

# 다중 셀 네트워크에서 단말 간 직접 통신을 위한 자원 및 전력 할당 기법

강길모\*, 신오순°

## Resource and Power Allocation Method for Device-to-Device Communications in a Multicell Network

Gil-Mo Kang\*, Oh-Soon Shin°

요약

본 논문에서는 다중 셀 셀룰러 네트워크에서 단말 간 직접 통신(Device-to-Device: D2D)의 성능을 최대화하기 위한 최적 자원 및 전력 할당 알고리즘을 제안한다. 셀룰러 단말과 D2D 단말이 통신 자원을 공유하는 상황에서 필연적으로 D2D 단말은 자신이 속한 셀뿐만 아니라 인접한 셀의 D2D 단말과 셀룰러 단말로부터 간섭을 받게 된다. 이러한 환경에서 셀 내의 간섭과 인접 셀의 간섭을 고려한 인접 기지국간의 협력적 D2D 자원 할당 방법을 제안한다. 또한 자원 할당이 이루어진 후 D2D 단말의 최적 전력 할당 문제를 제시하고 최적해를 찾는 알고리즘을 제시한다. 제안하는 D2D 자원 및 전력 할당 알고리즘은 셀룰러 단말의 성능을 보장하기 위해 D2D 단말의 송신전력 제약 조건을 갖는 상황에서 셀룰러 단말로부터의 간섭과 인접 셀 D2D 단말로부터의 간섭을 고려하여 D2D 단말이 얻을 수 있는 전송률을 최대화시킬 수 있다. 다중 셀 환경에서의 모의실험을 통하여 제안한 자원 및 전력 할당 알고리즘의 성능을 검증하고 기존의 비협력적 자원 할당 방식과 비교하여 제안한 협력적 자원 할당 방식의 성능 이득을 확인한다.

**Key Words** : Device-to-Device (D2D), Resource Allocation, Power Allocation, Spectrum Sharing

### ABSTRACT

We investigate the optimal resource and power allocation for device-to-device (D2D) communications in a multicell environment. When D2D links reuse the cellular radio resources, each D2D user will interfere with a cellular link and other D2D links, in its own cell as well as in adjacent cells. Under such situation, we propose a coordinated resource allocation scheme that can handle the intercell interferences as well as the intracell interference. For a given resource allocation, we also formulate a power optimization problem and present an algorithm for finding the optimal solution. The resource and power allocation algorithms are designed to maximize the achievable rate of the D2D link, while limiting the generated interference to the cellular link. The performance of the proposed algorithms is evaluated through simulations in a multicell environment. Numerical results are presented to verify the coordination gain in the resource and power allocation.

\* 본 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013R1A2A2A01011222).

• First Author : Soongsil University, gilmokang@ssu.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : Soongsil University, osshin@ssu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2015-10-325, Received October 7, 2015; Revised October 14, 2015; Accepted October 14, 2015

## I. 서론

최근 이동통신 기술의 급속한 발달로 통신 단말들의 수가 급격히 증가함에 따라 주파수 자원 부족 문제가 매우 심각한 상황에 이르렀다<sup>[1]</sup>. 이러한 주파수 부족 문제를 완화시키기 위해서는 적극적인 주파수 재사용을 통하여 셀룰러 네트워크의 주파수 효율을 향상시킬 필요가 있다. 셀룰러 네트워크의 주파수 효율을 향상시킬 수 있는 방안으로 단말 간 직접통신(Device-to-Device: D2D) 기술이 주목받고 있다<sup>[2]</sup>. D2D 통신이란 지리적으로 근접한 단말들이 기지국 혹은 AP (Access Point)와 같은 인프라를 통하지 않고 직접적으로 통신하는 기술이다. D2D 통신은 광고, 마케팅, SNS 등 근접성 기반의 새로운 상업적 서비스를 창출시킬 수 있다<sup>[3-7]</sup>. 또한 D2D 통신은 3GPP (3rd Generation Partnership Project)에서 ProSe (Proximity-based Services)라는 명칭으로 2012년부터 표준화가 진행 중에 있다<sup>[8-10]</sup>.

