

저지연 양방향 통신을 위한 기지국 협력 전송

김동민*

Base Station Cooperation Scheme for Low-Latency Two-Way Communication

Dong Min Kim*

*Assistant Professor, Department of Internet of Things, Soonchunhyang University, Asan 31538, Korea

요 약

사물인터넷을 비롯한 다양한 형태의 통신을 활용한 응용분야가 생겨남에 따라 통신의 형태가 다양해지고 있다. 어떠한 응용은 빠른 피드백을 요구하기도 하고, 다른 응용은 수신여부와는 상관없이 데이터를 계속 보내기도 한다. 한 방향으로 데이터를 전송하는 것은 반대 방향 응답에 의해 확인될 수 있다. 이러한 정보 교환은 양방향 통신을 형성한다. 송신자는 수신자의 응답에 따라 다음 동작을 결정하므로 빠른 응답을 제공하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 셀룰러 네트워크에서 양방향 통신의 전송지연 성능을 향상시키기 위한 기지국 협력 전송 기법을 제안한다. 양방향 트래픽뿐만 아니라 동일한 방향의 트래픽을 가진 협력 기지국을 활용하는 양방향 통신 기법을 고안하였다. 제안한 방식을 통하여 지연 시간 성능이 향상됨을 확인하였다.

ABSTRACT

As the application fields using various types of communication, including the Internet of Things, have emerged, the form of communication has been diversified. Some applications require fast feedback and the others continue to send data regardless of whether it is received or not. Transmitting data in one way can be acknowledged by the opposite direction response. These information exchanges form a two-way communication. For applications that need to issue commands remotely, such as network control systems, it is important to give a fast response because the sender decides the next action based on the response from the recipient. In this paper, we propose the base station (BS) cooperation to improve the latency performance of the two-way communication in cellular networks. We design the two-way communication strategy utilizing cooperating BSs with the same direction of traffic as well as bidirectional traffic. We show that the proposed scheme improves the latency performance than the previous works.

키워드 : 기지국협력, 저지연, 신뢰통신, 양방향트래픽

Keywords : Base station cooperation, low-latency, reliable communications, two-way traffic

Received 26 April 2020, Revised 14 May 2020, Accepted 1 June 2020

* Corresponding Author Dong Min Kim (Email: dmk@sch.ac.kr, Tel: +82-41-530-1535)

Assistant Professor, Department of Internet of Things, Soonchunhyang University, Asan 31538, Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2020.24.6.751>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

I. 서론

차량 통신[1], 스마트 팩토리[2] 등과 같은 안정적인 저지연 통신이 필요한 응용 분야는 새롭게 부상하고 있는 5G 무선 시스템의 가장 유망한 사용 사례이다[3-4]. 양방향 통신은 통신의 안정성을 높이는 데 사용될 수 있다. 한 방향으로 데이터를 전송하는 것은 반대 방향 응답으로 그 결과를 확인할 수 있다. 이러한 정보 교환은 양방향 통신을 형성한다. 응답의 결과에 따라 다음 동작이 다르면서 빠른 통신이 필요한 일부 응용 프로그램의 경우 송신 측은 응답이 올 때까지 기다리고 있으므로 빠른 응답을 제공하는 것이 중요하다. 대기 시간이 짧은 통신 요구 사항을 충족하기 위해 다중 연결을 채택할 수 있다. CoMP(Coordinated Multipoint Transmission)라고 하는 협력형 다중 전송 기술은 여러 개의 인접하고 상호 연결된 기지국(Base Station, BS)을 이용하며 주로 하향링크(Downlink, DL)의 같은 전송 방향으로 기지국들과 협력한다[5-8]. 최근 연구자들은 이러한 협력전송기술을 확장하여 상향링크(Uplink, UL) 및 하향링크의 트래픽을 동시에 제공하는 전이중(Full-Duplex, FD) 통신을 할 수 있도록 반이중(Half-Duplex, HD) 기지국 2개를 동시에 이용하는 CoMPflex (CoMP for in-band wireless full-duplex) 개념을 제시하였다[9-10].

