

OFDMA-TDD 기반 셀룰러 시스템에서 디바이스간 직접통신을 위한 SFR 자원할당 및 전송 전력조절 방법

김 태 섭*, 이 상 준*, 임 치 현**, 류 승 완***, 조 충 호°

A Novel Frequency Planning and Power Control Scheme for Device-to-Device Communication in OFDMA-TDD Based Cellular Networks Using Soft Frequency Reuse

Tae-Sub Kim*, Sang-Joon Lee*, Chi-Hun Lim**, Seungwan Ryu***, Choong-Ho Cho°

요 약

최근 스마트 단말의 보급으로 데이터 트래픽에 대한 수요가 급증하고 있어 한정된 자원을 가진 기지국이 수용하기에 많은 어려움이 따른다. 이러한 해결책으로 셀 또는 서로 인접한 셀 내의 단말들이 서로간에 기지국을 거치지 않고 디바이스간 직접적인 통신(D2D, Device-to-Device)을 통해 기지국의 과부하를 줄이고 주파수 부족 현상을 완화시킬 수 있는 방안이 제안되고 있다. 하지만 LTE-Advanced 시스템 내에서 셀룰러 링크와 무선 자원을 공유하는 D2D 링크는 자신이 속한 셀룰러 네트워크에 심각한 간섭을 줄 가능성이 높기 때문에 간섭을 제거하거나 완화시킬 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 셀룰러 링크와 D2D 링크가 자신의 간섭을 최소화하는 SFR(Soft Frequency Reuse) 기반 자원할당과 전송전력 조절 방법을 제안한다. 제안된 방법의 성능검증을 위해 시뮬레이션을 수행하였으며, 결과를 통하여 신호 대 잡음비(SINR, Signal to Noise Ratio)와 시스템 평균 전송량(Throughput)에서 성능 이득을 가짐을 보였다.

Key Words : Device-to-Device (D2D), FFR, Interference management, Resource Allocation, Power Control

ABSTRACT

Currently, Demand of data traffic has rapidly increased by popular of smart device. It is very difficult to accommodate demand of data traffic by limited resource of base station (BS). To solve this problem, method has proposed that the Device-to-Device (D2D) reduce frequency overload of the BS and all of the user equipment (UE) inside the BS and neighbor BS don't allow communicating directly to BS. However, in LTE-Advance system cellular link and sharing radio resources of D2D link, the strong interference of the cellular network is still high. So we need to eliminate or mitigate the interference. In this paper, we use the transmission power control method and Soft Frequency Reuse (SFR) resource allocation method to mitigate the interference of the cellular link and D2D link. Simulation results show that the proposed scheme has high performance in terms of Signal to Noise Ratio (SINR) and system average throughput.

※ 본 논문은 2012년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2012-0008031)

◆ 주저자 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 데이터통신 및 네트워크 연구실, ree31206@korea.ac.kr, 정회원
 ° 교신저자 : 고려대학교 컴퓨터정보학과 데이터통신 및 네트워크 연구실, chcho@korea.ac.kr, 종신회원
 * 고려대학교 컴퓨터정보학과 데이터통신 및 네트워크 연구실, leesj1124@korea.ac.kr, 준회원
 ** 고려대학교 컴퓨터정보학과 데이터통신 및 네트워크 연구실, crusade@korea.ac.kr, 종신회원
 ***중앙대학교 정보시스템학과, ryu@cau.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-06-296, 접수일자 : 2012년 6월 30일, 최종논문접수일자 : 2012년 10월 4일

I. 서론

스마트 단말의 보급과 증가에 따라 멀티미디어 서비스를 중심으로한 모바일 데이터가 급증하고 있다. 이는 이동통신 기술의 발달을 가속화 하고 대용량 전송 기술이 이동통신망에 적용되도록 하고 있다. 이에 따라 무선통신의 수요가 증가하여 주파수 부족 현상이 점점 심해지는 추세에서 볼 때, 기지국에서 한정된 주파수를 할당하기에는 많은 어려움이 따른다. 따라서 이러한 주파수를 좀 더 효율적으로 사용하는 방법이 요구된다. 그 방법 중 이슈로 떠오르고 있는 기술이 디바이스간 직접통신 기술로 D2D Device-to-Device) 통신으로 불리는 이 기술은 단말간 D2D 링크를 설정한 뒤 기지국을 거치지 않고 데이터를 D2D 링크를 통해 직접 주고받는 통신을 말한다¹⁻³⁾.

D2D 통신에서 기지국은 셀룰러 통신과 D2D 링크의 자원 및 전송 상태를 관리한다. 기지국은 단말과 제어 신호를 지속적으로 주고받음으로써 D2D 통신에 대한 상태를 분석할 수 있고, 분석한 상태 정보를 가지고 D2D 통신 상태를 제어 한다⁴⁾.