그림 1은 보편적인 D2D 통신의 절차를 나타낸 것으로 단말 탐색(Discovery), 링크 설립(Link Establishment), 데이터 전송(Data Transmission) 3 단계로 나누어진다<sup>[7]</sup>. 단말 탐색은 근접한 단말을 탐색 및 확인하는 단계이다. 링크 설립은 이전 탐색 단계에서 확인된 단말과의 데이터 링크와 제어 링크를 구축하는 단계이다. MCS (Modulation and Coding Scheme)와 단말의 송신전력 및 자원 할당이 이 단계에서 결정된다. 데이터 전송단계에서는 단말들이 구축된 링크를 통해 실제 데이터를 교환하여 통신을 하게 된다. 따라서 정확한 데이터 전송을 위해서는 링크 설립 단계에서의 자원 할당과 전력 할당이 매우 중요하다. 특히 셀룰러 네트워크 기반의 D2D 통신<sup>[2]</sup>은 D2D

링크와 셀룰러 링크가 동일한 주파수 자원을 공유하기 때문에 필연적으로 상호간의 간섭이 발생한다<sup>[11]</sup>. 따라서 셀룰러 네트워크 기반의 D2D 자원 할당 및 송신전력 할당에서는 여러 가지 종류의 간섭들을 효과적으로 제어하는 것이 중요하다.

셀룰러 기반의 D2D 통신에 대한 자원 및 전력 할당 문제는 여러 연구가 이미 진행되었다. Doppler와 Rinne는 셀룰러 단말이 받는 간섭을 제한하기 위해 D2D 단말의 최대 송신전력을 제어하는 방식을 제안하였다<sup>[2]</sup>. 셀룰러 링크와 D2D 링크 상호간의 간섭을 고려하여 전송률 합계를 최대화하는 전력 최적화 방식이 제안되었다<sup>[12,13]</sup>. OFDMA 기반 D2D 자원 할당 방식이 제안되었고<sup>[14]</sup>, Wang과 Chen은 D2D 단말이 하나 이상의 셀룰러 자원을 공유하는 자원 할당 최적화 알고리즘을 제안하였다<sup>[15]</sup>. 채널 정보 기반이 아닌 거리 정보 기반으로 D2D 자원 할당을 하는 방법에 대한 연구 또한 진행되었다<sup>[10]</sup>. 하지만 대부분의 선행 연구는 단일 셀 환경을 가정하였고 인접 셀에서의 간섭이 고려되지 않았다. 최근 Liu와 Li는 인접 셀 간섭이 존재하는 상황에서 GPS (Global Position System)를 통해 위치정보를 획득하고 단말 간 거리를 이용하여 자원 할당을 하는 방식을 제안하였다<sup>[16]</sup>.

본 논문에서는 인접 셀 간섭이 존재하는 상황에서 기지국이 전체 채널 정보를 알고 있다는 가정 하에 인접 기지국과의 협력적 D2D 최적 자원 할당과 전력 할당 방법을 제시하고자 한다. 인접 기지국에서 동일한 자원을 사용하는 D2D 단말들의 그룹화를 통해 D2D 단말 간의 간섭을 제어하는 섹터 기반 D2D 그룹화 방식을 제안한다. 또한 기존 연구인 단일 셀 상황에서의 D2D 자원 할당 및 전력 할당 방식을 살펴보고 다중 셀 상황에서 제안하는 협력적 자원 할당 및 전력 할당 방식과의 성능을 비교한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 본 논문에서 적용되는 상향링크 셀룰러 시스템 기반 D2D 통신 시스템 모델을 제시한다. III장에서 단일 셀 상황에서의 D2D 자원 및 전력 할당 방식에 대해서 살펴본 후 다중 셀 상황에서의 협력적 자원 할당 및 전력 할당 방식을 제안한다. IV장에서 모의실험을 통하여 제안하는 알고리즘의 성능을 검증하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 시스템 모델

그림 2는 D2D 단말이 셀룰러 단말의 상향링크 자원을 공유할 때 발생하는 간섭 시나리오를 나타낸 것

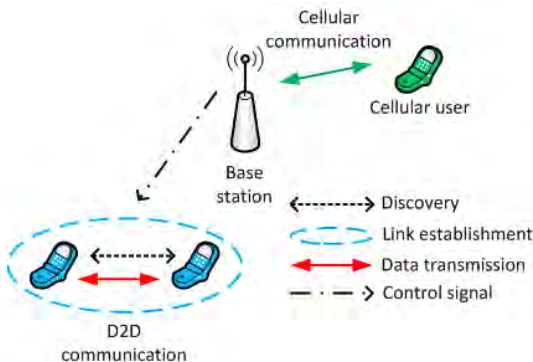


그림 1. 셀룰러 네트워크에서 단말 간 직접 통신의 절차  
Fig. 1. The procedure of D2D communications in a cellular network.

