

D2D 통신을 위한 그룹핑 자원 할당 기법

김 향 미*, 이 한 나*, 김 상 경°

Grouping Resource Allocation Scheme for D2D Communications

Hyang-mi Kim*, Han-na Lee*, Sangkyung Kim°

요 약

D2D 통신은 시스템의 용량 및 스펙트럼의 효율성을 향상시키는 유망한 기술이다. 전체 스펙트럼의 효율성을 향상시킬 수 있는 이유는 기지국이 이미 셀룰러 단말에 할당된 무선 자원을 D2D 통신에 할당하여 자원을 재사용할 수 있기 때문이다. 하지만 동일한 자원을 셀룰러 및 D2D 통신이 공유함으로써 셀 내에 간섭이 발생할 수 있다. 따라서 동일한 자원을 사용하는 셀룰러 통신과 D2D 통신 간에 간섭 조정을 위한 적절한 자원 할당 기법이 필요하다. 본 논문에서는 영역 그룹 및 D2D pair 그룹화를 통해 간섭을 최소화하는 그룹핑 자원 할당 기법을 제안한다. 제안 기법의 성능 분석 결과 자원 할당에 쓰인 셀룰러 자원의 수, 자원 할당을 위한 계산량 등의 성능이 향상됨을 확인하였다.

Key Words : D2D communications, Resource allocation, Interference, LTE-Advanced

ABSTRACT

D2D(Device-to-Device) communication is a promising technology to improve the system capacity and spectral efficiency. By sharing the same radio resources with cellular user equipments, D2D communications can significantly enhance the overall spectral efficiency. However, it may cause interference between D2D link and cellular link. So, careful resource allocation and interference coordination between them are very important and need to be properly handled. This paper proposes a radio resource allocation scheme that decreases interference through the use of area grouping and D2D pair grouping. Simulations results are provided to verify the performance improvement of the proposed scheme in terms of the number of assigned resource blocks and computational complexity.

1. 서 론

기술은 셀룰러 시스템에서 기지국의 부하 부담을 줄이고 주파수 효율을 극대화하기 위한 방안의 하나로 Device-to-Device(D2D) 통신 기술이 연구되고 있다. 현재 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 LTE-Advanced release 12 표준 기술의 하나로

ProSe(Proximity Services)라는 이름으로 근접 기반의 D2D 통신 기술 표준화를 위해 노력 중에 있으며^[1], 노키아(Nokia), 삼성전자, LG전자 등도 ProSe 표준화에 참여하고 있다. 한편 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)의 802.15 Group에서는 PAC(Peer Aware Communication)라는 이름의 D2D 통신 관련 표준이 진행 중에 있다^[2].

* First Author : Gangneung-Wonju National University, hmkim@gwnu.ac.kr, 정회원

° Corresponding Author : Gangneung-Wonju National University, skkim98@gwnu.ac.kr, 종신회원

* Gangneung-Wonju National University, hanna@gwnu.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2015-06-167, Received June 2, 2015; Revised July 17, 2015; Accepted August 7, 2015

D2D 통신에서 자원 할당 기술은 셀룰러 링크의 자원을 재사용하여 단말 간 통신에 적절하게 할당하는 기술로 셀룰러 링크와 동일한 무선 주파수를 일정한 거리만큼 떨어진 지역에서 간섭의 영향을 최소화하여 동시에 사용한다. 자원 할당 기법에는 셀룰러의 하향 링크 자원, 또는 상향링크 자원을 재사용 하는 기법이 있다. 셀룰러의 하향링크 자원을 재사용하는 경우 셀룰러 단말이 받는 간섭을 회피하기 위한 연구가 있는가 하면^[3,4], 3GPP에서는 최근 셀룰러 상향링크 주파수 스펙트럼을 이용하여 D2D 통신을 수행하는 방안을 채택하였다^[5]. [6]에서는 실험적으로 상향링크 자원과 하향링크 자원을 모두 고려한 상황에서 전력 제어 기법을 제안하였는데, 분석 결과 D2D 통신 링크와 기지국간 거리가 클 때 상향링크 자원을 재사용하는 것이 우수하였다. 반대로 거리가 가까울수록 하향링크 자원을 재사용하는 것이 우수하다는 것을 입증시킨바 있다. 그림 1(좌)은 하향링크 자원 재사용으로 인한 간섭 시나리오를 나타내고 있으며, 그림 1(우)는 상향링크 자원 재사용으로 인한 간섭 시나리오를 나타내고 있다.

셀룰러 상향링크 주파수 스펙트럼을 이용한 기존의 D2D 통신 자원 할당 방식에는 셀룰러 통신을 위한 자원과 D2D 통신을 위한 자원에 대하여 공유 없이 직교하게 할당하는 오버레이 방식과 두 통신 링크 간 서로 공간적으로 떨어져 있을 때 자원을 공유하는 언더레이 방식으로 구분하기도 한다. 3GPP TSG RAN WG2 Meeting에서 [7]은 셀룰러 통신을 위한 자원과 D2D 통신을 위한 자원을 직교하게 할당하는 오버레이 방식을 취하면서 기지국이 제어하는 중앙 집중식의 자원 할당 방식을 제안하였다. 이는 직교 방식으로 간섭에 대하여 회피가 가능하지만, 자원 사용에 있어서는 효율적이지 못하다는 한계가 있다. [8]에서는 셀룰러 통신을 위한 자원과 D2D 통신을 위한 자원 간에는 직교하게 자원을 할당하고, D2D pair 간에는 자

원을 공유하는 방식을 제안하였다. D2D pair 간에 자원을 공유한다는 것은 D2D pair 간 간섭만 발생되지 않는다면, 같은 자원을 사용하도록 허용하는 것을 의미한다. 그러나 이는 단일 셀 내 간섭에는 의의가 있으나 다중 셀 환경에 적용하기에 어려움이 있다.

