

5G 셀룰러 네트워크 하의 D2D통신을 위한 협력적 우선순위 기반의 자원할당 스케줄링

이종득

전북대학교 전자공학부 교수

Cooperative Priority-based Resource Allocation Scheduling Scheme for D2D Communications Underlying 5G Cellular Networks

Chong-Deuk Lee

Professor, Division of Electronic Engineering, Jeonbuk National University

요 약 5G 셀룰러 네트워크 하의 언더레이 기법은 매우 전망 있는 자원공유 기법으로써 이 기법은 5G의 서비스 성능 향상과 셀룰러 링크와 D2D(Device to Device) 링크 간의 통신 부하를 줄일 수 있는 효과적인 기법이다. 본 논문에서는 gNB(gNodeB)상에서 5G기반의 멀티 클래스 서비스를 수행하는데 있어서 발생하는 자원간섭을 최소화하고, 분석된 간섭의 제어조건에 따라 5G 통신 서비스를 극대화하기 위한 협력적 우선순위 기반의 자원할당 스케줄링 CPRAS(Cooperative Priority-based Resource Allocation Scheduling)기법을 제안한다. 제안된 CPRAS기법은 각 디바이스들에 대한 통신 자원을 최적화하며, 5G의 통신에 필요한 서비스 요청과 네트워크의 현재 상태에 따라 자원할당을 최적화한다. 또한 제안된 기법은 gNB하의 셀룰러 링크와 D2D링크 간의 자원간섭을 최소화함으로써 기가급의 서비스를 보장하는 기능을 제공한다. 시뮬레이션 결과 제안된 기법이 Pure cellular기법과 Force cellular기법에 비해서 더 나은 시스템 성능을 보였으며, 특히 우선순위가 높고 UE(User Equipment)들 간의 협력이 높을수록 자원간섭 제어가 효과적임을 보인다.

주제어 : 셀룰러 링크, D2D 링크, gNB, 자원간섭, 협력적 우선순위

Abstract The underlying communication scheme in 5G cellular network is a very promising resource sharing scheme, and it is an effective scheme for improving service performance of 5G and reducing communication load between a cellular link and a device to device (D2D) link. This paper proposes the algorithm to minimize the resource interference that occurs when performing 5G-based multi-class service on gNB(gNodeB) and the cooperative priority-based resource allocation scheduling scheme (CPRAS) to maximize 5G communication service according to the analyzed control conditions of interference. The proposed CPRAS optimizes communication resources for each device, and it optimizes resource allocation according to the service request required for 5G communication and the current state of the network. In addition, the proposed scheme provides a function to guarantee giga-class service by minimizing resource interference between a cellular link and a D2D link in gNB. The simulation results show that the proposed scheme is better system performance than the Pure cellular and Force cellular schemes. In particular, the higher the priority and the higher the cooperative relationship between UE(User Equipment), the proposed scheme shows the more effective control of the resource interference.

Key Words : Cellular link, D2D link, gNB, Resource interference, Cooperative priority

*Corresponding Author : Chong-Deuk Lee(cdlee1008@jbnu.ac.kr)

Received July 31, 2020

Accepted October 20, 2020

Revised August 19, 2020

Published October 28, 2020

1. 서론

최근에 3GPP LTE, WiMAX등과 같은 무선 통신 시스템은 증가되는 데이터 트래픽을 감당하기 어려운 문제를 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 자원 할당 스케줄링 기법이 연구되고 있으며[1-3], 또한 5G 셀룰러 네트워크 하에서 D2D 성능을 향상시키기 위한 5G NR(New Radio) 기반의 인지 무선 기술과 자원 할당 기술이 연구되고 있다[4-6]. 전통적인 셀룰러 네트워크 하에서 데이터는 기지국 또는 다른 네트워크 장치를 통해서 전송되며, 이 시스템 하에서 통신을 수행하는 통신 디바이스는 비교적 서로 가까운 거리에 있도록 설계되고 있다. 통신 거리가 비교적 가까운 거리에 있을 때 통신 디바이스들 간의 통신율은 증가하게 되며, 성능은 향상되게 된다. 이처럼 통신 거리가 비교적 가까운 경우 디바이스 간의 직접 링크(Direct link)는 셀룰러 네트워크하의 D2D통신의 기초를 제공하며, 이 구조는 셀룰러 링크를 통하여 자원을 할당 받고 공유함으로써 자원 할당 스케줄링 기능과 시스템 성능을 향상시키게 된다. 그러나 D2D로컬 사용자들이 gNB의 셀룰러 네트워크 스펙트럼을 재사용 하거나 공유 할 때 D2D통신의 성능이 저하되는 문제가 발생하게 되며, D2D간의 상호 채널 간섭으로 인하여 높은 비트 오류율이 발생하게 된다. 이러한 문제는 5G 셀룰러 네트워크 하에서 D2D 간의 통신 성능을 저하시킬 뿐만 아니라 또한 트래픽에 따른 통신 지연문제를 발생시킨다. 최근에 이러한 문제를 해결하고 하이브리드 네트워크의 통신 품질을 향상시키기 위하여 여러 자원 할당 관리 기법들이 제안되고 있다[7-9].