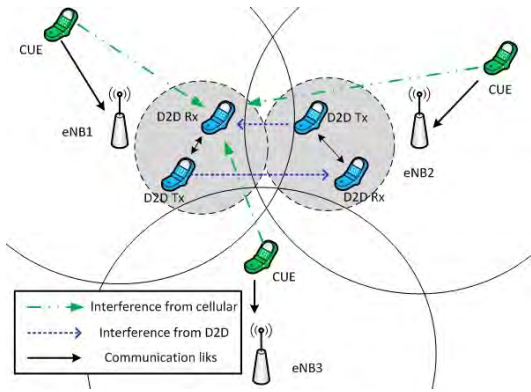


그림 2. 다중 셀 환경에서 D2D 링크의 간섭 시나리오  
Fig. 2. Interference scenario of D2D links in a multicell environment

이다. 다중 셀 환경에서 D2D 단말은 셀 내외로부터 동일한 자원을 사용하는 셀룰러 단말과 D2D 단말들로부터 간섭을 받게 된다. 특히 D2D 단말들이 셀 외각에 위치하면 상대적으로 큰 간섭을 받게 된다. 만약

표 1. 사용된 기호 정의  
Table 1. Definition of symbols

Symbol	Definition
$L$	Number of cells
$K$	Number of subchannels
$c_{(l,k)}, d_{(l,k)}$	Indices of the cellular user and D2D user using the $k$ -th subchannel in the $l$ -th cell
$s_{c(l,k)}, s_{d(l,k)}$	Transmit signals of the cellular user and D2D user
$p_{c(l,k)}, p_{d(l,k)}$	Transmit powers of the cellular user and D2D user
$h_{c(l,k)}, h_{d(l,k)}$	Channel coefficients of the cellular link and D2D link
$h_{d(l,k)-c(l,k)}$	Interference channel from the D2D link to the cellular link
$h_{c(l,k)-d(l,k)}$	Interference channel from the cellular link to the D2D link
$h_{d(i,k)-d(l,k)}$	Interference channel between D2D links belonging to the same group
$d_{c(l,k)}$	Distance of the cellular link
$d_{d-c(l,k)}$	Distance between the D2D to cellular link
$\alpha$	Pathloss exponent
$g_{x(l,k)}$	Channel gain: $g_{x(l,k)} =  h_{x(l,k)} ^2 d_{x(l,k)}^{-\alpha}$
$\Gamma_c$	Minimum SINR requirement of the cellular link
$P_{(l,k)}$	Maximum allowed transmit power of the D2D transmitter

각 셀의 D2D 단말이 충분히 떨어져 있다면 D2D 단말간의 간섭은 무시할 수 있다. 하지만 그림 2에서와 같이 각 셀의 D2D 단말들이 셀 외각에 서로 인접해 있다면 서로 간의 간섭을 무시할 수 없게 된다. 그러므로 이러한 간섭의 영향을 최소화하기 위해서는 적절한 자원 및 전력 할당이 필요하다. 본 논문에서는 모든 통신 링크와 간섭 링크에 대한 채널 정보를 기지국이 알고 있다는 가정 하에 기지국이 자원 및 전력 할당을 수행한다. 모든 링크는 완벽히 동기화되어있다고 가정한다. 본 논문에서 사용한 수식은 포함된 기호들을 표 1에 정의하였다.

### III. D2D 자원 및 전력 할당 기법

#### 3.1 D2D 단말의 송신전력 할당

$l$ 번째 셀 기지국에서  $k$ 번째 부채널을 사용하는 셀룰러 단말의 수신 신호는 다음과 같다.

$$y_{c(l,k)} = h_{c(l,k)} d_{c(l,k)}^{-\alpha/2} s_{c(l,k)} + h_{d-c(l,k)} d_{d-c(l,k)}^{-\alpha/2} s_{d(l,k)} + n \quad (1)$$

여기서  $n$ 은 전력이  $\sigma^2$ 인 가우시안 잡음을 나타낸다. 인접 셀의 D2D 단말이 셀룰러 링크에 주는 간섭은 무시할 수 있을 정도로 작다고 가정하면, 셀룰러 단말의 수신 SINR (Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SINR_{c(l,k)} = \frac{g_{c(l,k)} p_{c(l,k)}}{g_{d(l,k)-c(l,k)} p_{d(l,k)} + \sigma^2} \quad (2)$$

