

비직교 다중접속 방식을 이용한 동적 시분할 듀플렉싱 시스템의 타임 슬롯 할당 기법

김현성, 조호신*
경북대학교 IT대학 전자공학부

Time-Slot Allocation in Dynamic Time Division Duplexing System using Non-Orthogonal Multiple Access

Hyeon-seong Kim, Ho-Shin Cho*
School of Electronics Engineering, Kyungpook National University

요약 동적 시분할 듀플렉싱(D-TDD: Dynamic Time Division Duplex, 이하 D-TDD) 기술은 5세대 이동통신 시스템에서 빠르게 변화하는 상방향(uplink)과 하방향(downlink) 트래픽 수요에 적응적으로 대처할 수 있는 해법 중 하나이다. 그러나 셀 가장자리에서 심각한 간섭을 유발하는 '교차 슬롯 문제(crossed-slot problem)'를 야기한다. 기존의 자원 할당 기법에서는 이웃 셀 간 교차 슬롯 상황을 회피하도록 무선자원을 할당했고, 전송 방향이 제한될 수 있었다. 본 논문에서는 비직교 다중접속(NOMA: non-orthogonal multiple access, 이하 NOMA) 기법을 활용해 수신기에서 '연속적 간섭제거(Successive Interference Cancellation, SIC)를 수행함으로써 신호 대 간섭 및 잡음비를 향상시키고자 한다. 이를 통해, 기존에는 사용하지 못했던 교차 슬롯을 셀 가장자리에서도 가용하게 함으로써 무선채널 자원의 사용 효율을 높이는 방법을 제안한다. 성능분석 결과, 특별히 셀 가장자리에서 사용자의 SINR이 최대 57.83 [dB] 개선되었으며 전송 방향 (상/하)방향인 경우 각각 약 14%, 26% 통신가능 영역을 증가를 확인하였고, 전송 방향 변경을 용이하게 하여 무선 자원의 사용 효율이 증대됨을 확인하였다.

Abstract Dynamic Time Division Duplex (D-TDD) is one of the promising solutions for rapidly changing traffic demands on up- and downlinks in 5th generation (5G) mobile communications systems. However, D-TDD may cause severe interference, called the crossed-slot problem, especially around cell boundaries. Existing schemes have allocated radio resources to avoid crossed-slot situations between neighboring cells, and thus, the transmission direction change may be restricted. In this paper, Non-Orthogonal Multiple Access (NOMA) equipped with successive interference cancellation (SIC) is employed to eliminate that interference, especially at cell boundaries, and accordingly improves the signal-to-interference-plus-noise ratio (SINR) at the receiver. In this way, a crossed slot that is unavailable at cell boundaries becomes available, and thus, radio resource efficiency is improved. Numerical analysis shows the proposed scheme significantly enhances not only SINR by up to 57.83dB, especially around cell boundaries, but also increases the regions where communication is available by approximately 14% and 26% for up- and downlinks, respectively. Such performance improvements are achieved by changing the transmission direction (up/down) in an adaptive way.

Keywords : 5G Communication, D-TDD, Crossed-Slot Problem, NOMA, SINR

이 논문은 2021년 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(분산형 수중관측 제어망 개발).

*Corresponding Author : Ho-Shin Cho(Kyungpook National Univ.)

email: hscho@ee.knu.ac.kr

Received April 19, 2021

Accepted August 5, 2021

Revised May 11, 2021

Published August 31, 2021

1. 서론

다양한 이동통신 서비스의 개발과 사물 인터넷 서비스의 활성화로 이동통신 트래픽이 폭발적으로 증가하고 있다[1,2]. 그 과정에서 서비스의 종류가 다양화되고 그에 따른 서비스의 요구조건이 다차원적으로 복잡해지면서 제한된 무선주파수 자원의 효율적 사용에 대한 필요성이 더욱 높아지고 있다[2,3].

특히, 사용자의 동영상, 이미지 등 다양한 멀티미디어 데이터의 업로드와 다운로드가 빈번해지면서 상방향(uplink)과 하방향(downlink) 트래픽 수요의 불균형이 발생한다. 효과적으로 해결하기 위해 대표적으로 시분할 듀플렉싱(TDD: time-division duplexing, 이하 TDD) 방식이 제안되었다[4].

더 나아가, 5세대 이동통신 시스템에서는 시분할 듀플렉싱 채널 구조에서 각 타임 슬롯의 전송 방향(상/하)을 슬롯 단위로 변경할 수 있는 동적 시분할 다중접속 방식이 제안되었다[5,6].