D2D 통신은 서비스 측면으로 지역 소셜 네트워킹 서비스, 상점의 상품 서비스, 광고 서비스, 실시간 사람, 사물 찾기, 검색 서비스 등에 이용될 수 있으며, 기술적 측면으로는 낮은 비용으로 커버리지를 확장하는 릴레이 기술, 커버리지 홀을 채울 수 있는 기술 (Coverage hole filling), Ad-hoc/mesh 도플로지 기반 성능 향상 기술, D2D 단말간 협력 통신(Cooperative communication) 기술, 자원 재활용 기술과 인지 무선 (Cognitive radio) 기술 등 다양한 형태로 활용이 가능하다. 그림 1에서는 D2D 통신의 개념도를 보여주고 있다.

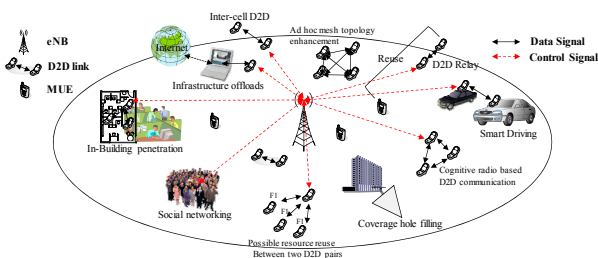


그림 1. 디바이스 직접통신(D2D 통신)의 개념도
Fig. 1. Conceptual diagram of D2D communication

현재 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서는 Release 10에서 D2D 통신과 유사한 기술인 디바이스와 서버간의 통신인 MTC(Machine-Type

Communication)에 대한 표준화 작업을 진행 중이다. 현재 MTC 관련 표준화는 착수 단계로 MTC 사용 사례들의 요구사항에 대한 기술 규격과 핵심 이슈 및 해결책에 대한 기술 보고서 표준화 작업이 진행되고 있다⁵⁾. 하지만, D2D 통신에 대한 표준화 작업은 시작 단계로 2011년 말부터 B4G(Beyond LTE-Advanced, Release 12)에서 새로운 표준화 아이템으로 D2D 통신을 활용한 근접기반 서비스(Proximity-based Service, FS_ProSe)를 선정하고 SA1에서 예비 조사 (Feasibility Study)를 진행하고 있어 빠른 기술적 연구가 필요하다.

D2D 통신에 대한 장점으로는 기지국의 절차감소, D2D 단말들의 사용 전력 감소, 데이터 전송 속도 증가, 망의 수용 능력 증가, 부하 분산, 셀 영역 증대 등이 있다⁶⁾. 예상되는 문제점으로는 주파수 재사용에 따른 간섭 문제, D2D 통신 결정(Decision Making) 문제, 과금 문제, 오류검사 문제, 사용자 인증 및 보안 문제 등이 있다. 특히, D2D 통신 사용자들은 셀룰러 네트워크의 제어 하에 셀룰러 사용자들과 같은 무선 자원을 공유한다. 직교주파수분할 다중접속방식 (OFDMA, Orthogonal Frequency Division Multiple Access)을 사용하는 셀룰러 네트워크에서의 D2D 통신은 셀룰러 통신과 서브 채널(Sub-channel)을 동시에 공유(중첩자원 할당 방식, Co-channel)하여 전송하는 것도 가능하다. 이런 경우에, D2D 링크와 셀룰러 링크가 같은 주파수 대역을 사용하기 때문에 D2D 통신을 위한 전송이 셀룰러 링크에서 통신의 방해가 되지 않도록 보장하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 셀룰러 링크와 D2D 링크가 자신의 간섭을 최소화 하는 SFR 기반 자원할당과 전송전력 조절 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 2장에서는 관련연구로 기존의 D2D 통신을 위한 간섭제어 방법들과 주파수 재사용 방법들에 대해 살펴보고, 3장에서는 셀룰러 링크와 D2D 통신의 간섭 시나리오를 새로이 정의하며, 셀룰러 링크와 D2D 링크간 간섭을 줄이기 위해 제안하는 SFR 기반 자원할당과 전송전력 조절 방법에 대해 살펴본다. 그리고 4장에서는 제안된 방법의 성능검증을 위한 시뮬레이션 환경과 결과를 살펴보고, 마지막 5장에서는 결론 및 향후 연구로 끝을 맺는다.

