

# 하향 링크 NOMA에서 URLLC를 위한 유한블록길이 적용 유전알고리즘 기반의 다중셀 다지점 협력 통신 성능 평가

류원재\*, 김재우\*, 김동성<sup>o</sup>

## Performance Evaluation of Multi-Cell CoMP Based on Genetic Algorithm Applied to Finite Blocklength Regime for URLLC in Downlink Non-Orthogonal Multiple Access

Won Jae Ryu\*, Jae Woo Kim\*, Dong-Seong Kim<sup>o</sup>

### 요약

Ultra reliability and low latency communication(URLLC)는 5G의 서비스 종류 중 하나로써, 짧은 데이터 크기와, 엄격한 지연시간 및 신뢰성을 요구한다. URLLC의 요구사항을 만족시키기 위해 스펙트럼 효율이 좋은 비직교다중접속방식(non-orthogonal multiple access, NOMA)이 제안되고 있으나, 사용자쌍으로 구성된 두명 이상의 사용자의 전력레벨을 달리하여 신호를 중첩시켜 전송하는 방식이기에, 셀 가장자리에 위치한 사용자는 거리에 따른 신호감쇄 및 같은 사용자쌍 내의 다른 사용자의 신호가 간섭으로 작용하게 되어 낮은 신뢰성을 가지게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 셀 가장자리 사용자의 신뢰성을 개선하기 위해 다지점 협력 통신 및 유전알고리즘을 적용한 방식을 제안하였으며, 유한블록길이의 관점에서 성능평가를 실시하였다.

**키워드** : URLLC, 비직교다중접속, 유전알고리즘, 유한블록길이, 다지점 협력 통신

**Key Words** : URLLC, non-orthogonal multiple access, genetic algorithm, finite blocklength, coordinated multipoint transmission and reception

### ABSTRACT

Ultra reliability and low latency communication(URLLC) is one of the 5G service types and requires a short data size and strict latency and reliability. In order to satisfy the requirements of URLLC, a non-orthogonal multiple access(NOMA) method with high spectrum efficiency has been proposed, but since it is a method of superimposing and transmitting signals by different power levels of two or more users composed of a user-pair, Signal attenuation according to distance and signals of other users within the same user pair act as interference, resulting in low reliability. In order to solve this problem, in this study, Coordinated multipoint communication and Genetic algorithm applied to improve the reliability of cell edge users were proposed, and performance evaluation was performed in terms of the finite block length.

\* 본 연구는 2021년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2019R1I1A1A01063895, 2018R1A6A1A03024003), 본 연구는 과학기술정보통신부 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2021-2020-0-01612)

• First Author : Kumoh national Institute of Technology ICT Convergence Research Center, wj0828@kumoh.ac.kr, 정회원

◦ Corresponding Author : Kumoh national Institute of Technology Department of Electronic Engineering, dskim@kumoh.ac.kr, 종신회원

\* Kumoh national Institute of Technology ICT Convergence Research Center, jaewookim@kumoh.ac.kr, 정회원

논문번호: 202103-046-RE, Received February 24, 2021; Revised May 1, 2021; Accepted May 1, 2021

## I. 서 론

URLLC(Ultra reliability and low latency communication)는 5G의 서비스 종류 중 하나로써, 산업용 통신, 스마트 그리드, 로봇 원격 수술, 자율 주행 등과 같은 데이터의 실시간성 및 신뢰성을 요구하는 분야에 적용된다. 따라서 짧은 데이터 크기와, 엄격한 지연시간 및 신뢰성을 요구하며, 일반적으로 1ms 이내의 지연시간과 99.999%이상의 신뢰성을 요구한다<sup>[1-3]</sup>. URLLC의 전송 패킷들의 크기는 전송 효율을 위해 짧은 패킷 사이즈로 설계 되었고, 매우 엄격한 신뢰성과 저지연을 요구하기 때문에 일반적인 Shannon capacity 기반의 방식이 아닌 유한블록길이(Finite blocklength, FBL)가 제안되어 연구되고 있다<sup>[4-6]</sup>. 이러한 FBL을 통해 채널 상태와 목표 신뢰도 및 블록길이 등을 통해 달성 가능한 데이터률을 구할 수 있다.