하지만 동적 시분할 다중접속 방식은 이웃한 두 개의 셀이 하나의 타임 슬롯에 대해서 서로 다른 전송 방향으로 사용하는 경우, 셀의 경계에서 심각한 간섭을 겪게 된다. 이를 ‘교차슬롯간섭’[4, 7]이라 부른다. 교차슬롯간섭의 예로서, 셀 경계에 위치한 사용자가 특정채널을 하방향 전송으로 이용하는 경우, 인접한 셀의 경계에서 다른 사용자가 같은 채널을 상방향 전송에 사용하면 가까이 있는 인접 셀 사용자의 상방향 간섭 신호가 자신의 기지국으로부터의 하방향 신호보다 강하게 수신되어 신호대 간섭비가 심하게 열화된다. 이러한 교차슬롯 간섭은 무선자원의 활용성을 저하시키므로 그동안 이를 해결하기 위한 많은 노력이 있어 왔다.

1.1 관련연구

교차슬롯간섭을 피하거나 최소화하는 다양한 방법으로 셀 클러스터 기법을 활용하는 방법과[8,9] 이웃하는 셀들과 클러스터를 만든 후 프레임의 슬롯 구성을 모두 상/하 교차하도록 만들고 백본 네트워크를 통해 간섭을 제거하는 방법[10] 등이 제시되었다. 그러나 이러한 방법들은 시분할 듀플렉싱의 장점인 타임 슬롯의 적응적 활용을 얻었다고 보기 어렵다. 이를 개선하기 위해 교차슬롯이 발생할 때 신호 대 간섭 비율(SIR: signal to interference ratio) 관점에서 이득이 되는 사용자의 위치 영역을 구한 후 이를 활용하는 방안이 제시되었다[11]. 하지만, 사용자의 위치에 따라 슬롯의 전송 방향이

고정되어 트래픽 수요를 충족하지 못하고 자원 효율성이 낮아지는 경우가 존재한다. 따라서 동적 시분할 듀플렉싱 방식의 장점을 최대한 활용하기 위해서는 사용자의 위치에 따라 간섭 회피를 위한 전송 방향이 고정되는 문제점을 극복하는 것이 필요하다. 이밖에도 주변셀로부터의 간섭을 고려한 다중사용자 다이버시티 기법을 이용하여 셀 경계의 교차슬롯 간섭을 해결하려는 시도가 있었다[12]. 또한, 초밀집 환경에서의 상/하방향의 커버리지를 달리 하여 간섭을 해결하는 노력이 있었다[13]. 하지만 이 이러한 방식들은 많은 계산량을 필요로 하는 단점이 있다.

1.2 논문의 기여

기존 논문에서는 이웃하는 셀 간 간섭을 피하기 위해 전송방향 또는 사용자의 위치를 제한하였다[14,15]. 본 논문에서는 비직교 다중접속 기법을 활용해 수신기에서 ‘연속적 간섭제거(Successive Interference Cancellation, SIC)를 수행함으로써 신호 대 간섭 및 잡음비(SINR: signal to interference and noise ratio, 이하 SINR)를 향상시키고자 한다. 이를 통해, 기존에는 사용하지 못했던 교차 슬롯을 셀 가장자리에서도 가용하게 함은 물론, 평행슬롯 간섭(본 논문에서는 교차슬롯과 반대되는 개념으로 동일한 전송 방향을 갖는 이웃 셀 간의 간섭을 평행슬롯간섭이라 부르기로 한다.)을 감소시킴으로써 무선채널 자원의 사용 효율을 높이는 방법을 제안한다.

2. 제안 기법

2.1 시스템 모델

제안하는 시스템의 셀 구조와 프레임 구성을 Fig. 1에 표현하였다. 기준 셀 (Cell R)을 중심으로 간섭을 유발하는 이웃 셀 (Cell 1-6)을 가정한다. 기준 셀의 기지국과 사용자는 각각 BS_R 과 UE_R 로 나타내고, 같은 방법으로 이웃 셀의 기지국과 사용자는 각각 BS_i 와 UE_i ($i = 1, 2, \dots, 6$)로 나타내며 BS_R 과 UE_R 에 대한 잠재적 간섭원이 된다. d_{BB} 는 기지국 간 거리, $d_{BS_R-UE_R}$, $d_{BS_i-UE_i}$ 는 각각 BS_R 과 UE_R , UE_i 사이의 거리를 나타내고, $d_{BS_i-UE_R}$ 과 $d_{BS_R-UE_i}$ 는 각각 BS_i 와 UE_R , UE_i 사이의 거리를 나타낸다. 마찬가지로 $d_{UE_R-UE_i}$ 는 UE_R 과 UE_i 사이의 거리다. 모든 기지국은 한 타임 슬롯에 한 사용자와 통신을 하고 동일한 셀 반경 R 과 d_{BB} 를 가진다고 가정한다.

