

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.1.59>

IIBC 2018-1-9

# 5G MIMO-NOMA 시스템 멀티 셀에서의 사용자 클러스터링 및 강력한 빔 설계

## Design of User Clustering and Robust Beam in 5G MIMO-NOMA System Multicell

김정수\*, 이문호\*\*

Jeong-Su Kim\*, Moon-Ho Lee\*\*

**요약** 본 논문에서는 5G 무선 통신을 위한 다중 셀 다중 입력 다중 출력 (MIMO)-비 직교 다중 접속 (NOMA) 다운 링크 시스템에서 WSRM (weighted sum-rate maximization) 문제를 해결하기 위한 견고한 빔 형성 설계를 제시한다. 이 연구는 채널 추정 행렬에 최악의 모델, 즉 SVOF (singular value uncertainty model)로서 불확실성을 추가함으로써 기지국 (BS)에서 불완전한 채널 상태 정보 (CSI)를 고려한다. 이러한 관찰을 통해, WSRM 문제는 BS에서의 전송 전력 제약에 따라 공식화된다. 객관적 문제는 해결하기 어려운 비 결정적 다항식 (NP) 문제로 알려져 있다. 객관적 문제를 효율적으로 해결할뿐만 아니라 최적의 송신 빔 포밍 행렬을 찾기 위해 ML (majorization minimization) 기법을 안정화시킨 견고한 빔 형성 설계를 제안한다. 또한 최상의 사용자 쌍을 클러스터로 선택하여 더 높은 합계를 달성하는 공동 사용자 클러스터링 및 전력 할당 (JUCPA) 알고리즘을 제안한다. 제안된 JUCPA 알고리즘과 함께 제안된 견고한 빔 포밍 설계가 기존의 NOMA 기법 및 기존의 OMA (orthogonal multiple access) 기법과 비교하여 총 레이트 측면에서 성능을 크게 향상시킨다는 것을 보여주기 위해 광범위한 수치 결과가 제공된다.

**Abstract** In this paper, we present a robust beamforming design to tackle the weighted sum-rate maximization (WSRM) problem in a multicell multiple-input multiple-output (MIMO) - non-orthogonal multipleaccess (NOMA) downlink system for 5G wireless communications. This work consider the imperfect channel state information (CSI) at the base station (BS) by adding uncertainties to channel estimation matrices as the worst-case model i.e., singular value uncertainty model (SVUM). With this observation, the WSRM problem is formulated subject to the transmit power constraints at the BS. The objective problem is known as on-deterministic polynomial (NP) problem which is difficult to solve. We propose an robust beam forming design which establishes on majorization minimization (MM) technique to find the optimal transmit beam forming matrix, as well as efficiently solve the objective problem. In addition, we also propose a joint user clustering and power allocation (JUCPA) algorithm in which the best user pair is selected as a cluster to attain a higher sum-rate. Extensive numerical results are provided to show that the proposed robust beamforming design together with the proposed JUCPA algorithm significantly increases the performance in term of sum-rate as compared with the existing NOMA schemes and the conventional orthogonal multiple access (OMA) scheme.

**Key Words** : 5G, MIMO-NOMA, multi cell clustering, beam forming

\*정회원, 숭실사이버대학교 컴퓨터정보통신학과

\*\*정회원, 전북대학교 전자공학부

접수일자: 2017년 9월 25일, 수정완료: 2018년 1월 26일

게재확정일자: 2018년 2월 9일

Received: 25 September, 2017 / Revised: 26 January, 2018

Accepted: 9 February, 2018

\*Corresponding Author: moonho@jbnu.ac.kr

Division of Electronic Engineering, Chonbuk National University, Korea

## I. 서 론

2010년대 초반 광대역 셀룰라 시스템 도입기를 거쳐 현시점에서는 무선구간을 통한 정보 전송기술의 발전에 대한 필요성이 어느 때보다 폭넓게 요구되고 있다. 특히, 최근들어 LTE-A도입을 앞당겼던 모바일 환경에서 영상 데이터 콘텐츠의 폭발적인 증가는 무선구간뿐만 아니라 백홀(backhole) 영역 전송망에서조차도 전송용량의 확대가 요구되고 있는 실정이다. 사용자 단말기에서 순차적 간섭제거를 적용하여 하향링크 채널과 상향링크 채널에 전력할당을 상이하게 함으로써 이득을 얻을 수 있는 비직교 다중 접속(NOMA) 기술이 5G 기술로 대두되고 있다. 최근 스마트폰 보편화 및 무선 인터넷 사용의 증대에 따라 모바일 네트워크 트래픽은 폭발적으로 증가하고 있다. 이러한 데이터 트래픽의 폭발적 증가 추세는 지속적으로 이어져 2020년경에는 2010년 대비 1000배 이상 증가할 것으로 예상되고 있다. 아로인해 long term evolution-advance (LTE-A)로 대변되는 4세대 이동 통신보다 시스템 용량을 비약적으로 향상시킬 수 있는 5세대 이동 통신 시스템 (5G)에 대한 필요성이 눈앞에 다가왔다. 데이터 트래픽의 폭발적 증가에 대처하고 시스템 용량을 향상시키기 위해서 2012년 6월 3<sup>rd</sup> generation partnership project (3GPP) workshop on release 12 and onwards가 개최되었고, 비약적인 시스템 용량 향상을 위한 여러 가지 기술적 이슈 즉 Release10(2012), Release11(2013), Release12(2015), Release13(2016)들을 다루기 시작하였다. 또한 유럽 단체 중심을 구성된 5G NOW가 발족됐고 국내에서도 5G포럼이라는 단체를 구성하여 향후 5세대 이동통신 시스템 구축 및 사용화를 위한 기술적 이슈들을 논의하고 있다. 위에서 언급한 단체들의 공통된 목표는 시간과 공간의 제약 없이 언제 어디서나 개인별 Gbps급 대용량 고품질 미디어 서비스를 제공하는 것이다. 이는 현재 상용 중인 4세대 이동 통신 대비 1000배 이상의 데이터 용량 향상을 의미한다. 1000배 이상의 용량 증대를 위해서 4세대 이동 통신 시스템보다 더 넓고, 더 높은 주파수 대역을 확보하는 것과, small cell 네트워크를 이용한 기지국 수 확대 그리고 주파수 효율적인 시스템을 구축하는 것이 주된 이슈로 관심을 받고 있다. 이 중에서 주파수 효율적인 시스템 구축을 위한 가지 방법으로서 일본 S.Tomida등이 제안한 비직교 다중 접속 기법(non-orthogonal multiple acces, NOMA)