URLLC의 요구사항을 만족시키기 위해 스펙트럼 효율이 좋은 비직교다중접속방식(non-orthogonal multiple access, NOMA)이 제안 되었다<sup>[7-9]</sup>. NOMA는 사용자쌍으로 구성된 두명 이상의 사용자의 전력 레벨을 달리하여 신호를 중첩시켜 전송하는 방식이다. [10]은 URLLC의 지연시간 만족을 위해 NOMA기반의 재전송에 관하여 연구를 진행 하였고, [11]은 하향링크 NOMA 시스템에서 FBL 기반의 전력 할당 알고리즘을 적용하여 URLLC 요구사항 만족에 관한 기법을 제안하였으며, [12]는 Index Modulation을 활용한 NOMA 시스템에서 상향링크 URLLC 패킷을 다루기 위한 Grant-free 방식을 제안하였다. [13]은 공장자동화를 위해 URLLC를 적용하는 경우, NOMA 사용자쌍에서 근거리 사용자를 Relay로 활용하여 중계기와 함께 먼거리 사용자에게 전송하는 방식으로 URLLC 요구사항을 만족시키도록 하였다. 이러한 연구들은 URLLC의 요구사항 만족을 위해 하나의 중계기만을 고려하는 시스템 관점에서 접근 하였지만, 다중 셀 상황에서 신호의 간섭 및 감쇄에 따른 셀 가장자리 사용자(Cell-edge user, CEU)의 성능저하에 대해서는 고려하지 않았다. NOMA를 사용하여 신호를 중첩시켜 보내는 경우, CEU는 거리에 따른 신호감쇄, 같은 사용자쌍 내의 다른 사용자의 신호의 간섭 및 다른 셀의 중계기에서의 간섭으로 신뢰성이 낮아진다.

이러한 CEU의 성능 개선을 통한 방법으로는 CoMP를 적용하여 NOMA의 스펙트럼 효율을 개선하는 방법이 있다. [14]는 하향링크 NOMA 시스템에서 Joint transmission coordinated multipoint(JT-CoMP)와 spatial modulation을 결합하여 capacity 및 스펙트

럼 효율을 개선하였다. [15]는 하향링크 NOMA에서 JT-CoMP와 Virtual user-pairing을 적용한 용량 증대를 다루었다. [16]은 철도무선통신망과 국가재난안전통신망의 공동구축에 따른 전파간섭이라는 실용적인 시나리오에서, radio access network sharing, intercell interference coordination, CoMP 등을 적용하여 공존성 개선에 관한 연구를 수행하였다. [17]은 다중셀 하향링크 환경에서 다수의 CEU를 위해 CoMP를 적용하고, 유전알고리즘(Genetic algorithm, GA)을 통해 Joint scheduling을 실시하여 전체 시스템의 용량 개선에 대하여 다루었다. CoMP를 사용한 기존의 연구들은 CEU의 성능개선을 위해 CoMP를 도입하여 성능평가를 실시하는 반면, URLLC의 요구사항 만족의 관점에서 진행되지 않았다. 또한 [17]을 제외한 나머지 연구들에서는 CEU가 특정 환경에 고정된 채로 진행되었기에, 각 CEU들의 패킷 수신 유무의 가변성은 고려되지 않았다. 그리고 [17]은 NOMA가 아닌 OMA 관점에서 연구가 시행되었다.

본 연구는 다수의 CEU의 패킷 전송 여부 등이 가변하는 하향링크 NOMA 다중 셀 환경 하에 URLLC 요구사항을 만족시키기 위해, FBL과 GA를 통해 JT-CoMP 스케줄링을 하는 알고리즘을 제안하였다. 본 장의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 시스템 모델, FBL과 유전알고리즘(Genetic algorithm, GA)을 적용한 CoMP 스케줄링 알고리즘을 설명한다. 3장에서는 시뮬레이션 및 결과를 통한 성능평가를 기술하였으며, 4장에서는 결론 및 향후연구에 대해 언급한다.

## II. 본 문

### 2.1 시스템 모델

본 장에서는 다중셀 CoMP의 시스템 모델에 대해서 서술한다. 3개의 Base station (BS)와 다수의 NOMA 사용자쌍으로 구성하였으며, 각 사용자쌍은 근거리사용자와 먼거리사용자로 나뉘는데, 여기서 먼거리사용자가 CEU로써 셀의 가장자리에 위치하며, 각 CEU들은 URLLC 사용자들로 가정한다. 따라서 각 CEU들의 신뢰성과 지연시간 조건을 만족시켜져야 한다. 셀의 가장자리에 위치한 CEU들은 위치에 따라 각 BS의 신호에 영향을 받으며, 이러한 CEU들의 성능을 개선하여 URLLC 요구사항 만족을 위해 Coordinated scheduling CoMP (CS-CoMP) 및 JT-CoMP가 적용된다.

