8 은 그림 7 의 P-SRA 알고리즘의 성능에서 그림 6 의 결과를 뺀 주파수 효율 성능 차이 결과를 도시한다. 제안된 P-SRA 알고리즘은 일반적인 V-BLAST 기법 사용과 H-ARQ 를 통한 재전송이 없음에도 불구하고 Error Compensation 기반의 V-BLAST 및 H-ARQ IR 기법을 사용하는 MIMO-OFDMA 시스템과 비교했을 때, RC 세그먼트에서 중요한 5 ~ 25 dB 구간에 대해 거의 유사한 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 MIMO-OFDMA 시스템에서의 실제적인 실시간 트래픽 상황에 적합한 효율적인 자원 할당을 위해 P-SRA 알고리즘을 제안하였다. 모의실험을 통해 제안된 P-SRA 알고리즘은 일반적인 V-BLAST 기법 사용과 H-ARQ 를 통한 재전송이 없음

에도 불구하고 Error Compensation 기반의 V-BLAST 및 H-ARQ IR 기법을 사용하는 MIMO-OFDMA 시스템과 비교했을 때, RC 세그먼트에서 중요한 5 ~ 25 dB 구간에 대해 거의 유사한 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

## 참고문헌

- [1] L. Hanzo, M. Munster, B. J. Choi, and T. Keller, *OFDM and MC-CDMA for Broadband Multi-user Communications, WLANs and Broadcasting*, John Wiley & Sons, 2003.
- [2] K.-W. Ng, R. S. Cheng, and R. D. Murch, "Adaptive resource allocation algorithm for MIMO-OFDMA system," *Proc. ITC-CSCC 2004*, pp. 7F2P-7, Sendai, Japan, July 2004.
- [3] J. Lee, S. Yang, and Y. Shin, "Resource allocation scheme with reduced feedback information for MIMO-OFDMA systems," *Proc. IEEE VTS APWCS 2005*, pp. 79-83, Sapporo, Japan, Aug. 2005.
- [4] P. W. Wolniansky, G. J. Foschini, G. D. Golden, and R. A. Valenzuela, "V-BLAST : An architecture for realizing very high data rates over the rich-scattering channel," *Proc. ISSSE '98*, pp. 295-300, Pisa, Italy, Sept. 1998.
- [5] G. D. Golden, G. J. Foschini, R. A. Valenzuela, and P. W. Wolniansky, "Detection algorithm and initial laboratory results using V-BLAST space-time communication architecture," *IEE Electr. Lett.*, vol. 35, pp. 14-16, Jan. 1999.
- [6] J. Moon, J.-Y. Ko, and Y.-H. Lee, "An air interface framework design for the next-generation radio access system," *IEEE Jour. Selected Areas in Commun. (Special Issue on 4G Wireless Syst.)*, to appear.
- [7] K.-W. Ng, R. S. Cheng, and R. D. Murch, "A simplified bit allocation for V-BLAST based OFDM MIMO systems in frequency selective fading channels," *Proc. ICC 2002*, pp. 411-415, New York City, USA, May 2002.
- [8] H. Lee, B. Lee, and I. Lee, "New approach for coded layered space-time OFDM systems", *Proc. ICC 2005*, vol. 1, pp.608-612, Seoul, Korea, May 2005.
- [9] S. Kallel and D. Haccoun, "Generalized type II hybrid ARQ scheme using punctured convolutional coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 38, no. 11, pp. 1938-1946. Nov. 1990.

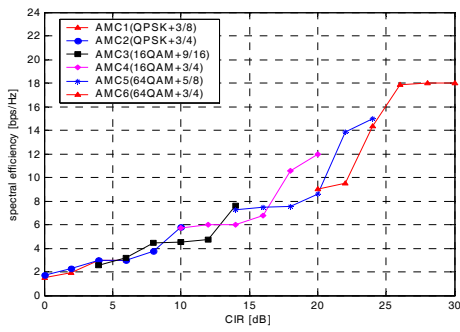


그림 6. Error Compensation 기반의 V-BLAST 및 H-ARQ IR 기법이 적용된 MIMO-OFDMA 시스템의 주파수 효율 성능

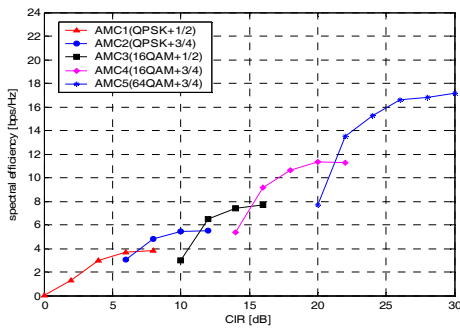


그림 7. 제안된 P-SRA 알고리즘이 적용된 MIMO-OFDMA 시스템의 주파수 효율 성능

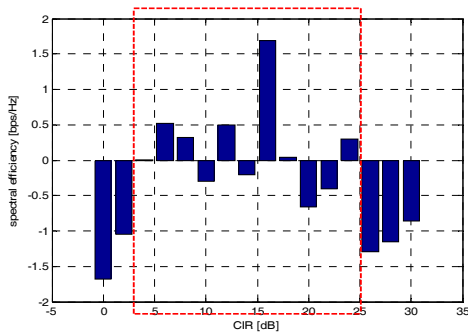


그림 8. 제안된 P-SRA 알고리즘과 Error Compensation 기반의 V-BLAST 및 H-ARQ IR 기법을 적용하는 MIMO-OFDMA 시스템의 주파수 효율 성능 차이