Vannithamby와 Sahrish는 5G 셀룰러와 D2D 디바이스들 간의 로컬 간섭 인지 기반의 자원 할당 기법을 제안하였으며, 이 기법은 멀티유저의 다양성을 이용하여 채널들 간의 간섭을 최소화하고 있다[10, 11]. [12]와 [13]은 셀룰러 통신과 D2D 통신을 위한 Pure cellular network와 Enabled D2D 통신 기반의 Force cellular network 기술을 제시하였다. Pure cellular network 기술과 Force cellular network 기술은 D2D링크 간의 자원 간섭을 제어함으로써 셀룰러 링크와 D2D 링크 품질을 보장한다. 그러나 이들 기법은 직접 통신 모드가 사용자들 간의 간섭 및 셀룰러 네트워크의 자원할당 간섭이 없다는 가정 하에서 수행된 기법으로써 만일 D2D간의 직접 링크가 제공되지 않는다면 5G 네트워크의 품질 보장과 통신 신뢰성은 떨어지게 된다. [9]와 [14]는 효율적인 통신 링크를 보장하기 위해 모드 선택 기법을 제안

하였으며, 이 기법은 D2D사용자들에 대한 통신 모드를 최적화하기 위한 기법으로써 이들 기법은 멀티 클래스 요구사항을 커버하지 못하는 문제가 발생하고 있다. 또한 단지 하나의 D2D사용자만이 셀룰러 네트워크 자원을 공유함으로써 자원 할당 스케줄링의 융통성이 제한되며, 높은 서비스율과 처리율을 보장받을 수 없는 문제가 발생한다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고 gNB의 셀룰러 네트워크 하에서 5G급의 높은 서비스율을 보장하고, 하이브리드 네트워크 하에서 D2D 링크와 셀룰러 링크 사이의 자원 간섭과 링크 오류율을 최소화하기 위하여 CPRAS 기법을 제안한다. 제안된 기법은 셀룰러 사용자와 D2D사용자들에게 협력적 우선순위 스케줄링 기법을 적용하여 5G 네트워크의 품질 보장과 통신 신뢰성이 보장되도록 하며, 자원 할당 스케줄링을 최적화하여 서비스 요청에 따른 데이터 트래픽을 최소화하게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안된 구조를 위한 시스템 모델에 대해서 기술하며, 3장에서는 시스템 모델에 따른 시스템 성능에 대해서 기술한다. 끝으로 결론 및 향후 연구에 대해서 기술한다.

2. 시스템 모델

2.1 기본개요

5G 셀룰러 네트워크에서 디바이스들은 5GC (5G Core)의 기지국 gNB를 통해서 통신을 수행하거나 D2D 링크를 통해서 직접 통신을 수행한다. 3GPP에서 5G의 기지국은 gNB라 하며, 코어 망은 5GC라 한다. Fig.1에서 UE(User Equipment)들의 UE1, UE2, UE3, UE4는 gNB1의 셀룰러 네트워크상에 있고, UE5와 UE6는 gNB2의 셀룰러 네트워크상에 있다. 그리고 gNB2의 UE5와 UE6는 직접 링크(direct link)를 통해서 통신을 수행하고 있다. 이때 업 링크 시스템 상에서 기지국과 통신을 수행하는 셀룰러 링크는 자원을 공유하는 D2D 사용자들로부터 간섭의 영향을 받게 되며, 반대로 D2D 링크는 같은 자원 블록을 공유하는 셀룰러 사용자와 다른 D2D 사용자들로부터 자원 간섭의 영향을 받게 된다 [15]. Fig.1은 5GC의 gNB1과 gNB2상에서 셀룰러 링크와 D2D 링크 간의 자원 블록의 공유과정에서 간섭이 발생하는 과정을 보여주고 있다. Fig.1에서 보듯이 D2D 링크의 UE3가 gNB1하에서 UE1과 자원을 공유하게 되면 셀룰러 링크에 의한 간섭을 받게 된다. 그러나 셀룰러 사용자 UE1, UE2, UE3와 UE4, 그리고 D2D 사용자

UE5와 UE6는 각기 다른 gNB 상태에 있기 때문에 자원 공유로 인한 간섭의 영향을 받지 않는다.