II. 관련연구

셀룰러 시스템에서는 주파수의 효율을 높이기 위해 D2D 통신과 기지국 사이의 주파수 대역을 동일하게

사용하는 중첩자원 할당 방식(Co-channel 방식)을 주로 고려할 수 있다^[3]. 이러한 환경에서는 간섭이 발생할 수 있으며, 이러한 간섭을 해결하기 위해 공유 주파수 할당 기법과 채널 성능 측정 및 간섭 제어 기법에 관한 연구가 진행 되었다^[4]. 이러한 D2D 통신으로부터 간섭 문제를 해결하기 위해 [7]에서는 셀룰러 링크가 단말이 요구하는 신호수준을 만족하면서 같은 스펙트럼 자원을 공유하는 프로토콜을 제안하였지만 하나의 셀 내에서 모든 단말이 주파수와 시간 자원을 모두 같은 것으로 공유하여 효율적인 주파수 자원에 대한 공유 문제를 해결하지 못하였다. 또한 [3]에서는 셀 내에서 사용되지 않는 채널이 있는 경우 우선적으로 D2D 통신의 채널로 이용하고, 모든 채널이 사용될 경우 D2D 단말이 채널 상태를 관측하여 가장 좋은 채널을 기지국으로 할당 받도록 하는 기법을 제안하였다. [8]에서는 각 채널마다 자신과 해당 채널을 이용하는 이동통신 단말까지의 채널 이득을 측정하고 그 이득이 가장 낮은 채널을 D2D 단말에게 할당하는 기법을 제안하였지만 이러한 연구들은 셀 내부 간섭 제어에 초점을 맞추고 있어 셀 경계에 대한 단말들의 환경을 개선해 주지 못하며, D2D 단말들에 대해서도 셀 중심에서 받는 강한 신호에 대응할 수 있도록 설계 되어 있지 않았다. [9]에서는 D2D 링크를 만들어서 멀티 사용자에 대한 성능을 높이기 위해, 간섭을 고려한 자원 할당과 전력 최적화 기법을 연구하였지만, 이 경우에는, 주파수 자원들이 셀룰러 링크와 D2D 링크에 관계없이 무작위로 할당되어 두 링크 사이의 충돌이 많을 가능성이 높았다.

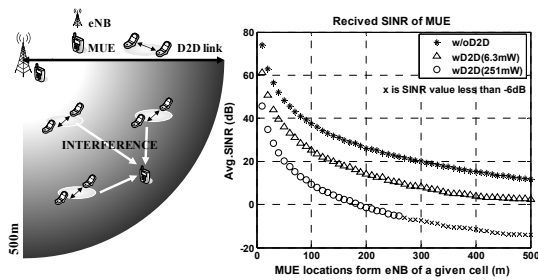


그림 2. D2D 통신으로 인한 셀룰러 통신의 간섭 영향
Fig. 2. Interference effect between the D2D communication and cellular system

이와 같은 기존 간섭제어에 대한 연구들은 부분적으로 효과적이나, 전체적으로 셀 내부 간섭제어에 초점을 맞추고 있어 셀 경계를 위한 단말들의 성능을 개선해 주지 못한다는 문제점을 가지고 있다. 그림 2는 D2D 통신의 셀 경계 간섭 정도를 알아보기 위해 선행적으로 실험한 결과이다. 실험 환경은 단일 셀로 가

정하고, 셀룰러의 파워는 20W, D2D 단말 파워는 6.3/251mW로 200개의 D2D 링크 환경에서 실험 하였다. 실험결과를 통해 셀룰러 단말(MUE, Macro-cell User Equipment)들이 받는 전체적인 SINR 값이 감소하였으며, 셀 경계지역의 셀룰러 통신 단말들이 서비스를 거의 받지 못함(서비스 불능 기준, -6dB 이하)을 알 수 있다.

이에 따라 본 논문에서는 기존 셀 경계 성능을 향상시킬 수 있는 기술인 SFR^[11] 기법이 적용된 환경에서 D2D 통신을 위한 자원할당 및 전송전력 조절 기법을 제안하고 이에 대한 성능 평가를 수행하였다.

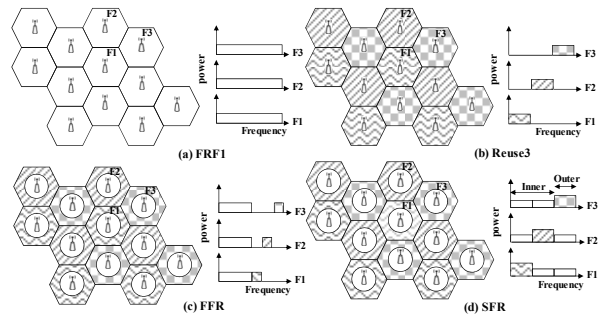


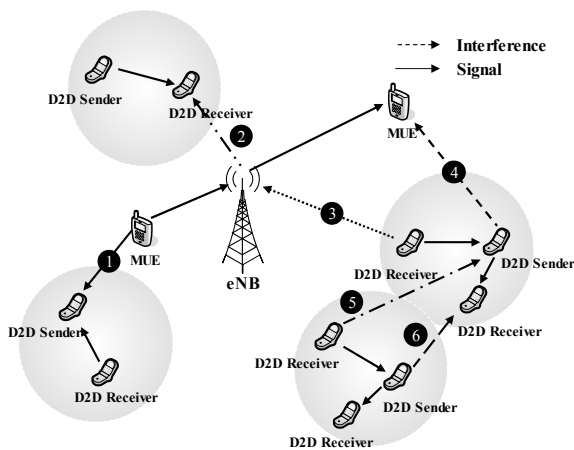
그림 3. 기본 주파수 재사용 기법 비교(omni-directional 안테나)
Fig. 3. Reuse 1 and other static partition based schemes(omni-directional antenna)