### 2.2 유한블록길이

유한블록길이(Finite Blocklength, FBL)를 적용하여 성능평가를 진행한다. FBL의 공식 (4)는 다음과 같다<sup>41</sup>.

$$C = E_H[\log_2(1 + x|h|^2)], \quad (1)$$

$$V = TVar[\log(1 + x|h|^2)] + 1 - E^2\left[\frac{1}{1 + x|h|^2}\right], \quad (2)$$

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{u^2}{2}} du, \quad (3)$$

$$R = C - \sqrt{\frac{V}{n}} Q^{-1}(\epsilon). \quad (4)$$

여기서  $x$ 는 신호대비간섭(Signal-to-Interference ratio, SINR)이고,  $h$ 는 페이딩 채널 계수,  $T$ 는 coherence time,  $C$ 는 Shannon capacity,  $V$ 는 채널 분산,  $Q$ 는 Q함수,  $n$ 은 블록길이,  $\epsilon$ 는 에러율을 나타낸다<sup>51</sup>. 위 공식 (4)를 기반으로 현재 채널 상태를 반영하여 달성가능한 데이터율을 구할 수 있다. (4)를 바탕으로 하는 전송할 패킷  $P$ 에 대한 블록길이  $n$ 을 구하는 공식은 다음과 같다.

$$P = nR = n\left(C - \sqrt{\frac{V}{n}} Q^{-1}(\epsilon)\right), \quad (5)$$

$$n = \left(\frac{\sqrt{4PCQ(\epsilon)^2 + V} + \sqrt{V}}{2CQ(\epsilon)}\right)^2. \quad (6)$$

공식 유도 과정은 [11]를 참고하였다.

### 2.3 유전알고리즘 기반 다중셀 CoMP

유전알고리즘을 통해 다중셀에서 CoMP를 적용할 때 해당 BS가 어떤 CEU에게 전송을 할지를 선택하도록 하였다. 유전알고리즘 관련 Gene, Population, Chromosome 구조는 그림 1과 같다. BS의 수만큼의 Gene이 Chromosome을 구성한다. 본 연구에서는 3개의 BS를 가정하였기에 3개의 Gene으로 구성하였다. Gene은 해당 BS가 어떤 CEU에게 전송할지 등을 결정한다. 본 연구에서 사용된 유전알고리즘은 그림 2에 나타난 것과 같은 과정으로 준최적화를 진행한다. 초기화를 통해 파라미터 값을 세팅하고, 첫 population을 만든다. 만든후 적합성 함수를 통해 각

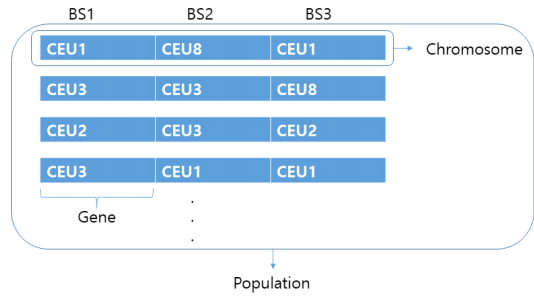


그림 1. Population, Chromosome, Gene 구조  
Fig. 1. Structure of Population, Chromosome, and Gene

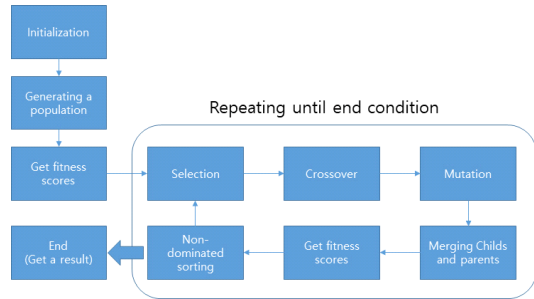


그림 2. 유전 알고리즘 과정  
Fig. 2. Procedure of genetic algorithm

Chromosome별 적합성 점수를 획득한 후, Selection을 통해 Crossover에 사용될 Chromosome들을 선택한다. Crossover 과정에서의 Gene 교환에 의해 생성된 child population은 Mutation을 통해 Gene이 무작위적으로 변경된다. 그 후 Child population과 Parent population을 통합하여 적합성 점수를 획득한다. 그리고 적합성 점수가 좋은 순으로 재정렬한 후, 통합된 population 크기의 반만 다음 세대의 population으로 한다<sup>181</sup>.