D2D 링크가 셀룰러의 자원을 공유하기 위해서는 D2D 단말의 최대 송신전력을 제한하여 셀룰러 단말의 최소 SINR 요구조건을 보장해 주어야 한다. 즉, 셀룰러 단말의 최소 SINR 요구 값을  $\Gamma_c$ 라 하면 셀룰러 단말의 SINR은 다음과 같은 조건을 만족해야 한다.

$$SINR_{c(l,k)} \geq \Gamma_c \quad (3)$$

식 (2)와 식 (3)을 이용하여 D2D 단말의 최대 허용 송신전력을 아래와 같이 도출할 수 있다.

$$p_{d(l,k)} \leq \frac{g_{c(l,k)} p_{c(l,k)}}{\Gamma_c g_{d(l,k)-c(l,k)}} - \frac{\alpha^2}{g_{d(l,k)-c(l,k)}} \equiv \Delta_{(l,k)} \quad (4)$$

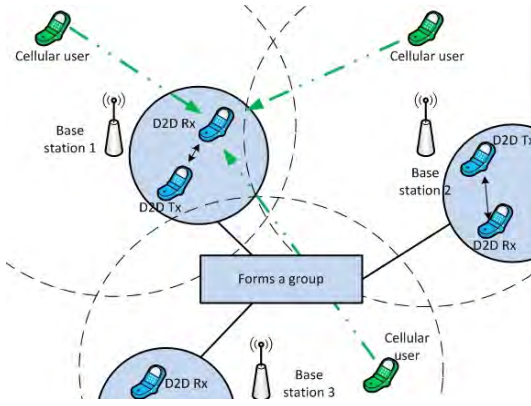


그림 3. 다중 셀 환경에서 D2D 자원 할당 시나리오  
Fig. 3. Resource allocation scenario of D2D links in a multicell environment

따라서 D2D 단말의 송신전력 상한 값은 다음과 같다.

$$P_{(l,k)} = \min(P_{\max}, \Delta_{(l,k)}) \quad (5)$$

여기서  $P_{\max}$  는 D2D 단말이 물리적으로 사용할 수 있는 최대 송신전력으로  $P_{\max}$  값이  $\Delta$ 보다 크다면 D2D의 최대 송신전력  $P_{(l,k)}$  는  $\Delta$ 가 되고  $P_{\max}$  값이  $\Delta$ 보다 작으면  $P_{(l,k)}$  는  $P_{\max}$  가 된다. 각 셀의 셀룰러 링크의 성능을 보장하는 D2D 단말의 최대 허용 송신전력이 결정된 후 이 전력 값을 이용하여 자원 할당이 이루어진다. 본 논문에서는 먼저 단일 셀 환경에서의 자원 할당 방법에 대해서 설명하고 다중 셀 환경에서의 자원 할당에 알고리즘을 제안할 것이다.

### 3.2 비협력적 D2D 자원 할당

비협력적 D2D 자원 할당이란 기지국 간의 정보교환이 없이 자신의 셀만 고려하여 자원 할당을 하는 방법을 의미한다. 단일 셀 환경에서의 자원 및 전력 할당은 앞선 여러 논문을 통해 소개가 되어 있으며 인접 셀 간섭이 없다는 가정 하에 D2D 성능의 상한선을 제공할 수 있다. D2D 자원 할당의 목적은 셀룰러 단말로부터의 간섭을 고려하여 D2D 링크의 성능이 최대가 되는 자원을 할당하는 것이다. 식 (4)의 D2D 단말의 최대 허용 송신전력을 이용하여  $k$ 번째 셀룰러 자원을 공유하는 경우 D2D 단말의 최대 SINR은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SINR_{d(k)} = \frac{g_{d(k)}P_k}{g_{c(k)-d(k)}P_{c(k)} + \sigma^2} \quad (6)$$

여기서 셀의 인덱스  $l$ 은 편의상 생략하였다. 식 (6)으로부터 단일 셀 환경에서의 최적 자원 할당은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$k^* = \arg \max_k SINR_{d(k)} \quad (7)$$

여기서  $k^*$  는 최적의 셀룰러 자원 인덱스를 나타낸다. 식 (6)을 통하여 D2D 링크가 얻을 수 있는 최대 SINR 성능은  $SINR_{d(k^*)}$ 가 되고 이는 D2D 성능의 상한선을 의미한다. 하지만 이러한 방법은 다중 셀 환경을 고려하면 인접 셀 간섭으로 인해 D2D 링크의 성능 열화가 발생하게 된다. 따라서 D2D 링크의 성능 열화를 완화시키기 위하여 인접 셀 간섭이 고려된 기지국 간 협력적 자원 할당이 필요하다.