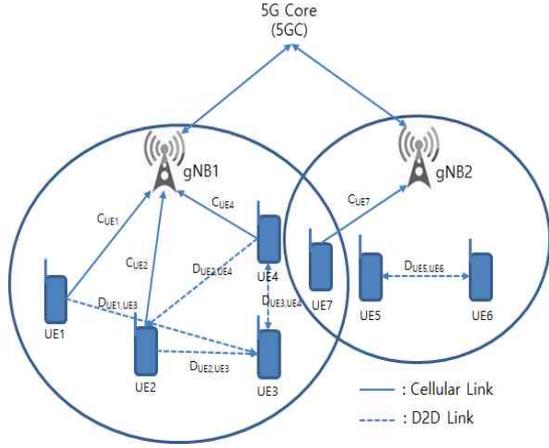


Fig. 1. Resource interference between cellular link and D2D link in 5G

만일 gNB1상에서 UE3와 UE1이 충분한 거리를 유지하면, 간섭의 영향을 비교적 적게 받지만, 그러나 UE3와 UE1이 충분한 거리를 유지하지 않는다면, UE3는 UE1으로부터 심한 자원간섭의 영향을 받게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 gNB의 현재 채널 상태 정보와 링크 손실 정보, 그리고 SINR 정보를 분석하여 분석된 정보에 따라 협력적 우선순위를 적용함으로써 링크 자원 간섭으로부터의 간섭 영향을 최소화 하게 된다. 따라서 gNB 하에서 우선순위가 높은 각 디바이스들에게 링크 자원을 우선적으로 할당하게 함으로써 5G 셀룰러 네트워크의 통신 서비스를 최적화하도록 한다.

2.2 우선순위 스케줄링

이 절에서 5GC의 gNB상에는 N개의 디바이스들이 있다고 가정하며, 그들 중 일부는 직접 통신을 수행하는 D2D 단말 사용자들이 있다고 가정한다. 이러한 가정에 따라 5G D2D통신에서 자원 할당을 위한 우선순위 스케줄링 결정 요소들을 Table 1과 같이 정의한다.

Table 1. Parameters of priority scheduling

Notations	Descriptions
R_n	Resource blocks assigned in gNB
i, j	Index for UEs , $1 \leq i, j \leq N$
$\epsilon_{gNB, UE}$	Resource loss rate between gNB and UEs

ϵ_{UE_i, UE_j}	Resource loss rate between UE_i and UE_j in gNB
$\beta_{gNB, UE}$	SINR between gNB and UE
β_{UE_i, UE_j}	SINR between UE_i and UE_j in gNB
EP_{UE_i}	Energy power for UE_i
LM_{UE_i}	Link resource mode for UE_i
μ_{gNB, UE_i}	Congestion that occurs when uplink to gNB
μ_{UE_i, UE_j}	Congestion that occurs during communication between UE_i and UE_j
ρ_{gNB, UE_i}	Packet error for UE_i in gNB
λ	Interference value from adjacent cells
$P_{gNB, UE}$	Priority for UEs in gNB
$R_{gNB, UE}$	Target Rate for UEs in gNB

Table1과 같은 파라미터에 기반하여 Fig.1의 UE_1 이 gNB1과 통신을 수행할 때 링크 자원할당을 위한 UE_1 에 대한 우선순위 결정은 식(1)과 같이 정의되며, UEs 에 대한 에너지 파워를 고려하여 우선순위가 결정된다.

$$P_{gNB, UE_1} = \frac{EP_{UE_1} / \epsilon_{gNB, UE_1}}{EP_{UE_1} / \epsilon_{gNB, UE_1} + \lambda + \mu_{gNB}} + \beta_{gNB, UE_1} \quad (1)$$

마찬가지로 UE_3 가 gNB하에서 D2D통신을 수행할 때 링크 자원할당을 위한 UE_3 에 대한 우선순위 결정은 식(2)와 같이 정의된다.

$$P_{gNB, UE_3} = \frac{EP_{UE_3} / \epsilon_{gNB, UE_3}}{EP_{UE_3} / \epsilon_{gNB, UE_3} + \lambda + \mu_{gNB}} + \beta_{gNB, UE_3} \quad (2)$$

따라서 gNB하에서 사용자 디바이스 UE_i 에 대한 링크 모드가 성립될 때 링크 자원할당을 위한 UE_i 에 대한 우선순위 결정은 식(3)과 같이 정의된다.

$$P_{gNB, UE_i} = \frac{EP_{UE_i} / \epsilon_{gNB, UE_i}}{\sum_{i=1}^N EP_{UE_i} / \epsilon_{gNB, UE_i} + \lambda + \mu_{gNB}} + \beta_{gNB, UE_i} \quad (3)$$

그리고 UE_i 에 대한 링크 자원 모드 LM_{UE_i} 가 성립될 때 gNB상에서 UE 들에 대한 Target Rate의 결정은 식(4)와 같이 정의된다.

$$R_{gNB, UE} = F((\rho_{UE_i} + \lambda + \beta_{gNB, UE}), \epsilon_{gNB, UE}) \leq \mu_{gNB, UE} \quad (4)$$

위의 식에서 살펴보듯이 UE 들에 대한 우선순위 결정은 $\beta_{gNB, UE}$ 와 β_{UE_i, UE_j} 의 SINR에 의해 좌우됨을 알 수 있으며, SINR의 값이 클수록 링크 자원 우선순위가 낮게 결정됨을 알 수 있다. 식(4)의 목표는 자원 간섭을 최소화하여 5G 셀룰러 네트워크의 처리율을 최적화하기 위한 것이며, 위의 식들을 반영하여 5G 셀룰러 네트워크에서 UE 들에 대한 자원할당 우선순위가 결정되게 된다.