그러나 [9-10]에서는 기지국 협력에서 생성된 트래픽은 항상 상호 반대 방향으로 가정되며 네트워크의 모든 사용자는 같은 성능 수준을 요구한다. 또한, 해당 연구들은 전송지연(Latency) 성능을 고려하지 않았다. 이전 연구의 이러한 한계는 반대 방향의 트래픽은 물론이고 같은 방향의 트래픽에 대해서도 기지국 협력의 전송지연 성능에 관한 연구가 필요하다는 것을 알려준다. 본 논문에서는 무선 셀룰러 네트워크의 UL 및 DL 통신의 신뢰성 및 전송지연 성능을 개선하는 기지국 협력 체계를 제안한다. 제안된 방식은 양방향 트래픽을 제공하는 2개의 기지국의 협력뿐만 아니라 동일한 트래픽 방향을 갖는 2개의 기지국의 협력을 지원할 수 있다.

II. 시스템 모델

기지국은 2차원 평면 공간에 무작위로 위치하고 보로노이 셀(Voronoi Cell)을 형성한다고 가정한다. 각 셀

에는, 송수신을 원하는 적어도 하나의 사용자가 존재한다고 가정한다. 사용자 i 는 기지국 $B(i)$ 와 연결된다. 즉, 사용자 i 는 기지국 $B(i)$ 의 보로노이 셀 안에 존재한다. 각 기지국은 해당 기지국과 협력하는 기지국 $B(j)$ 를 이웃에 두고 있다. 사용자 j 는 기지국 $B(j)$ 와 연결된다. 두 기지국은 고속유선링크(그림 1의 이중 실선)로 연결되어 있다. 이 두 기지국은 유선링크를 통해 데이터 신호와 연관 정보를 교환함으로써 간섭없이 동시에 사용자에게 서비스를 제공할 수 있다. 모든 무선전송은 동일한 스펙트럼에서 이루어진다고 가정하면 무선전송이 동시에 일어날 때 서로 간섭(Interference)을 일으킨다. 사용자 i 가 전송한 신호가 기지국 $B(i)$ 에서 수신된 신호 강도는 다음과 같다.

$$g_{i, B(i)} r_{i, B(i)}^{-\alpha} P_i \quad (1)$$

여기서, $r_{i, B(i)}$ 는 사용자 i 와 기지국 $B(i)$ 사이의 거리이고, α 는 경로 손실 계수이며, $g_{i, B(i)}$ 는 사용자 i 와 기지국 $B(i)$ 사이의 무선채널에 대한 Rayleigh fading 이득이며 단위 평균을 갖는 지수 확률변수(Exponential random variable)이다. P_i 는 사용자 i 의 송신 전력이다. 네트워크의 성능은 무선간섭의 정도에 의해서 크게 영향을 받고 열잡음(thermal noise)은 무시할 만큼 작다고 가정하자. 통신의 성공은 연결된 기지국 $B(i)$ 에서 수신된 신호간섭비율(Signal-to-Interference Ratio, SIR) $\gamma_{B(i)}$ 에 의해 결정된다. 주어진 목표 SIR 임계값(target SIR threshold) β 에 대하여, $\gamma_{B(i)} \geq \beta$ 이면 전송이 성공한다. 상향링크 전송이 가능한 UL 타임 슬롯과 하향링크 전송이 가능한 DL 타임 슬롯은 서로 길이가 같고 매번 교대로 바뀐다.

III. 저지연 양방향 통신을 위한 기지국 협력

3.1. 스케줄링 및 협업 디코딩

셀룰러 네트워크에서, 상향링크 및 하향링크 전송은 서로 다른 기지국에서 동시에 발생하며 모든 전송은 보로노이 셀 내의 수신기뿐만 아니라 협력전송 셀 내의 수신기에 의해서도 인식된다. 사용자는 저지연사용자(Low Latency User, LLU) 및 비저지연사용자(Latency Tolerant User, LTU)로 분류된다. LLU는 저지연달성을

위해서 LTU보다 우선 순위로 처리된다. 각 클래스에서 모든 사용자는 자원이 균등하게 할당되므로 동일하게 취급된다. 이 때 기지국협력통신방식은 트래픽의 방향에 따라 UL 방식, DL 방식, 양방향 방식 세 가지로 나누어질 수 있다.

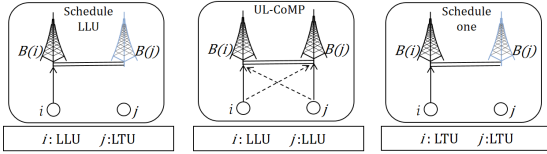


Fig. 1 UL scheme: both BSs support UL traffic.