### 3.3 다중 셀 환경에서의 협력적 D2D 자원 할당

다중 셀 환경에서 인접 셀 간섭을 고려하여 기지국 간 정보 교환을 통해 D2D 링크의 자원 및 전력을 할당하는 협력적 자원 및 전력 할당 방식을 제안한다. 인접 기지국 간에 자원 및 전력 할당에 필요한 모든 정보를 교환한다고 가정한다. 그림 3은 본 논문에서 제안하는 다중 셀 D2D 자원 할당 방식을 나타낸다. 제안하는 방식은 인접 셀 D2D 링크 간의 간섭을 최소화하는 D2D 링크의 그룹을 생성하고, 생성된 D2D 그룹에 최적의 셀룰러 자원을 할당하는 방식이다. 최적의 D2D 그룹과 최적의 셀룰러 자원을 찾는 방법은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\max_{d_n(l,k) \in 1,2,\dots,N} \sum_{l=1}^L \frac{g_{d_n(l,k)}P_{d_n(l,k)}}{g_{c(l,k)-d_n(l,k)}P_{c(l,k)} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq l}}^L g_{d_n(l,k)-d_n(j,k)}P_{d_n(j,k)} + \sigma^2} \quad (8)$$

식 (8)에서 최적의 D2D 그룹을 형성하는 방법은  $L$ 개의 셀마다  $N$ 개의 D2D 링크  $d_n(l,k)$ , ( $n=1,2,\dots,N$ ) 중 하나씩 선택하여 각 셀룰러 자원마다 SINR 합을 계산하여 최고 성능을 얻을 수 있는 D2D 그룹을 찾는 Exhaustive Search가 필요하다. Exhaustive Search 방식은 셀 내에 모든 정보를 모든 기지국이 공유하여 각 자원마다 최대의 SINR을 얻을 수 있는 D2D 링크를 할당하기 때문에 다중 셀 상황에서의 D2D 성능의 상한선을 제공할 것이다. 하지만

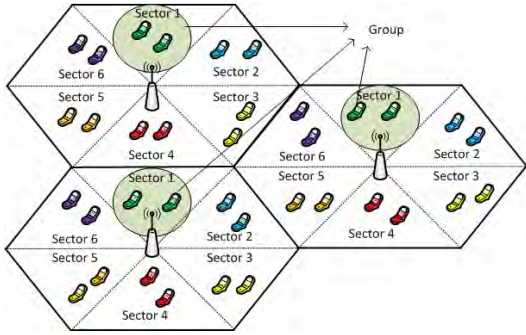


그림 4. 제안한 섹터 기반 D2D 자원 할당 방법의 예  
Fig. 4. An example of the proposed sector-based grouping method

Exhaustive Search 방식은 D2D 단말과 셀의 수가 증가하면 필요한 정보량과 계산 복잡도가 급격히 증가하기 때문에 다수의 셀 상황에서 적절한 방법이라 볼 수 없다.

Exhaustive Search 방식의 복잡도를 줄이기 위해 본 논문에서는 섹터 기반 D2D 자원 할당 방법을 제안한다. 각 셀을 여러 개의 가상의 섹터로 나누고 각 셀에서 동일한 섹터에 위치한 D2D 단말들 중 임의로 선택하여 D2D 자원 할당 그룹을 형성하는 것이다. 그림 4는 본 논문에서 제안하는 섹터 기반 D2D 자원 할당 방법을 나타낸 것으로 3개의 셀이 있고 각 셀을 6개의 섹터로 나눈 경우에 해당된다. 동일한 섹터에 속하는 D2D 단말의 평균 SINR은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SINR_{G(k)} = \frac{1}{L} \left( \frac{\sum_{l=1}^L \frac{g_{d(l,k)} P_{(l,k)}}{g_{c(l,k)} - d(l,k) P_{c(l,k)} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq l}}^L g_{d(i,k)} - d(l,k) P_{(l,k)} + \sigma^2}}{\sum_{l=1}^L \frac{g_{d(l,k)} P_{(l,k)}}{g_{c(l,k)} - d(l,k) P_{c(l,k)} + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq l}}^L g_{d(i,k)} - d(l,k) P_{(l,k)} + \sigma^2}} \right) \quad (9)$$

따라서 식 (6)에서와 같이 각 D2D 그룹에 대한 최적 자원 할당은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$k^* = \arg \max_k SINR_{G(k)} \quad (10)$$

표 2. 제안하는 D2D 자원 및 전력 할당 알고리즘  
Table 2. Proposed resource and power allocation algorithm

1. Partition D2D links into sectors.
2. Select a D2D link in a given sector of each cell.
3. Find  $P_{(l,k)}$  using (4) and (5).
4. Find the optimal  $k^*$  using (10).