이다[1]. LTE-A 시스템과 같이 기존 4세대 이동 통신 시스템에서는 사용자 별로 주파수 성분을 배타적으로 할당받아 사용하는 직교 주파수 분할 다중 접속 기법(orthogonal frequenct division multiple access, OFDMA)이다[2]. 그러나 비직교 다중 접속 기법에서는 모든 사용자들이 시간 자원과 주파수 자원을 공유하면서 신호를 송수신한다. 즉, 송신단에서 각 사용자별로 적절히 전송전력을 조절하여 중첩코딩(superposition coding)을 통해 신호를 전송한다. 이를 기반으로 모든 사용자들이 가용 가능한 자원을 공유하기 때문에 주파수 효율성 측면에서 기존의 OFDMA방식보다 유리하다. 그러나 수신단에서는 사용자들의 신호가 섞여서 들어오기 때문에 사용자 간 간섭(user-interference)이 발생하게 되는데 이는 시스템 성능을 열화시키는 주된 요인이 된다. 따라서 사용자 간 간섭을 최소화시키고, 시스템용량을 향상시키기 위해서 순차적 간섭 제거 방식(successive interference cancellation, SIC)을 이용하여 원하는 사용자의 신호를 검출한다. 이 때 SIC를 이용한 수신기의 구현 방법에 따라 시스템의 성능과 수신기 복잡도 간 trade-off가 발생하므로 성능을 최대한 향상시키면서 복잡도를 줄일 수 있는 SIC 기반의 수신단 디자인이 필요하다. 뿐만 아니라 SIC 성능은 송신단과 수신단 간 채널과 각 사용자에게 할당되는 전송 전력의차이에 의존적이다. 따라서 SIC 성능을 최대화시키기 위해서는 각 사용자들의 전력을 최적화시켜서 할당해주는 문제가 따른다[4]. 따라서 본 논문은 2장에서 비직교 다중접속기법의 시스템 모델에대한 기존연구 3장 제안된 User Clustering 감안한 빔 포밍(Forming)그리고 4장에서 결론을 맺는다.

## II. 비직교 다중 접속 기법의 시스템 모델에 대한 기존연구

본 장에서는 비직교 다중 접속 기법의 개념 및 송수신단 구조를 포함한 시스템 모델을 [1]논문을 중심으로 살펴본다. 비직교 다중 접속 기법은 송신단에서는 Supersposition Coding 기법을, 수신단에서는 SIC 기법을 기반으로 신호를 송수신하는데 상향링크와 하향 링크에 따라 송신단과 수신단에서의 신호 처리 방안이 달라지게 된다. 그림1은 NOMA 송수신단과 NOMA와

OMA(orthogonal Multiple Acces)가 비교되었다.

## 1. 하향링크에서의 비직교 다중 접속 기법

### 가. 송신단 구조

하향링크 환경에서 비직교 다중 접속 기법의 시스템 모델에서 기지국은 전체  $K$ 명의 사영자 신호를 Superposition Coding을 이용하여 전송한다. 이 때  $k$ 번째 사용자에게 할당되는 전력은  $p_k (1 \leq k \leq K)$ 이고, 이를 이용하여 기지국으로부터 전송되는 신호  $x$ 는 다음과 같다.

$$x = \sum_{k=1}^K \sqrt{p_k} x_k \quad (1)$$

이 때  $x_k$ 는  $k$ 번째 사용자의 전송 신호를 의미한다. 비직교 다중 접속 기법은 모든 사용자가 시간 자원과 주파수 자원을 공유하므로 전송 신호  $x$ 는 동일한 시간에 동일한 주파수 대역에서 동시에 전송되며 할당된 전력  $p_k$ 에 따라 전송 신호의 전력 레벨이 달라지는 특성을 가진다.

### 나. 수신단 구조

$k$ 번째 사용자의 수신단에서 수신되는 신호  $y_k$ 는 다음과 같다.

$$y_k = h_k x + n_k \quad (2)$$

여기서  $h_k$ 는 송신단  $k$ 번째 사용자 간 채널을 의미하고,  $n_k$ 는  $k$ 번째 사용자의 수신단에서 발생하는 잡음을 의미한다. (2)에서 수신 신호  $y_k$ 는  $k$ 번째 사용자를 위한 전송 신호  $x_k$ 와 다른 사용자들을 위한 전송 신호  $x_i (1 \leq i \leq K, i \neq k)$ 로 구성되어 있는데 사용자간 간섭을 완화시키기 위해서 SIC 기법을 사용하여 신호를 검출해낸다. 일반적으로  $k$ 번째 사용자의 전송 신호  $x_k$ 와 다른 사용자들의 간섭 신호  $x_i (1 \leq i \leq K, i \neq k)$ 가 혼재되어 있을 때 SIC 기법을 사용하여 신호를 검출할 경우 자신의 신호 전력보다 더 큰 전력을 가지는 간섭 신호를 먼저 검출 후 수신 신호에서 제거한 뒤 간섭이 완화된 상태에서 원래신호  $x_k$ 를 검출한다. 이 때 하향링크 환경에서는  $k$ 번째 사용자의 전송 신호  $x_k$ 와 다른 사용자들의 간섭 신호  $x_i (1 \leq i \leq K, i \neq k)$ 가 동일한 채널  $h_k$ 를 겪게 되는데 이는 수신 신호의 전력에 영향을 주는 채널 이득  $|h_k|^2$ 이 동일함을 의미한다. 따라서  $x_k$ 의 전력과 다

른 간섭 신호의 전력 차이는 전적으로 송신단에서 각 사용자의 신호에 할당된 전력  $p_k (1 \leq i \leq K)$ 에 의해 결정된다. 하향링크 환경에서 비직교 다중 접속 기법에서는 기지국으로부터 거리가 가까운 사용자 (즉, 채널 이득  $|h_k|^2$ 이 큰 사용자)일수록 더 작은 전력을 할당해준다. 기지국과 각 사용자 간 채널 이득의 크기가  $|h_k|^2 > |h_{k+1}|^2 > \dots > |h_1|^2$ 와 같을 때 각 사용자의 신호에 할당되는 전력은  $p_1 < p_2 < \dots < p_k$ 이다. 채널 이득이 큰 사용자의 경우 간섭 신호의 전력이 사용자의 신호보다 더 크더라도 SIC를 정확히 할 수 있기 때문에 SIC에 의한 성능 향상을 높일 수 있다. 반면 채널 이득이 작은 셀 외곽 사용자의 경우에는 수신 신호의 크기가 작아지기 때문에 SIC에 의한 이득을 획득하기 어렵다. 이 경우에는 사용자 신호의 전력을 가장 크게 할당하여 SIC없이 직접 신호를 검출하는 것이 유리하다. 결과적으로 인덱스  $p_k (1 \leq i \leq K)$ 가 증가할수록 사용자의 채널 이득은 작아지고 (즉, 기지국으로부터 거리가 멀어지고) 그에 따라 할당되는 전력 값이 커진다고 할 때  $k$ 번째 사용자의 수신단은 SIC를 적용하여 자기 신호를 검출 한다. 즉, 수신되는 간섭 신호  $x_i (1 \leq i \leq K, i \neq k)$ 중에서  $x_K$ 의 전력이 가장 크기 때문에  $x_K$ 의 신호를 먼저 검출한 후 수신 신호로부터 제거해준다. 이후 두 번째로 전력이 큰 간섭 신호  $x_{K-1}$ 의 같은 과정을  $x_{K+1}$  신호가 검출되어 수신 신호로부터 제거될 때까지  $K-k$ 번 반복해주면 남아있는 신호는 자기 신호  $x_k$ 와  $x_i$ 의 전력보다 남은 간섭 신호  $x_i (1 \leq i \leq K-1)$ 로만 구성된다. 이 때 남아 있는 간섭 신호들은 잡음과 같이 간주하고 자기 신호  $x_k$ 를 최종적으로 검출한다. [1] 논문에 의하면 비직교 다중 접속 기법의 전체 시스템 용량이 직교 접속 기법의 시스템 용량과 동일하다는 전제 조건 하에서 셀 외곽 사용자의 용량을 향상시킬 수 있는 방향으로 각 사용자 신호의 전력이 할당된다. 일반적으로 직교 다중 접속 기법에서 전체 시스템 용량(전체 시스템 용량은 각 사용자의 용량을 합한 값으로 정의된다.)의 최대값은 가장 좋은 채널 이득을 가지는 사용자에게 모든 자원을 할당해줄 때 획득할 수 있다. 이 경우 셀 외곽 사용자는 전송할 수가 없다는 문제점이 발생한다 따라서 전체 시스템 용량은 낮아지더라도 셀 외곽 사용자에게 전송할 수 있는 기회를 강제로 부여함으로써 사용자 Fairness(공정성)를 보장해줄 수 있다. 비직교 접속 기법의 전력 할당 기법은 직교 다중 접속 기법이 사용자