1) UL 방식 : 두 기지국 모두 UL 트래픽을 처리하는 경우 항상 그림 1의 왼쪽에 나타난 것처럼 LLU를 먼저 처리한다. LLU가 없는 경우, 협력 기지국은 그림 1의 우측에 나타난 바와 같이 LTU 중 하나를 무작위로 스케줄링한다. 두 사용자가 모두 LLU 인 경우(그림 1의 가운데) 협력 기지국과 동시에 스케줄하고 패킷을 공동으로 수신한다. 수신된 패킷은 $B(i)$ 와 $B(j)$ 에서 디코딩 될 수 있다. 사용자 i 의 전송이 무선채널의 무작위성에 의해서 $B(i)$ 에서 수신실패를 하더라도 $B(j)$ 에서는 성공할 수도 있다. $B(j)$ 는 유선링크를 통해 $B(i)$ 에게 수신한 데이터를 전송한다. 이 방식을 이용하면 여분의 통신 링크가 있는 것처럼 동작하기 때문에 전송의 안정성이 증가한다.

수신된 데이터를 모든 기지국에서 디코딩할 수 없는 경우, 기지국은 연속 간섭 제거 (Successive Interference Cancellation, SIC)를 적용한다. 그 과정은 다음과 같다. $B(i)$ 에서의 SIR은 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$\gamma_{B(i)} = \frac{g_{i,B(i)}r_{i,B(i)}^{-\alpha}P_i}{g_{j,B(i)}r_{j,B(i)}^{-\alpha}P_j + I_{B(i)}} \geq \beta_{UL} \quad (2)$$

여기서 β_{UL} 은 대응하는 UL 목표 SIR 임계값을 나타내고 $I_{B(i)}$ 는 네트워크로부터 들어오는 추가 무선간섭을 나타낸다. 사용자 i 의 전송성공여부는 일단 식 (2)에 의해 결정된다. 전송에 실패하면 $B(i)$ 는 다음과 같이 사용자 j 의 신호를 디코딩하려고 시도한다.

$$\frac{g_{j,B(i)}r_{j,B(i)}^{-\alpha}P_j}{g_{i,B(i)}r_{i,B(i)}^{-\alpha}P_i + I_{B(i)}} \geq \beta_{UL} \quad (3)$$

$B(i)$ 가 사용자 j 의 신호를 성공적으로 디코딩하면 $B(i)$ 는 전체무선간섭량에서 사용자 j 의 신호를 추출하여 전체간섭량을 줄이고(식 (2)의 분모에서 $g_{j,B(i)}r_{j,B(i)}^{-\alpha}P_j$ 제거) 사용자 i 의 신호를 다시 디코딩하려고 시도한다.

$$\frac{g_{i,B(i)}r_{i,B(i)}^{-\alpha}P_i}{I_{B(i)}} \geq \beta_{UL} \quad (4)$$

신호가 여전히 디코딩되지 않으면, $B(i)$ 는 협력 기지국 $B(j)$ 에게 사용자 j 의 신호를 디코딩해줄 것을 요청하고 $B(j)$ 는 다음과 같이 디코딩하려고 시도한다.

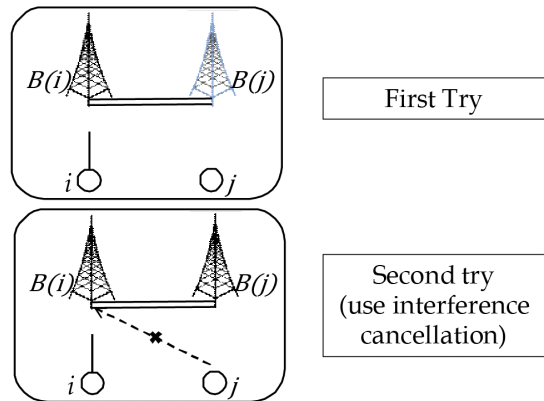
$$\frac{g_{i,B(j)}r_{i,B(j)}^{-\alpha}P_i}{g_{j,B(j)}r_{j,B(j)}^{-\alpha}P_j + I_{B(j)}} \geq \beta_{UL} \quad (5)$$

신호가 아직 디코딩되지 않은 경우 최종 시도는 다음과 같이 $B(j)$ 에서의 SIC이다.