표 2는 본 논문에서 제안하는 다중 셀 환경에서의 D2D 자원 및 전력 할당 알고리즘을 나타낸 것이다.

먼저 그림 4에서와 같이 각 셀의 동일 섹터에 속하는 D2D 링크들을 임의로 선택하고 식 (4)를 이용하여 각 셀의 셀룰러 링크에 대한 D2D 단말의 최대 허용 송신전력을 구한다. 이후 식 (10)과 같이 D2D 링크 그룹에 대하여 최적의 셀룰러 자원을 할당한다. 최적의 자원이 할당된 후 앞서 구한 D2D 단말의 최대 허용 송신전력을 사용하여 통신을 하게 된다.

#### IV. 모의실험 결과

본 장에서는 다중 셀 환경에서 모의실험을 통하여 제안한 알고리즘의 성능을 평가한다. 모의실험에서 사용한 파라미터는 표 3에 정리하였다. 원형 셀의 반경을 500m로 가정하고 인접 기지국간의 거리를 1km로 설정하였다. 3개의 육각형 셀로 이루어진 다중 셀 환경을 구성하고 각 셀에서 셀룰러 단말과 D2D 송신단은 균일하게 분포하도록 하였다. D2D의 통신 반경은 최대 50m로 가정하고 D2D 송신단 기준으로 반경 50m 이내에 균일한 분포로 D2D 수신단이 위치하도록 하였다. 주파수 재사용 계수는 1로서 모든 셀이 동일한 주파수 자원을 사용한다. 10MHz 채널 대역폭을 갖는 LTE 시스템을 가정하여 부채널의 개수를 48개, 부채널 대역폭을 180kHz로 설정하였다. 셀룰러 단말과 D2D 링크의 수는 48개로 단말 당 하나의 부채널을 통신 자원으로 사용하는 Full Load 환경을 고려하였다. 셀룰러 단말의 QoS를 만족하기 위한 목표 SINR 값은 20dB로, D2D 단말의 최대 송신전력  $P_{max}$ 는 23dBm으로 설정하였다. 셀룰러 단말의 목표 SNR은 25dB로 설정하고 이 값을 통해 셀룰러 단말의 송신전력을 계산한다. 잡음의 전력 밀도는 -174dBm/Hz, 잡음 지수는 5dB로 설정하였다. 모든 통신 및 간섭 링크는 레일리 분포를 따르며 경로손실 지수는 4이다. 그림 5는 모의실험을 위한 셀의 레이아웃 및 단말들의 분포를 보여주고 있다. 그림에서 가운데 점선 육각형 내에 위치한 D2D 단말의 평균 성능을 계산 하여 인접 셀 간섭에 대한 제안한 알고리즘의 성능을 분석한다.

모의실험 결과는 그림 6과 그림 7에 나타내었다. CRA (Coordinated Resource Allocation)는 본 논문에서 제안하는 협력적 자원 할당을 나타내고 NCRA (Non-Coordinated Resource Allocation)는 기존의 비협력적 자원 할당을 나타낸다. 그림 6은 D2D 최대 송

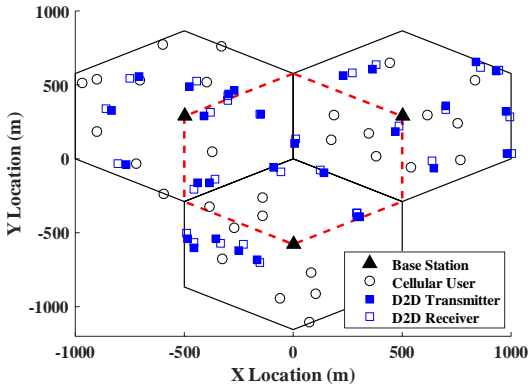


그림 5. 모의실험을 위한 셀 레이아웃 및 단말 분포  
Fig. 5. Cell layout and user distributions for simulations

