

# 차세대 하향링크 셀룰러 네트워크에서 단말 간 직접 통신을 위한 유동적 채널관리 방법<sup>☆</sup>

## Dynamic Channel Management Scheme for Device-to-device Communication in Next Generation Downlink Cellular Networks

김 세 진<sup>1\*</sup>  
Se-Jin Kim

### 요 약

최근 스마트 단말 및 다양한 사물인터넷(Internet of Things) 장치들이 요구하는 고품질/대용량 데이터 트래픽 양이 급격히 증가함에 따라 5G/6G 기반의 차세대 셀룰러 네트워크는 단말 간 직접 통신(Device-to-device communication, D2D) 기술에 관심을 집중하고 있다. 하지만, D2D 통신은 매크로 셀의 주파수 재사용으로 전체 시스템 성능은 향상되지만, D2D 사용자 단말(D2D user equipment, DUE)로부터 전송되는 간섭량이 증가하여 매크로 사용자 단말(Macro user equipment, MUE)의 성능은 감소된다. 따라서, 본 논문에서는 차세대 하향링크 셀룰러 네트워크에서 DUE의 수가 증가하여도 MUE의 성능을 보장할 수 있는 D2D 유동적 채널관리 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 매크로셀 기지국이 MUE가 수신하는 간섭과 신호 대 간섭 잡음비(Signal to interference and noise ratio) 정보를 기반으로 DUE에게 부채널을 유동적으로 할당한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 D2D 유동적 채널관리 방법이 다른 채널관리 방법들과 비교해 MUE의 SINR 기준값이 증가함에 따라 MUE의 성능이 우수함을 보인다.

☞ 주제어 : 셀룰러 네트워크, 이기종 네트워크, 단말 간 직접 통신, 유동적, 채널관리, 간섭관리

### ABSTRACT

Recently, the technology of device-to-device(D2D) communication has been receiving big attention to improve the system performance since the amount of high quality/large capacity data traffic from smart phones and various devices of Internet of Things increase rapidly in 5G/6G based next generation cellular networks. However, even though the system performance of macro cells increase by reusing the frequency, the performance of macro user equipments(MUEs) decrease because of the strong interference from D2D user equipments(DUEs). Therefore, this paper proposes a dynamic channel management(DCM) scheme for DUEs to guarantee the performance of MUEs as the number of DUEs increases in next generation downlink cellular networks. In the proposed D2D DCM scheme, macro base stations dynamically assign subchannels to DUEs based on the interference information and signal to interference and noise ratio(SINR) of MUEs. Simulation results show that the proposed D2D DCM scheme outperforms other schemes in terms of the mean MUE capacity as the threshold of the SINR of MUEs increases.

☞ keyword : Cellular network, Heterogeneous network, Device-to-device communication, Dynamic, Channel management, Interference management

## 1. 서 론

최근 스마트폰, 태블릿, 그리고 다양한 사물인터넷(Internet of Things, IoT) 장치 등이 요구하는 고품질/대용

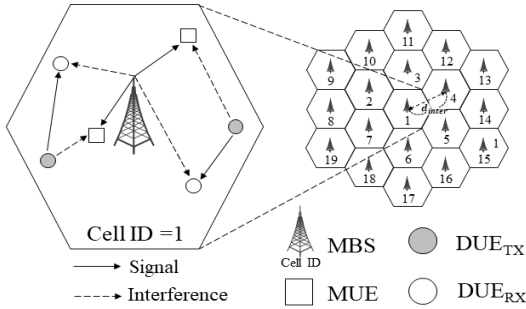
량 데이터 트래픽 양이 급격히 증가하고 있다[1][2]. 증가하는 무선 데이터 트래픽 문제를 해결하기 위해 전세계 대표적인 이동통신 사업자와 연구소는 5G/6G 기반 차세대 셀룰러 네트워크에서 매크로 셀의 주파수를 재사용하여 전체 시스템 성능을 향상시키는 단말 간 직접 통신(Device-to-device, D2D) 기술 도입에 관심을 집중하고 있다[3][4][5]. 하지만, D2D 통신은 전체 시스템 성능은 향상될 수 있지만 D2D 사용자 단말(D2D user equipment, DUE)의 수가 증가할수록 매크로 사용자 단말(Macro user equipment, MUE)이 수신하는 간섭량이 증가하여 MUE의 신호 대 간섭 잡음비(Signal to interference and noise ratio, SINR)

<sup>1</sup> Dept. of Computer Science and Statistics, Chosun University, Gwangju, 61452, Korea.

\* Corresponding author (sjkim@chosun.ac.kr)

<sup>☆</sup> 이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2021R1F1A1060960).