추가적으로 본 논문에서 다루는 셀 경계 성능 향상을 위한 주파수 재사용 방식에 대하여 살펴보면, 일반적으로 주파수 재사용 방식은 그림 3에 (a)와 같은 방식으로 FRF(Frequency Reuse Factor)가 1인 방식을 사용한다. 즉, 모든 셀이 같은 주파수를 사용한다. 같은 주파수를 사용함으로써 주파수 FRF가 1보다 큰 시스템(Reuse3 (b))에 비해, 주파수 사용자원을 최대화할 수 있다. 그러나 FRF 1을 사용함으로써 셀 경계에 위치한 단말들은 인접셀로부터 간섭(Inter-cell Interference)을 많이 받게 된다. 이를 해결하기 위해 FFR^[10] 기법은 셀 중앙에 위치한 사용자들에게 FRF가 1인 채널을 할당하며 인접 셀의 간섭을 완화하기 위해 셀 경계에 위치한 사용자들에게는 FRF가 3인 채널을 인접한 세 셀들에 대해 상호 겹치지 않도록 할당한다. 마지막으로, SFR(Soft Frequency Reuse)^[11] 방법은 FFR을 일반화시킨 기술로, FFR에서는 FRF 3을 사용하는 채널에서 각 셀들이 특정 채널의 송신 전력을 끄는 반면, SFR에서는 송신 전력을 낮추거나 높여 전송함으로써 전체 시스템 효율을 더 높일 수 있다.

III. 제안하는 SFR 기반 자원할당 방법과 전송전력 조절 방법

3.1. D2D 통신의 간섭 시나리오 정의

셀룰러와 D2D 링크 사이에는 eNB(evolved NodeB) 즉, 셀룰러 기지국이 제공하는 통신영역 내 다수의 D2D 링크들이 존재하며, 이동통신 단말은 셀룰러 기지국을 통해 통신하는 단말(MUE, Macro-cell User Equipment)과 D2D 통신 링크 형성의 주체인 D2D 송신자(D2DS, D2D Sender) 그리고 D2D 수신자(D2DR, D2D Receiver 또는 D2DU, D2D User)로 구분될 수 있다. 셀룰러 기지국과 D2D 송신자가 동일한 주파수 대역을 공유하는 환경에서 인근 D2D 송신자의 간섭신호는 셀룰러 단말의 통신 품질을 크게 저하시킨다. 이러한 간섭은 채널 사용 방식(중첩자원 할당 방식, 전용 자원 할당 방식), 링크 방향(상향링크, 하향링크), D2D 링크의 위치, 접속 방식 등의 환경 인자들에 따라 간섭 종류가 달라질 수 있다. 아래의 그림 4는 셀룰러 통신과 D2D 통신의 간섭 시나리오를 나타낸다. 간섭 시나리오는 채널 사용 방식에 따라 셀룰러와 D2D 통신간 간섭(1~4)과 D2D 통신과 D2D 통신간 간섭(5,6)으로 나눌 수 있고, 각각은 링크 방향과 D2D 통신의 위치 등에 따라 다시 세부적으로 나뉜다.



Index	Interference Scenario	Interference type	Transmission mode of Macro	Symbol
1	MUE→D2D Sender	Inter-tier	Up link	→
2	eNB→D2D Receiver	Inter-tier	Down link	←
3	D2D Receiver→eNB	Inter-tier	Up link	→
4	D2D Sender→MUE	Inter-tier	Down link	←
5	D2D Sender→D2D Receiver	Intra-tier	Up link	→
6	D2D Sender→D2D Receiver	Intra-tier	Down link	←

그림 4. 셀룰러와 D2D 통신의 간섭 시나리오
Fig. 4. Interference Scenario between the D2D communication and cellular system

3.2. LTE-Advanced 시스템의 D2D 모델 및 제안하는 간섭완화 방법

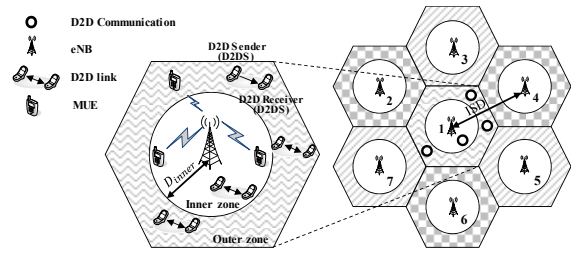


그림 5. 셀룰러 링크와 D2D 링크의 다중셀 구조
Fig. 5. Multi-cell structure between the D2D communication and cellular system