#### 2.3.1 적합성 함수

적합성 함수를 통해 Population의 각 Chromosome들의 평가가 진행된다. 평가된 점수를 기준으로 Selection이 실시되는데, 적합성 함수를 어떻게 설정하느냐에 따라 유전 알고리즘의 준최적화 성능이 결정된다. 본 연구에서는 FBL기반의 블록길이 계산 공식 (6)을 기반으로 적합성 함수를 만들었다. 그림 1의 첫 번째 chromosome처럼 CEU 1에 Packet이 전송되기 위해 송신거리 내의 BS1과 BS3가 JT-CoMP를 하며, CEU1은 BS2의 영향을 받지 않고 CEU 8에만 전송하는 경우 (이때 CEU 8의 채널상태가 나쁘다고 가정하면 CEU 1 기준으로 블록길이를 결정) SINR  $x$ 는

$$x = \frac{p_f h_{1,2}^2 + p_n h_{1,3}^2}{p_n h_{1,2}^2 + p_n h_{1,3}^2 + N0} \quad (7)$$

$p_f$ 는 CEU에 할당되는 전력비,  $p_n$ 는 CCU에 할당되는 전력비,  $h_{a,b}$ 는 CEU a와 BS b간의 채널이득,  $N0$ 는 잡음을 정규화시킨 값이다. 이렇게 구한 SINR  $x$ 를 공식 (6)에 대입시키게 적합성 점수  $f$ 가 된다.

$$f = n(x) = \left( \frac{\sqrt{4PC(x)Q(\epsilon)^2 + V(x)} + \sqrt{V(x)}}{2C(x)Q(\epsilon)} \right)^2 \quad (8)$$

블록길이가 짧을수록 Resource block을 적게 차지하기 때문에, 이렇게 구한 적합성 점수는 낮을수록 유리하다. 따라서 낮은 적합성 점수일수록 준최적에 가깝다고 판단할 수 있다.

### 2.3.2 Selection

Selection에는 Roulette wheel selection이 사용된다<sup>19)</sup>. Roulette wheel selection에서는 Population 내의 전체 Chromosome의 적합성 점수를 합산한 후, 그 비율에 맞게 확률적으로 선택하게 하는 방식이다. 따라서 적합성 점수가 최적에 가깝다고 판단할수록 선택될 확률이 높아진다. 하지만 본 연구에서의 적합성 점수는 낮을수록 준최적에 가깝다고 판단하였기에 준최적에 가까운 chromosome이 선택될 확률이 더 낮다. 그래서 적합성 함수의 역함수를 활용하여 Roulette wheel selection을 구현하였다. 따라서 Roulette wheel selection을 통해 해당 Chromosome  $i$ 가 선택될 확률  $p_i$ 를 구하는 수식은 다음과 같다.

$$p_i = \frac{f_i^{-1}}{\sum_{j=1}^n f_j^{-1}} \quad (9)$$

### 2.4 URLLC 패킷 자원할당 과정

유전알고리즘을 통해 다중셀에서 CoMP를 적용하여 전송을 결정하게 된다. BS가 3개이기에 한 번에 최대 3명의 CEU에게 전송이 가능하다. 그림 3은 유전알고리즘을 바탕으로 어떻게 Resource block이 할당되는지 설명하는 슈도코드이다. 유전 알고리즘을 통해, 결정된 스케줄링 결과를 통해, URLLC CEU의 패킷을 Resource block에 할당하게 된다. 할당 후, Resource block이 남지 않거나, 전송할 Packet이 없을 때 까지 GA기반 스케줄링을 반복하여 Resource

#### Algorithm 1: GA-based Resource Allocation.

```

Input: States of CEUs  $S$ , the number of resource blocks  $r$ 
Output: packet loss  $P$ 
1  $P = 0$ 
2 while  $r \neq 0$  or  $S \neq \text{Empty}$  do
3    $s = \text{GA}(S)$ 
4    $n = \text{Calculating blocklength based on } s \text{ and Eq (8)}$ 
5   if  $r - n \geq 0$  then
6      $r = r - n$ 
7      $S = \text{Update the states of CEUs } S$ 
8   else
9      $r = 0$ 
10     $S = \text{Update the states of CEUs } S$ 
11     $P = \text{Counting not transmitted packets with } S$ 
    
```