2.3 자원할당 스케줄링

gNB상에서 UE 들에 대한 최적의 자원할당을 위해서는 셀룰러 사용자 UE_i 에 대한 SINR을 고려해야 하며, SINR은 셀룰러 링크상에서 자원 공유와 재사용을 결정하는 중요한 요인이다. 셀룰러 언더레이 모드 하에서 D2D 사용자 j 가 D2D통신을 수행하고 있다고 가정할 때 셀룰러 사용자 i 에 대한 초기 SINR은 식(5)와 같이 정의된다.

$$\beta_{gNB, UE} = \frac{EP_{UE_i}/\epsilon_{gNB, UE_i}}{\rho_{UE_i} + \lambda + \mu_{gNB, UE_i}} \quad (5)$$

따라서 gNB 언더레이 모드 하에 셀룰러 사용자와 D2D 사용자가 셀룰러 링크 자원을 공유하거나 재사용할 때 셀룰러 사용자 i 에 대한 SINR은 식(6)과 같이 정의된다.

$$\beta_{gNB, UE} = \frac{EP_{UE_i}/\epsilon_{gNB, UE_i}}{\rho_{UE_i} + \lambda + \mu_{gNB, UE_i} + EP_{UE_i}/\epsilon_{gNB, UE_i}} \quad (6)$$

그리고 gNB 언더레이 모드 하에서 셀룰러 사용자와 D2D사용자가 동시에 존재할 때 D2D사용자 j 에 대한 SINR은 식(7)과 같이 정의된다.

$$\beta_{UE_i, UE_j} =$$

$$\frac{EP_{UE_i, UE_j}/\epsilon_{UE_i, UE_j}}{\rho_{UE_i, UE_j} + \lambda + \mu_{UE_i, UE_j} + EP_{UE_i, UE_j}/\epsilon_{UE_i, UE_j}} \quad (7)$$

이때 식(5), 식(6), 식(7)을 통해서 자원할당 스케줄링은 최적화하게 되며,

$$F(R_{gNB, UE}, R_{UE_i, UE_j}) \geq 0 \text{이고, gNB 언더레이}$$

모드 하에 D2D 사용자 j 가 존재하면 자원 공유로 인한 지연과 혼잡은 최소화되게 된다. 따라서 셀룰러 네트워크에 대한 자원 간섭이 제어됨으로써 시스템 처리율은 극대화되고, 5G 셀룰러 네트워크상에서 기가급 통신 서비스가 보장되게 된다.

2.4 스케줄링 알고리즘

gNB의 언더레이 모드 하에서 5G 셀룰러 네트워크 서비스를 고려할 때 UE 들에 대한 우선순위 결정과 SINR결정은 매우 중요한 문제이며, 기가급 서비스를 보장하는 중요한 메커니즘이다. 이절에서는 gNB의 언더레이 모드 하의 셀룰러 디바이스 사용자와 D2D 디바이스 사용자들 간의 자원 공유와 재사용 모드 환경에서 5G 셀룰러 통신을 위한 셀룰러 통신 자원할당과 D2D통신 자원할당 과정에 대해서 기술한다.

셀룰러 링크 하에서 자원할당 과정은 C-RASA(Cellular Resource Allocation Scheduling Algorithm)라 하고, D2D 링크하의 자원할당 과정은 D-RASA(D2D Resource Allocation Scheduling Algorithm)라 한다. 이들 제안된 알고리즘에 따라 자원 스케줄링이 수행되며, 기가급 통신 서비스 보장을 위해 스케줄링 모드가 수행되게 된다.

C-RASA와 D-RASA에서 UE 통신은 C_{UE} 와 D_{UE} 두 가지 타입으로 구분되어 수행되며, C_{UE} 는 gNB의 셀룰러 언더레이 모드 하에서 셀룰러 통신을 수행하는 사용자들이고, D_{UE} 는 직접D2D통신을 수행하는 사용자들이다. gNB의 셀룰러 네트워크를 수행하는 초기 단계에 있어서 셀룰러 사용자와 D2D사용자는 서로 약한 통신 관계를 이루게 되며, 이후 점차 액티브 상태로 전환되어 5G 기반의 셀룰러 통신 상태를 유지하게 된다. 자원할당 과정에서 자원할당 스케줄러가 채널 상태 정보, SINR 정보, 우선순위 등과 같은 정보를 가지고 있지 않으면 gNB를 경유한 셀룰러 링크 성능은 떨어지게 되지만, 스케줄러가 이들에 대한 이력 정보를 가지고 있으면 셀룰러 링크 성능

은 향상되게 된다.