LTE-Advanced 기반의 OFDMA 셀룰러 시스템은 기존의 CDMA(Code Division Multiple Access) 방식과는 달리 셀 내 간섭은 존재하지 않지만 셀 간 간섭이 존재한다. 이러한 셀 간 간섭을 완화하기 위해 제시된 방안중에 하나가 주파수 재사용 기법이다. 그림 5와 같이 인접 셀의 간섭을 완화하기 위해 셀 경계에 위치한 사용자들에게는 FRF가 3인 채널을 인접한 세 셀들에 대해 상호 겹치지 않도록 할당하여, 셀 간 간섭을 완화시킬 수 있다. 이와 같이 셀 간 간섭을 고려한 효율적인 셀룰러 환경에서 D2D 통신이 적용되었을 때, D2D가 기존의 셀룰러 대역을 사용하면서 앞서 정의한 간섭 시나리오에 따라 간섭이 발생한다. 따라서 이러한 간섭 시나리오들을 고려하여 D2D 링크가 우선권자인 셀룰러 사용자에게 주는 간섭을 줄이고 전체적인 셀 성능을 향상시킬 수 있도록 D2D 링크에게 최적의 자원 할당을 해주어야 한다. 따라서 본 논문에서는 그림 7와 같이 D2D 링크가 속한 기지국에서 셀룰러 통신에서 사용하지 않는 주파수를 최대한 사용하여 셀룰러 링크와 D2D 링크가 혼재된 상황에서 효율적인 셀 환경을 구성하도록 하였다. 또한 OFDMA-TDD를 기반으로 시간축을 이용하여 셀 내부 영역과 경계의 주파수를 분할하여 할당하였으며, D2D 링크와 셀룰러 링크의 전송전력을 조절하도록 구성하였다.

먼저 그림 6에서는 제안하는 방법에 대한 성능 비교평가를 위해 SFR 환경에서 랜덤하게 D2D 자원을 할당하는 방법을 보여주고 있다. 그림에서 볼 수 있듯이 FRF가 3인 채널을 인접한 세 셀들에 대해 상호 겹치지 않도록 할당하며, 각 셀들이 특정 채널의 송신 전력을 낮추거나 높여 전송함으로써 기회적인 스케줄링 (opportunistic scheduling)의 이득이 증가하여 전체 시스템 효율을 더 높일 수 있다.

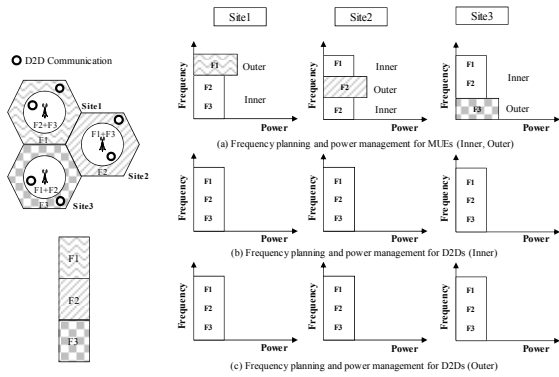


그림 6. SFR 환경에서 랜덤한 D2D 통신 자원할당 방법
Fig. 6. Conventional SFR scheme for MUEs and D2D users

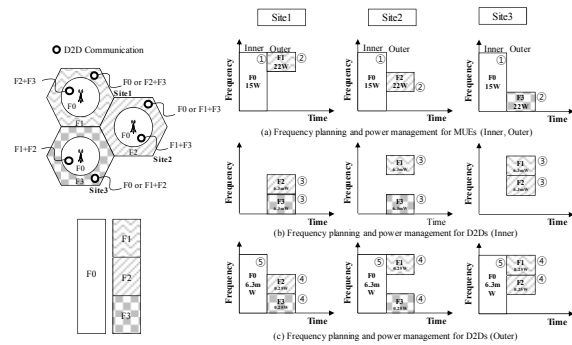


그림 7. 제안하는 셀룰러와 D2D 통신의 자원할당 및 전력조절 방법
Fig. 7. Proposed frequency and power control for MUEs and D2D users

제안하는 방법인 그림 7(a)에서는 시간과 전송전력을 고려하여 셀룰러 기지국의 셀 내부 영역에는 주파수 전체 영역을 할당(①)하며, 시간으로 구분하여 셀 경계 지역의 주파수는 일정 부분만을 할당(②)한다. 또한 D2D 링크(그림 7(b), 7(c))를 위해 이웃한 셀의 경계지역에 있는 셀룰러 단말에게 할당된 주파수를 셀 내부와 경계지역에 모두 할당(③, ④)하며, 셀 경계 지역의 주파수는 추가적으로 셀룰러 단말들이 셀 내부에서 사용하고 있는 주파수를 다시금 재사용(⑤)하도록 하였고, 이는 시간축으로 주파수 영역이 나누어 지도록 하였다. 마지막으로 ④번의 경우, 이웃한 셀룰러의 셀 경계지역에서 사용되는 주파수의 간섭 영향에 대응하기 위해 D2D 링크에 대한 전송전력을 높여 주었다.