Fairness를 고려하여 사용자 별로 자원을 할당해줄 때 발생하는 전체 시스템 용량은 최소한 보장해주면서 셀 외곽 사용자의 용량을 최대한 향상시킬 수 있도록 각 사용자의 전력을 할당해준다. 그림 1는 위에서 설명한 전력 할당 기법을 적용했을 때 비직교 다중 접속 기법과 직교 다중 접속 기법간 시스템 용량 및 셀 외곽 사용자의 용량을 비교한 실험 결과이다. 전체 사용자는  $K=10$ 이다. 즉, 비직교 다중 접속 기법의 경우 전체 사용자 10명이 모든 시간자원과 주파수 자원을 공유하면서 신호를 송수신하고 있고, 직교 다중 접속 기법의 경우 주어진 대역폭을 10명의 사용자가 배타적으로 나누어 사용한다.  $\alpha$ 는 사용자 Fairness를 고려한 인자 (Factor)로서  $\alpha$ 가 0에 가까울수록 사용자 Fairness를 고려하여 셀 외곽 사용자의 용량이 향상됨을 의미한다. 반면  $\alpha$ 가 1에 가까울수록 사용자의 Fairness보다 전체 시스템 용량 하양에 더 큰 우선 순위를 두고 자원을 할당하는 것이다. 그림 1에서  $\alpha$ 가 커짐에 따라 (즉, 사용자 Fairness의 고려를 하지 않는 경우) 전체 시스템용량은 증가하며, 비직교 다중 접속 기법과 직교 다중 접속 기법의 성능이 동일해짐을 알 수 있다. 반면 셀 외곽 사용자의 용량은 감소하게 되는데, 이 경우 비직교 다중 접속 기법을 사용하는 사용자의 용량이 직교 다중 접속기법을 사용하는 사용자의 용량보다 크다. 이는  $\alpha$ 가 커짐에 따라 직교 다중 접속 기법에서는 채널이득이 좋은 사용자에게 더 많은 주파수 자원을 할당해주기 때문에 셀 외곽 사용자는 전송할 기회를 얻지 못하게 되고 용량이 작아지게 된다. 그러나 비직교 다중 접속 기법에서는  $\alpha$ 가 커지더라도 셀 외곽 사용자들은 채널이득이 좋은 사용자들과 자원을 공유하면서 전송할 기회를 지속적으로 가지고 있기 때문에 직교 다중 접속 기법의 셀 외곽 사용자보다 더 큰 용량을 유지할 수 있는 것이다. 반면에  $\alpha$ 값이 작아지게 되면 상대적으로 셀 외곽 사용자에게 더 많은 전송 기회가 부여되는데 이로 인해 두기법 모두 셀 외곽 사용자의 용량은 증가하고, 전체 시스템 용량은 감소하는 것을 알 수 있다. 그러나  $\alpha$ 값이 작은 환경에서도 전체 시스템 용량과 셀 외곽 사용자의 용량 모두에서 비직교 다중 접속 기법의 성능이 더 우수하다는 것을 알 수 있는데 이는 모든 사용자가 자원을 공유함으로써 더 많은 자원을 이용할 수 있기 때문이다. 자원 공유로 인해 발생하는 사용자 간 간섭이 비직교 다중 접속 기법의 성능을 열화시킬 수 있지만 SIC기법으로 간섭을 완화시키기 때문에 사용자 간 간섭에 의한 성능 열화보다

자원 공유를 함으로써 얻게 되는 성능 이득 더 크다는 것을 알 수 있다.

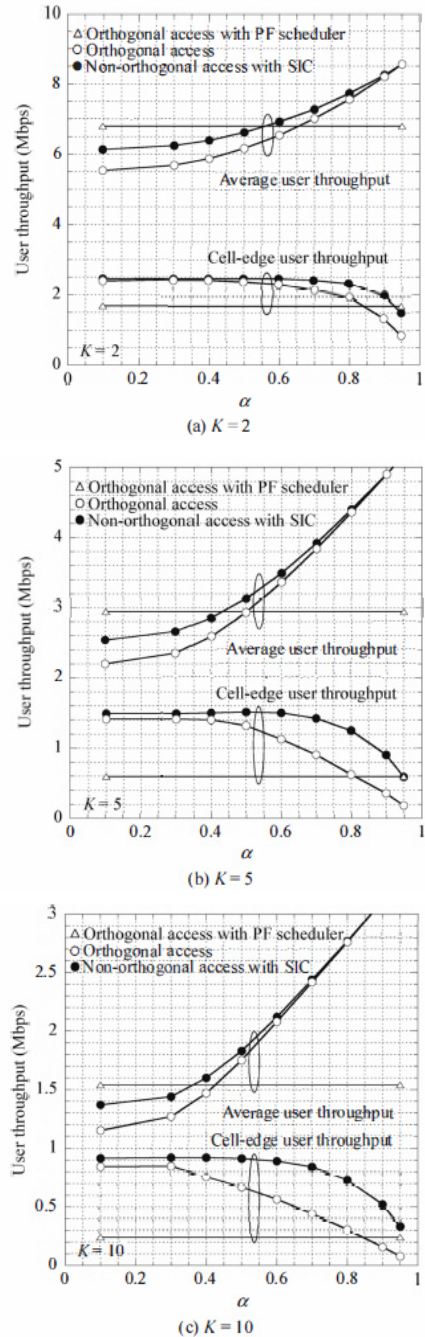


그림 1. 함수  $\alpha$ 에 따른 평균 및 셀 에지 사용자 처리량  
 Fig. 1. Average and cell-edge user throughput as a function of  $\alpha$ .