[9-14]에서는 D2D pair가 공간적으로 떨어져서 간섭의 영향권에 존재하지 않는다면 셀룰러 통신 링크가 사용 중인 자원을 D2D 통신 링크와 공유하는 방법들이다. 이와 같은 방식은 자원의 이용 효율성은 높일 수 있으나 기지국이 셀 내에 수용 중인 많은 셀룰러 자원들을 비교하여 D2D pair에 할당할 최적의 자원을 선택하기 위한 계산의 복잡도가 높아지는 문제점이 있어 기지국에 부하 부담이 가중될 수 있다. 단일 셀 내 간섭 완화 및 다중 셀 간 간섭 완화를 고려한 D2D 자원 할당 방식에 대한 연구가 진행되었으나^[15,16], 이들 연구에서는 기지국이 D2D pair에 자원을 할당하기 위해 소요되는 시간과 D2D pair들 간 간섭을 고려하지 않아 기지국이 부하 부담을 감소시키지 못하였을 뿐만 아니라 셀 내 간섭이 야기될 수 있는 여지가 있다. 이를 해결하기 위해 [17]에서는 다중 셀 간 간섭 완화를 목적으로 주파수 재사용 패턴 FFFR(Flexible Fractional Frequency Reuse)을 이용하여 D2D pair에 자원을 할당하였다. 또한 셀룰러 통신 링크에 할당된 스펙트럼을 랜덤하게 공유함으로써 기지국이 D2D 통신 링크에 자원을 할당하기 위해 추가적으로 발생하는 계산 시간을 기존 방식에 비해 현저하게 줄였다.

D2D 링크는 셀룰러 링크와 자원을 공유하기 때문에 간섭의 영향에서 자유로울 수 없다. 효율적인 간섭 제어를 하지 못할 경우 D2D 통신 뿐 아니라 셀룰러 통신의 품질마저 저하되는 결과를 야기할 수 있다. [17]에서는 단일 셀 내에서 간섭의 영향이 적은 D2D pair를 하나의 그룹으로 묶어 셀룰러 자원을 할당하는 그룹핑 자원 할당 방식을 제안하였다. 그러나 D2D pair들을 오직 하나의 그룹으로 묶어 자원을 할당함으로써 셀 내의 모든 D2D pair 간 간섭을 비교해야하므로 기지국의 부하를 가중시킬 수 있다. [18]에서는 셀 간 간섭 해결을 위하여 D2D 통신을 위한 자원 그룹을 할당하는 방식을 제안하였다. 그러나 셀룰러 자원의 일부를 D2D 통신을 위한 자원으로 그룹핑하여 할당함으로써 자원의 낭비를 초래할 수 있으며, 셀 내 D2D pair의 수 변화에 적응적이지 못한 문제점이 있다. 본 논문에서는 D2D pair를 간섭 상황에 따라 영역 별로 그룹핑함으로써 적은 자원으로 많은 D2D 단말 수용은 물론, 기지국의 부하 부담을 감소시킬 수

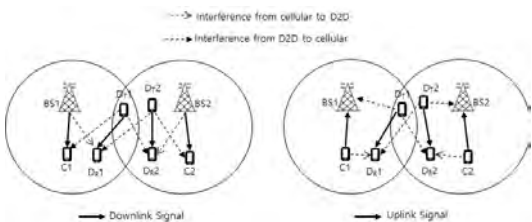


그림 1. 셀룰러 링크와 D2D 링크 간의 간섭 시나리오(좌, 하향링크 자원 재사용, 우, 상향링크 자원 재사용)
Fig. 1. Interference scenario between cellular and D2D links(Left, Downlink RB reuse, Right, Uplink RB reuse)

있는 새로운 자원 할당 기법을 제안한다. 단말 탐색을 마친 D2D pair의 송신 단말이 D2D 통신 링크 형성을 위한 자원을 기지국으로 요청할 때, 기지국은 단일 셀 영역을 위치 영역 구분을 이용하여 영역 분할을 한다. 영역 분할한 셀들을 간섭의 영향이 적은 영역끼리 그룹으로 묶고, 다시 그룹 내 간섭이 없는 pair들은 하나의 그룹으로 영역 내 그룹핑을 한다. 그룹핑된 D2D pair들은 간섭의 영향이 없으므로 동일한 자원을 할당함으로써 자원의 이용 효율을 높일 수 있다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서 제안하는 그룹핑 자원 할당 기법에 대해 자세히 설명하고, 3절에서 시뮬레이션을 통해 제안 기법의 성능을 분석한 후, 마지막 4절에서 결론을 맺는다.

II. 그룹핑 자원 할당 기법

제안하는 그룹핑 자원 할당 기법은 셀룰러 통신 링크의 자원을 D2D pair에 재사용함에 있어 D2D 통신 링크의 영역을 지역별로 분할하고 간섭 존재 여부에 따른 그룹화를 통해 자원을 할당하는 기술이다. 셀룰러 통신 링크에 할당된 자원을 D2D 통신 링크인 D2D pair에 재할당하는 자원 재사용 기법으로 단일 셀 내에서 셀룰러의 상향링크 스펙트럼을 이용하여 이루어진다. 기지국은 셀룰러 통신 링크와는 별개로 D2D 통신 링크에 자원을 할당하기 위해 먼저 자신의 영역을 지리적으로 분할한다(분할셀이라 칭한다). 분할된 영역은 영역 간의 거리를 고려하여 인접하지 않은 영역을 하나로 묶는다(영역 그룹화라 칭한다). 그룹 내에서 동일한 자원을 사용하여 발생할 수 있는 간섭을 미리 예측하여 간섭이 발생하지 않는 D2D pair들을 하나의 그룹으로 묶어 1차 그룹을 생성한다(영역 내 그룹핑이라 칭한다). 동일한 그룹 영역 내에 간섭을 유발할 수 있는 D2D pair가 존재할 경우 2차, 3차로 그룹핑할 수 있다. 이렇게 생성된 그룹은 지리적으로 떨어져 있는 셀룰러 단말이 사용하는 자원, 또는 다른 그룹의 셀룰러 통신 링크 자원을 재사용함으로써 자원 이용 효율을 높일 수 있다. 또한 기지국이 자원 할당을 위해 D2D pair들 간 일일이 간섭량을 계산할 필요가 없기 때문에 기지국의 계산 복잡도를 낮춰 부하 부담을 줄이고 셀 내 처리량을 향상시킬 수 있다.