[Received 21 August 2022, Reviewed 22 August 2022(R2 03 January 2023), Accepted 25 January 2023]



(그림 1) 시스템 토폴로지  
(Figure 1) System topology

와 전송 용량이 감소된다. 따라서, D2D 통신을 이용하는 차세대 셀룰러 네트워크 시스템에서 MUE의 성능은 보장하면서 DUE의 성능을 향상시키는 간섭완화 및 채널관리 방법이 필요한 실정이다. 주파수 재사용 방법은 셀 간 주파수 재사용 인자(Frequency reuse factor, FRF)를 다르게 사용하여 셀 경계부분에 위치한 MUE의 간섭을 완화하여 시스템 성능을 향상시키는 대표적인 방법이다[6]. D2D 통신에서도 주파수 재사용 효율을 높이기 위해 매크로 셀과 DUE가 동일한 채널을 이용하는 FRF 1 채널관리 방법을 이용할 수 있다. 하지만, DUE의 수가 증가할수록 MUE가 수신하는 간섭 영향이 크게 증가하여 성능을 보장하기 어려운 단점이 있다. [7]과 [8]은 그래프 이론을 이용하여 DUE 사이의 간섭을 고려하면서 채널을 할당하는 방법을 제안하였지만, 그래프 이론으로 선택된 색깔의 채널 1개만 DUE에게 할당하여 시스템 성능이 크게 향상되지 않는다. [9]는 매크로셀과 DUE가 공존하지만, 전체 채널을 2개 그룹으로 분리하여 각각 MUE와 DUE에게 할당하여 이중망 사이의 간섭이 없는 환경에서 성능을 분석하였다. 하지만, MUE와 DUE의 SINR은 높더라도 각 MUE와 DUE에게 할당되는 부채널의 주파수 대역이 감소하여 시스템 성능은 크게 향상되지 않는다.

본 논문에서는 5G/6G 기반 차세대 하향링크 셀룰러 네트워크에서 DUE의 수가 증가하여도 MUE의 성능을 보장할 수 있는 D2D 유동적 채널관리 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 매크로셀 기지국(Macro base station, MBS)이 MUE가 수신하는 간섭과 SINR 정보를 기반으로 DUE에게 부채널을 유동적으로 할당한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는 D2D 유동적 채널관리 방법이 다른 채널관리 방법들과 비교해 MUE의 SINR 기준값이 증가함에 따라 MUE의 성능이 우수함을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 시스템 모델을 소개하고, 3장에서 제안하는 D2D 유동적 채널관리 방법을 설명한다. 이후, 4장에서 시스템 성능을 분석하고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 시스템 모델

### 2.1 시스템 토폴로지

그림 1은 차세대 셀룰러 네트워크에서 MBS의 커버리지에 배치된 MUE와 DUE 사이의 간섭 관계를 포함한 시스템 토폴로지를 나타낸다. 각 MBS의 서비스 영역은 육각셀 모형으로 가정하며,  $M$ 개의 MBS가 서로 연결되어 전체 시스템 토폴로지를 구성한다(본 논문은  $M=19$ 로 가정함). 전방향 안테나가 장착된 MBS는 각 셀의 중앙에 위치하며, 서로 이웃한 MBS 사이의 거리는  $d_{inter}$ 이다. 각 MBS의 커버리지에는  $N$ 개의 MUE와  $U$ 개의 DUE 커플이 균일하게 분포되며, 주변의  $N-1$ 개의 MBS로부터 간섭을 받는다. 이때 DUE 커플은 무선 데이터 트래픽을 전송하는 DUE<sub>TX</sub>와 전송된 트래픽을 수신하는 DUE<sub>RX</sub>로 구성되며, DUE<sub>TX</sub>와 DUE<sub>RX</sub> 사이의 거리는  $d_{couple}$ 이다. MBS는 MUE와 DUE에게  $K$ 개의 하향링크 부채널을 할당하는 역할을 수행하며, 동일한 부채널이 할당된 MUE와 DUE 사이에는 간섭이 발생한다. 따라서, DUE 커플의 수인  $U$ 가 증가할수록 DUE는 MUE 뿐만 아니라 DUE 사이에서도 간섭량이 증가하여 전송률은 감소한다.

### 2.2 SINR 모델

본 절에서는 MUE와 DUE의 성능 분석을 위해 필요한 SINR 모델을 소개한다.  $m$ 번째( $1 \leq m \leq M$ ) MBS가  $n$ 번째( $1 \leq n \leq N$ ) MUE에게  $k$ 번째( $1 \leq k \leq K$ ) 채널을 이용하여 서비스를 제공하기 위한 SINR,  $\gamma_{mnk}^{MUE}$ ,은 아래와 같이 계산된다.

$$\gamma_{mnk}^{MUE} = \frac{R_{mn}^{MUE} \omega_{mnk}^{MUE}}{\sigma^2 + \sum_{\substack{i \in \mathbf{M}, \\ i \neq m}} R_{in}^{MUE} \omega_{ink}^{MUE} + \sum_{i \in \mathbf{M}, j \in \mathbf{U}} R_{ijm}^{DUE} \omega_{ijk}^{DUE}}, \quad (1)$$