표 3. 모의실험 파라미터  
Table 3. Simulation parameters

Parameter	Value
Distance between base stations	1km
Range of D2D communication	50m
Number of cells ( $L$ )	3
Number of subchannels ( $K$ )	48
Number of cellular users	48
Number of D2D pairs in each cell	48
Target SINR of cellular users ( $I_c$ )	20dB
Target SNR of cellular user	25dB
Path loss exponent ( $\alpha$ )	4
Subchannel bandwidth	180kHz
Power spectral density of AWGN	-174dBm/Hz
Noise figure	5dB
The maximum transmit power of the cellular user	23dBm
The maximum transmit power of the D2D transmitter ( $P_{max}$ )	-20~20dBm

신전력 대비 부채널당 D2D의 평균 전송률을 나타낸 것으로 본 논문에서 제안하는 자원 할당 기법의 이득을 확인 할 수 있다. 먼저 Exhaustive Search 방식은 다중 셀 환경의 D2D 성능의 상한선을 나타내고, NCRA는 D2D 성능의 하한선을 나타낸다. 본 논문에서 제안하는 섹터 기반의 자원 할당 기법은 Exhaustive Search 방식과 NCRA 방식의 중간 정도의 성능을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 6개의 섹

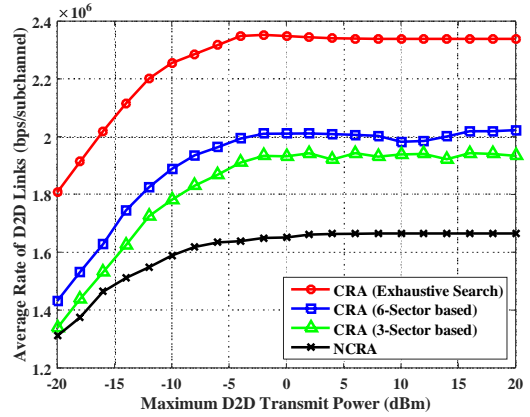


그림 6. D2D 최대 송신전력 대비 부채널당 D2D 링크의 평균 전송률  
Fig. 6. Average rate of D2D links versus the maximum D2D transmit power

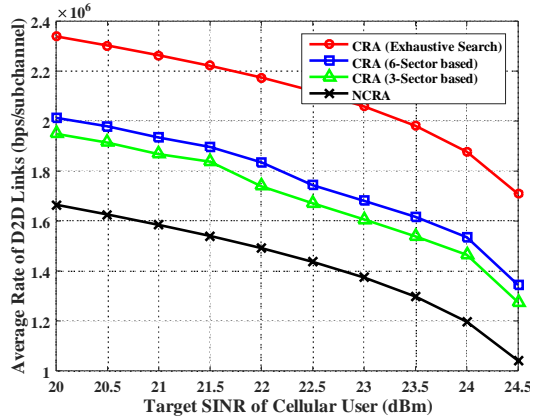


그림 7. 셀룰러의 최소 SINR 요구 값에 따른 D2D 링크의 평균 전송률  
Fig. 7. Average rate of D2D links versus the target SINR of the cellular link

터 기반 자원 할당 기법은 3개의 섹터 기반 자원 할당이 비해 추가적으로 약 200kbps의 전송률 제공한다. D2D 단말의 최대 송신전력이 증가하더라도 셀룰러 링크에 미치는 간섭을 제한하기 때문에 -5dBm 이상에서는 D2D 링크의 전송률이 더 이상 증가하지 않고 일정 값으로 수렴하는 것을 볼 수 있다.

그림 7은 셀룰러 링크의 최소 SINR 요구 값에 따른 D2D 링크의 평균 전송률을 보여준다. 셀룰러 링크의 SINR 요구 값은 D2D 단말의 허용 송신전력을 결정하기 때문에 목표 SINR이 높을수록 D2D 링크 전송률이 감소하는 것을 볼 수 있다. 그림 6에서와 마찬가지로 NCRA 대비 제안하는 CRA 기법의 성능 이득을 확인할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 다중 셀 네트워크 환경에서 기존의 비협력적 D2D 자원 할당 방식과는 달리 기지국 간의 협력적 자원 및 전력 할당 방식을 제안하였다. D2D의 최대 허용 송신전력을 구하여 이를 반영한 자원 할당을 통해 셀룰러 링크의 최소 QoS를 보장하였다. 제안하는 자원 할당 기법으로는 Exhaustive Search 방식과 더불어 섹터 기반의 자원 할당 방식을 제시하였다. 섹터 기반의 자원 할당 방식은 Exhaustive Search 방식에 비해 복잡도를 대폭 줄이면서 비협력적 자원 할당 방식에 비해 상당한 성능 이득을 얻을 수 있음을 모의실험을 통해 확인하였다. 현실적인 조건을 고려하여 기지국이 간섭 채널 정보를 획득하기 어려운 경우 또는 부분적으로 획득 가능한 경우에서의 D2D 자원 할당 기술이 향후 연구 과제로 남아있다.