### III. 제안된 User Clustering 감안한 빔 포밍(Beamforming)

NOMA는 최근 몇 년 동안 제안된 스펙트럼으로 네트워크 용량을 엄청나게 늘릴 수 있는 중요한 방법이다. NOMA는 동일한 무선 자원을 사용하여 동시에 여러 개의 사용자에게 서비스를 제공하므로 기존의 직교 다중 접속(OMA) 방식 보다 우수한 처리량, 공정성 및 스펙트럼 효율을 제공한다. 특히, NOMA는 송신기 측에서 중첩 코딩(superposition coding, SC)을 사용하여 사용자 간 간섭을 발생시키는 전력 도메인을 이용하여 다수의 사용자들의 원하는 신호를 중첩시킨다. 연속 간섭 제거(SIC)는 수신기 측에서 IUI를 제거하고 원하는 송신 신호를 디코딩한다. NOMA에 다중 안테나 기술을 적용함으로써 NOMA 시스템의 성능을 더욱 향상시킬 수 있다. Sum-rate maximization (SRM)은 신호에서 필수 불가결한 과제이며 통신 설계, 특히 NOMA 시스템에 적합하다. 송신기(CSIT)에서 불완전한 채널 상태 정보를 갖는 다중 셀 MIMO-NOMA 다운 링크 시스템에 대한 가중된 총 레이트 최대화(weighted sum-rate maximization, WSRM) 문제를 조사한다. 조사된 WSRM 문제는 NP 하드 문제로 인정된다. BSS에서 완벽한 CSI를 위한 WSRM 문제에 대한 뚜렷한 접근법이 언급되어 있다. 예를 들어, SRM 문제는 2 명의 사용자 MIMO-NOMA 시스템에 대해 공식화되었다. 여기서 저자는 sum-rate를 최대화하기 위해 Singular Value Decomposition (SVD)과 Power Allocation Scheme에 기반한 빔 형성 설계를 수립했다. 연구자들은 NOMA 시스템이 OFDMA보다 NOMA의 효율성을 보여주기 위해 동적 자원 할당 알고리즘을 제안한 SRM 문제를 연구했다. 사용자 선택 및 전력 스케줄 알고리즘은 제로 포싱 beamforming을 갖는 다운 링크 단일 셀 NOMA 시스템의 총 속도를 최대화하기 위해 제안된 방식이다. 또한 부반송파 기반의 NOMA 시스템에 대한 총 전송률을 최대화하기 위해 두 가지 낮은 복잡도의 하위 최적 전력 할당 기법을 제안했다. 또 다른 저자는 랜덤 빔 포밍(RABF)이 기존의 OMA 체계보다 더 나은 합계 속도를 달성하기 위해 사용된 NOMA 계획을 제안하였고 다른 저자들은 합계비용을 향상시키기 위해서 SRM 문제의 다운 링크 MISO-NOMA 시스템에 초점을 맞추었다. 그러나 위에서 언급된 연구는 부정확한 채널 추정, 채널 상호성의

부족, 피드백 양자화, 지연 등으로 인해 실제로 구하기가 어려운 완벽한 CSIT를 가정한다. 그러므로, 문제 공식화에서 불완전한 CSI를 다루는 것은 유의미하다. 불완전한 CSI는 통계적 분포 또는 결정론적 분포를 통해 형성될 수 있는데, 여기서 CSI 오류는 한정된 불확실성 영역에 놓여 있다. 본 논문에서는 특히 CSI 오류를 형성하는 singular value uncertainty 모델(SVUM)을 고려하고 최악의 경우의 WSRM 문제를 해결하기 위해 빔 형성 행렬의 견고한 설계를 고려했다. CSIT가 불완전한 것으로 생각되는 문헌에서 찾을 수 있는 관련 결과가 거의 없다. 특히, 저자는 송신기에서 불완전한 CSI와 통계적 CSI로 확립된 구별된 채널 불확도 모델을 가진 다중 사용자(MU) 단일 셀(SC)-NOMA 시스템의 성능을 조사했다. 고정된 전력 할당을 가정할 때 통계적 CSI를 갖는 MU SC-NOMA 시스템의 에르 곱합 비율과 정전 확률을 연구했다. 통계적 CSIT를 고려할 때, 2 사용자 MIMO-NOMA 시스템에 대한 송신 전력 제약으로 SRM 문제를 해결하기 위해 [31]에서 최적 전력 할당 기법이 제안되어 있었다. 통계적 CSIT 하에서 SISONOMA 시스템에서 두 사용자 간의 최대 공평성을 달성하기 위해 효율적인 전력 할당 기법이 도입되어 있었다. MU MIMO-NOMA 기법은 송신기에서 제한된 피드백으로 제안되었다.

저자는 NOMA 사용자 간에 고정 전력 할당 방식이 사용되는 두 사용자 SISO-NOMA 시스템의 총 속도 성능을 분석하여 사용자 페어링의 영향을 연구했다. WSRM 문제에 대한 많은 관심이 있지만, 대부분의 저자는 통계 CSIT를 가정한 SC-NOMA 시스템에서만 문제를 고려했다. 그래서, 일반적으로 관심의 전형적인 시나리오에서 해결되지 않은 채로 남아 있다. 예를 들어, 다운 링크에서 용량을 달성하는 결정론적 분포로 인해 불완전한 CSIT를 갖는 다중 셀 MIMO-NOMA 시스템에 대한 견고한 빔 형성 설계는 아직 특징 지워지지 않는다. 위의 내용을 고려할 때 이 논문의 주요 공헌은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- WSRM 문제는 BS에서 총 송신 전력 제약에 따라 공식화된다. SVUM에 CSI 오류가 포함된 것으로 간주했다. SVUM을 사용하는 목적은 CSI 오류를 묶어 실현 가능한 최악의 설계를 만드는 것이다. 일반적으로 NP 하드 문제를 해결하는 것은 매우 어렵다.
- 다운 링크 다중 셀 MIMO-NOMA 시스템에서

WSRM 문제를 조사하기 위해 견고한 빔 포밍 설계를 조사했다. 특히, SVUM을 이용한 최악의 경우의 WSRM 문제를 해결하기 위해 ML (Majorization Minimization) 기법을 설정하는 효율적인 반복 알고리즘이 제안되었다. 제안된 반복 알고리즘을 사용하면 시스템 성능을 향상시킬뿐만 아니라 셀 간 간섭(ICI)을 감소시키는 최적의 빔 포밍 (BF) 행렬을 쉽게 찾을 수 있다.

- 또한 WSRM 문제의 목적 함수에 존재하는 사용자 간 간섭 (IUI)과 ICRI (Inter Cluster Interference)를 완화하기 위해 JUCPA (사용자 클러스터링 및 전력 할당) 알고리즘을 제안한다. JUCPA 알고리즘은 최소 거리 인자 (MDF) 및 채널 상관 관계를 이용하여 사용자를 효율적으로 클러스터링하여 시스템 성능을 향상시킨다.
- 수치적 결과는 제안된 ZFBF 기법과 RABF 기법 및 기존의 OMA와 비교하여 제안된 NOMA 기법 (JUCPA 및 IMM 알고리즘)을 사용함으로써 총 속도의 상당한 향상이 달성되었음을 확인할 수 있다.

표기 :  $A^T$ 는  $A$  행렬의 전치 (transpose)를 나타낸다.  $N \times N$  항등 행렬은  $I_N$ 으로 표시된다.  $E(\cdot)$ 와  $tr(\cdot)$ 는 행렬의 통계적 기대치 및 추적을 나타낸다.  $\hat{H}$ 는  $H$ 의 추정치를 나타낸다. 모든 대수는 지정된 경우를 제외하고는 기본 2이다.  $I(A;B)$ 는 확률 변수 A와 B 사이의 상호 정보이다. 평균 A와 분산 B를 갖는 순환 대칭 복소 가우스 분포는  $CN(A,B)$ 이다.  $X \geq 0$ 과  $X > 0$ 은 행렬  $X$ 가 각각 양의 반 정량과 양의 정의임을 나타낸다. 모든  $A \times B$  복소 행렬은  $C^{A \times B}$ 로 표시된다. 연산은  $(\cdot)^+$  행렬 또는 벡터의 헤르미트 전이를 나타낸다.