여기에서,  $R_{mn}^{MUE} = P_{mn}^{MUE} L_{mn}^{MUE}$  로 계산되며,  $P_{mn}^{MUE}$ 와  $L_{mn}^{MUE} = 128.1 + 37.6 \log_{10}(d)$  는  $m$ 번째 MBS와  $n$ 번째 MUE 사이의 부채널 송신전력과 경로손실 모델을 각각 나타낸다[10]. 이때,  $d$ 는  $m$ 번째 MBS와  $n$ 번째 MUE 사이

의 거리(km)를 나타낸다. 또한,  $R_{ij}^{DUE} = P_{ij}^{DUE} L_{ij}^{DUE}$  로 계산되며,  $P_{ij}^{DUE}$ 와  $L_{ij}^{DUE} = 148 + 40 \log_{10}(d)$  는  $i$ 번째 MBS의  $j$ 번째 DUE<sub>TX</sub>의 부채널 송신전력과  $i$ 번째 MBS의  $j$ 번째 DUE<sub>TX</sub>와  $m$ 번째 MBS의  $n$ 번째 MUE 사이의 경로손실 모델을 각각 나타낸다.  $\omega_{mnk}^{MUE}$ 는 2진 값을 갖는 변수로  $m$ 번째 MBS가  $n$ 번째 MUE에게 부채널  $k$ 를 할당한다면 1 그렇지 않으면 0 의 값을 갖는다.  $\omega_{ijk}^{DUE}$  도 2진 값을 갖는 변수로  $i$ 번째 MBS의  $j$ 번째 DUE<sub>TX</sub>에게 부채널  $k$ 를 할당한다면 1 그렇지 않으면 0 의 값을 갖는다.  $\sigma^2$ 는 백색잡음을 나타낸다.

$m$ 번째 MBS의  $u$ 번째 D2D 커플(DUE<sub>TX</sub> 와 DUE<sub>RX</sub> 사이)에게  $k$ 번째 부채널을 할당하여 서비스를 제공하기 위한 SINR,  $\gamma_{muk}^{DUE}$ , 은 아래와 같이 계산된다.

$$\gamma_{muk}^{DUE} = \frac{R_{muu}^{DUE} \omega_{muk}^{DUE}}{\sigma^2 + \sum_{i \in \mathbf{M}} R_{iu}^{MUE} \omega_{iuk}^{MUE} + \sum_{\substack{i \in \mathbf{M} \\ j \in \mathbf{U} \\ j \neq u}} \sum R_{iju}^{DUE} \omega_{ijk}^{DUE}}, \quad (2)$$

여기에서,  $R_{muu}^{DUE} = P_{mu}^{DUE} L_{mu}^{DUE}$  로 계산되며,  $P_{mu}^{DUE}$ 와  $L_{mu}^{DUE} = 148 + 40 \log_{10}(d)$  는  $m$ 번째 MBS의  $u$ 번째 DUE<sub>TX</sub>의 부채널 송신전력과  $m$ 번째 MBS의  $u$ 번째 D2D 커플(DUE<sub>TX</sub> 와 DUE<sub>RX</sub>) 사이의 경로손실 모델을 각각 나타낸다[10].

### 2.3 시스템 용량

앞에서 계산된  $\gamma_{mnk}^{MUE}$ 와  $\gamma_{muk}^{DUE}$ 를 이용하여 식 (3)과 (4)에서는  $m$  번째( $1 \leq m \leq M$ ) MBS가  $n$  번째( $1 \leq n \leq N$ ) MUE에게 전송하는 용량,  $C_{mn}^{MUE}$ ,과  $u$  번째 D2D 커플(DUE<sub>TX</sub>와 DUE<sub>RX</sub>) 사이의 전송하는 용량,  $C_{mu}^{DUE}$ ,을 다음과 같이 계산한다.

$$C_{mn}^{MUE} = \sum_{\forall k \in \mathbf{K}} W \cdot \omega_{mnk}^{MUE} \cdot \log_2(1 + \gamma_{mnk}^{MUE}), \quad (3)$$

$$C_{mu}^{DUE} = \sum_{\forall k \in \mathbf{K}} W \cdot \omega_{muk}^{DUE} \cdot \log_2(1 + \gamma_{muk}^{DUE}), \quad (4)$$

여기에서,  $W = \frac{W_{total}}{N}$  는 각 부채널의 대역폭을 나타내며,  $W_{total}$ 은 전체 대역폭을 의미한다.