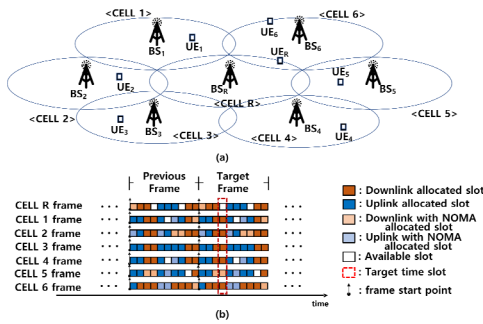


Fig. 1. System model and Frame Structure

각 셀은 '5G NR(new radio)' 프레임 구조를 따른다고 가정한다[16]. Fig. 1 (b)에서 보듯이 시간 축에서 프레임은 10개의 슬롯으로 구성되어 있으며 각 슬롯에 대해서 기지국은 다음의 5가지 전송방식을 결정할 수 있다. 1) NOMA를 활용하지 않는 상방향(Up), 2) NOMA를 활용하지 않는 하방향(Dw), 3) NOMA를 활용한 상방향(Up-NOMA), 4) NOMA를 활용한 하방향(Dw-NOMA), 5) 슬롯을 사용하지 않는 방식(available)이다. NOMA를 활용한 전송방식(Up-NOMA, Dw-NOMA)에 대해서는 다음 장에서 설명한다. 각 셀은 트래픽 수요와 이웃 셀의 간섭들을 고려하여 프레임 내 타임 슬롯의 전송방식을 결정(본 논문에서는 타임 슬롯 할당이라 부르기로 한다.)하고 일정 시간 동안 동일한 프레임 구성을 유지한다고 가정한다. 또한 각 셀의 타임 슬롯의 동기는 맞춰져 있다 가정한다. 본 논문에서는 기준 셀의 특정 프레임(Target Frame)의 특정 타임 슬롯(Fig. 1 (b)에서 붉은색 점선 박스로 표현)의 전송방식을 결정하고자 한다. 이후 이 특정 타임 슬롯을 "대상 슬롯"이라 부르기로 한다. 대상 슬롯에 대한 전송방식은 이전 프레임에서 미리 계산/결정되며 그 과정에서 이웃 셀들의 대상 슬롯에 대한 전송방식은 변하지 않는다고 가정한다.

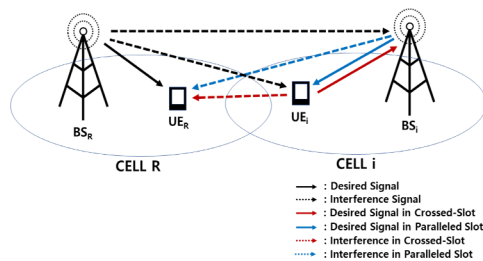


Fig. 2. 'Crossed-slot Interference' and 'Paralleled-slot Interference' when Reference Cell is Downlink

기준 셀과 이웃 셀간의 간섭은 전송 방향에 따라 교차슬롯 혹은 평행슬롯 간섭 2가지로 구별할 수 있다. Fig. 2는 기준 셀이 하방향 전송일 때의 간섭 예이다. 원하는 신호는 실선, 간섭 신호는 점선으로 표현했다. 이웃 셀이 상방향 전송 (붉은색)일 때 UE_R 에서 교차슬롯 간섭 (하방향인 검은색 실선과 상방향인 붉은색 점선이 만남)이 발생한다. 같은 원리로 BS_i 에서도 교차슬롯 간섭 (상방향인 붉은색 실선과 하방향인 검은색 점선이 만남)이 발생한다. 반면에 이웃 셀이 하방향 전송 (파란색)을 하는 경우, UE_R 과 UE_i 에서 동일한 전송 방향에 의한 간섭, 즉 "평행슬롯간섭"이 발생한다. 기준 셀이 상방향 전송을 하는 경우도 Fig. 2와 동일한 방식으로 전송 방향에 따라 교차슬롯 간섭과 평행슬롯 간섭이 발생한다.

Dw, Up의 전송방식을 사용하는 기지국과 사용자는 각각 P_{BS} 와 P_{UE} 의 고정된 전송 전력을 사용한다고 가정한다. 반면, Dw-NOMA, Up-NOMA의 전송방식을 사용하는 경우, 완벽한 SIC를 가정하며 이를 위해 BS와 UE의 전송 전력, $P_{BS,NOMA}$ 와 $P_{UE,NOMA}$ 은

$$P_{BS,NOMA} < P_{BS} \quad (1)$$

$$P_{UE,NOMA} < P_{UE} \quad (2)$$

을 만족하도록 설정된다[14,15].

2.2 NOMA를 활용한 간섭제거 방법

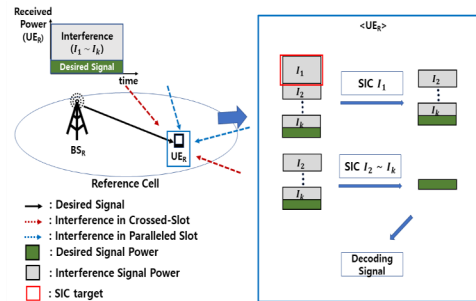


Fig. 3. Interference Mitigation with NOMA when Reference Cell is Downlink

Fig. 3은 앞 절에서 제시한 5가지 전송방식 중 NOMA를 활용한 하방향, Dw-NOMA의 개념도이다. 기준 셀이 하방향 전송인 경우, 교차슬롯 혹은 평행슬롯 간섭을 NOMA를 활용하여 제거할 수 있다. UE_R 는 k 개의 이웃 셀로부터 간섭의 영향을 받는다(UE_R 와 간섭원 간의 거리를 고려하여 6개의 이웃 셀 중에서 상대적으로