## 1. 시스템 모델

다중 셀 MIMO-NOMA 시스템의 하향 송신을 연구하고, 각 셀에서  $n_{B,p}$  안테나가 장착된 BS  $p$ 는 그림 1에서와 같이 M 개의 클러스터를 제공한다. 각 클러스터 m은 기지국으로부터 하나의 안테나에 의해 서비스되는 2 명의 사용자를 갖는다(BS). BS는 NOMA 기법을 고려하여, m번째 클러스터에서 2 사용자의 원하는 메시지를 모으고 동일한 빔 포밍 벡터로 결합된 신호를 전력 도메인 NOMA를 통해 동일한 시간 및 주파수 슬롯에서 다른 전력 할당 수로 전송한다. 각 k번째 사용자는 원하는 신호

와 m번째 클러스터에있는 다른 사용자에게 대해 예정된 신호를 얻는다. 따라서 수신기에서 원하는 신호를 검출하기 위해 연속 간섭 제거 (SIC)가 사용된다. 고려된 MIMO-NOMA 다운 링크 시스템의 송신기 (Tx)와 수신기 (Rx) 측면의 개요가 그림 2에 요약되어있다. 2 명의 사용자는 섹션 IV에서 제안된 효율적인 공동 사용자 클러스터링 및 전력 할당 (JUCPA) 알고리즘을 기반으로 셀 센터 (CC) 사용자 및 셀 에지 (CE) 사용자로 각 클러스터에 존재한다. CC 및 CE 사용자는 각각 강하고 약한 사용자로 간주된다. BS는 원하는 메시지를 해독하는 데 더 많은 전력이 필요하기 때문에 CE 사용자에게 더 많은 전력을 할당한다. 또한, BS에 가까운 CC 사용자들만이 다른 사용자의 신호를 잡음으로 처리함으로써 원하는 신호를 디코딩하도록 SIC를 구현한다. 이것은 양 수신기에서 SIC를 구현하기 위해 많은 양의 송신 전력이 필요하다는 사실 때문이다.

$N_M MS_S$ ,  $N_B BS_S$ , M 클러스터 및 N 셀로 구성된 MIMO-NOMA 시스템이 고려된다. n 번째 셀의 m 번째 클러스터에 대한 신호  $E_{m,n}$ 은 균등하게  $\{1,2,3,\dots,2^{cR_{m,n}}\}$ 로 할당되고, 여기서  $R_{m,n}$ 은 채널 당 비트 사용 (c.u.)의 클러스터 m의 정보 속도를 나타내며 c는 블록 길이이다. 각 MS  $k$ 에는  $N_{M,k}$  개의 안테나가 제공되고 각 BS  $p$ 에는  $n_{M,k}$ 가 제공되고,  $\{k=1,2,3,\dots,N_M\}$  및  $\{p=1,2,3,\dots,N_B\}$ . 우리는  $n_B = \sum_{p=1}^{N_B} n_{B,p}$ 를 송신 안테나의 총 수로,  $n_M = \sum_{k=1}^{N_M} n_{M,k}$ 를 수신 안테나의 총 수로 지정한다. 또한 집합  $N_B = \{1,2,3,\dots,N_B\}$ ,  $N = \{1,2,3,\dots,N\}$ ,  $M = \{1,2,3,\dots,M\}$  그리고  $N_M = \{1,2,3,\dots,N_M\}$ 을 지정한다. m 번째 클러스터에 대한 각각의 신호  $E_{m,n}$ 은 주어진 채널 사용에 대해 미리 정해지고, 우리는  $r_{m,n} < n_{M,k}$ 를 가지며, 여기서  $m \in M$  및  $n \in N$ 을 갖고 각각에 존재하는 MS 안테나들의 수로서  $n_{M,m}$  및  $n_{M,n}$ 을 클러스터 및 셀 각각 지정한다. n 번째 셀에서 m 번째 클러스터에 속한 CC 및 CE 사용자의 중첩 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$E_{m,n} = \sqrt{P_{1,m,n}} S_{1,m,n} + \sqrt{P_{2,m,n}} S_{2,m,n}, \quad (3)$$

여기서  $S_{1,m,n}$ 과  $S_{2,m,n}$ 은 각각 CC 사용자와 CE 사용자에 대한 원하는 신호입니다. m 번째 클러스터에 할당된 전력은 다음과 같이 표현된다.

$$P_{1,m,n} + P_{2,m,n} = 1 \quad (4)$$

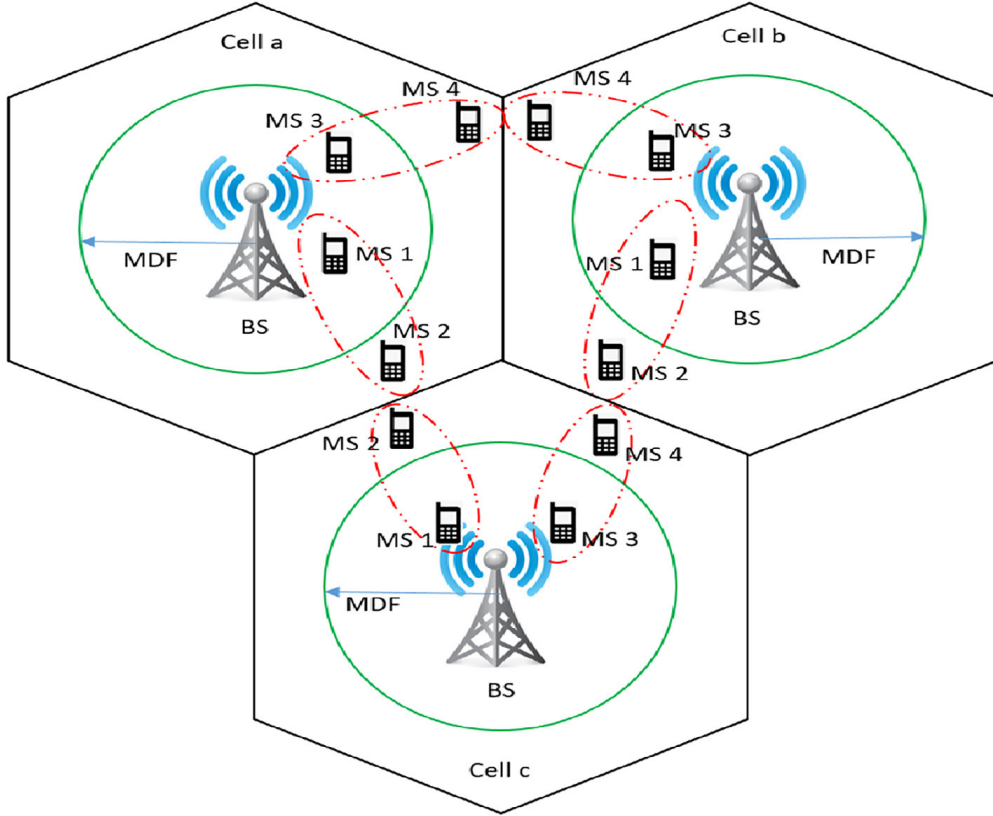


그림 2. 멀티링크 MIMO-NOMA 다운링크 시스템  
 Fig. 2. Multilink MIMO-NOMA downlink system

여기서  $P_{1,m,n}$  및  $P_{2,m,n}$  은 각각 CC 및 CE 사용자에게 할당 된 전력을 나타냅니다. 신호  $E_{1,m}, E_{2,m}, E_{3,m}, \dots, E_{M,m}$  은 프리 코딩 프로세스를 거치며 이는 일반적으로 동일한 클러스터 및 다른 클러스터에 대해 지정된 데이터 스트림 간의 간섭을 제한한다. 인코딩 된 신호는 선형 및 비선형 프리 코딩을 통해 프리 코딩되어 클러스터 전반의 간섭을 처리 할 수 있으며 동일한 클러스터의 데이터 스트림도 처리 할 수 있다. 여기서 선형 프리 코딩은 다음과 같이 주어진다.