### 3. 제안하는 D2D 유동적 채널관리 방법

본 장에서는 MUE의 성능을 보장하면서 DUE의 성능을 향상시키기 위한 D2D 유동적 채널관리 방법을 제안한다. MBS는 MUE와 DUE의 간섭을 고려하며 유동적으로 부채널을 할당하는 중요한 역할을 수행한다. 먼저, MBS는 자신의 커버리지에 위치한  $N$ 개의 MUE에게  $K$ 개의 하향링크 부채널을 공평하게 할당하고 서비스를 제공한다. 이를 위해, MBS는  $m$ 번째( $1 \leq m \leq M$ ) MBS가  $k$ 번째( $1 \leq k \leq K$ ) 하향링크 부채널을  $n$ 번째( $1 \leq n \leq N$ )의 MUE에게 할당하기 위해  $\omega_{mnk}^{MUE} = 1$  로 설정하며, 각 MUE는  $K/N$  개의 부채널을 이용한다. 이후, MBS는 MUE와 DUE<sub>TX</sub> 사이의 간섭영향 및 MBS와 DUE<sub>RX</sub> 사이의 간섭영향을 고려하며, DUE<sub>TX</sub>에게 유동적으로 부채널을 할당한다. 즉, MBS는 MUE의 성능을 보장하며 DUE에게 채널을 할당하기 위해 각 MUE에게 수신되는 모든 신호의 전력세기 (Received Signal strength, RSS) 측정을 요청한다. 그리고, MUE는 자신이 서비스 받는 MBS와 이웃한 MBS, 그리고 주변에 위치한 DUE<sub>TX</sub>로부터 수신되는 모든 RSS를 수집하여 자신에게 서비스를 제공하는 MBS로 전송한다. MBS는 수신한 RSS 정보들을 이용하여 MUE들의 SINR을 계산하고, 미리 주어진 MUE의 SINR 경계값  $\Gamma_{th}$ 와 비교한다. 만약,  $m$ 번째 MBS의  $k$ 번째 부채널을 사용하는  $n$ 번째 MUE의 SINR이  $\Gamma_{th}$  이상일 경우( $\gamma_{mnk}^{MUE} \geq \Gamma_{th}$ ), MBS는 MUE에게 가장 약한 간섭을 주는 DUE<sub>TX</sub>를 찾아  $k$ 번째 부채널을 할당하고 조건이 만족하는 동안 반복 수행한다. 식 (5)는  $m$ 번째( $1 \leq m \leq M$ ) MBS가 서비스 중인  $n$ 번째( $1 \leq n \leq N$ ) MUE에게 가장 약한 간섭을 주는 DUE<sub>TX</sub>  $u^*$  ( $1 \leq u^* \leq U$ )를 찾는 방법을 나타낸다.

$$u^* = \arg \max_{\forall u \in \mathbf{U}} (R_{mun}^{DUE} \omega), \quad \forall n \in \mathbf{N}, \forall m \in \mathbf{M}. \quad (5)$$

이후,  $m$ 번째 MBS는  $u^*$ 번째 DUE<sub>TX</sub>에게  $n$ 번째 MUE에게 할당된  $k$ 번째 부채널을 할당하기 위해  $\omega_{mu^*k}^{DUE} = 1$ 를 설정한다. DUE 커플의 수  $U$ 가 증가할수록 MUE가 수신하는 간섭영향이 증가하여 SINR 및 전송 용량이 감소한다. 또한, MBS는 DUE에게 여러 개의 부채널을 할당할 수 있으며, DUE에게 할당되는 채널의 수가 증가할수록 D2D 커플 사이의 간섭영향도 증가하여 SINR 및 전송용량이 감소한다. 알고리즘 1은 제안하는 D2D 유동적 채널관리 방법을 나타낸다.

**알고리즘 1:** 제안하는 D2D 유동적 채널관리 방법  
**Algorithm 1:** Proposed D2D dynamic channel management method

---

**Input:**  $\Gamma_{th}, R_{mn}^{MUE}, R_{muu}^{DUE}, \forall m \in \mathbf{M}, \forall n \in \mathbf{N},$   
 $\forall u \in \mathbf{U}.$

**Output:**  $\omega_{muk}^{DUE}, \forall m \in \mathbf{M}, \forall u \in \mathbf{U}, \forall k \in \mathbf{K}.$

**Initialization:**  $\omega_{muk}^{DUE} = 0, \forall m \in \mathbf{M}, \forall u \in \mathbf{U}, \forall k \in \mathbf{K}.$

---

**for**  $m=1$  to  $M$   
   **for**  $n=1$  to  $N$   
     **for**  $k=1$  to  $K$   
       Calculate  $\gamma_{nmk}^{MUE}$  using (1);  
       **if**  $\gamma_{nmk}^{MUE} \geq \Gamma_{th}$  **then**  
         Find  $u^*$  using (5);  
         Set  $\omega_{mu^*k}^{DUE} = 1$  to allocate subchannel  $k$  to  
         DUE  $u^*$  until  $\gamma_{nmk}^{MUE} < \Gamma_{th}$  or  $|u^*| \neq 0$ ;  
       **end if**  
     **end for**  
**end for**  
**end for**