$$\frac{g_{j,B(j)}r_{j,B(j)}^{-\alpha}P_j}{g_{i,B(j)}r_{i,B(j)}^{-\alpha}P_i + I_{B(j)}} \geq \beta_{UL} \quad (6)$$

$$\xrightarrow{SIC} \frac{g_{i,B(j)}r_{i,B(j)}^{-\alpha}P_i}{I_{B(j)}} \geq \beta_{UL}$$

이러한 방식으로, 제안하는 방식은 수신신호를 한 번만 디코딩하는 것이 아니라 협력기지국과 SIC를 활용하여 여러 번 디코딩을 수행하므로, 전송의 신뢰성을 증가시킬 수 있고 이로 인해 재전송 횟수 역시 줄어들면서 양방향 통신 전송지연을 감소시킬 수 있다. 그림 2에 이 과정을 요약하여 나타내었다.



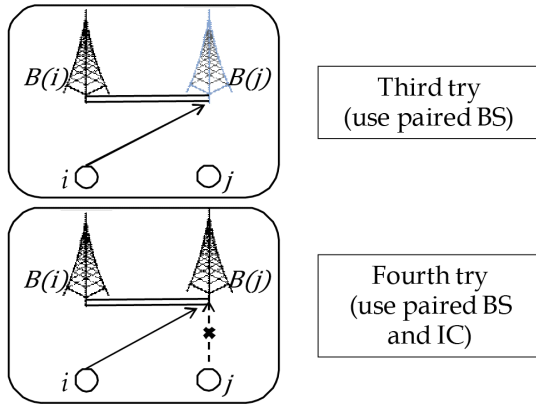


Fig. 2 Uplink cooperative decoding.

2) DL 방식: 두 기지국이 모두 DL 트래픽을 처리하는 경우, 그림 3의 왼쪽에 나타낸 것처럼 항상 LLU를 먼저 처리한다. LLU가 없는 경우 그림 3의 오른쪽에 나타낸 바와 같이 LTU 중 하나를 무작위로 처리한다. 두 사용자가 모두 LLU 인 경우는 그림 3의 가운데에 나타낸 것처럼 동시에 스케줄하고 수신된 데이터를 디코딩할 수 없는 경우 수신 사용자에서 SIC를 적용한다. 사용자 i 에서 수신된 SIR은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\gamma_i = \frac{g_{B(i),i} r_{B(i),i}^{-\alpha} P_b}{g_{B(j),i} r_{B(j),i}^{-\alpha} P_b + I_i} \geq \beta_{DL} \quad (7)$$

여기서 β_{DL} 은 대응하는 DL 타겟 SIR 임계값을 나타내고 P_b 는 기지국의 송신 전력으로 모든 기지국이 같은 송신 전력을 가지고 있다고 가정한다. 기지국 $B(i)$ 의 전송성공여부는 먼저 식 (7)에 의해 결정된다. 전송에 실패하면 다음과 같이 기지국 $B(j)$ 의 신호를 디코딩하려고 시도한다.

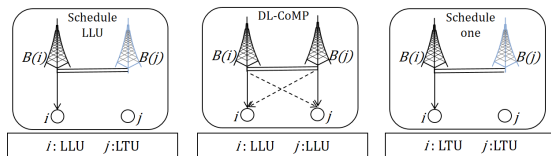


Fig. 3 DL scheme: both BSs support DL traffic.

$$\frac{g_{B(j),i} r_{B(j),i}^{-\alpha} P_b}{g_{B(i),i} r_{B(i),i}^{-\alpha} P_b + I_i} \geq \beta_{DL} \quad (8)$$

사용자 i 가 기지국 $B(j)$ 로부터의 신호를 성공적으로 디코딩하면, 사용자 i 는 전체무선간섭량에서 $B(j)$ 로부터의 신호를 추출하고 원래 수신하려고 했던 신호인 $B(i)$ 로부터의 신호를 다시 디코딩하려고 시도한다.

$$\frac{g_{B(i),i} r_{B(i),i}^{-\alpha} P_b}{I_i} \geq \beta_{DL} \quad (9)$$

DL 전송은 UL보다 기지국의 송신 전력이 크므로 안정적이지만 이러한 방식으로 안정성을 더 높일 수 있다. 그림 4에 이 과정을 요약하여 나타내었다.