2.1 영역 분할

안테나 단말 탐색을 마친 D2D pair의 송신 단말은 기지국으로 D2D 통신 링크 형성을 위한 자원을 요청한다. 기지국은 D2D 송신 단말의 자원 요청 시점에서

직전 일정 시간 구간(ms 단위) 동안 전체 셀룰러의 상향링크 트래픽 발생량이 서비스 효율을 넘어설 경우 영역 분할을 결정한다.

영역 분할의 의미는 단순히 지리적으로 셀 영역을 구분한 것으로 기지국은 자신의 영역(단일 셀)을 분할한다(segmented cell: 이하 $Cell_{seg}$). 영역 분할의 정도 (N_{seg} : 분할된 셀의 개수)는 트래픽 발생량과 서비스 효율에 따라 분할하며, 분할 셀 영역의 기준은 바뀔 수 있다. 영역 분할의 기준으로 특히 시간대 구간을 고려한 이유는 D2D 통신이 기지국에 트래픽이 집중되어 부하가 가중될 때 효과를 극대화할 수 있기 때문이다. 즉, 출퇴근 시간대라는 특별한 행사가 진행되는 시간 구간일 경우에는 사용자수가 증가함에 따라 트래픽의 발생량도 증가할 것이며, 이와 같은 때에는 영역 분할을 많이 하는 것이 시스템 효율에 유리할 것이기 때문이다. 그러나 너무 작은 영역 분할은 복잡성을 유발하여 시스템 효율성을 떨어뜨리므로, D2D pair간 거리의 4배까지만 허용하는 것으로 한다. 이동통신 네트워크에서의 위치 영역 설계(location area design) 방법^[19-23]에서 사용된 모델을 변형하여 영역 분할에 이용할 수 있다. 이들 연구에서는 기지국에서 처리할 수 있는 특정 능력을 제약사항으로 두고, 그 용량을 넘지 않는 선에서 위치 영역을 설계하는 방식을 택하였다. 본 연구에서는 다음의 변형된 모델을 적용하여 이용한다.

- $cell_{seg}$: 단일 셀(Cell)을 분할한 분할셀
- t : 시간의 일정 구간
- $N_{devices}$: 분할셀 내의 단말의 수(Number)
- T_{device} : 단말 하나의 트래픽(Traffic) 발생량
- $D_{traffic}$: 분할셀에서의 트래픽 밀도(Density), D2D 자원 요청 신호 발생 시점 직전 t 구간의 트래픽 발생량
- C_{seg} : 분할셀에서의 서비스 효율, Shannon's 정리를 이용하여 얻은 최대 채널 용량(Capacity)

제안하는 기법에서 단위 시간의 의미는 기지국이 자원 요청 신호를 수신한 시점으로부터 직전의 일정 시간 구간을 의미하며, 몇 sec에서 몇 msec 정도로 측정한다.

$$D_{traffic}(t) = N_{devices}(t) \times T_{device}(t) \quad (1)$$

식(1)은 $D_{traffic}(t)$ 을 구한 식이다. 이는 t 구간에서

발생하는 트래픽 양으로 구간 내에 분할셀에 존재하는 단말의 수와 단말당 발생하는 트래픽 발생률의 곱에 비례한다. 그러므로 임의의 n 시간 구간에서 발생할 수 있는 총 트래픽의 양은 식(2)와 같다.

$$D_{traffic}(t) = \int_{(n-1)t}^{nt} N_{devices}(x) T_{device}(x) dx \quad (2)$$

$$D_{traffic}(t) > C_{seg}(t) \quad (3)$$

식(3)은 셀 분할을 결정하기 위한 식으로, $D_{traffic}(t)$ 값이 $C_{seg}(t)$ 보다 크면 분할을 결정한다. 이와 같이 분할의 정도는 유기적으로 확대 또는 축소할 수 있는 영역으로 분할셀 간 중첩되지 않도록 구분한 지리적 의미의 영역 분할을 뜻한다. 즉 분할의 정도는 기지국이 임의로 정할 수 있으며, 셀의 분할은 작을수록 분할셀에 존재하는 D2D pair들의 그룹화가 수월하다. 그러나 너무 많은 셀 분할은 기지국이 자원 할당을 위한 연산을 수행할 때 오버헤드 증가를 초래할 수 있으므로, 시스템 및 기지국의 성능을 고려하여 결정하여야 한다. 본 연구에서는 단일 셀을 7개로 영역 분할하여 기술한다. 그림 2는 제안하는 자원 할당 기법에 의해 하나의 기지국으로 관리되는 셀이 7개의 $cell_{seg}$ 로 영역 분할된 것을 예시하고 있다. 영역을 동그랗게 표현한 것은 영역 분할의 의미 전달을 명확하게 하기 위함이다. 실제 영역 분할은 그림에서와 같이 동그랗게 표현되지 않으며, 빈 공간이 없는 정형화되지 않은 형태이다.