---

#### 4. 시뮬레이션 결과

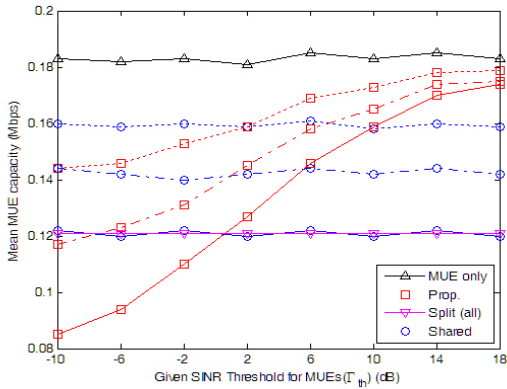
이 장에서는 차세대 하향링크 셀룰러 네트워크에서 제안하는 D2D 유동적 채널관리 방법의 성능을 분석하고, 다른 채널관리 방법들(MUE only: MUE만 서비스를 제공하는 전형적인 셀룰러 네트워크에서 MUE에게만 채널을 할당하는 방법, Shared: MUE와 DUE가 전체 채널을 공유하는 FRF 1 방법, Split: MUE와 DUE가 서로 전혀 간섭영향을 주지 않는 채널 분할 방법)과 비교한다. 시스템 토폴리지는 19개의 MBS로 구성되며, 각 MBS의 커버리지에는  $N$ 개의 MUE와  $U$ 개의 D2D 커플이 균일하게 분포한다 (그림 1 참고). D2D 커플에서 DUE<sub>TX</sub>와 DUE<sub>RX</sub> 사이의 최대(Max)와 최소(Min) 거리는 각각 10m와 3m이다. 또한, 제안하는 D2D 유동적 채널관리 방법은 MUE와 DUE의 평균 전송 용량에 큰 영향을 주는  $\Gamma_{th}$ 를 -10dB부터 18dB까지 변화시키며 성능을 분석한다. 채널관리 방법의 단순하고 효율적인 분석을 위해 MUE와 전체 부채널의 수를 동일하게 가정( $N=K$ )한다. 따라서, Shared와 제안하는 D2D 채널관리 방법에서 MBS는 각 MUE에게  $W = W_{total} / N$  MHz 크기의 대역폭을 갖는 서로 다른 부채널을 할당하지만, Split 채널관리 방법은 MUE에게 할당되는 각 부

(표 1) 시스템 파라미터  
 (Table 1) System parameters

Parameter	Value
주파수 대역	2.0GHz
전체 대역폭( $W_{total}$ )	10MHz
전체 부채널 수( $K$ )	30
MBS의 수( $M$ )	19
MBS 사이의 거리( $d_{inter}$ )	500m
MUE의 수/MBS( $N$ )	30
D2D 커플의 수/MBS( $U$ )	25, 50, 100
MUE와 D2D 커플의 분포	균일분포
Given SINR Threshold for MUEs( $\Gamma_{th}$ )	-10 ~ 18dB
SINR 서비스 경계값( $\Gamma_{out}$ )	-10dB[11]
DUE <sub>TX</sub> 와 DUE <sub>RX</sub> 사이의 Max 거리	10m
D2D Tx 단말 사이의 Min 거리	3m
MBS의 Tx power	43dBm[11]
DUE의 Tx power	23dBm[11]
$\sigma^2$	-174dBm/Hz

채널의 주파수가  $W = 2W_{total} / 3N$  MHz 크기를 갖는다. 한편, Shared와 Split 채널관리 방법에서 MBS는  $W_{total}$  MHz와  $W_{total} / 3$  MHz를 각 DUE에게 할당하지만, 제안하는 D2D 채널관리 방법에서는 MBS가  $\Gamma_{th}$ 를 만족시키기 위한 MUE의 간섭량을 고려하여  $W = W_{total} / N$  MHz 크기의  $N$ 개 이하의 부채널을 D2D 커플에게 할당한다. 마지막으로 MUE와 DUE 커플 사이의 SINR이 SINR 서비스 경계값( $\Gamma_{out}$ )보다 낮을 경우 서비스를 받지 못하며[11], Log-normal shadow fading은 zero mean, 매크로셀과 D2D 통신에 8dB의 standard deviation을 가정한다[12]. 표 1은 성능 분석을 위한 주요 시스템 파라미터를 나타낸다.