큰 수신 세기의 k 개 간섭 신호를 고려한다). SIC 동작을 위해서 UE_R 가 원하는 신호 (검은색 실선)의 수신 전력 이 이웃 셀로부터의 간섭 신호 (빨간색과 파랑색 점선)에 비해 작도록 $P_{BS,NOMA}$ 를 설정한다. Fig. 3에서 보듯이 이웃 셀로부터 수신되는 간섭 신호를 수신 세기의 크기 순으로 $I_1, I_2, \dots, I_k$ (회색)로 나타낼 때, 원하는 신호 세기 (초록색)가 가장 작다. 큰 간섭을 우선 복호화해서 제거하는 ‘연속적 간섭제거’를 진행한다[17,18]. 가장 큰 간섭 신호인 I_1 부터 I_k 까지 연속적 간섭제거를 반복하면 간섭 신호는 제거되고 남은 원하는 신호만 복호화한다.

SIC를 이용해 간섭 신호를 제거하기 위해서는 간섭 신호에 대한 채널 정보(CSI: Channel State Information)가 필요하다. 이를 위해서 이웃 셀로부터 필요한 정보(기지국과 단말의 전송 전력, 단말의 위치, 대상 슬롯에서의 전송 방향)를 5G 표준에서 정의된 기지국 간 인터페이스 X_n을 통해서 획득한다[19].

SIC 과정에서 각 단계별로 $I_1, I_2, \dots, I_k$ 를 복호화하기 위해서는 해당 단계에서의 SINR이 일정 수준보다 커야 하며 이를 위해서는 단말 및 기지국의 전송 전력이 일정 조건을 만족해야 한다.

2.3 NOMA를 활용하기 위한 전송 전력 조건

NOMA를 활용한 간섭제거 과정 중에 먼저 제거하는 간섭이 다른 신호들(다른 간섭원 + 원하는 신호)과 충분히 전력 크기에서 구분이 되어야 한다. 즉, 가장 먼저 I_1 을 제거하기 위해서는

$$\frac{I_1}{I_2 + \dots + I_k + S_{R,1}} \geq \gamma_{th} \quad (3)$$

을 만족해야 한다. 여기서 γ_{th} 는 성공적인 복호를 위한 최소 SINR 이고 $S_{R,1}$ 은 I_1 을 복호하기 위한 기준 셀의 BS_R 혹은 UE_R 에서의 상한 수신 세기이다. 식 (3)을 정리하면

$$S_{R,1} \leq \frac{I_1}{\gamma_{th}} - (I_2 + \dots + I_k) \quad (4)$$

을 만족해야 한다. 즉, I_1 을 복호하기 위한 기준 셀에서의 수신 세기의 조건을 얻을 수 있다. 같은 방법으로

$$S_{R,2} \leq \frac{I_2}{\gamma_{th}} - (I_3 + \dots + I_k) \quad (5)$$

와 같이 I_2 를 복호하기 위한 기준 셀에서의 수신 세기 조건을 얻을 수 있다. 차례로 간섭 신호를 제거하면 마지막 조건식으로

$$S_{R,k} \leq \frac{I_k}{\gamma_{th}} \quad (6)$$

을 얻을 수 있다. 모든 간섭 신호를 제거해야 하므로 식 (4) - 식 (6)을 모두 만족해야 한다. 즉, 기준 셀에서의 수신 세기를 아래와 같이 얻을 수 있다.

$$S_R = \min(S_{R,1}, \dots, S_{R,k}) \quad (7)$$

최종적으로, 기준 셀에서의 송신전력 $P_{R,NOMA}$ (하방향 전송의 경우 $P_{BS,NOMA}$, 상방향 전송의 경우 $P_{UE,NOMA}$)은 경로 감쇄를 고려하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{R,NOMA} = \frac{S_R}{d_R^\alpha} \quad (8)$$

만약 식 (8)에서 얻어진 최종 송신전력이 식(1) 혹은 식 (2)를 만족하지 못하면 NOMA를 활용한 전송방식이 불가능하다.

2.4 대상 슬롯에서의 전송방식 결정

식 (8)은 NOMA를 활용할 수 있을지의 여부를 판단하는 식으로 만약 식 (8)을 만족하는 송신전력 $P_{R,NOMA}$ 을 얻게 되면 NOMA를 활용하지 않는 경우와 SINR을 비교하여 더 큰 SINR을 얻는 방식으로 선택하게 된다. 예를 들어, 상방향/하방향 모두 식 (8)을 만족하면 가능한 전송방식은 Up-NOMA, Dw-NOMA Up, Dw 4가지이며 각 방식의 SINR을 비교하여 가장 큰 SINR을 얻을 수 있는 방식을 선택한다. 다만, 상/하 방향 모두 트래픽 수요는 충분하다고 가정한다.