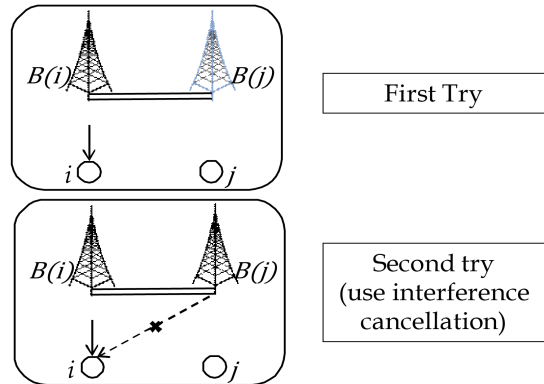


Fig. 4 Downlink successive decoding.

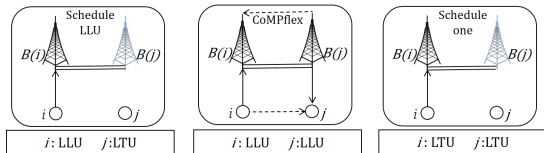


Fig. 5 UL and DL: BSs support cross directional traffic. The users could be low-latency user (LLU) or latency-tolerant user (LTU).

3) 양방향 방식: 마지막으로 협력기지국들이 서로 다른 방향의 트래픽을 제공하는 경우 한 기지국은 DL (DL-BS)에서 작동하고 다른 기지국은 UL (UL-BS)에서 작동하거나 그 반대로 작동한다(그림 5). UL-BS는 간섭 제거를 위해 DL-BS에서 고속유선링크를 통해 전송된 부가 정보를 사용한다. LLU를 보호하기 위해 LLU와 LTU가 함께 나타날 때 LLU를 먼저 처리한다. 두 사용자가 모두 LTU 인 경우 전체 네트워크에 대한 간섭을 줄이도록 임의로 그중 하나를 먼저 처리하고 다른 하나를 나중에 처리한다.

기지국의 이동성이 낮으므로, 우리는 협력 기지국 사이의 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI)를 거의 완벽하게 알 수 있다. 그림 5의 가운데에 나타난 것처럼, $B(j)$ 는 DL의 신호를 사용자 j 에게 전송하고, $B(i)$ 는 UL의 사용자 i 로부터 신호를 수신한다. 기지국 $B(i)$ 는 $B(j)$ 로부터 무선간섭을 받고, 사용자 j 는 사용자 i 로부터 무선간섭을 받는다. 그러나 $B(j)$ 는 $B(i)$ 에 대한 고속유선연결을 사용하여 동일한 신호를 $B(i)$ 에 전송하여 $B(i)$ 가 이 정보와 무선채널의 CSI를 이용하여 무선간섭을 재생성할 수 있게 해준다. 이를 통해 다음과 같이 $B(j)$ 로부터의 간섭을 제거할 수 있다. 이 방법은 [9-10]에서 설명한 CoMPflex 기법을 활용하는 것이다.

$$\frac{g_{i,B(i)}r_{i,B(i)}^{-\alpha}P_i}{g_{B(j),B(i)}r_{B(j),B(i)}^{-\alpha}P_b + I_{B(i)}} \geq \beta_{UL} \quad (10)$$

$$\xrightarrow{\text{CoMPflex}} \frac{g_{i,B(i)}r_{i,B(i)}^{-\alpha}P_i}{I_{B(i)}} \geq \beta_{UL}$$

반면에, 사용자 i 의 신호는 사용자 j 에 대한 무선간섭으로 여전히 남아있다.

$$\frac{g_{B(j),j}r_{B(j),j}^{-\alpha}P_b}{g_{i,j}r_{i,j}^{-\alpha}P_i + I_j} \geq \beta_{DL} \quad (11)$$

그러나 사용자 i 에서 j 로의 간섭에 SIC를 적용할 수도 있다.

$$\frac{g_{i,j}r_{i,j}^{-\alpha}P_i}{g_{B(j),j}r_{B(j),j}^{-\alpha}P_b + I_j} \geq \beta_{UL} \quad (12)$$

$$\xrightarrow{\text{SIC}} \frac{g_{i,j}r_{i,j}^{-\alpha}P_i}{I_j} \geq \beta_{DL}$$

IV. 성능 분석

본 논문에서 제안한 저지연 양방향 통신을 위한 기지국 협력 전송 기법의 성능을 측정하기 위하여 매트랩(Matlab)을 이용한 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하여 전송지연 성능을 정량화하였다. 비교를 위해, 기지국 협력전송을 사용하지 않는 경우와 기존 연구인 CoMPflex를 사용하는 경우의 성능을 같이 시뮬레이션하였다. CoMPflex의 기지국 협력은 두 개의 기지국이 서로 다른

방향의 트래픽을 갖는 경우에만 발생한다. 시뮬레이션을 위해 사용된 매개 변수는 표 1에 나타난 것과 같다.