그림 2는  $\Gamma_{th}$ 를 증가시키면서 평균 MUE 용량을 비교 분석한 결과를 나타낸다. 제안하는 D2D 유동적 자원관리 방법은 MBS가 MUE의 SINR 성능을 보장( $\gamma_{nmk}^{MUE} \geq \Gamma_{th}$ )하기 위해 DUE에게 할당하는 채널의 수를 감소시키기 때문에  $\Gamma_{th}$ 를 증가시키면 MUE의 성능이 향상되며,  $U$ 가 증가할수록 간섭량이 증가하여 성능이 감소된다. 반면, MUE only, Shared, 그리고 Split 채널관리 방법은  $\Gamma_{th}$ 의 변화에 따라 성능의 변화가 없이 동일한 결과를 보인다. MUE only 방법은 DUE로부터 전송되는 간섭이 전혀 없기 때문에 가장 높은 성능을 보인다. Split 채널관리 방법은 MUE에게 할당되는 각 부채널의 주파수 대역이 Shared 채널관리 방법의 방법보다 작지만, DUE<sub>TX</sub>로부터 수신되는 간섭량이 없기 때문에 높거나 같은 성능을 보인다. 또

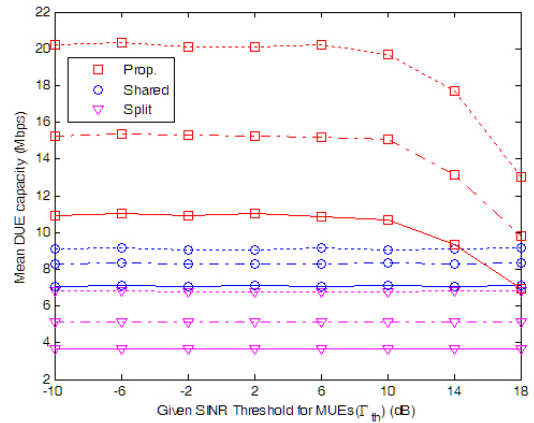


(그림 2) 평균 MUE 용량:  $U=25$ (파선),  $U=50$ (쇄선),  $U=100$ (실선), Split 방법은 실선으로 모두 표현함.

(Figure 2) Mean MUE capacity:  $U=25$ (dashed line),  $U=50$ (dashdot line),  $U=100$ (solid line), Split method is all expressed with a solid line.

한, Shared 채널관리 방법은  $U$ 가 증가할수록 MUE가 수신하는 간섭량이 증가하여 성능이 감소하지만, Split 채널관리 방법은 항상 동일한 결과를 보인다. 결과적으로 제안하는 D2D 유동적 채널관리 방법은  $\Gamma_{th} \geq 2$ dB에서 평균 MUE 용량이 Shared와 Split 방법보다 높은 결과를 보인다.

그림 3은  $\Gamma_{th}$ 를 증가시키면서 평균 DUE 용량을 비교 분석한 결과를 나타낸다. 제안하는 D2D 유동적 자원관리 방법은 MBS가  $\gamma_{mnk}^{MUE} \geq \Gamma_{th}$ 의 조건을 만족하도록 DUE에게 할당하는 채널의 수를 감소시키기 때문에  $\Gamma_{th}$ 를 증가시키면 DUE의 성능이 감소된다. 또한, 제안하는 D2D 유동적 자원관리 방법은  $U$ 가 증가할수록 DUE 사이의 간섭영향이 증가하여 성능이 크게 감소됨을 알 수 있다. 반면, Shared와 Split 채널관리 방법은  $\Gamma_{th}$ 의 변화에 따라 성능의 변화가 없이 동일한 결과를 보인다. Split 채널관리 방법은 부채널을 2개 그룹으로 분할하여 운영하기 때문에 DUE가 MBS로부터 수신하는 간섭이 전혀 없지만, DUE에게  $W_{total}/3$  MHz의 주파수 대역에 해당하는 부채널의 수를 할당한다. 따라서, Shared 채널관리 방법은 DUE가 MBS로부터 수신하는 간섭은 크지만 할당받는 주파수 대역( $W_{total}$  MHz)이 Split 채널관리 방법의 주파수 대역 보다 3배 많기 때문에 높은 성능을 보인다. 또한,

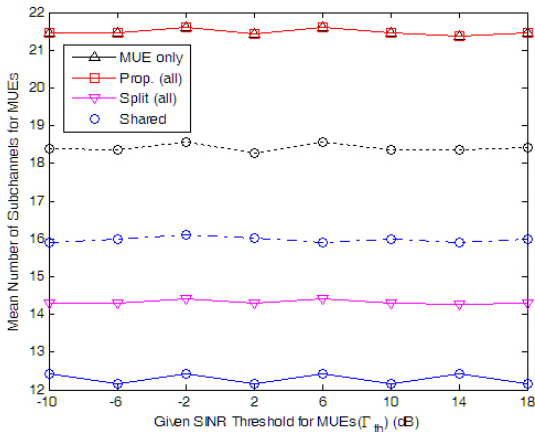


(그림 3) 평균 DUE 용량:  $U=25$ (파선),  $U=50$ (쇄선),  $U=100$ (실선).