$$W = [W_{1,n}, W_{2,n}, W_{3,n}, \dots, W_{M,n}], \quad (5)$$

여기서,  $m \in M$  및  $W_{m,n} \in C^{1 \times n_{Mn}}$  은 클러스터 m에 대응하는 빔 포밍 벡터를 나타낸다.  $n_B$  개의 안테나로부터 전송된 신호 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$x = Wz, \quad (6)$$

여기서,  $E \in C^{n_M \times n_{Mn}}$  이고, k는 인코딩 된 신호를 나타내며,  $W \in C^{n_B \times n_M}$  은 빔 포밍 행렬이고  $E = [E_{1,n}^\dagger, E_{2,n}^\dagger, \dots, E_{M,n}^\dagger]^\dagger$  이다. 각 BS에 대한 송신 전력 제약은 식(7)이다.

$$\text{tr}\{E(x_p x_p^H)\} < P_p, p \in N_B \quad (7)$$

여기서,  $P_p$  는 BS에서 송신되는 최대 전력이다. n 번째 셀에서 m 번째 클러스터에 수신된 신호 벡터는 다음과 같이 주어진다.

$$y_{m,n} = H_{m,n}x + z_{m,n}, \quad (8)$$

여기서  $x = [x_1^\dagger, x_2^\dagger, \dots, x_{N_B}^\dagger]^\dagger$  및  $z_{m,n}$  은  $CN(0, \sigma_{m,n}^2)$  을 갖는 부가 백색 가우스 잡음(AWGN) 벡터이다. 모든 클러스터에 대한 전체 채널 행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H = [H_{1,n}, H_{2,n}, H_{3,n}, \dots, H_{M,n}], \quad (9)$$

여기서,  $H \in C^{n_M \times n_B}$ 이다.  $n$  번째 셀의  $m$  번째 클러스터에 해당하는 채널 행렬은 식(10)이다.

$$H_{m,n} = [h_{1,m,n}, h_{2,m,n}]^T, \quad (10)$$

여기서,  $h_{k,m,n} \in C^{n_{B,p} \times n_{M,k}}$ 이다.  $m$  번째 클러스터에서 BS  $p$ 로부터 사용자  $k$ 까지의 채널 벡터를 나타낸다.  $n$  번째 셀에서  $m$  번째 클러스터에 의해 수신 된 신호는 다음과 같이 주어진다.

$$y_{m,n} = y_{1,m,n} + y_{2,m,n}, \quad (11)$$

여기서,  $y_{1,m,n}$  및  $y_{2,m,n}$ 은 각각 CC 및 CE 사용자에게 의 해 수신 된 신호이며, 이들은 식 (12) 및 (13)과 같다.

$$y_{1,m,n} = h_{1,m,n}^T W_{m,n} \sqrt{P_{1,m,n}} S_{1,m,n} + \sum_{j=1, j \neq m}^M h_{1,m,n}^T W_{j,n} E_{j,n} + z_{1,m,n}, \quad (12)$$

여기서  $E_{j,n} = \sqrt{P_{1,j,n}} S_{1,j,n} + \sqrt{P_{2,j,n}} S_{2,j,n}$  과  $z_{1,m,n}$ 은  $CN(0, \sigma_{m,n}^2)$ 을 갖는 AWGN 잡음이다. 식(12)에서 첫 번째 항은 CC 사용자에게 요구되는 신호를 나타내며 두 번째 항은 같은 셀에 존재하는 다른 클러스터로부터의 간섭으로 인한 것이다. 클러스터 간섭 (ICRI). CC 사용자의 SIC 구현으로 인해 동일한 클러스터에있는 CE 사용자로 인해 발생하는 사용자 간 간섭 (IUD)이 취소된다.

$$y_{2,m,n} = h_{2,m,n}^T W_{m,n} \sqrt{P_{2,m,n}} S_{2,m,n} + \Xi + \Pi + \sum_{c \in \mathcal{N} \setminus n, n=1}^M \sum_{m=1}^M g_{2,m,c}^T W_{m,c} E_{m,c} + z_{2,m,n}, \quad (13)$$

여기서  $\Xi = h_{2,m,n}^T W_{m,n} \sqrt{P_{1,m,n}} S_{1,m,n}$ ,  $\Pi = \sum_{j=1, j \neq m}^M h_{2,m,n}^T W_{j,n} E_{j,n}$  그리고  $z_{2,m,n}$ 은  $CN(0, \sigma_{m,n}^2)$ 을 갖는 AWGN 잡음 벡터이다.  $mT$ 는  $m$  번째 셀의  $m$  번째 클러스터에 존재하는 CE 사용자에게 대한 (다른 셀로부터의) 간섭 채널 벡터를 나타낸다. (11)에서 첫 번째 항은 원하는 점화에 대한 사용자 간섭이며, 두 번째 항은 우리가 사용자 간 간섭 (IUD)이라고 부르는 동일한 클러스터에있는 CC 사용자로부터의 간섭이다. 세 번째 용어는 ICRI이고 네 번째 용어는 셀 간 간섭 (ICI)으로 간주되는

다른 셀에있는 CE 사용자의 간섭으로 인한 것이다. BS로부터  $m$  번째 클러스터로의 송신의 달성 가능한 다운 링크 레이트는 미지 송신 신호  $E_{m,n}$ 과 관찰 된 수신 신호  $y_{m,n}$  사이의 상호 정보이다.

$$R_{m,n} = I(E_{m,n}; y_{m,n}) = (R_{1,m,n} + R_{2,m,n}), \quad (14)$$

여기서  $R_{1,m,n}$ 과  $R_{2,m,n}$ 은 각각 CC와 CE 사용자에게 의한 가변 다운 링크 용이다. 완전하고 불완전한 SIC 수신기를 가진 CC ser에 대한 달성 가능한 속도는 식 (15) 및 (16)에 각각 적용된다.