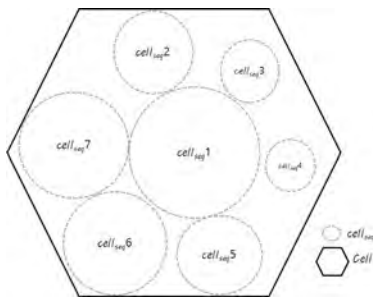


그림 2. 단일 셀(Cell) 내의 분할된 셀($cell_{seg}$) 예시
Fig. 2. Example of segmented cells($cell_{seg}$) within a single cell(Cell)

2.2 영역 그룹화

기지국은 단일 셀을 영역 분할하고, 분할된 영역들 간 인접하지 않는 영역들은 동일한 영역으로 취급한다. 동일한 영역을 판단하기 위해 그래프 컬러링 문제

알고리즘(graph coloring problem algorithm)^[24]을 이용하여 인접하지 않은 영역들을 하나의 그룹으로 묶는 영역 그룹화를 실시한다. 그래프 컬러링 문제 알고리즘은 그래프의 정점에 색을 할당하는 문제를 해결하는 알고리즘으로 최소한의 색만으로 서로 인접해 있는 정점에는 각각 다른 색을 할당하는 방식이다. 그래프 컬러링 문제 알고리즘을 이용한 영역 그룹화를 그림 3에서 확인할 수 있다.

그림 3은 전체 Cell을 7개의 분할셀로 영역 분할하고, 이를 3개의 그룹으로 영역 그룹화(Group_{seg})하였다. 그룹화된 하나의 영역은 다음과 같이 분할된 $cell_{seg}$ 들을 포함한다.

$$\begin{aligned} Group_{seg1} &= \{cell_{seg1}\}, \\ Group_{seg2} &= \{cell_{seg3}, cell_{seg5}, cell_{seg7}\}, \\ Group_{seg3} &= \{cell_{seg2}, cell_{seg4}, cell_{seg6}\} \end{aligned}$$

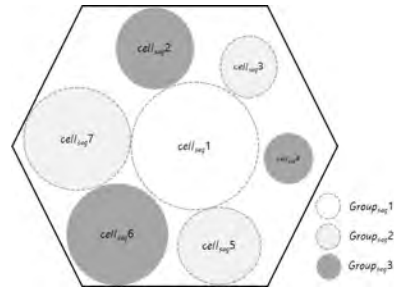


그림 3. 그래프 컬러링 문제 알고리즘을 이용한 영역 그룹화
Fig. 3. Grouping area using graph coloring problem algorithm

2.3 영역 내 그룹핑

기지국에는 다수의 셀룰러 단말들이 분포되어 있다. 이중 일부 단말들이 셀룰러 통신이 아닌 D2D 통신을 희망할 때, D2D 통신을 희망하는 두 셀룰러 단말은 일련의 탐색 과정을 거쳐 D2D pair를 형성한다. 그림 4와 같이 기지국내에 D2D pair들이 분포되어 있다고 가정한다. 이렇게 형성된 다수의 D2D pair들은 D2D 통신을 위해 기지국으로 자원 할당 요청 메시지를 송신한다. 요청 메시지를 수신한 기지국은 다음의 과정을 거쳐 D2D pair가 소속한 영역을 확인하고, 동일한 자원 사용이 가능한 D2D pair들 간 그룹핑을 실시한다.

- 1) 기지국을 7개의 $cell_{seg}$ 로 영역 분할하고 그래프 컬러링 문제 알고리즘을 이용하여 영역 그룹화(Group_{seg})를 실시한다.

- 2) 요청 메시지를 송신한 여러 D2D pair가 각각 어느 $cell_{seg}$ 에 존재하는지 파악하고 각 $Group_{seg}$ 별로 리스트화 한다.
- 3) 각 $cell_{seg}$ 에 존재하는 D2D pair들 간의 간섭 여부를 체크하여 간섭 유무에 따라 영역 내 그룹핑(간섭 유무에 따른 그룹핑 : $Grouping_{pairs}$)을 실시한다.
- 4) 동일한 $Group_{seg}$ 내에 존재하는 D2D pair 간 간섭이 없다면 이들을 하나의 영역 내 그룹($Grouping_{pairs}$ 1)으로 취급하고, 간섭이 있는 D2D pair 간에는 표 1과 같이 새롭게 영역 내 그룹핑($Grouping_{seg}2$, $Grouping_{seg}3$)을 실시한다.

위의 과정 3)에서 D2D pair들 간의 간섭 여부는 기지국의 제어를 통해 체크한다. 기지국은 셀 내의 단말과의 제어 신호를 통해 단말의 SINR을 주기적으로 체크하고, 이를 통해 인접한 D2D pair 간은 물론 인근 셀룰러와의 간섭을 체크한다.

아래 표 1은 그림 3에서 $Group_{seg}2$ 에 속한 D2D pair들의 그룹핑이다. $Group_{seg}2$ 에 속한 분할셀은 $Group_{seg}2 = cell_{seg}3, cell_{seg}5, cell_{seg}7$ 이다. $cell_{seg}7$ 에 두 쌍, $cell_{seg}3$ 에 네 쌍, $cell_{seg}5$ 에 다섯 쌍의 D2D pair가 존재한다. 이 중 $cell_{seg}7$ 에 위치한 두 쌍의 D2D pair들 간에는 충분한 거리가 떨어져 있어서, 두 pair 간의 어떠한 간섭도 발생하지 않는다. 이때 두 pair는 동일한 자원을 사용할 수 있다. $cell_{seg}3$ 은 D2D pair_5와 D2D pair_6간의 간섭을 예측할 수 있고, $cell_{seg}5$ 에서는 D2D pair_7과 D2D pair_8, D2D pair_9와 D2D pair_11 간의 간섭이 예상된다. 이러한 상황에서 기지국은 하나의 $Grouping_{pairs}$ 으로 그룹핑이 불가능해진다. 그러므로 간섭을 유발하는 D2D pair를 또 다른 새로운 $Grouping_{pairs}$ 로 형성해준다. 표 1은 1개 이상의 그룹핑이 필요한 간섭 상황에서 기지국의

표 1. D2D pair 간 간섭 유무에 따른 그룹화 결과
Table 1. Results of grouping according to whether or not there exists interference between D2D pairs ($Grouping_{pairs}$)

$cell_{seg}$	D2D_pairs	interference	$Grouping_{pairs}$ results
$cell_{seg}7$	1	-	A total of 3 groups - group1: 1,2,3,4,10 - group2: 5, 7, 9 - group3: 6, 8, 11
	2	-	
$cell_{seg}3$	3	-	
	4	-	
	5	6	
	6	5	
$cell_{seg}5$	7	8	
	8	7	
	9	11	
	10	-	
	11	9	

$Grouping_{pairs}$ 결과를 보여준다.