IV. 성능 평가

4.1. 시뮬레이션 환경

본 장에서는 시뮬레이션을 통해서 셀룰러 통신과 D2D 통신 시스템의 신호대 잡음비와 시스템 평균 전

송량을 통해 성능을 검증한다. 제안 방식에서는 SFR을 기반으로 하는 셀룰러 기지국과 D2D 링크가 분포된 다운링크 시스템 모델을 가정하였다. 그림 8에서 보는 것과 같이 셀룰러 기지국은 정육각형의 기지국 반지름이 500m인 7개의 육각 셀을 고려하였고, 기지국은 셀 중앙에 배치하였으며, 각 셀에는 셀룰러 단말을 균일 분포에 따르도록 배치하였다. 또한 D2D 송신자 단말은 50m 간격으로 그리드(grid) 형태로 배치하였고, D2D 수신자는 D2D 송신자와 반지름 20m 간격(단말기 쌍의 거리) 안에서 랜덤하게 독립적으로 발생하도록 하였다.

본 시스템에서 셀룰러 통신과 D2D 통신은 동일한 주파수 대역을 사용하며, 셀룰러 단말은 하나의 채널만 할당 받도록 설계되어 동일한 셀 내에서 서비스 받고 있는 셀룰러 단말들 간의 주파수 간섭은 없다. 또한 이웃한 셀에 동일한 채널을 사용할 경우 동일 채널 간섭(Co-channel Interference)이 발생하게 된다. 동일 채널 간섭은 동일 셀 내(Serving cell)에서 발생하는 간섭과 이웃한 6개의 셀에서 발생하는 간섭으로 가정한다. 그리고 셀룰러 단말의 전송 신호의 전력은 거리에 따른 경로손실(Path loss)을 평균으로 하는 로그 정규 분포(log-normal distribution)를 갖는 쉐도잉(Shadowing)으로 모델링한다.

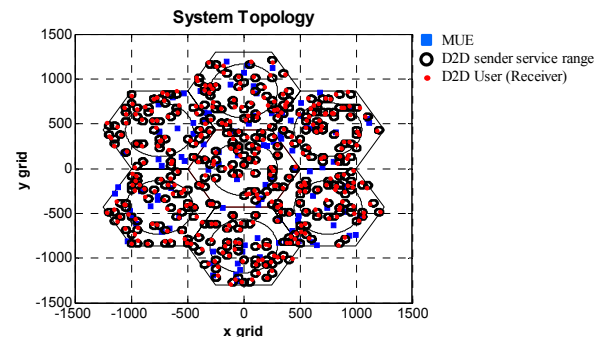


그림 8. 시뮬레이션 셀 구조 (예)
Fig. 8. Simulation cell structure (example)

본 논문의 시뮬레이션의 파라미터는 [12][13] 문서를 바탕으로 결정하였다. 모의실험의 매개 변수들은 아래 표 1에 정리되어 있다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameter

parameter	value	
	Macro-cell(Cellular)	D2D link
Layout	Hexagonal cell	Circle

Transmission power	High power : 43.4dBm= 22W Low power : 41.7dBm=15W	High power : 24dBm=251.1mW Low power : 8dBm=6.3mW
Number of cells / D2D pairs	7	Maximum.254(grid pattern) per one cell
Inter-site distance (ISD)	866m (500m(radius))	50m
D _{inner} / D2D pair distance	300m	Maximum.20m(radius)
Log-normal shadowing	0 mean, 8dB standard deviation	0 mean, 9dB standard deviation
Number of users in one Macro-cell	15	1~200
Path loss	$PL_{e,NB} = 36.7\log_{10}d + 40.9 + 26\log_{10}(f_c/5)$ $PL_{D2D} = 40\log_{10}d + 30\log_{10}f_c + 49$	
Noise power density	-174dBm/Hz	
Antenna type	Omni-directional	
Carrier frequency	2.0GHz	
System bandwidth	10MHz	
Bandwidth of sub-channel	180KHz	
Number of sub-channels	50	

그림 5와 같이 멀티셀 시스템에서 셀룰러 사용자 m의 다운링크의 수신 SINR은 식 1과 같다[14]. 먼저 $SINR_{m,k}^{(i)}$ 은 $i(i \in 1, \dots, M)$ 번째 셀룰러 기지국에서 셀룰러 단말 m이 채널 k를 통하여 얻는 SINR 값이다. 여기서 $P_{m,k}^{(i)}$, $G_{m,k}^{(i)}$, $S_{m,k}^{(i)}$ 는 i번째 셀룰러 기지국에서 셀룰러 단말 m이 채널 k를 통하여 송신하는 전력과 채널이득 그리고 표준편차가 σ 인 정규분포($S_{dB} = N(0, \sigma_{dB}^2)$)를 갖은 수신 신호의 쉐도잉 영향을 나타낸다. 일반적으로 도시환경의 경우, σ_{dB} 는 5~12의 범위를 갖는다[15].