3. 모의실험

제안 기법의 성능을 분석하기 위해 MATLAB을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 비직교 다중접속 방식을 사용하지 않는 기존의 D-TDD 방식과 비교하였다.

3.1 모의실험 환경 및 설정 파라미터

Fig. 4는 시뮬레이션 환경을 나타내는 예시도이다. 각 셀의 기지국은 검은색 점으로, 기준 셀의 사용자 UE_R 은 하얀색 점으로 표시된다. 이웃 셀의 간섭 사용자의 위치는 간섭의 크기에 따라 기준 셀을 중심으로 3개의 영역으로 나누어 분석하였다. 간섭의 크기가 가장 큰 첫 번째 링 (적색), 그 다음으로 두 번째 링 (청색)과 비교적 간섭이 영향이 적은 영역 (청색 링 외부)으로 구분하였다.

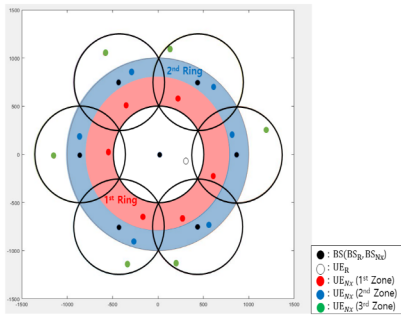


Fig. 4. Deployment of BSs and UEs

Table 1. Simulation Parameter

Parameter	Value
Cell Radius(R)	500 [m]
Path Loss Exponent (α)	4
Transmission Power of BS(P_{BS})	30 [dBm]
Transmission Power of UE(P_{UE})	15 [dBm]
Required SINR(γ_{th})	3 [dB]

Table 1은 성능 분석에 사용된 시스템 매개변수 값들을 나타낸다. 각 셀은 500m의 반경을 가지며 거리 감쇠 계수는 4로 가정하였다[20,21].

3.2 UE_R , UE_i 의 위치에 따른 기준 셀의 SINR 개선

우선 UE_R 의 위치에 따라 하방향 전송 시, 기준 셀의 SINR을 NOMA를 활용하기 전과 후를 비교하였다. 간섭에 큰 영향을 받는 셀 가장자리 영역의 변화를 확인하기 위해 $d_{BS_R-UE_R}$ 을 200 m에서 500 m까지 증가시키며 기준 셀의 SINR의 변화를 관찰하였다. 주어진 특정 위치의 UE_R 에 대해 2×10^6 번의 반복 시행하여 평균하였다.

이웃 셀의 사용자의 위치 분포에 따라 세 경우로 구분하여 분석하였고 이는 각각 Fig. 5 - Fig. 7에 나타났다. 기준 셀이 하방향 전송을 하는 경우, 이웃 셀의 각 사용자가 첫 번째 링에만 위치하거나 (Fig. 5) 두 번째 링에만 위치하거나 (Fig. 6), 두 번째 링 밖에만 위치하는 경우(Fig. 7)에 대한 결과를 나타낸다. 이때 각 이웃 셀은 5가지 전송방식 중 임의로 한가지 전송방식을 선택하므로 기준 셀은 각 영역 당 최소 0명에서 최대 6명의 간섭 사용자를 가진다. NOMA를 활용하기 전과 후 UE_R 에서의 SINR를 비교했고, NOMA를 사용하면서 SINR의 이득을 얻을 수 있는 'SINR 이득 영역(SINR Beneficial

Region)' 과 가능한 'SINR의 최대 이득(Maximum SINR Benefit)'을 비교하였다.

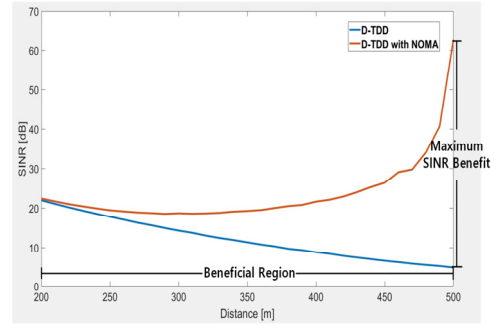
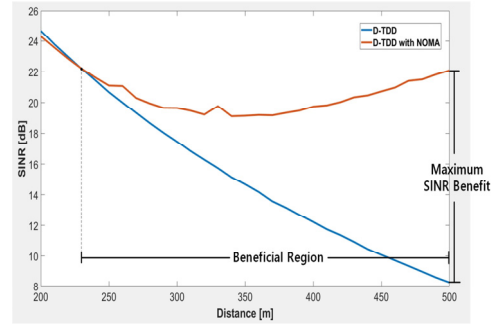
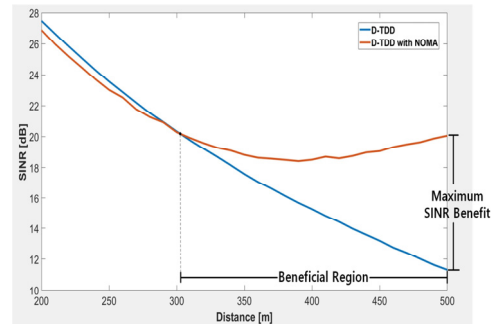
Fig. 5. Downlink SINR at UE_R when neighboring interferers are located in the '1st Ring' onlyFig. 6. Downlink SINR at UE_R when neighboring interferers are located in the '2nd Ring' onlyFig. 7. Downlink SINR at UE_R when neighboring interferers are located outside of '2nd Ring'