## References

[1] Cisco, *Traffic forecast update, 2011-2016*, pp. 1-29, Feb. 2012.

[2] K. Doppler, M. Rinne, C. Wijting, C. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced networks," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 12, pp. 42-49, Dec. 2009.

[3] C.-H. Yu, K. Doppler, C. B. Ribeiro, and O. Tirkkonen, "Resource sharing optimization for device-to-device communication underlying cellular networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, no. 8, pp. 2752-2763, Aug. 2011.

[4] M. Jung and S. Choi, "Analysis of energy efficiency for device-to-device (D2D) communication underlying cellular networks," *J. KICS*, vol. 38, no. 7, pp. 571-579, Jul. 2013.

[5] M. S. Corson, R. Laroia, J. Li, V. Park, T. Richardson, and G. Tsirtsis, "Toward proximity-aware internetworking," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 17, no. 6, pp. 26-33, Dec. 2010.

[6] Huawei, *Future smartphone solution white paper*, Sept. 2012.

[7] G.-M. Kang and O.-S. Shin, "Resource

allocation scheme based on spectrum sensing for device-to-device communications underlying cellular networks," *J. KICS*, vol. 38A, no. 10, pp. 898-907, Oct. 2013.

- [8] 3GPP TR 22.803, *Feasibility study for Proximity Services (ProSe)*, V12.1.0, Mar. 2013.
- [9] 3GPP TR 23.703, *Study on architecture enhancements to support Proximity Services (ProSe)*, V0.4.1, Jun. 2013.
- [10] 3GPP TR 36.843, *Study on LTE device to device proximity services*, V0.1.0, Apr. 2013.
- [11] Q. Duong, Y. Shin, and O.-S. Shin, "Resource allocation scheme for device-to-device communications underlying cellular networks," in *Proc. IEEE ComManTel 2013*, pp. 66-69, Ho Chi Minh City, Vietnam, Jan. 2013.
- [12] C.-H. Yu, O. Tirkkonen, K. Doppler, and C. Ribeiro, "On the performance of device-to-device underlay communication with simple power control," in *Proc. IEEE VTC Spring 2009*, pp. 1-5, Barcelona, Spain, Apr. 2009.
- [13] C.-H. Yu, O. Tirkkonen, K. Doppler, and C. Ribeiro, "Power optimization of device-to-device communication underlying cellular communication," in *Proc. IEEE ICC 2009*, pp. 1-5, Dresden, Germany, Jun. 2009.
- [14] T. Kim, K. Min, and S. Choi, "Joint mode selection and resource allocation for device-to-device communication underlying OFDMA cellular networks," *J. KICS*, vol. 39A, no. 10, pp. 622-624, Oct. 2014.
- [15] B. Wang, L. Chen, X. Chen, X. Zhang, and D. Yang, "Resource allocation optimization for device-to-device communication underlying cellular networks," in *Proc. IEEE VTC Spring 2011*, Budapest, Hungary, May 2011.
- [16] J. Liu, B. Li, B. Lan, and J. Chang, "A resource reuse scheme of D2D communication underlying LTE network with intercell interference," *Commun. & Net.*, vol. 5, no. 3B, pp. 187-193, Sept. 2013.

강 길 모 (Gil-Mo Kang)



2013년 2월 : 숭실대학교 정보  
통신전자공학부 졸업  
2015년 2월 : 숭실대학교 전자  
공학과 석사  
2015년 3월~현재 : 숭실대학교  
박사과정  
<관심분야> 통신시스템, 통신  
이론, 통신신호처리

신 오 순 (Oh-Soon Shin)



1998년 2월 : 서울대학교 전기  
공학부 졸업  
2000년 2월 : 서울대학교 전기  
공학부 석사  
2004년 3월 : 서울대학교 전기·  
컴퓨터공학부 박사  
2004년 3월~2005년 9월 : 미국  
Harvard University 박사후연구원  
2006년 4월~2007년 8월 : 삼성전자 통신연구소 책  
임연구원  
2007년 9월~현재 : 숭실대학교 전자정보공학부 부교  
수  
<관심분야> 통신시스템, 통신이론, 통신신호처리