이웃 셀룰러 기지국의 간섭을 계산하기 위해 η ($\eta \in 1, \dots, M, \eta \neq i$)번째 이웃 셀룰러 기지국의 채널 k를 통하여 송신하는 전력과 채널이득들로 얻어지며, D2D 송신자로부터 받는 간섭은 D2D 송신자 $j(j \in 1, \dots, D_i)$ 에 대하여 채널 k를 통하여 송신하는

전력과 채널이득들로 얻어질 수 있다. 그리고 N_0 는 백색 잡음 전력 밀도(white noise power spectral density) 이고, Δf 는 채널의 간격(channel spacing) 이다. $SINR_{d,k}^{(i,j)}$ 의 경우 i번째 셀룰러 기지국에서 j번째 D2D 송신자가 채널 k를 이용하여 D2D 수신자로 전달하는 SINR 값을 말한다. D2D 수신자의 경우 7개의 셀룰러 기지국 ($\eta \in 1, \dots, M$)과 자신의 제외한 주변 D2D 송신자 ($v \in 1, \dots, D_i, v = 1, v \neq j$)로부터 간섭을 받는다. 셀룰러 단말과 유사하게 D2D 수신자 d의 수신 SINR은 식 2와 같다.

$$SINR_{m,k}^{(i)} = \frac{P_{m,k}^{(i)} G_{m,k}^{(i)} S_{m,k}^{(i)}}{N_0 \Delta f + \sum_{\eta=1, \eta \neq i}^M P_k^\eta G_k^\eta S_k^\eta + \sum_{j=1}^{D_i} P_k^j G_k^j S_k^j} \quad (식1)$$

$$SINR_{d,k}^{(i,j)} = \frac{P_{d,k}^{(i,j)} G_{d,k}^{(i,j)} S_{d,k}^{(i,j)}}{N_0 \Delta f + \sum_{\eta=1}^M P_k^\eta G_k^\eta S_k^\eta + \sum_{v=1, v \neq j}^{D_i} P_k^v G_k^v S_k^v} \quad (식2)$$

채널 이득 G는 주로 경로 손실에 많은 영향을 받으며, 경로 손실 값은 표 1에 설명된 전파 경로 손실 모델을 통해서 얻을 수 있다. 경로 손실 값을 PL이라 할 때, 채널 이득 G는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$G = 10^{-PL/10} \quad (식3)$$

이렇게 구한 수신 SINR 값을 토대로 셀룰러 단말 m 또는 D2D 수신자 d에게 할당된 채널 k에서의 데이터 전송률($C_{m,k}$, $C_{d,k}$)은 다음과 같이 정의된다.

$$C_{m,k} = \Delta f \cdot \log_2(1 + SINR_{m,k}) \quad (식4)$$

$$C_{d,k} = \Delta f \cdot \log_2(1 + SINR_{d,k}) \quad (식5)$$

위의 전송률을 이용한 셀룰러 M의 전체 시스템 전송률(T_M)은 다음 식 6과 같다.

$$T_M = \sum_m \sum_k \beta_{m,k} C_{m,k} \quad (식6)$$

$$T_D = \sum_d \sum_k \beta_{d,k} C_{d,k} \quad (식7)$$

여기서 $\beta_{m,k} = 1$ 이면 채널 k 가 셀룰러 단말 m 에게 할당된 것이고, 0이면 할당되지 않는 것이다. 또한 OFDMA 특성으로 인해 각각의 채널은 하나의 사용자에게만 할당이 된다. 셀룰러와 유사하게 D2D 송신자의 전체 시스템 전송률(T_D)은 식 7과 같다.

4.2. 성능평가 및 분석

우선 결과 그림들의 범례를 설명하면 w/oD2D는 D2D 링크가 존재하지 않는 시스템의 성능을 말하며, wD2D(Conventional)은 D2D 링크가 존재하고 전 영역이 FRF가 1인 주파수 재사용 기법이 들어가지 않은 시스템을 말한다. 또한 wD2D(SFR)과 wD2D(Propose)는 각각 D2D 링크가 존재하고 SFR 기반 주파수 재사용 기법이 들어간 시스템으로 랜덤한 D2D 링크가 존재하는 wD2D(SFR)와 본 논문에서 제안하는 방법이 들어간 wD2D(Propose)로 구분된다. 우리는 D2D 링크가 200개일 때 SINR(그림 9, 10)과 셀 내부와 경계지역의 시스템 전체 전송률 성능을 비교(그림 13, 14)하였으며, D2D 링크의 숫자를 늘려가

며 시스템 전체 전송률을 비교(그림 11, 12)하였다.