Fig. 5 - Fig. 7을 통해 세 경우 모두 NOMA를 사용하는 경우 SINR의 이득을 확인할 수 있다. 기존의

D-TDD 방식의 경우 UE_R 가 BS_R 로부터 멀어질수록 간섭원의 거리가 가까워져 SINR이 감소한다[11]. 반면, NOMA를 활용한 방식은 UE_R 가 셀 외곽에 위치할수록 SIC를 통해 상대적으로 큰 간섭신호를 우선 제거하면서 ‘SINR의 이득을 볼 수 있다. Fig. 5 - 7에서 모두 이웃 셀로부터의 간섭 영향일 큰 셀 경계 부분, 즉 $d_{BS_R-UE_R}$ 의 거리가 500에 가까이 커질수록 기존의 방식에 비해 NOMA 사용 방식의 SINR의 이득이 더욱 크게 나타났다. 특히, 간섭의 영향이 가장 큰 경우(Fig. 5)가, 셀 경계($d_{BS_R-UE_R} = 500$ m)에서의 최대 이득이 57.83[dB] ($62.67 - 4.84$)로 가장 컸다 (Fig. 6에서는 최대 이득이 약 13.85[dB] ($22.09 - 8.24$), Fig. 7에서는 약 8.75[dB] ($20.06 - 11.31$)).

간섭이 크지 않은 경우, 즉 간섭원의 위치가 두 번째 링 (Fig. 6)이거나 두 번째 링 밖(Fig. 7)의 경우는, UE_R 의 위치가 기지국에 가까울 때, NOMA를 사용하지 않은 경우가 수신 SINR 측면에서 다소 유리한 결과를 보인다. 이것은 $d_{BS_R-UE_R}$ 이 짧아서 상대적으로 간섭의 영향이 적으므로 NOMA를 사용하지 않고도 충분한 SINR 값을 얻을 수 있음을 나타낸다. 간섭이 크지 않을 때 NOMA를 사용할 경우, 효과적인 SIC를 위해 (1)에서 보듯이 BS_R 송신 전력이 작아지고, 평균적인 UE_R 과 간섭원의 거리가 멀어지며, SIC를 통해 제거되는 간섭의 크기가 감소한다.

UE_R 의 위치에 따라 NOMA를 사용하는 경우 간섭의 영향이 클수록 “Beneficial Region” 이 넓어짐을 확인할 수 있다.

3.3 UE_R 의 위치에 따른 통신 가능 영역

기준 셀이 DL과 UL을 부여한 상황에 대해 NOMA를 사용하기 전/후에 대해 ‘통신 가능 영역’을 표시하여 비교했다. ‘통신 가능 영역’이란 해당 위치에서 통신을 위한 충분한 SINR을 가지는 영역으로 10 [dB] 이상을 만족하는 영역을 의미한다. 통신이 가능한 UE_R 의 위치를 NOMA 사용 전의 경우는 적색점, NOMA 사용 후의 경우 청색점으로 표현하였다. $d_{BS_R-UE_R}$ 의 범위는 10[m] - 500[m]로 전 방위를 고려하여 성능 분석을 진행하였다. $d_{BS_R-UE_R}$ 은 10[m] 씩 증가하며, 각도는 5° 씩 증가하도록 설정하였다. UE_i 의 배치는 앞선 세 가지의 배치 중 ‘첫 번째 링’에 임의로 배치가 된다고 가정했다.

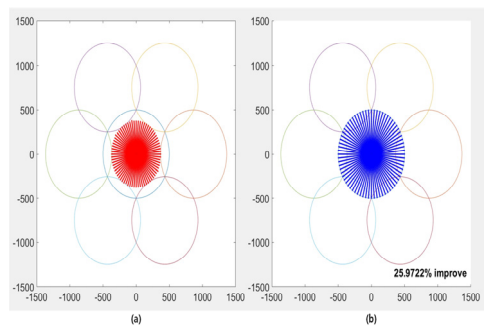


Fig. 8. Communication available region in case of downlink transmission (a) Without using NOMA (b) Using NOMA