그림 3. 자원할당 과정 슈도 코드  
Fig. 3. Pseudo-code of resource allocation procedure

block을 할당한다. 이 때 할당할 Resource block이 남지 않고, CEU에 전송될 Packet이 남아있는 경우, 남은 Packet 수만큼 Packet loss를 계산하여 Packet loss rate를 구한다.

## III. 시뮬레이션 및 분석

본 장에서는 제안하는 FBL 및 유전알고리즘 기반 JT-CoMP의 시뮬레이션 및 시뮬레이션 결과들을 다룬다. 본 제안 방식이 적용된 방식과 Shannon Capacity 기반의 JT-CoMP 및 CS-CoMP 기반의 방식을 비교하였다. Shannon Capacity 기반의 JT-CoMP에서 사용된 경우, (7)과 같은 방식으로 SINR  $x$ 를 구한 후, 적합성 함수는 다음과 같다.

$$f = C(x) = \log_2(1 + x) \quad (10)$$

식(8)과 달리 (10)의 경우에는 최소화가 아닌 최대화를 시킨 경우가 근최적에 가깝다. 따라서 FBL기반의 방식처럼 블록길이 최소화가 아니라, 용량의 최대화가 목적이기에, Selection을 할 때 역함수가 아닌 함수 그대로 활용한다. 즉, 적합성 점수가 높은 경우가 준최적에 가깝다고 가정하였다.

또한 CS-CoMP 기반의 방식에서는 JT-CoMP와 달리 한 CEU에 하나의 BS만 전송가능하므로, 선택된 Chromosome에서 중복된 Gene들이 있다면, 채널상태가 좋은 Gene만 남기고 나머지는 삭제한다.

시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다. 총 666개의 Subcarrier가 URLLC에 할당되어 있다고 가정하였고, 한 개의 전송 프레임내에 3개의 timeslot으로 구성하

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation Parameters

The number of BSs	3
The number of User-pairs	20
Bandwidth	10MHz
Subcarrier spacing	15kHz
The number of subcarriers	666
Transmission time interval(TTI)	0.143ms
TTI duration	2 symbols
TTIs in a frame	3
Channel model	Quasi-static Rayleigh fading
Path loss exponent	4
Target error rate	10 <sup>-5</sup>
Latency constraint	0.429ms
URLLC packet size	32 bytes

여, 한 프레임내에 총 1,998개의 Resource block이 있다고 가정하였다. 채널 모델은 한 프레임 전송기간 동안은 채널상태가 변하지 않는 Quasi-static Rayleigh fading 채널로 가정하였다.

그림 4와 같이 3개의 BS와 20개의 URLLC CEU 들로 구성하였으며, 각 BS의 송신범위에 겹치는 부분에 있는 CEU는 범위 내의 BS에 영향을 받는다. 이때 어떻게 BS간에 협력하느냐에 따라 신호가 커질 수도 간섭이 커질 수도 있다.

그림 5는 송신 SNR을 20dB로 하였을 때 패킷 발생률을 0.3~0.4까지 증가시킨 경우의 패킷 손실율에 관한 시뮬레이션 결과이다. 제안한 FBL 기반