간섭이 존재하지 않는 D2D pair_1, 2, 3, 4, 10의 경우 하나의 그룹($Grouping_{pairs}1$)으로 묶고, $cell_{seg}3$ 의 D2D pair_5, $cell_{seg}5$ 의 D2D pair_7, 9를 또 다른 하나의 그룹($Grouping_{pairs}2$)으로 묶는다. 이때 같은 $cell_{seg}5$ 의 D2D pair_7과 D2D pair_9를 동일한 그룹으로 묶을 수 있는 것은 둘 간의 거리가 일정 이상 떨어져 있다고 보기 때문이다. 마지막 $cell_{seg}3$ 의 D2D pair_6과 $cell_{seg}5$ 의 D2D pair_8, 11을 새로운 그룹($Grouping_{pairs}3$)으로 그룹화 한다.

$$Grouping_{pairs}1 = \{D2D\ pair\ 1, D2D\ pair\ 2, D2D\ pair\ 3, \}$$

$$\{D2D\ pair\ 4, D2D\ pair\ 10\}$$

$$Grouping_{pairs}2 = \{D2D\ pair\ 5, D2D\ pair\ 7, D2D\ pair\ 9\}$$

$$Grouping_{pairs}3 = \{D2D\ pair\ 6, D2D\ pair\ 8, D2D\ pair\ 11\}$$

이처럼 $cell_{seg}$ 로 분할한 영역을 다시 영역 그룹화함으로써 각 영역 그룹화 내에 포함된 D2D pair들끼리만 자원을 공유하고, 자신이 속한 그룹 영역이 아닌 다른 그룹 영역의 셀룰러 통신 링크 자원을 재사용(공유)함으로써 셀 내 발생할 수 있는 간섭을 제거한다.

2.4 분할셀 간 간섭

영역 내 그룹핑을 마치면 기지국은 그룹별로 간섭을 고려한 최선의 자원을 할당할 수 있다. 그러나 최선의 자원을 할당하였다 하더라도 인접한 영역 그룹과의 경계 지역에서는 항상 간섭을 야기할 수 있는 여지가 있으며, D2D 통신 링크와 셀룰러 통신 링크가 자원을 공유할 때 그림 5와 같은 경계 지역에서의 간섭을 회피하여 할당한다.

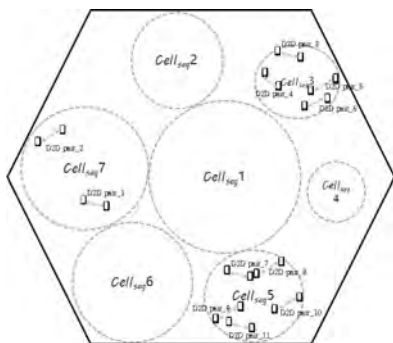


그림 4. 간섭 시나리오
Fig. 4. Interference scenarios

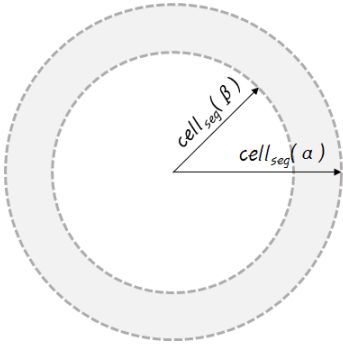


그림 5. 간섭을 고려한 통신의 범위(one cell_{seg})
 Fig. 5. The range of communications considering interference(one cell_{seg})

그림 5는 분할셀 하나를 확대한 그림으로 이들 간의 간섭은 cell_{seg}을 α와 β로 통신 커버리지를 나누어 제어할 수 있다. 하나의 cell_{seg}에서 α는 cell_{seg}의 전체 커버리지를 나타내며 cell_{seg}(α)라 한다. β는 전체 커버리지에 대한 80%의 커버리지를 나타내며, 셀 경계 지역 간의 간섭 영향을 조정할 최대 커버리지로 cell_{seg}(β)라 표현한다. cell_{seg}(β)를 제외한 음영지역을 cell_{seg}(δ)라고 하며, 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$cell_{seg}(\delta) = cell_{seg}(\alpha) - cell_{seg}(\beta) \quad (4)$$

자원을 할당할 때 기지국은 인접한 영역 간 경계 지역(cell_{seg}(δ))에 자원을 공유하는 셀룰러 통신 링크가 존재한다면 간섭이 발생할 수 있기 때문에, cell_{seg}(β) 범위 내에 있는 셀룰러 통신 링크의 자원을 D2D 링크에 할당함으로써 간섭을 회피한다.

그림 6은 셀룰러 통신과 D2D 통신을 동시에 서비스하기 위해 그룹핑 자원 할당 기법을 적용한 자원 할당 모델이다. 셀 범위를 분할셀로 영역 분할하고, 분할셀 영역 그룹화를 실시한 후, 분할셀 간의 간섭 상

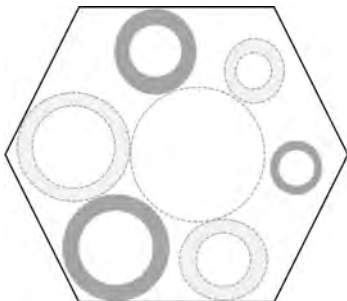


그림 6. 그룹핑 자원 할당 모델
 Fig. 6. Grouping resource allocation model

황을 고려하여 각 분할셀의 β 범위에 있는 셀룰러 자원을 할당한다.