(Figure 3) Mean DUE capacity:  $U=25$ (dashed line),  $U=50$ (dashdot line),  $U=100$ (solid line).

Split과 Shared 채널관리 방법은  $U$ 가 증가할수록 이웃한 DUE로부터 수신하는 간섭량이 증가하여 성능이 감소됨을 알 수 있다. 결과적으로 제안하는 D2D 유동적 채널관리 방법은  $U$ 가 25, 50, 100의 경우에 Split과 Shared 채널관리 방법보다 높은 성능을 보인다. 참고로 DUE가 없는 MUE only 방법은 성능이 표현되지 않았다.

그림 4는  $\Gamma_{th}$ 를 증가시키면서 전체 MUE에게 할당되는 채널의 수를 비교 분석한 결과를 나타낸다. MBS는  $K$ 개의 부채널을  $N$ 개의 MUE에게 할당한다. MUE의 SINR이  $\Gamma_{out}$ 보다 낮을 경우, MUE는 서비스를 제공받지 못하기 때문에 부채널은 사용되지 못하며, DUE의 수가 증가할수록 MUE는 DUE로부터 수신하는 간섭량이 증가하여 평균 부채널 수에 대한 분석은 낮아진다. 즉, Shared 채널관리 방법은 DUE의 수가 증가할수록 MUE가 DUE로부터 수신하는 간섭량이 증가하여 감소하는 결과를 보인다. 반면, Split 채널할당 방법은 DUE로부터 수신하는 간섭이 없기 때문에 항상 일정한 결과를 보인다. 제안하는 D2D 유동적 채널관리 방법은 MUE의 SINR 성능을 보장 ( $\gamma_{mnk}^{MUE} \geq \Gamma_{th}$ )하기 위해 DUE에게 할당하는 부채널의 수를 감소시키기 때문에 높은 결과를 보이며, MUE only 방법과 동일한 결과를 보인다.



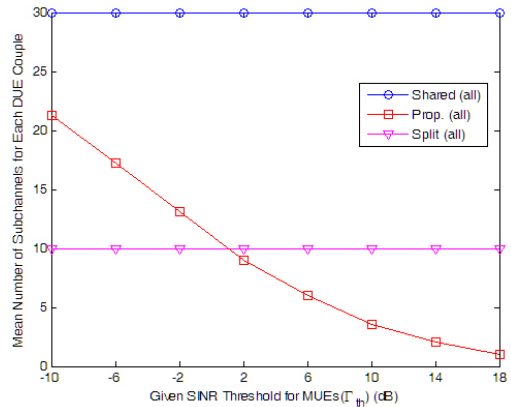
(그림 4) MUE에 대한 평균 부채널 수:  $U=25$ (파선),  $U=50$ (쇄선),  $U=100$ (실선), Split 과 Prop. 방법은 실선으로 모두 표현함.

(Figure 4) Mean number of subchannels for MUEs :  $U=25$ (dashed line),  $U=50$ (dashdot line),  $U=100$ (solid line), Split and Prop. methods are all expressed with a solid line.

그림 5는  $\Gamma_{th}$ 를 증가시키면서 각 DUE 커플에게 할당되는 평균 채널 수를 비교 분석한 결과를 나타낸다. Split 과 Shared 채널관리 방법은 DUE에게 고정된 수의 부채널을 할당하며,  $\Gamma_{th}$ 의 변화에 영향을 받지 않는다. 반면, 제안하는 D2D 유동적 자원관리 방법은 MUE의 SINR 성능을 보장( $\gamma_{mnk}^{MUE} \geq \Gamma_{th}$ )하기 위해 DUE가 부채널을 사용하지 않기 때문에  $\Gamma_{th}$ 가 증가함에 따라 감소하는 결과를 보인다. 제안하는 D2D 유동적 자원관리 방법은 DUE의 SINR이 높기 때문에 할당되는 부채널 수가 낮아도 Split 과 Shared 채널관리 방법보다 평균 DUE 성능이 높다(그림 3 참고).

## 5. 결 론

본 논문은 차세대 하향링크 셀룰러 네트워크 환경에서 MUE의 성능은 보장하면서 DUE의 성능을 향상시키는 D2D 유동적 채널관리 방법을 제안하였다. 제안하는 D2D 유동적 채널관리 방법은  $DUE_{TX}$ 와  $DUE_{RX}$ 로 구성된 D2D 커플의 수 그리고  $\Gamma_{th}$ 의 변화에 따른 MUE와 DUE의 성능을 비교 분석하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안하는



(그림 5) 각 DUE 커플의 평균 부채널 할당 수.

(Figure 5) Mean number of subchannels for each DUE couple.