알고리즘1은 C-RASA에 대한 자원할당 스케줄링 과정이며, 알고리즘2는 D-RASA에 대한 자원할당 스케줄링 과정이다. C-RASA와 D-RASA는 각 스케줄링을 반복한 후 스케줄러는 우선순위가 가장 높고, SINR이 낮은 순으로 UE 들에게 자원을 할당하게 되며, 이후 할당될 자원들에 대한 할당 큐 Q_{UE} 를 구성하게 된다. 이처럼 최상의 매칭 UE 들에게 각 자원이 할당되게 되며, 사용가능한 모든 자원들이 UE 들에게 할당되거나 요청을 만족할 때 스케줄링 과정은 끝나게 된다. 그러나 자원할당 조건을 만족하지 않을 경우 자원할당을 기다리는 나머지 UE 들은 계속해서 대기상태에 놓이게 되며, 이 경우 대기상태로 인해 지연문제가 발생하게 된다. 이러한 지연 문제가 발생하지 않도록 스케줄러는 할당 큐 Q_{UE} 를 재구성하게 되며, 이러한 과정은 스케줄 되지 않은 사용자들에게 자원 할당에 따른 대기 지연시간을 최소화하기 위한 것이다.

Algorithm1: C-RASA

```

1:  $Q_{UE}$  //  $UE$ 들에 대한 자원할당 큐
2:  $R_n$  // gNB상에서 할당될 자원블록
3:  $S_{UE}$ // 자원할당을 기다리는  $UE$ 들의 집합
4:  $P_{gNB,UE}(x)$ 와  $Q_{UE}(x)$ 의 결정
5: while  $Q_{UE} \neq 0$  and  $S_{UE} \neq 0$  do
6: for all  $UE_i \in S_{UE}$  do
7: calculate  $P_{gNB,UE}$  and  $\beta_{gNB,UE}$ 
8: end for
9:  $UE$ 들에게  $P_{gNB,UE}$  와  $\beta_{gNB,UE}$ 을 만족하는  $R_n$ 을 할당
10: end while
11: if  $S_{UE} \neq 0$  then
12:  $C_{UE} \leftarrow \frac{C_{UE}}{S_{UE}}$ ,  $C_{UE} \leftarrow C_{UE} \cup S_{UE}$ 
13: end if

```

Algorithm1: D-RASA

```

1:  $Q_{UE}$  //  $UE$ 들에 대한 자원할당 큐
2:  $R_n$  // gNB상에서 할당될 자원블록
3:  $S_{UE}$ // 자원할당을 기다리는  $UE$ 들의 집합
4:  $P_{UE_i,UE_j}(x)$ 와  $Q_{UE}(x)$ 의 결정
5: while  $Q_{UE} \neq 0$  and  $S_{UE} \neq 0$  do
6: for all  $UE_i \in S_{UE}$  do
7: calculate  $P_{UE_i,UE_j}$  and  $\beta_{UE_i,UE_j}$ 
8: end for

```

```

9:  $UE$ 들에게  $P_{UE_i,UE_j}$  와  $\beta_{UE_i,UE_j}$ 을 만족하는  $R_n$ 을 할당
10: end while
11: if  $S_{UE} \neq 0$  then
12:  $D_{UE} \leftarrow \frac{D_{UE}}{S_{UE}}$ ,  $D_{UE} \leftarrow D_{UE} \cup S_{UE}$ 
13: end if

```

알고리즘에서 보듯이 S_{UE} 들은 C-RASA와 D-RASA에 의해서 자원할당이 결정되게 되며, 이 과정에서 UE 들은 자원할당을 공평하게 보장받아 자원 간섭을 최소화하게 된다. 그리고 알고리즘에서 자원 할당 스케줄러는 우선순위 결정에 따른 평균 전송율과 지연율을 기록하기 때문에 셀룰러 통신의 성능을 보장받게 된다. 따라서 본 논문에서는 C-RASA와 D-RASA가 순차적으로 실행됨으로써 자원 간섭으로 인한 대기 지연이 최소화되며, 자원할당 스케줄링이 효과적으로 수행됨으로써 5G 셀룰러의 성능을 보장받게 된다.