$$R_{1,m,n} = \log_2 \left( 1 + \frac{P_{1,m,n} |h_{1,m,n}^T W_{m,n}|^2}{\sum_{j=1, j \neq m}^M |h_{1,m,n}^T W_{j,n}|^2 + \sigma_{1,m,n}^2} \right) \quad (15)$$

$$R_{1,m,n} = \log_2 \left( 1 + \frac{P_{1,m,n} |h_{1,m,n}^T W_{m,n}|^2}{\sum_{j=1, j \neq m}^M |h_{1,m,n}^T W_{j,n}|^2 + \mu P_{2,m,n} |h_{1,m,n}^T W_{m,n}|^2 + \sigma_{1,m,n}^2} \right) \quad (16)$$

$$R_{1,m,n} = \log_2 \left( 1 + \frac{P_{2,m,n} |h_{1,m,n}^T W_{m,n}|^2}{P_{1,m,n} |h_{2,m,n}^T W_{m,n}|^2 + \sum_{j=1, j \neq m}^M |h_{2,m,n}^T W_{j,n}|^2 + \sum_{c \in \mathcal{N} \setminus n, n=1}^M \sum_{m=1}^M |g_{2,m,c}^T W_{m,c}|^2 + \sigma_{2,m,n}^2} \right) \quad (17)$$

CC 사용자는 불완전한 연속 간섭 제거 (SIC)를 고려하여 EIC에서 주어진 완벽한 SIC 수신기와 비교하여 보다 현실적인 분석을 제공한다. (15). CC 사용자의 SIC 오류 1은 주로 쌍을 이룬 사용자 간의 채널 이득의 차이가 적고 또한 송신기의 채널 불확실성으로 인해 발생한다. 많은 사용자가 페어링되면 SIC 오류로 인해 성능이 크게 저하 될 수 있다. 그러나 제안 된 기법에서 각 셀에 대해 클러스터 당 2 명의 사용자 만 고려하기 때문에 SIC 에러는 총 레이트 성능에 덜 영향을 미친다. CE 사용자의 달성 가능한 비율은 식 (17)에 나타나 있다. (17)는 CC 사용자에서만 사용되기 때문에 SIC로 인해 영향을받지 않는다. 모든 클러스터에 대한 가중 합계는 다음과 같이 표현 된다.

$$R_{sum} = \sum_{n \in \mathcal{N}, n \in M} B_{m,n} R_{m,n} \quad (18)$$

여기서  $B_{m,n} > 0$ 은 각 클러스터의 고정 가중치다. 이러한 가중치는 일반적으로 공정성 및 네트워크 처리량에 따라 네트워크 운영자가 선택하는 사용자 우선 순위를 에몰레이션했다.



## 2. Problem Formulation

이 절에서는 BS에서 불완전한 CSI를 갖는 MIMONOMA 다운 링크 시스템에 대한 WSRM 문제를 공식화한다. 여기서 우리는 CSI 오류를 포함하는 SVUM 또는 곱셈 불확도 모델을 고려한다. Multiplicative Uncertainty Model (MUM)은 다음을 나타낸다. 강건 용량은 제약된 전력으로 전송된 신호의 모든 전력 스펙트럼 밀도 (PSD)에 대해 최대가 되고 최소가 주파수보다 큰 상호 정보 속도의 최대 - 최소로 정의되는 실제 주파수 응답의 불확실성 곱셈 적 불확도 집합으로부터의 곱셈 적 채널 행렬은 그림 3에 나와있는 공칭 채널 행렬과 미지의 (bounded) 채널 불확실성 행렬의 곱으로 정의된다. 일반적으로 실제적으로 완벽한 CSIT를 얻는 것은 매우 어렵다. 그래서 견고성은 두 가지의 인기있는 디자인, 즉 stochastic and deterministic approach에 의해 해결될 수 있는 문제를 요구 해왔다. 확률론적 불확도 모델 (SUM)에서, CSI 오차는 제한되지 않으며 알려진 통계 분포를 갖는 가우스 확률 변수를 가정한다.

즉, 채널이 완전히 않다면

$$H_{m,n} = \hat{H}_{m,n} (I + \Delta_{m,n}), \quad (19)$$

여기서  $\Delta_{m,n} \in CN(0, D)$ 는 제로 평균과 공분산  $D$ 를 갖는 CSI 오차이다. 결정 론적 불확도 모델 (DUM)에서 CSI 오류는 알려진 집합 (가능한 값)에 의해 결정 론적으로 경계가 있다고 가정되지만 실제 값은 송신기에 알려져 있지 않다. 또한 타원체 불확도, 특히 값 불확도, 임의적 규범 불확도, 구 불확도 등 다양한 불확도 모델에 의해 제한된 CSI 오류를 고려할 수 있다. 예를 들어, 타원 불확도 모델 (ESI)은 CSI 오류를 포함하는 것으로 간주될 수 있다. 불확도 영역은 다음과 같이 한정 될 수 있다.

$$H_{m,n} = \{\hat{H}_{m,n} + \psi_{m,n} | \text{tr}(\psi_{m,n} L \psi_{m,n}^\dagger) < \epsilon^2\}, \quad (20)$$

여기서  $L \geq 0$ 은 영역의 형상을 나타내는 주어진 행렬이고,  $\epsilon^2$ 는 타원체 영역의 크기를 관리한다. 앞서 언급했듯이, 우리는 유도된 norm constraint 채널 행렬이 채널 불확실성에 강한 MIMO 시스템의 시스템 용량을 분석하는데 도움을주기 때문에 CSI 오류를 포함하는 singular value uncertainty model (SVUM)을 고려한다. SVUM은 다른 크기의 불확도 영역에 대해 달성 가능한 비율을 결정하는 데 도움을 준다. SVUM을 사용하는 각각의 클러

스터  $m$ 에 대한 채널 행렬은 다음과 같이 주어진다.

$$H_{m,n} = \hat{H}_{m,n} (I + \Delta_{m,n}), \quad (21)$$

$$= H_{m,n} = [\hat{h}_{1,m,n}(1 - \epsilon_{m,n}), \hat{h}_{2,m,n}(1 - \epsilon_{m,n})]^T, \quad (22)$$

$\hat{h}_{k,m,n} \in C^{m,k \times n_{B,p}}$  은 채널 벡터 예측치이다.

## 3. 사용자 클러스터링과 전력할당 알고리즘 (JUCPA)

참고문헌 4에 의하면

$$R_k^{(NOMA)} > R_k^{(OMA)}, \forall k \in N_M \quad (23)$$

여기서

$$R_1^{(NOMA)} > \log_2(1 + P_{1,m,n} P \hat{h}_1^{-y}) \quad (24)$$

$$R_2^{(NOMA)} > \log_2\left(1 + \frac{P_{2,m,n} P \hat{h}_2^{-y}}{P_{1,m,n} P \hat{h}_2^{-y} + 1}\right) \quad (25)$$

$$R_k^{(OMA)} > \frac{1}{2} \log_2(1 + P P \hat{h}_k^{-y}), \forall k = 1, 2 \quad (26)$$

식(23)의 식(24)과 식(26)을 통해 식(27)가 얻어진다.

$$MDF = \left( \frac{1 - 2P_{1,m,n}}{P_{1,m,n}^2 P} \right)^{\frac{-1}{\gamma}} \quad (27)$$

여기서  $\hat{h}_1 < MDF, \hat{h}_2 < MDF$ 이다.