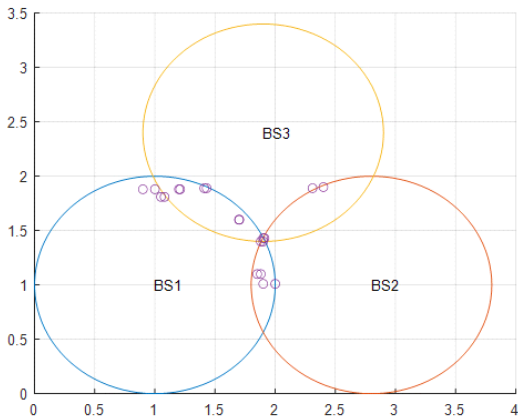


그림 4. CEU위치와 BS 범위  
Fig. 4. Locations of CEUs and coverages of BSs

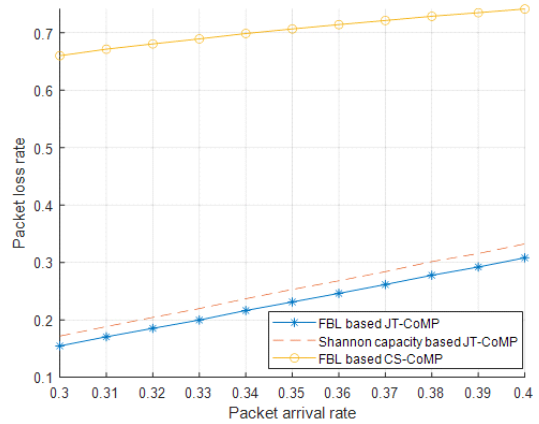


그림 5. 패킷 발생률에 따른 패킷 손실율 (송신 신호대비잡음비 20 dB)  
Fig. 5. Packet loss rate along packet arrival rate(Transmit SNR 20 dB)

JT-CoMP 기법이 가장 낮은 패킷 손실율을 보였다. CS-CoMP는 가장 높은 패킷 손실율을 보였다. 패킷 발생률이 커질수록, 발생 패킷이 많아져서 전송에 할당되어야 할 Resource block의 수가 부족하여 패킷 손실이 발생하였다. Resource block의 수가 부족한 경우, 패킷 전송이 지연요구시간을 만족시키지 못하기 때문에 전송되지 못한 패킷은 버려진다.

그림 6은 송신 SNR을 10dB로 하였을 때 패킷 발생률을 0.3~0.4까지 증가시킨 경우로, 그림 6의 결과보다 높은 패킷 손실율을 기록하지만, 이 경우에도 제안한 FBL 기반 JT-CoMP가 가장 낮은 패킷 손실율을 보였다.

그림 7은 패킷 발생률을 0.3으로 하였을 때, 송신

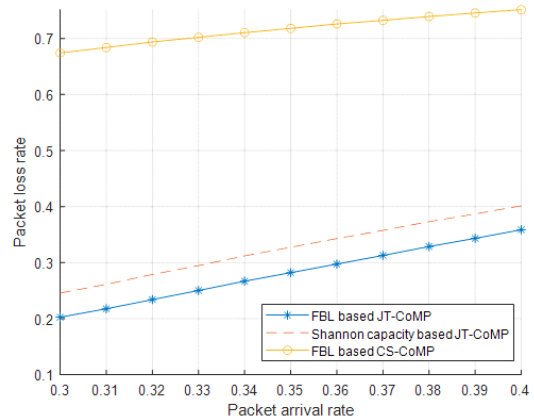


그림 6. 패킷 발생률에 따른 패킷 손실율 (송신 신호대비잡음비 10 dB)  
Fig. 6. Packet loss rate along packet arrival rate(Transmit SNR 10 dB)

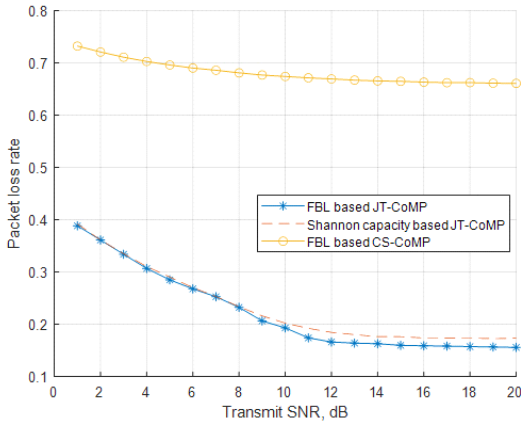


그림 7. 송신 신호대잡음비에 따른 패킷 손실율(패킷 발생률 0.3)  
 Fig. 7. Packet loss rate along packet arrival rate(Packet arrival rate 0.3)

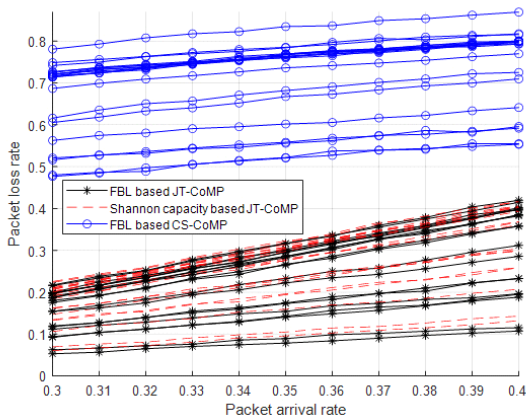


그림 8. 패킷 발생률에 따른 CEU별 패킷 손실율 (송신 신호대잡음비 20 dB)  
 Fig. 8. Packet loss rate along packet arrival rate for each CEU(Transmit SNR 20 dB)