2.5 그룹핑 자원 할당 알고리즘

D2D pair가 통신 링크 형성을 위한 자원 요청 신호를 기지국에 보낸다. 기지국은 모든 분할셀에서의 요청 신호를 관리한다. 요청 신호에 따라 기지국은 자신의 정보 목록에서 요청 신호를 전송한 D2D pair 간의 간섭 예측이 가능하다. 기지국이 간섭 예측 결과 간섭이 존재하지 않는다면 단일 그룹핑하고, 인접하지 않은 자원을 그룹에 할당한다.

기지국은 셀을 분할하고 각 셀에 위치하는 D2D pair에 대해 그룹핑 한다. 각 cell_{seg}에서 D2D 성능이 우수한 D2D pair를 선별하여(간섭의 정도에 따라) 1차 그룹핑하고, 그룹핑된 D2D pair에 대해 기지국은 각 섹터의 중심에 할당한 셀룰러 자원을 그룹핑된 D2D pair에 할당한다. 그림 7은 그룹핑 자원 할당 알고리즘의 절차를 보여주고 있다.

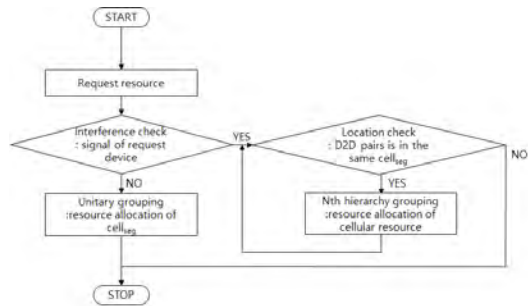


그림 7. 그룹핑 자원 할당 알고리즘
 Fig. 7. Grouping resource allocation algorithm

III. 성능 분석

성능평가를 위하여 자원 할당을 위한 기지국의 계산 복잡도 개선 측면에서 분석한 [8]과 비교하여 분석하였다. 분석을 위한 파라미터는 표 2와 같다.

LTE-Advanced 시스템의 단일 셀 환경을 고려하였으며, 시뮬레이션 모델은 단일 셀의 경우 그림 4와 같다. 셀룰러 단말 100개를 랜덤하게 반경 500m인 네트워크 내에 분포시켰다. D2D pair들 간의 통신 가능 거리는 최대 50m로 하였으며, 셀룰러와 D2D 단말의 전송 전력은 각각 24dBm과 8dBm으로 설정하였다. 이는 대부분의 D2D 통신 성능 분석에서 사용되는 파라미터 값이다. 이동성 모델은 random waypoint 모델을 사용하였으며, 5m/sec의 이동성을 갖도록 한 것은

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation parameters

Parameter	Values
Cell radius	500m
Number of cellular devices	100ea
Maximum distance between D2D pairs in a group	50m
Transmission power of cellular devices	24dBm
Transmission power of D2D devices	8dBm
Distribution of D2D devices	random
Noise density	-174dBm/Hz
User speed	5(m/sec)
Path Loss Model	Hata
Resource block bandwidth	180KHz
Number of subcarriers per resource block	12
Spectrum allocation	20MHz

트래픽 과밀집 지역에서 단말의 이동은 보통 사람의 걷는 속도 정도로 고려되기 때문이다. 그 외의 파라미터들은 LTE 환경에서의 표준치를 근간으로 하였다.

3.1 할당된 자원의 수

그림 8은 기지국이 D2D pair에 할당된 자원의 수를 카운트한 것으로 비교한 논문과 확연한 차이를 보이고 있다. 이는 제안 기법이 분할셀로 구분된 영역을 간섭이 없는 영역간 그룹으로 묶어 자원을 할당함으로써 그룹 간 동일한 자원을 중복하여 할당할 수 있기 때문으로 분석된다.

D2D pair를 위해 할당된 자원의 수가 적다는 것은 소수의 셀룰러 자원을 이용하여 다수의 D2D pair를 수용함을 의미한다. 이는 기지국 측면에서 D2D pair를 위해 어떠한 셀룰러 자원을 재사용할 것인지를 고려할 때, 소수의 자원만 고려하면 되므로 셀룰러 링크

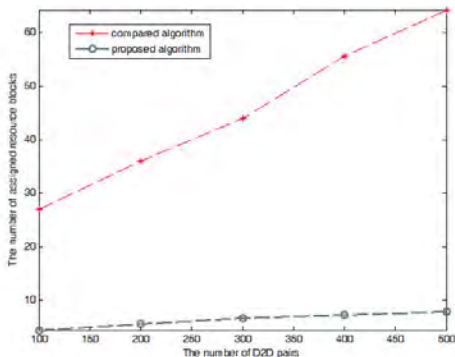


그림 8. 할당 자원의 수
Fig. 8. The number of assigned resource blocks

와의 간섭체크에 유리하다. 결국 자원 할당을 위해 기지국에서 소요되는 시간을 단축시켜 시스템 성능이 좋아지며, 셀 내의 간섭을 유발하는 셀룰러 링크와 D2D 링크 간 간섭의 발생 빈도는 낮아진다.

3.2 비교한 연산의 수

그림 9는 D2D pair의 밀집도 변화에 따라 기지국이 자원 할당을 하기 위하여 얼마나 많은 비교 연산을 하였는지, 비교 논문과 제안 기법을 비교 분석한 결과이다.

그래프에서 확인할 수 있듯이 제안 기법이 비교한 논문에 비해 월등히 적은 수의 비교 연산을 수행한 것을 알 수 있다. 제안 기법은 영역 구분으로 그룹화한 그룹 내의 D2D pair들 사이의 비교 연산만 수행하지만, 비교 논문은 셀 내에 분포되어 있는 모든 셀룰러 단말과 D2D pair의 비교는 물론 D2D pair들 사이까지도 비교해서 자원을 할당하여야 하므로 비교 계산량은 기하급수적으로 상승한다. 간단한 비교로 그래프에서 D2D pair의 수가 100개일 때 제안 기법의 비교 후보수는 약 90번에 그치지만, 비교 논문의 연산자 수는 약 5000번 정도 된다. 여기서 D2D pair 수가 100개나 되는데, 제안 기법의 비교 후보수가 D2D pair 수에 미치지 못하는 것은 이미 자원 할당을 위한 그룹화를 마친 상태에서 비교하기 때문에 연산의 수가 줄어든 것으로 해석할 수 있다.