3. 시뮬레이션 평가

이 장에서는 제안된 기법의 성능을 알아보기 위하여 우선순위와 SINR이 적용된 링크 혼잡도와 시스템 처리율을 측정한다. 시뮬레이션 편의를 위해 gNB상에서 셀룰러 링크와 D2D링크를 일정하게 고려하여 성능평가를 수행하며, gNB상에는 셀당 셀룰러 업 링크를 10개 이내로 제한하였다. 또한 gNB상에는 셀룰러 디바이스와 D2D 디바이스를 랜덤하게 배치하였으며, D2D 송신 디바이스와 수신 디바이스 간의 거리는 70m이내에서 랜덤하게 배치하도록 하였다. 그리고 셀룰러 링크와 D2D 링크 간의 자원간섭의 정도와 패킷 오류율에 따른 시스템의 성능을 알아보기 위하여 C-RASA와 D-RASA를 적용하였다. gNB의 셀룰러 프레임 상에서 D2D링크가 셀룰러 링크보다 많을 경우에는 자원할당을 공평하게 스케줄링하기 위하여 셀 프레임 상에 D2D링크를 분산 배치하였으며, 분산 배치된 UE 들에 대해서 자원할당 스케줄링이 수행되도록 하였다. gNB상에서 자원할당 스케줄링이 완료된 UE 들은 우선순위에 따라 시스템 성능이 평가되도록 하였으며, 시스템 성능을 위한 시뮬레이션 파라미터를 Table2와 같이 정의하였다.

시뮬레이션에서는 각 UE 들에게 공평한 자원할당

기회를 제공하기 위하여 CSMA/MAC 프로토콜을 사용하였으며, gNB상에는 셀룰러 링크와 D2D 링크가 존재한다고 가정하였다. 제안된 기법의 성능을 알아보기 위하여 CPRAS 기법, Pure Cellular 기법, 그리고 Force Cellular 기법에 대해서 성능을 비교분석하여 시스템 성능을 평가하였다.

Table 2. Simulation Parameters

Parameter	Value
System Bandwidth	10MHz
Carrier Frequency	2.5GHz
Cellular Layout	10 cells
Cell Radius	100m
Number of UEs per cell	10,20,30,40,50
ϵ	$0 \leq \epsilon \leq 1$
μ	$0 \leq \mu \leq 1$
Noise Figure	3dB at gNB, 5dB at UE
EP_{UE_i}	20dBm
Number of CUs	10 ~ 50
Number of D2D pairs	2 ~ 10

3.1 링크 혼잡도

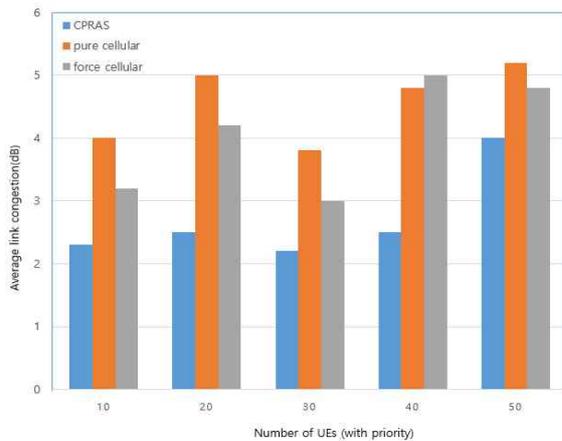


Fig. 2. Link congestion with priority

Fig.2는 gNB상의 D2D링크가 존재할 때 UE 들의 수에 따른 평균 링크 혼잡도의 결과를 보여주고 있다. 셀 당 UE 들의 수는 10, 20, 30, 40, 50으로 구분하여 각각의 UE 들에게 우선순위 스케줄링을 적용했을 때와 그렇지 않았을 때로 구분하였다. 제안된 CPRAS 기법, Pure Cellular 기법, 그리고 Force Cellular 기법

에 대해서 우선순위 스케줄링을 적용하지 않았을 때에는 평균 링크 혼잡도가 거의 유사하게 분석되었다. 그러나 Fig.2에서 보듯이 우선순위 스케줄링을 적용했을 때 제안된 CPRAS 기법, Pure Cellular 기법, 그리고 Force Cellular 기법의 비교분석 결과 제안된 기법의 성능이 보다 우수함을 알 수 있다. 이러한 결과는 C-RASA와 D-RASA 알고리즘을 적용함으로써 각 UE 들에게 자원 할당 우선순위를 보장받아 혼잡의 가능성이 큰 UE 들이 우선적으로 배제되었기 때문이다.

Fig.3은 D-RASA를 적용했을 때의 링크 혼잡도를 보여주고 있다. 시뮬레이션을 위해 D2D 링크 수는 2에서 10까지 랜덤하게 배치하였으며, gNB내의 셀 간 간섭을 보다 용이하게 제어하기 위해 D2D 서브 프레임 수를 1개로 하였다. 또한 시뮬레이션에서 gNB와 UE 간의 자원 간섭 분석을 용이하게 하기 위하여 자원 손실률을 $0 \leq \epsilon \leq 1$ 로 설정하였으며, 그 결과 자원 손실률을 최소화하면서 링크 혼잡도의 성능이 보다 향상됨을 알 수 있었다. 이는 셀 상의 UE 들에 D-RASA 알고리즘이 적용되어 자원 간섭이 상대적으로 작은 D2D pair를 우선적으로 링크하기 때문이다.