Table. 1 Simulation parameters

Parameter	Description	Simulation Setting
S	Size of observation window	150 km
λ_B	BS density	0.005, 0.01, ..., 0.004 BS/km ²
α	Path loss exponent	4
β_d	DL SIR threshold (ACK)	5 dB
β_u	UL SIR threshold (Data)	-5, -4, ..., 5 dB
P_b	BS transmission power	40 dBm
P_m	MS transmission power	20 dBm
δ	DL/(UL+DL)	0.5
W	System bandwidth	1 Hz
N	Simulation iterations	10000

사용자가 상향링크로 데이터를 전송하고 하향링크를 통해 전송에 대한 확인(ACK)을 수신하는 상황을 고려한다. UL 전송에 실패하면, 사용자는 자신의 ACK를 수신할 수 없고 데이터를 재전송한다. UL 전송은 성공했지만, DL 전송이 실패할 수도 있다. 이 경우에도 사용자는 ACK를 확인할 수 없으므로 같은 데이터를 다시 전송한다. UL 타임 슬롯과 DL 타임 슬롯의 길이는 동일하며 교대로 반복한다고 가정한다. 전송지연을 측정하기 위하여 UL 타임 슬롯의 길이를 1로 정규화한다. 양방향 전송지연은 첫 번째 데이터가 전송된 시점부터 ACK가 수신될 때까지의 타임 슬롯 수로 정의한다. 이 정의에서 최소 전송지연은 2개의 타임 슬롯 (하나의 UL과 하나의 DL)이다. 시뮬레이션은 다음 과정을 따른다.

- 1) 포아송 점 프로세스 (Poisson Point Process, PPP)에 따라 λ_b 의 밀도로 기지국을 배치한다. 통계적 성능을 대표하는 일반 노드(Typical Node)는 원점에 위치한다. UL의 경우 일반 노드는 UL-BS이고, DL의 경우 일반 노드는 DL 사용자이다.
- 2) 보로노이 셀을 구성한다.
- 3) 하나의 기지국에서 무작위로 시작하여 이웃한 보로노이 셀 중 같은 변(side)을 공유하는 기지국 중에서 가장 가까운 기지국을 찾는다.
- 4) 찾은 기지국이 다른 기지국과 협력 기지국으로 페어

링(pairing)되어 있지 않았으면 현재 기지국의 협력 기지국으로 페어링한다.

- 5) 협력 기지국 쌍들에 대해, 트래픽 방향 파라미터 δ 에 따라 랜덤하게 전송 방향을 생성하고 셀 안에 랜덤하게 활성 사용자(Active User)를 배치한다. 활성 사용자는 현재 데이터를 보내고자 하는 사용자를 뜻한다. 즉, 두 개의 기지국에 모두 활성 사용자가 있을 수도 있고 둘 중 한 기지국에만 활성 사용자가 있을 수도 있다.
- 6) 다른 기지국에 대해서도 절차 3) - 5)를 반복한다.
- 7) 양방향 전송이 성공할 때까지 일반 노드에서 SIR을 계산한다.
- 8) 전송지연을 기록하고 1) 단계로 돌아가서 N 회 반복한다.

그림 6은 시뮬레이션 과정 중에 생성된 2차원 네트워크의 스냅샷을 보여준다. 협력 기지국들은 동일한 방향의 트래픽 또는 양방향 트래픽을 제공할 수 있다. 굵은 빨간 선은 협력 기지국 사이의 우선링크를 표현한다.

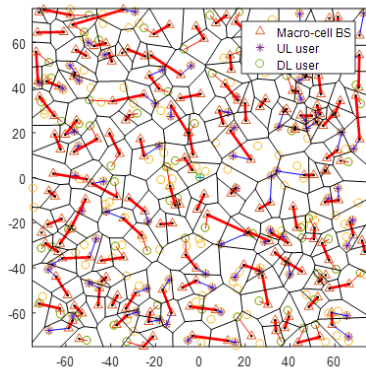


Fig. 6 A snapshot of proposed scheme in two dimensional network.