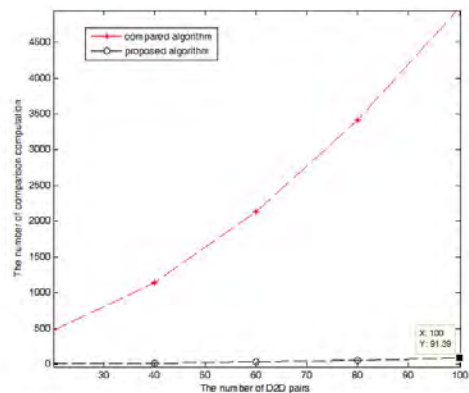


그림 9. 비교 연산자의 수
Fig. 9. The number of comparison computations

3.3 단말의 이동에 따른 간섭을 유발하는 D2D pair의 수

표 2의 시뮬레이션 파라미터에서 확인할 수 있듯이 D2D pair들 간의 통신 가능 거리는 최대 50m, 셀룰러와 D2D 단말의 전송 전력은 각각 24dBm과 8dBm으

로 설정하였다. 단말의 이동성은 보통 사람의 걷는 속도 정도인 5m/sec로 지정하고, D2D pair에 간섭을 유발하는 단말의 수를 카운트하였다. 그림 10은 단말의 이동성을 고려하였을 때 간섭을 유발하는 D2D pair들의 수이다. D2D pairs가 50개 분포되었을 때와 150개 분포되었을 때의 간섭 pair들의 수를 카운트하였다. 그래프 상의 이동 속도와 간섭 단말 간에는 연관성을 띄지 않는다. 이는 단말의 이동성에 방향을 정하지 않았고, 또한 단말을 랜덤하게 분포시킨 후 분석하였기 때문이다.

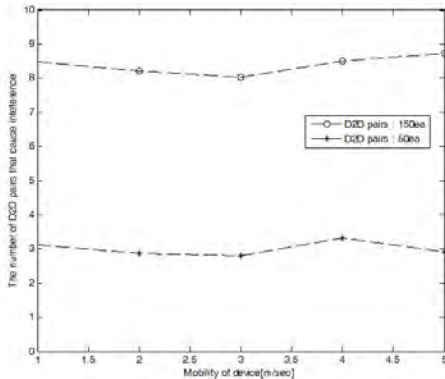


그림 10. 간섭을 야기한 D2D pairs의 수
Fig. 10. The number of D2D pairs that cause interference

3.4 이동성에 따른 처리량

그림 11은 단말의 이동성에 따른 처리량을 분석한 결과이다.

단말을 5m/sec로 이동시키고, 단말의 이동에 따른 간섭을 랜덤하게 발생시켜 비교 기법과의 처리량을 분석하였다. 단말이 200개 분포된 상태에서부터 처리

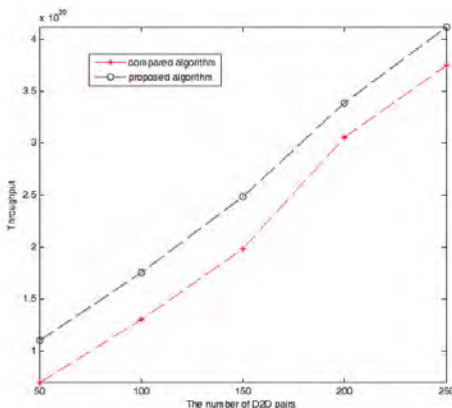


그림 11. 처리량
Fig. 11. Throughput

량이 다소 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 단말 수가 증가함에 따라 간섭량도 증가하기 때문으로 분석된다.

IV. 결론

셀을 지리적으로 영역 세분화하여 간섭이 없는 영역끼리 그룹핑하는 자원 할당 기법을 제안하였다. 그룹핑한 영역은 인근의 동일한 자원을 할당하더라도 다른 영역의 셀룰러 자원을 할당하기 때문에 일차적으로는 간섭의 영향을 제어할 수 있다. 또한 그룹 내의 D2D pair들 간 간섭이 없는 자원을 할당하므로 적은 수의 자원으로 많은 수의 D2D pair에 자원을 할당할 수 있었다. 기지국의 입장에서는 D2D 통신을 위한 자원을 할당할 때 그룹 간의 간섭은 고려할 필요가 없기 때문에 계산량이 줄어 기지국의 비교 연산 수를 줄였다. 결과적으로 제안하는 자원 할당 기법을 통해 기지국으로 집중되던 계산량을 줄여주고, 할당 가능한 자원의 수를 증가시키는 효과를 얻을 수 있었다.

이와 같이 제안 기법인 영역 내 그룹핑으로 간섭을 고려하여 최적의 자원을 할당 받았다 하더라도 이동 단말의 특성 상 이들 간의 간섭이 지속적으로 존재하지 않는다고 보장할 수는 없다. 그러므로 그림 10과 같은 간섭을 유발하는 단말에 대한 분석을 해보았으며, 이는 제안 기법에 추가하여 D2D pair 간의 전력 제어 기법을 통해 해결할 수 있다. 그러므로 이후 연구에서는 그룹핑 자원 할당 기법에 적용 가능한 적응적 전력 제어 기법 및 단일 셀 환경을 확장한 다중 셀 간 간섭을 고려한 그룹핑 자원 할당 기법에 대하여 연구하고자 한다.

References

- [1] 3GPP TR 22.803, *Feasibility study proximity services(Prose)*, V12.2.0, Jun. 2013.
- [2] <http://www.ieee802.org/15/pub/TG8.html>
- [3] S. Xu, H. Wang, T. Peng, and Q. Huang, "Effective labeled time slots based D2D transmission in cellular downlink spectrums," in *Proc. IEEE VTC 2010-Spring*, pp. 1-5, Taiwan, May 2010.
- [4] C. Riberio, et al., "Interference-aware resource allocation for device-to-device radio underlaying cellular networks," in *Proc. IEEE VTC*, pp. 1-5, Apr. 2009.