SNR을 1~20 dB로 변경하였을 때의 결과이다. 송신 SNR이 8 dB일 때까지는 제안 방식과 Shannon capacity 기반 scheduling 방식이 차이를 보이지 않으나, SNR 9 dB부터는 제안 방식이 더 낮은 패킷 손실율을 기록한다.

그림 8은 송신 SNR을 10dB로 하였을 때 패킷 발생률을 0.3~0.4까지 증가시켜, 각 CEU별 패킷 손실율을 나타냈다. CS-CoMP를 적용한 경우, 모든 CEU에서 패킷 손실율을 나타냈다. JT-CoMP의 경우 FBL 기반 방식과 Shannon capacity 기반이 섞여서 나타나, 대체적으로 FBL 기반의 JT-CoMP가 조금 더 낮은 패킷 손실율을 나타냄을 확인할 수 있었다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 셀 가장자리에 위치한 NOMA 사용자의 URLLC 요구사항을 만족시키기 위해 유한블록길이 기반의 유전알고리즘을 적용한 JT-CoMP에 대해서 제안하였고, Shannon capacity 기반의 JT-CoMP 및 CS-CoMP보다 개선된 전송이 가능함을 확인하였다. 하지만 오직 NOMA 사용자쌍에서 CEU만의 성능을 고려하였기에, CCU의 URLLC 요구사항을 동시에 고려하는 부분이 연구가 추가적으로 필요하다고 보인다. 따라서 향후 연구로는 CCU와 CEU를 동시에 고려한 CoMP가 될 수 있다.

#### References

- [1] C. She, C. Sun, Z. Gu, Y. Li, C. Yang, H. V. Poor, and B. Vucetic, "A tutorial of ultra-reliable and low-latency communications in 6g: Integrating theoretical knowledge into deep learning," *arXiv:2009.06010v1*, pp. 1-40, Sep. 2020.
- [2] E. Calvanese Strinati, et al., "5GCHAMPION: Disruptive 5G technologies for rollout in 2018," *ETRI J.*, vol. 40, no. 1, pp. 10-25, 2018.
- [3] P. Popovski, "Ultra-reliable communication in 5G wireless systems," in *Proc. 1st Int. Conf. 5G Ubiquitous Connectivity*, pp. 146-151, Nov. 2014.
- [4] Y. Polyanskiy, H. V. Poor, and S. Verdú, "Channel coding rate in the finite blocklength regime," in *IEEE Trans. Info. Theory*, vol. 56, no. 5, pp. 2307-2359, May 2010.
- [5] W. Yang, G. Durisi, T. Koch, and Y. Polyanskiy, "Block-fading channels at finite blocklength," *ISWCS 2013*, pp. 1-4, 2013.
- [6] M. Gurosoy, "Throughput analysis of buffer-constrained wireless systems in the finite blocklength regime," *IEEE Trans. Commun.*, Aug. 2010.
- [7] M. Amjad and L. Musavian, "Performance analysis of NOMA for ultra-reliable and low-latency communications," *2018 IEEE GC Wshps.*, pp. 1-5, Abu Dhabi, United Arab Emirates, 2018.