성능은 전송지연으로 측정되며 단위는 타임 슬롯 길이이다. 그림 7은 UL 전송의 목표 SIR 임계값에 따른 LLU의 양방향 전송지연 성능을 보여준다. 목표 SIR이 높아질수록 전송지연이 증가한다. CoMPflex와 제안된 기법은 비협력방식에 비해 전송지연을 줄인다. CoMPflex의 경우 비협력방식 전송지연의 91% 수준으로 감소하고 제안된 기법은 75% 수준으로 더 감소한다. 목표 SIR을 변경하면 기지국 협력없이 전송지연을 줄일 수 있다. 더 낮은 수준의 전송지연을 달성하기 위해, 전송된 데이

터의 양을 감소시킴으로써 목표 SIR을 낮추는 것도 효과적이라는 것을 의미한다. 본 논문에서는 주파수 자원의 스케줄링을 고려하지 않았지만, 위의 관찰을 고려하면 더 적은 스펙트럼 자원을 사용하고 목표 SIR을 줄여 전송지연을 단축하는 것이 더 효과적이다.

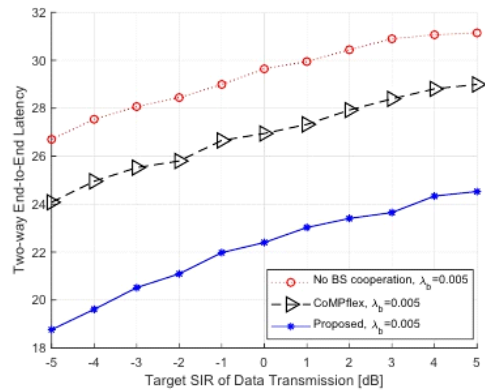


Fig. 7 Two-way latency as a function of target SINR threshold.

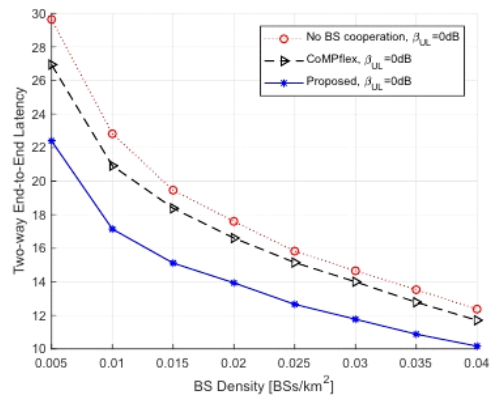


Fig. 8 Two-way latency as a function of BS density.

그림 8은 기지국 밀도에 따른 LLU의 양방향 전송지연 성능을 보여준다. 이 그래프는 네트워크 과밀화(Network Densification)의 효과를 명확하게 보여준다. 세 가지 기술 모두 네트워크 밀도가 높아지면 전송지연이 크게 줄어든다. 모든 경우에 있어서 제안한 방식의 전송지연이 가장 낮다. 제안한 방식은 기지국 협력이 모든 트래픽 방향에 이용되기 때문에 효과적이다. 또한 어느 기법을 사용하든 기지국의 과밀화는 지연연 통신을 달성하는데 필수적이라는 것을 알 수 있다.

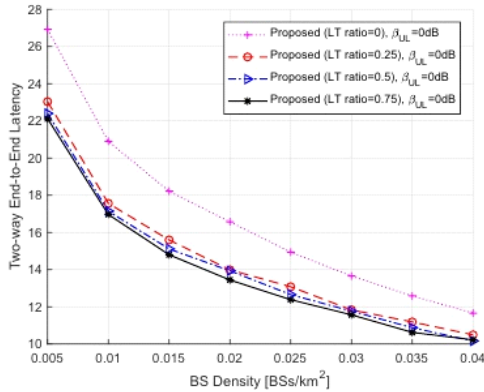


Fig. 9 Two-way latency as a function of BS density.

또한 LLU 및 LTU 트래픽을 분리하는 효과도 중요하다. CoMPflex는 LLU와 LTU를 구분하지 않고 트래픽 방향만 고려한다. LLU와 비교하여 LTU는 전송지연에 민감하지 않으므로 LLU의 성능을 감소시키면서 LTU와 동시에 스케줄링을 수행할 이유가 없다. 그림 9는 LTU의 비율이 변하는 상황에서 제안한 방식의 성능을 보여준다. LTU의 비율이 증가함에 따라 전송지연 성능이 향상된다.