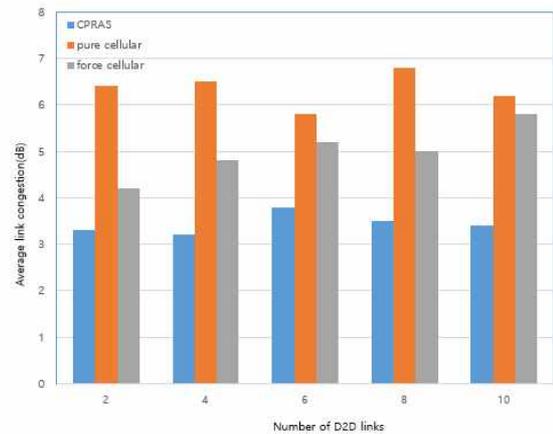


Fig. 3. Link congestion with D2D pairs

3.2 시스템 처리율

Fig.4와 Fig.5는 셀룰러 링크와 D2D 링크에 SINR 스케줄링을 적용한 후 CU의 수와 D2D pair의 수에 따른 평균 시스템 처리율의 결과이다. Fig.4에서 보듯이 CU의 수가 50일 때 제안된 CPRAS 기법이 Force cellular 기법에 비해 셀 당 평균 처리율이 약 14% 향상됨을 알 수 있다. 이는 gNB상에서 최적의 자원할당은 자원 간섭의

영향에 따라 좌우됨을 의미하며, 또한 자원 간섭이 작을수록 시스템 처리율이 향상됨을 의미한다. 시뮬레이션에서 시스템 처리율은 셀룰러 링크 하에서 자원할당 스케줄링과 D2D 링크 하의 자원할당 스케줄링 과정으로 구분하여 수행되었으며, CU의 수는 10~50, 그리고 D2D pair의 수는 5~10으로 설정하였다. 그 결과 Fig.5에서 보듯이 셀 당 D2D pair의 수에 따른 시스템 처리율이 보다 효율적임을 알 수 있다. 이는 D2D 통신 링크에 우선순위 스케줄링을 적용함으로써 간섭의 원인이 사전에 제어되고 스케줄링 되었음을 의미한다. 따라서 gNB하에서 제안된 자원할당 스케줄링 알고리즘을 적용할 경우 셀 상에서 보다 효율적이고, 간섭의 영향을 최소화하여 저지연, 기가급의 서비스를 제공할 수가 있게 된다.