하방향 전송일 때, NOMA를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에 대한 ‘통신 가능 영역’을 Fig. 8에 비교하였다. 기준 셀의 위치를 2차원 좌표평면상의 원점 (0,0)에 위치시키고 주변에 셀 반경이 500m인 6개의 이웃 셀이 존재하는 상황에서 각 위치에서의 ‘통신가능영역’을 표시하였다. Fig. 8 (a)는 NOMA 사용하지 않는 경우의 ‘통신 가능영역’을 적색으로 표시했고 Fig. 8 (b)는 NOMA를 사용하는 경우의 ‘통신가능영역’을 청색으로 표시하였다. NOMA를 사용함으로써 약 26%의 ‘통신가능영역’이 증가함을 확인할 수 있다. 특히 기준 셀 외곽에 위치한 사용자의 경우, 기존 방식에서는 가까워진 이웃 셀의 간섭원으로 인해 충분한 SINR을 확보하지 못한다. 통신이 불가능했던 상황(Fig. 8 (a))에서 NOMA를 활용하면서 충분한 SINR을 확보해 통신이 가능한 상황(Fig. 8 (b))이 될 수 있음을 알 수 있다.

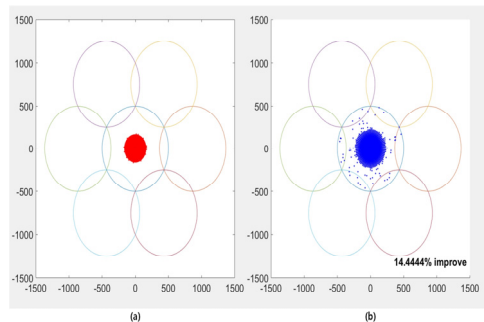


Fig. 9. Communication available region in case of uplink transmission (a) Without using NOMA (b) Using NOMA

반면, 상방향 전송에 대한 “통신가능영역”의 비교는 Fig. 9에 나타내며 그 밖의 조건은 Fig. 8과 동일하다.

NOMA를 사용함으로써 '통신 가능 영역'이 약 14.4% 정도 증가함을 확인할 수 있다. 상방향의 경우에도 기존 방식을 활용할 때, 이웃 셀의 간섭원의 영향으로 셀 중심 부분 제외하고 통신이 어려운 반면, NOMA를 사용함으로써 상대적으로 가까운 간섭원의 간섭 신호를 제거하면서 충분한 SINR을 확보하는 영역이 증가함을 확인할 수 있다.

BS_R 가 셀의 중심에 위치하므로 상대적으로 하방향 전송에 비해 수신기(BS_R)에서의 이웃 셀로부터의 간섭의 크기가 작게 된다. SIC를 통한 간섭제거를 위해서는 수신 단에서 충분한 간섭 신호 세기가 필요하므로 NOMA를 통한 이득이 상대적으로 하방향 전송에 비해 작게된다.

4. 결론

본 논문에서는 비직교 다중접속 방식을 이용해 시분할 듀플렉싱 시스템에서 이웃 셀로부터의 간섭을 효과적으로 제거하고 이를 통해서 무선자원인 타임슬롯의 활용도를 높이는 기법을 제안했다. 성능 분석을 통해, 제안 기법이 SINR 측면에서 이득이 있음을 확인하였고 특히, 이웃 셀로부터의 간섭 영향이 클수록, 즉 기존 셀 사용자가 셀의 경계에 위치하거나 이웃 셀의 간섭원이 기존 셀에 가까이 위치할수록 NOMA를 활용한 제안 기법이 SINR 측면에서 더 큰 이득을 주는 것을 확인하였다. 또한, 일정 수준 이상의 수신 SINR이 가능한 영역을 '통신가능영역'이라 정의하고 제안 기법을 사용했을 때, 상/하방향 모두에서 '통신가능영역'이 확대됨을 확인하였다. 즉, 제안 기법을 사용할 때, 기존에 강한 간섭으로 인한 통신 불가능 위치에서도 통신이 가능해짐으로써 무선자원의 사용 효율을 높일 수 있다.