D2D 유동적 채널관리 방법은  $\Gamma_{th} \geq 6$ dB에서 평균 MUE 용량이 Shared와 Split 방법보다 향상되었고, 평균 DUE 용량은 Split 방법보다 높은 성능을 보였다. 향후 연구로 MUE와 DUE의 이동성을 고려한 효율적인 핸드오버 및 자원관리 방법, 그리고 DUE의 소비전력을 절감할 수 있는 지능적 D2D 전송과 파워 컨트롤 방법을 진행할 계획이다.

## 참고문헌(Reference)

- [1] CISCO Whitepaper, "Cisco Visual Networks Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2017-2022," Feb 2019. <http://media.mediapost.com/uploads/CiscoForecast.pdf>
- [2] CISCO Whitepaper, "Cisco Annual Internet Report (2018 - 2023)," March 2020. <https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/executive-perspectives/annual-internet-report/white-paper-c11-741490.pdf>
- [3] M. Waqas, Y. Niu, Y. Li, M. Ahmed, D. Jin, S. Chen, Z. Han, "A Comprehensive Survey on Mobility-Aware D2D Communications: Principles, Practice and Challenges," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 22, No. 3, pp. 1863-1886, 2020. <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2923708>
- [4] M. S. M. Gismalla, A. I. Azmi, M. R. B. Salim, M. F. L. Abdullah, F. Iqbal, W. A. Mabrouk, M. B. Othman,

- A. Y. I. Ashyap, A. S. M. Supa'at, "Survey on Device to Device (D2D) Communication for 5GB/6G Networks: Concept, Applications, Challenges, and Future Directions," *IEEE Access*, Vol. 10, pp. 30792-30821, 2022.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3160215>
- [5] F. Jameel, Z. Hamid, F. Jabeen, S. Zeadally, M. A. Javed, "A Survey of Device-to-Device Communications: Research Issues and Challenges," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 20, No. 3, pp. 2133-2168, 2018.  
<https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2828120>
- [6] A. S. Hamza, S. S. Khalifa, H. S. Hamza, and K. Elsayed, "A survey on inter-cell interference coordination techniques in OFDMA-based cellular networks," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, Vol. 15, No. 4, pp. 1642-1670, 2013.  
<https://doi.org/10.1109/SURV.2013.013013.00028>
- [7] T. Yang, R. Zhang, X. Cheng, L. Yang, "Graph Coloring Based Resource Sharing (GCRS) Scheme for D2D Communications Underlying Full-Duplex Cellular Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 66, No. 8, pp. 7506-7517, 2017.  
<https://doi.org/10.1109/WCSP.2016.7752515>
- [8] K. Zhao, M. Sheng, J. Liu, Y. Dai, L. Liu, Y. Shi, J. Li, "Graph-based joint mode selection and resource allocation scheme for D2D and cellular hybrid network using SCMA," *International Conference on Wireless Communications & Signal Processing*, 2016.  
<https://doi.org/10.1109/TVT.2017.2657791>
- [9] D. Tsolkas, E. Liotou, N. Passas, and L. Merakos, "A graph-coloring secondary resource allocation for D2D communications in LTE networks," *IEEE International Workshop on Computer Aided Modeling and Design of Communication Links and Networks (CAMAD) 2012*, pp. 56-60, 2012.  
<https://doi.org/10.1109/CAMAD.2012.6335378>
- [10] B. Feng, C. Zhang, J. Liu, Y. Fang, "D2D Communications Assisted Traffic Offloading in Integrated Cellular-WiFi Networks," *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 6, No. 5, pp. 8670-8680, 2019.  
<https://doi.org/10.1109/IIOT.2019.2922550>
- [11] 3GPP TSG-RAN WG 4, R4-092042, "Simulation assumptions and parameters for FDD HeNB RF requirements," 2009.  
[https://www.3gpp.org/ftp/tsg\\_ran/WG4\\_Radio/TSGR4\\_5/1/Documents/R4-092042.zip](https://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/WG4_Radio/TSGR4_5/1/Documents/R4-092042.zip)
- [12] M. Hasan, E. Hossain, "Distributed resource allocation in D2D-enabled multi-tier cellular networks: An auction approach," *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2015.  
<https://doi.org/10.1109/ICC.2015.7248775>

## ● 저 자 소 개 ●



### 김 세 진(Se-Jin Kim)

2004년 조선대학교 전산학과(이학사)

2006년 고려대학교 대학원 전산학과(이학석사)

2010년 고려대학교 대학원 전산학과(이학박사)

2015년~현재 조선대학교 컴퓨터통계학과 교수

관심분야 : 정보통신, 이동통신, 사물인터넷, 머신러닝, 유·무선 데이터 트래픽 분석 etc.

E-mail : sjkim@chosun.ac.kr