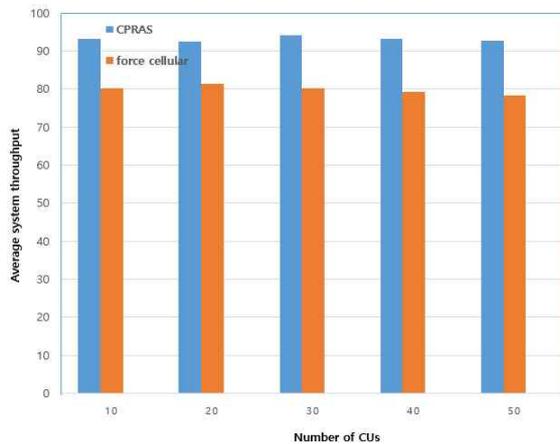


Fig. 4. System throughput with CUs

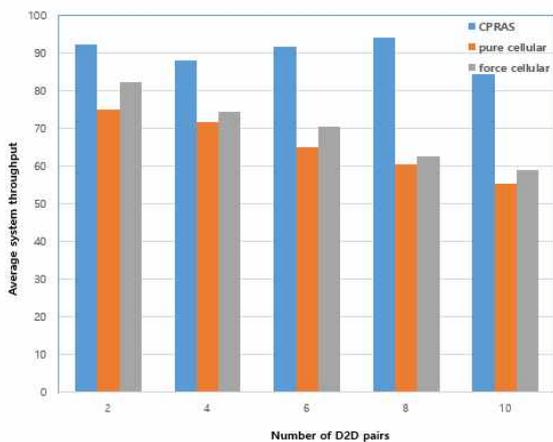


Fig. 5. System throughput with D2D pairs

4. 결론 및 향후연구

5G의 셀룰러 네트워크 하에서 gNB로의 셀룰러 통신과 D2D 통신은 자원 간섭의 영향을 받으며, 이는 시스템의 성능과 통신 서비스 품질 저하의 원인을 제공한다. 본 논문에서는 gNB로의 통신을 수행할 때 자원 간섭을 최소화하면서 시스템의 성능 보장과 5G 통신 서비스를 극대화하기 위한 협력적 우선순위 기반의 자원할당 스케줄링 기법 CPRAS를 제안하였다. 제안된 기법은 gNB상에서 자원 간섭의 원인을 분석하여 분석된 원인에 우선순위 스케줄링과 자원할당 스케줄링을 적용함으로써 셀 상에서 발생하는 자원 간섭을 효과적으로 제어하도록 하였다. gNB의 셀룰러 링크 하에서 자원할당은 C-RASA와 D-RASA에 의해 수행되도록 하였으며, 시뮬레이션 결과 셀룰러 링크의 혼잡도와 D2D 링크 혼잡도가 pure cellular기법과 force cellular기법에 비해 효율적임을 알 수 있다. 또한 시스템 처리율 관점에서 제안된 기법이 force cellular기법에 비해서 약 14%의 성능 향상을 보였으며, D2D pair에 따른 시스템 처리율 또한 향상됨을 알 수 있다. 향후 연구로는 C-RASA와 D-RASA를 결합한 하이브리드 알고리즘에 대해서 연구하도록 할 것이며, 셀 상에서 CU의 수와 D2D pair의 수를 증가시켜 초저지연을 보장하기 위한 알고리즘을 연구하도록 할 것이다.

REFERENCES

- [1] O. N. C. Yilmaz, et. al. (2014). Smart mobility management for D2D Communications in 5G Networks. *IEEE WCNC, Istanbul, Turkey, Apr*
- [2] X. Lin, J. G. Andrews, A. Ghosh & R. Ratasuk. (2014). An Overview of 3GPP device-to-device proximity services. *IEEE Communication Magazines*, 52(4), 40-48.
- [3] G. M. Mo & O. S. Shin. (2013). Resource Allocation Scheme based on Spectrum Sensing for Device-to-Device Communications Underlying Cellular Networks. *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 38(10), DOI: 10.7840/kics.2013.38A.10.898
- [4] M. Alsenwi, K. T. Kim, C. S. Hong. (2019). Radio Resource Allocation in 5G New Radio: A Neural Networks Approach. *Journal of KIISE*, 46(9), 961-967.
- [5] N. S. Vo, T. Q. Duong, M. Guizani, A. Kortun. (2018). 5G optimized caching and downlink resource sharing for smart cities. *IEEE ACCESS*, 6(1), 31457-31468.
- [6] O. Nouri, B. Imen, G. Amina, Z. Faouzi, S.O. Mohammad. (2018). Smart mobility management in

5G heterogeneous networks. *IET*, 7(3), 119–128.

· E-Mail : cdlee1008@jbnu.ac.kr

- [7] P. Gandotra & R. Kumar. (2016). Device-to-Device Communication in Cellular. *Journal of Network and Computer Applications*, 71(1), 99–117.
- [8] H. R. Kang. (2018). A study on the UI/UX design of object control application using wireless communication. *The Society of Digital Policy & Management*, 16(1), 281–286.
- [9] S. Wen, X. Zhu, X. Zhang & D. Y. Hang. (2013). QoS-Aware Mode Selection and Resource Allocation Scheme for Device-to-Device (D2D) Communication in cellular networks. *2013 IEEE International Conference on Communications Workshops (ICC)*, 101–105, DOI: 10.1109/ICCW.2013.6649209
- [10] R. Vannithamby & S. Talwar. (2017). *Distributed Resource Allocation in 5G Cellular Networks*. Wiley Telecom, DOI: 10.1002/9781118979846
- [11] K. T. Sahrish & A. S. Munam. (2019). Resource Allocation in SDN-based 5G Cellular Networks. *Peer-to-peer Networking and Applications*, 12(1), 514–538.
- [12] U. N. Kar & D. K. Sanyal. (2018). An overview of device-to-device communication in cellular networks. *ICT Express*, 4(4), 203–208.
- [13] M. Noura M & R. Nordin. (2016). A survey on interference management for device-to-device (D2D) communication and its challenges in 5G networks. *Journal of Networking and Computer Applications*, 71(1), 130–150.
- [14] S. Ali & A. Ahmad. (2017). Resource allocation, interference management, and mode selection in device-to-device communication: A survey. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 28(7), 1–36.
- [15] M. N. Tehrani, M. Uysal & H. Yanikomeroglu. (2014). Device-to-device communication in 5G cellular networks: challenges, solutions, and future directions. *IEEE Communication Magazines*, 52(5), 86–92.

이 중 득(Chong-Deuk Lee)

[경력]



- 1983년 2월 : 전북대학교 전산통계학과(이학사)
- 1989년 2월 : 전북대학교 전산통계학과(이학석사)
- 1998년 2월 : 전북대학교 전자계산학(이학박사)
- 2014년 1월 ~ 2015년 1월 : 미국 샌디에이고 주립대학교 교환 교수
- 1988년 ~ 2020년 현재 : 전북대학교 전자공학부 교수
- 관심분야 : 무선 애드 혹 네트워크, 4G LTE, 5G Mobile Communications 등