References

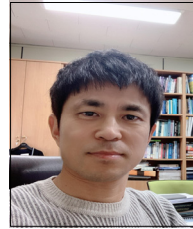
- [1] Cisco, "Visual Networking Index: and Trends, 2017–2022," 2018.
- [2] J.H Jahng, S. K. Park. "Mobile Traffic Trends", *Electronics and Telecommunications Trends*, 34(3), 106–113, 2019, DOI: <https://doi.org/10.22648/ETRI.2019.J.340311>
- [3] J.H Jahng, "Supply-Demand Balancing Policies in Radio Resources by Capacity Index", *Korea Technology Innovation Society Conference*, Korea Technology Innovation Society, 590–606, 2018.5.
- [4] P. W. C. Chan et al., "The evolution path of 4G networks: FDD or TDD?," in *IEEE Communications Magazine*, vol. 44, no. 12, pp. 42–50, Dec. 2006, DOI: <https://doi.org/10.1109/MCOM.2006.273098>.
- [5] P. Pirinen, "Challenges and possibilities for flexible duplexing in 5G networks," 2015 IEEE 20th International Workshop on Computer Aided Modelling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD), Guildford, UK, pp. 6–10, 2015, DOI: <https://doi.org/10.1109/CAMAD.2015.7390471>.
- [6] A. K. Gupta et al., "Rate analysis and feasibility of dynamic TDD in 5G cellular systems," *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Kuala Lumpur, pp. 1–6, 2016, DOI: <https://doi.org/10.1109/ICC.2016.7511412>.
- [7] X. Wang, T. Song and B. Xu, "Performance Comparison on Schemes for Suppressing Cross-Slot Interference in TD-SCDMA System," *2009 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Beijing*, pp. 1–4, 2009, DOI: <https://doi.org/10.1109/WICOM.2009.5302852>.
- [8] J. Nasreddine and S. El Hajj Hassan, "Interference mitigation and traffic adaptation using cell clustering for LTE-TDD systems," *2016 IEEE International Multidisciplinary Conference on Engineering Technology (IMCET)*, Beirut, Lebanon, pp. 155–159, 2016, DOI: <https://doi.org/10.1109/IMCET.2016.7777444>.
- [9] Guo, M., Chuai, G., Gao, W., Zhang, Y. Q. "Dynamic TDD Interference Mitigation Using Graph Theory Based Cell Clustering in 5G Ultra-Dense Network." *International Conference in Communications, Signal Processing, and Systems*, Singapore, pp. 694–705, 2017, July, DOI: http://dx.doi.org/10.1007/978-981-10-6571-2_85
- [10] K. Lee, Y. Park, M. Na, H. Wang, and D. Hong, "Aligned reverse frame structure for interference mitigation in dynamic tdd systems," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 16, no. 10, pp. 6967–6978, 2017, DOI: <https://doi.org/10.1109/TWC.2017.2735398>.
- [11] H. G. Kim and H. -S. Cho, "Interference Management Using Crossed-Slot in Dynamic Time Division Duplexing Systems," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 135377–135385, 2019, DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2942199>.
- [12] Q. Xin, H. Gao, and T. Lv, "Opportunistic Interference Mitigation for D-TDD in Ultra-Dense Networks", *2018 IEEE International Conference on Communications Workshop*, DOI: <http://doi.org/doi:10.1109/ICCW.2018.8403526>.
- [13] Z. Xie, X. Wu, X. Chen, and W. Wu, "Coverage Analysis of Dynamic TDD in Two-Tier Heterogeneous

Ultra Dense Networks," 2020 IEEE Vehicular Technology Conference, DOI: <http://doi.org/doi:10.1109/VTC2020-Fall49728.2020.9348431>.

- [14] H. Tabassum, M. S. Ali, E. Hossain, M. J. Hossain, and D. I. Kim, "Non-orthogonal multiple access (noma) in cellular uplink and downlink: Challenges and enabling techniques," 2016, arXiv:1608.05783.
- [15] Y. Gao, B. Xia, K. Xiao, Z. Chen, X. Li and S. Zhang, "Theoretical Analysis of the Dynamic Decode Ordering SIC Receiver for Uplink NOMA Systems," in IEEE Communications Letters, vol. 21, no. 10, pp. 2246-2249, Oct. 2017, DOI: <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2017.2720582>.
- [16] 5G; NR; Physical Channels and Modulation (3GPP TS 38.211 version 15.2.0 Release 15)
- [17] S. Verdu, Multiuser Detection, Cambridge Univ., 1998.
- [18] S. Sen, N. Santhapuri, R. R. Choudhury and S. Nelakuditi, "Successive Interference Cancellation: Carving Out MAC Layer Opportunities," in IEEE Transactions on Mobile Computing, vol. 12, no. 2, pp. 346-357, Feb. 2013, DOI: <https://doi.org/10.1109/TMC.2012.17>.
- [19] J. Rao and S. Vrzic, "Packet duplication for URLLC in 5G dual connectivity architecture," 2018 IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), Barcelona, pp. 1-6, 2018, DOI: <https://doi.org/10.1109/WCNC.2018.8377054>.
- [20] 5G; NR; Base Station (BS) radio transmission and reception (3GPP TS 38.104 version 15.2.0 Release 15)
- [21] 5G; NR; User Equipment (UE) radio transmission and reception; Part 1: Range 1 Standalone (3GPP TS 38.101-1 version 15.2.0 Release 15)

조 호 신(Ho-Shin Cho)

[정회원]



- 1994년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학석사)
- 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 (공학박사)
- 1999년 3월 ~ 2001년 2월 : 한국 전자통신연구원 선임연구원
- 2001년 3월 ~ 2003년 2월 : 한국항공대학교 전자정보통신컴퓨터공학부 전임강사
- 2003년 3월 ~ 현재 : 경북대학교 IT대학 정교수

<관심분야>

이동통신, 수중통신, 분자통신, 무선자원관리, 매체접속프로토콜

김 현 성(Hyeon-seong Kim)

[정회원]



- 2021년 2월 : 경북대학교 대학원 전자전기공학부 (공학석사)

<관심분야>

이동통신, 정보통신, 무선자원관리