- [5] X. Lin, J. G. Andrews, A. Ghosh, and R. Ratasuk, "An overview of 3GPP device-to-device proximity services," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 4, pp. 40-48, Apr. 2014.
- [6] 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 2009-Spring*, pp. 1-5, Barcelona, Spain, Apr. 2009.
- [7] Ericsson, *Resource allocation details for D2D communication*, R2-142429, 3GPP TSG RAN WG2 Meeting #86, May 2014.
- [8] H. Lee, H. Kim, and S. Kim, "Improvement of computational complexity of D2D(Device-to-Device) resource allocation algorithm in LTE-Advanced networks," *J. KICS*, vol. 40, no. 4, pp. 762-768, May 2015.
- [9] H. Sun, M. Sheng, X. Wang, Y. Zhang, J. Liu, and K. Wang, "Resource allocation for maximizing the device-to-device communications underlying LTE-advanced networks," *IEEE/CIC Int. Conf. Commun. in China-Workshops (CIC/ICCC)*, pp. 60-64, Xi'an, China, Aug. 2013.
- [10] T. Kim, S. Lee, S. Chhorn, C. Cho, and S. Ryu, "Resource allocation and power control scheme for interference avoidance in LTE-Advanced device-to-device communication," *2012 7th Int. Conf. Comput. and Convergence Technol. (ICCT)*, pp. 1201-1204, Seoul, Korea, Dec. 2012.
- [11] Z. Mohammad, H. Changcheng, and S. Anand, "Efficient resource allocation for device-to-device communication underlying LTE network," in *IEEE 6th Int. Conf. Wirel. Mob. Comput., Netw. Commun. (WiMob)*, pp. 368-375, Niagara Falls, Ontario, Oct. 2010.
- [12] R. An, J. Sun, S. Zhao, and S. Shao, "Resource allocation scheme for device-to-device communication underlying LTE downlink network," *2012 Int. Conf. Wirel. Commun. & Signal Process. (WCSP)*, pp. 1-5, Seoul, Korea, Oct. 2012.
- [13] Y. Tao, J. Sun, and S. Shao, "Radio resource allocation based on greedy algorithm and successive interference cancellation in device-to-device(D2D) communication," *IET Int. Conf. Inf. and Commun. Technol. (IETICT 2013)*, pp. 452-458, Beijing, China, Apr. 2013.
- [14] J.-E. Kim and N.-M. Kim, "A device-to-device sharing-resource allocation scheme based on adaptive group-wise subset reuse in OFDMA cellular network," *J. IEIE*, vol. 47, no. 7, pp. 72-79, Jul. 2010.
- [15] 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. 38, no. 10, pp. 898-907, Oct. 2013.
- [16] S.-M. Oh, C. Lee, M. Yun, J. Shin, and A.-S. Park, "Resource allocation scheme for D2D communications in multi-cell environments," *J. KICS*, vol. 39, no. 10, pp. 601-609, Oct. 2014.
- [17] H.-N. Lee, H.-M. Kim, and S. Kim, "FFFR-based resource allocation mechanism for interference mitigation of D2D communications in LTE-advanced networks," *J. KIPS*, vol. 4, no. 1, pp. 5-10, Jan. 2015.
- [18] S.-M. Oh, C. Lee, M. Yun, J. Shin, and A.-S. Park, "Resource allocation scheme for D2D communications in multi-cell environments," *J. KICS*, vol. 39, no. 10, pp. 601-609, Oct. 2014.
- [19] J. Plehn, "The design of location areas in a GSM-Network," in *Proc. IEEE 45th Veh. Tech. Conf.*, vol. 2, pp. 872-875, 1995.
- [20] M. M. Macariom, D. M. Rodriguez, and C. Molina, "Optimal adaptive location area design and inactive location areas," in *Proc. IEEE 47th Veh. Tech. Conf.*, vol. 1, pp. 510-514, 1997.
- [21] I. Demirkol, C. Ersoy, M. U. Caglayan, and K. Delic, "Location area planning in cellular networks using simulated annealing," *IEEE INFOCOM*, vol. 1, pp. 13-20, Anchorage, AK, 2001.
- [22] S. Z. Ali, "Design of location areas for cellular mobile radio networks," *Veh. Tech. Conf.(VTC Spring 2002)*, vol. 3, pp. 1106-

1110, 2002.

- [23] Y. Bejerano, N. Immorlica, J. Naor, and M. Smith, "Efficient location area planning for personal communication system," *Int. Conf. Mob. Comput. Netw.(MobiCom '03)*, pp. 109-121, 2003.
- [24] F. T. Leighton, "A graph coloring algorithm for large scheduling problems," *J. Research of the National Bureau of Standards*, vol. 84, no. 6, Nov.-Dec. 1979.

이 한 나 (Han-na Lee)



2011년 2월 : 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 졸업
 2013년 2월 : 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 석사
 2013년 3월~현재 : 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> Handover, D2D Communications, Wireless Mesh Network

김 향 미 (Hyang-mi Kim)



1996년 2월 : 충주대학교 전자통신공학과 졸업
 2009년 8월 : 한라대학교 정보통신공학 석사
 2010년 3월~현재 : 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> D2D Communications, Massive MIMO, Wireless Sensor Network

김 상 경 (Sangkyung Kim)



1985년 2월 : 고려대학교 전자공학과 졸업
 1987년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사
 2002년 : 고려대학교 전자공학과 박사
 1987년~1989년 : 삼성전자 주임연구원

1989년~2004년 : KT 선임연구원(부장)
 2004년~현재 : 강릉원주대학교 컴퓨터공학과 교수
 <관심분야> Wireless Network Protocol, D2D Communications, IoT, Advanced Network Architecture