V. 결론

양방향 전송지연 성능을 향상시키는 기지국 협력 기법을 제안하였다. 제안한 기법은 양방향 트래픽을 적용할 수 있는 기존의 협력 기법보다 우수함을 보였다. 또한 낮은 전송지연을 달성하기 위해 목표 SIR을 줄이고 네트워크를 고밀화 시키는 것이 효과적이라는 알아냈다. 전송지연에 둔감한 트래픽은 전송지연에 민감한 트래픽에 부정적인 영향을 줄 수 있으므로 동시에 스케줄하면 안되며 특정 시간에 많은 스펙트럼 자원을 사용하는 것보다 적은 스펙트럼으로 더 긴 시간 동안에 전송하는 것이 효과적일 것이다. 기지국 협력 상황에서의 스펙트럼 자원 할당 기법에 대한 연구는 매우 흥미로운 후속 연구가 될 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2019R1G1A1100699). This work was supported by the Soonchunhyang University Research Fund.

REFERENCES

- [1] M. I. Ashraf, C.-F. Liu, M. Bennis, and W. Saad, "Towards low-latency and ultra-reliable vehicle-to-vehicle communication," in *Proceedings of the European Conference on Networks and Communications (EuCNC) 2017*, Oulu, Finland, June 2017.
- [2] P. Schulz, M. Matthe, H. Klessig, M. Simsek, G. Fettweis, J. Ansari, S. A. Ashraf, B. Almeroth, J. Voigt, I. Riedel, A. Puschmann, A. Mitschele-Thiel, M. Muller, T. Elste, and M. Windisch, "Latency critical IoT applications in 5G: Perspective on the design of radio interface and network architecture," *IEEE Communications Magazine*, vol. 55, no. 2, pp. 70-78, Feb. 2017.
- [3] M. Shafi, A. F. Molisch, P. J. Smith, T. Haustein, P. Zhu, P. de Silva, F. P. Tufvesson, A. Benjebbour, and G. Wunder, "5G: A tutorial overview of standards, trials, challenges, deployment, and practice," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 35, no. 6, pp. 1201-1221, Apr. 2017.
- [4] 3GPP TR 38.802, *Study on new radio (NR) access technology physical layer aspects*, 3GPP, Mar. 2017.
- [5] M. K. Karakayali, G. J. Foschini, and R. Valenzuela, "Network coordination for spectrally efficient communications in cellular systems," *IEEE Wireless Communications*, vol. 13, no. 4, pp. 56-61, Aug. 2006.
- [6] M. Sawahashi, Y. Kishiyama, A. Morimoto, D. Nishikawa, and M. Tanno, "Coordinated multipoint transmission/reception techniques for LTE-advanced," *IEEE Wireless Communications*, vol. 17, no. 3, pp. 26-34, June 2010.
- [7] D. Lee, H. Seo, B. Clerckx, E. Hardouin, D. Mazzaresse, S. Nagata, and K. Sayana, "Coordinated multipoint transmission and reception in LTE-advanced: deployment scenarios and operational challenges," *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 2, pp. 148-155, Feb. 2012.
- [8] F. Baccelli and A. Giovanidis, "A stochastic geometry

framework for analyzing pairwise-cooperative cellular networks,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 2, pp. 794-808, Feb. 2015.

[9] H. Thomsen, P. Popovski, E. De Carvalho, N. Pratas, D. M. Kim, and F. Boccardi, “CoMPflex: CoMP for in-band wireless full duplex,” *IEEE Wireless Communications Letters*, vol. 5, no. 2, pp. 144-147, Apr. 2016.

[10] H. Thomsen, D. M. Kim, P. Popovski, N. K. Pratas, and E. De Carvalho, “Full duplex emulation via spatial separation of half duplex nodes in a planar cellular network,” in *Proceedings of the 17th IEEE International Workshop on Signal Processing Advances in Wireless Communications (SPAWC) 2016*, Edingburgh, UK, July 2016.



김동민(Dong Min Kim)

2014년, 연세대학교 전기전자공학과, 공학박사
2014년 ~ 2018년, Aalborg University, Denmark, Postdoctoral Researcher
2018년 ~ 현재, 순천향대학교 사물인터넷학과, 조교수
※관심분야 : 사물인터넷, 네트워크제어시스템, 분산기계학습