- [8] Y. Liu, Z. Qin, M. ElKashlan, Z. Ding, A. Nallanathan, and L. Hanzo, "Nonorthogonal multiple access for 5G and beyond," in *Proc. IEEE*, vol. 105, no. 12, pp. 2347-2381, Dec. 2017.
- [9] M. Bennis, M. Debbah, and H. V. Poor, "Ultrareliable and low-latency wireless communication: tail, risk, and scale," in *Proc. IEEE*, vol. 106, no. 10, pp. 1834-1853, Oct. 2018, doi: 10.1109/JPROC.2018.2867029.
- [10] R. Kotaba, C. N. Manchón, T. Balercia, and P. Popovski, "How URLLC can benefit from NOMA-based retransmissions," in *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, doi: 10.1109/TWC.2020.3035517.
- [11] W. J. Ryu and S. Y. Shin, "Performance evaluation of a power allocation algorithm based on dynamic blocklength estimation for URLLC in the multicarrier downlink NOMA systems," *Turkish J. Elect. Eng. Comput. Sci.*, vol. 29, no. 1, pp. 310-320, 2021, doi: 10.3906/elk-2004-137
- [12] S. Doğan, A. Tusha, and H. Arslan, "NOMA with index modulation for uplink URLLC through grant-free access," in *IEEE J. Sel. Topics in Sign. Process.*, vol. 13, no. 6, pp. 1249-1257, Oct. 2019, doi: 10.1109/JSTSP.2019.2913981.
- [13] H. Ren, C. Pan, Y. Deng, M. ElKashlan, and A. Nallanathan, "Joint power and blocklength optimization for URLLC in a factory automation scenario," in *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 19, no. 3, pp. 1786-1801, Mar. 2020, doi: 10.1109/TWC.2019.2957745.
- [14] D. K. Hendraningrat, B. Narottama, and S. Y. Shin, "NonOrthogonal multiple access in downlink coordinated multipoint transmissions," *Physical Commun.*, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.phycom.2020.101017>
- [15] D. K. Hendraningrat, M. B. Shahab, and S. Y. Shin, "Virtual user pairing based non-orthogonal multiple access in downlink coordinated multipoint transmissions," *IET Commun.*, vol. 14, no. 12, pp. 1910-1917, 2020.
- [16] H. Cho, et al., "Research on co-channel interference analysis of jointly deployed lte-based railway communication systems and public safety communication systems and their coexistence strategy," *J. KICS*, vol. 42, no. 6, pp. 1276-1284, 2017.
- [17] D. Wang, X. Xu, X. Chen, and X. Tao, "Joint scheduling and resource allocation based on genetic algorithm for coordinated multi-point transmission using adaptive modulation," *2012 IEEE 23rd Int. Symp. PIMRC*, pp. 220-225, Sydney, NSW, Australia, 2012, doi: 10.1109/PIMRC.2012.6362722.
- [18] G. Verma, A. Kumar and K. K. Mishra, "A novel non-dominated sorting algorithm" in SEMCCO 2011, Germany: pp. 274-281, 2011.
- [19] A. Lipowski and D. Lipowska, "Roulette-wheel selection via stochastic acceptance," *Physica A Stat. Mechan. Appl.*, vol. 391, no. 6, pp. 2193-2196, 2012.

류원재 (Won Jae Ryu)



2012년 2월 : 금오공과대학교 전  
자공학과 졸업  
2014년 2월 : 금오공과대학교 IT  
융복합공학과 석사  
2014년~2016년 : (주)백셀 기술연  
구소 주임연구원  
2020년 8월 : 금오공과대학교 IT  
융복합공학과 박사

2020년 8월~현재 : ICT융합특성화연구센터 책임연구  
원

<관심분야> 사물인터넷, 무선통신, 임베디드 시스템  
[ORCID: 0000-0003-1987-5969]

김재우 (Jae Woo Kim)



2004년 2월 : 금오공과대학교 컴퓨터공학과 학사 졸업  
2013년 8월 : 금오공과대학교 컴퓨터공학과 박사 졸업  
2014년~2018년 : (주)에이알텍 광통신 연구소 차장  
2018년~현재 : ICT융합특성화 연구센터 연구교수

<관심분야> 광트랜시버, 이동통신, IIoT, 임베디드 시스템

[ORCID: 0000-0002-2622-4219]

김동성 (Dong-Seong Kim)



1992년 2월 : 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.  
2003년 3월 : 서울대학교 전기 및 컴퓨터공학부 박사 졸업  
2004년 : Cornell 대학교 ECE 박사 후 연구원.  
2019년~현재 : 금오공과대학교 산학협력단장

2014년~현재 : ICT 융합특성화연구센터 센터장(과기정통부 ITRC 및 연구재단 중점연구소)

2014년~현재 : IEEE/ACM Senior 회원

2015년~2018년 : 금오공과대학교 융합기술원 원장

2016년 9월~현재 : 국방부 CIO 자문위원

<관심분야> 실시간 통신망 및 IoT 시스템, 네트워크 기반 분산 제어 시스템, 실시간 S/W

[ORCID:0000-0002-2977-5964]