식(27)와 식(22)에서  $k = 1$  일때

$$\hat{h} < \left( \frac{1 - 2P_{1,m,n}}{P_{1,m,n}^2 P} \right)^{\frac{-1}{\gamma}} \quad (28)$$

사용자 공정성과 Cell center(CC)와 Cell Edge(CE)의 클러스터는 식(29)로 얻어진다.

$$\gamma = \frac{(R_{1,m,n} + R_{2,m,n})^2}{2(R_{1,m,n}^2 + R_{2,m,n}^2)} \forall m \in M, \quad (29)$$

여기서  $R_{1,m,n}$ 과  $R_{2,m,n}$ 은 식(15),(17)을 사용하였다. 따라서 최대 전력  $P_{opt}$ 는 (30)식으로 주어진다.

$$P_{opt} = \operatorname{argmax}_{P \leq K} \sum_{K \in P} \frac{R_{k,P}(t)}{C_k(t)} \quad (30)$$

여기서  $R_{k,P}(t)$ 와  $C_{(k)}(t)$ 는 순시데이터율이고  $C_{(k)}(t)$

는 Capacity이다. 이들 계통도 및 시물레이션하면 다음 그림과 같다.

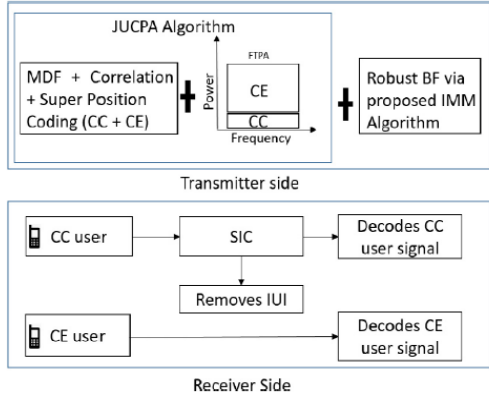


그림 3. MIMO-NOMA 다운링크 시스템의 트랜스미터와 리시버  
 Fig. 3. Transmitter and Receiver of MIMO-NOMA downlink system.

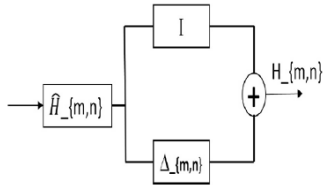


그림 4. 계통도  
 Fig. 4. Multiplicative uncertainty model

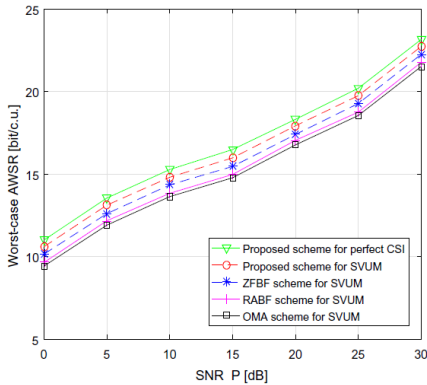


그림 5. 시물레이션도  
 Fig. 5. Simulation

## IV. 결론

본 논문에서는 5세대 이동통신 시스템에서 비약적인 시스템 용량 향상 위한 기법 중 하나로서 비직교 다중 접속 기법에 대한 기술 동향을 살펴보았다. 비직교 다중 접속 기법은 모든 사용자들이 시간과 주파수 자원을 공유함으로써 주파수 효율성을 높이고, 시스템 용량 향상 및 셀 외곽 사용자의 용량을 향상시킬 수 있는 기법이다. 사용자들의 자원 공유를 위해서 비직교 다중 접속 기법의 송신단에서는 Superposition Coding 기법을 이용하여 신호를 전송하게 되고, 수신단에서는 SIC 기법을 이용하여 특정 사용자의 신호를 검출하게 된다. 이때 SIC 성능을 향상시키기 위해서는 송신단에서 사용자 별 전력을 달리 할당해주어야 하는데 하향링크의 경우 채널이득이 큰 사용자일수록 전력을 작게 할당해 주어야 하는 반면 상향링크의 경우 채널 이득이 큰 사용자 일수록 더 높은 전력을 할당해줌으로써 SIC 성능을 향상시킬 수 있다. 결과적으로 비직교 다중 접속 기법은 상향링크와 하향링크의 환경에서 직교 다중 접속 기법보다 시스템 용량 측면에서 우수한 성능을 보인다. 특히 셀 외곽 사용자의 경우 최대 50배까지 성능 향상을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 한편, 본 논문에서는 5G 통신을 위한 BS에서 불완전한 CSI를 갖는 다중 셀 MIMO-NOMA 시스템에서 WSRM 문제를 해결하기 위해 견고한 빔 포밍 설계를 연구했다. 특히 우리는 CSI 오류를 포함하기 위해 SVUM을 고려했다. MDF와 채널 상관 관계를 고려하여 최상의 사용자 쌍을 클러스터로 선택하는 효율적인 JUCPA 알고리즘을 제안했다. 제안된 JUCPA 알고리즘은 최악의 경우의 WSR을 최대화 할 뿐만 아니라 IUI 및 ICRI를 감소시킨다. 우리는 또한 최적의 전송을 찾기 위해 MM 기법에 기반한 IMM 알고리즘을 제안했다. 최악의 경우의 WSR을 향상시키고 SVUM으로 공식화 된 객관적인 문제를 해결할 수 있다. 수치적 결과를 통해 제안된 NOMA 계획에 의해 달성된 AWSR이 기존의 NOMA 계획과 기존 OMA 계획에 의해 달성된 AWSR보다 꾸준히 우수한 것으로 확인되었다. 또한, 제안된 기법은 ICI 및 ZFBF 및 RABF 체계와 비교하여 최상의 사용자 공정성을 보장한다.

## References

- [1] S.Tomida and K. Higuchi, "Non-orthogonal Access with SIC in Cellular Downlink for User Fairness Enhancement", International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems(ISPACS), Dec.2011.
- [2] Y.Saito, A. Benjebbour, Y.Kishiyama, T. Nakamura, "Evaluation of Downlink System-level Performance for Non-Orthogonal Multiple Access(NOMA),"IEICE Technical Report, RC 2012-325
- [3] Jeong Muk Lim, Dae Sik Hong "Non-orthogonal multiple access (NOMA) technology trend for system capacity enhancement" The Magazine of IEIE, 2014, Dec vol,
- [4] Sunil, Moon Ho Lee et al, "User clustering and robust beamforming design in multicell MIMO-NOMA system for 5G communications" International Journal of Electronics and Communications (AEÜ) Elsevier, 2017 181-191
- [5] Moon Ho Lee, Qian Yang, Hui-Ming Wang, Derrick Wing Kwan Ng "NOMA in Downlink SDMA With Limited Feedback: Performance Analysis and Optimization" IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Volume 35, Issue 10, Oct 2017

## 저자 소개

### 김 정 수(정회원)



- 1998년 : 전북대학교 정보통신공학과 석사
- 2003년 : 전북대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2002년 6월 ~ 현재 : 송실사이버대학교 컴퓨터정보통신학과 부교수  
<주관심분야 : 이동통신, IoT>

### 이 문 호(정회원) 교신저자



- 1984년 전남대학교 전기공학과 박사, 통신기술사
- 1985년~1986년 미국 미네소타 대학 전기과 포스트닥터
- 1990년 일본동경대학 정보통신공학과 박사
- 1970년~1980년 남양MBC 송신소장
- 1980년 10월~2010년 2월 전북대학교 전자공학부 교수
- 2010년 2월~2013 WCU-2 연구책임교수
- 2015 국가연구개발 우수성과 100선
- 현재 전북대학교 전자공학부 초빙교수  
<주관심분야 : Jacket행렬, 무선이동통신, Molecular communication>

※ 이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임  
(No.2015R1A2A1A05000977)