그림 9는 D2D 통신 사용 여부와 자원할당 및 전송전력 조절에 따른 셀룰러 단말의 SINR CDF(Cumulative Distribution Function) 그래프를 나타낸다. D2D 통신이 지원되지 않는 경우(w/oD2D)인 셀룰러 단말은 이웃 셀의 셀룰러 통신으로부터만 간섭을 주고받기 때문에 D2D 통신이 지원되는 경우보다 SINR 값이 높고, D2D 통신이 지원되는 경우는 D2D 통신으로부터 셀룰러 통신으로 오는 간섭이 추가적으로 발생하기 때문에 상대적으로 SINR이 낮다. 또한 제안된 방법은 무선 자원을 D2D 단말의 위치에 관계없이 무작위로 할당한 방식보다 SINR이 높은 것을 확인 할 수 있다.

D2D 링크의 자원할당 방법에 따른 D2D 단말의 SINR 성능 변화는 그림 10과 같다. 무선 자원을 무작위로 할당한 D2D 링크의 SINR보다 제안된 방법으로 할당한 D2D 통신의 SINR이 전반적으로 높은 것을 확인할 수 있다. 이것은 셀 내부에 위치하는 D2D 통신은 자신이 위치한 셀에 있는 셀룰러 통신의 간섭을 받지 않으며, 셀 경계에 위치하는

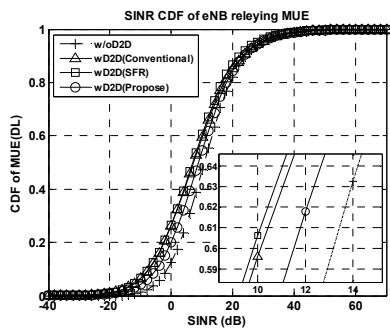


그림 9. 셀룰러 사용자 수신 SINR CDF
Fig. 9. SINR CDF for MUE

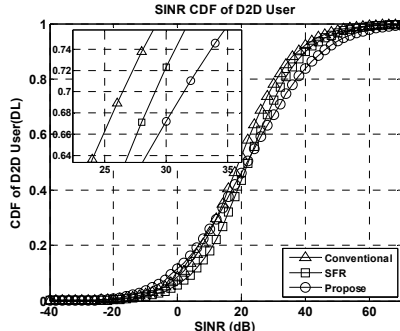


그림 10. D2D 수신자의 수신 SINR CDF
Fig. 10. SINR CDF for D2D user



그림 11. MUE 사용자 전체 전송률
Fig. 11. System throughput for MUEs

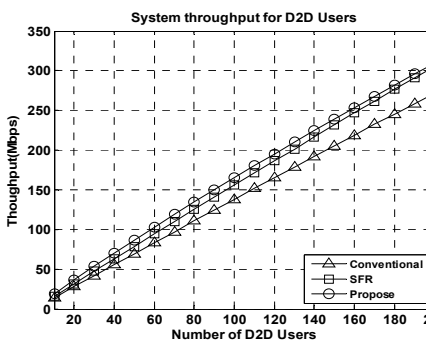


그림 12. D2D 수신자 전체 전송률
Fig. 12. System throughput for D2D users

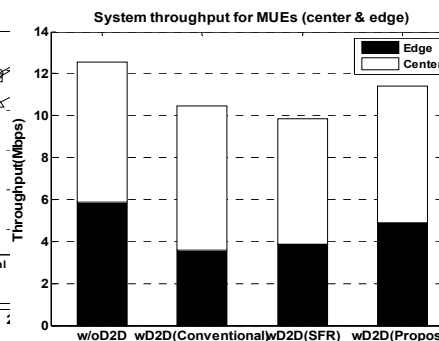


그림 13. MUE 사용자 전체 전송률(셀 내부 및 경계 비교)
Fig. 13. System throughput for MUEs (center and edge)

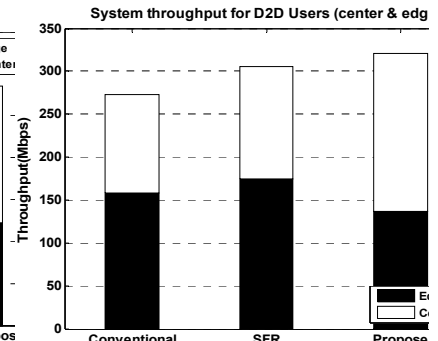


그림 14. D2D 수신자 전체 전송률(셀 내부 및 경계 비교)
Fig. 14. System throughput for D2D users (center and edge)

D2D 통신은 시간을 경계로 셀룰러 통신의 셀 내부에서 사용하는 주파수로부터의 적은 간섭과 셀 경계에서 서로 다른 주파수를 사용하여 간섭을 피할 수 있기 때문이다. 또한 이웃셀로부터 오는 간섭 영향의 대응으로 셀 경계의 전력을 조절하여 SINR이 상대적으로 높게 나타났다.

셀룰러 통신과 D2D 통신의 시스템 전체 전송량은 그림 11과 12를 통해 D2D 링크의 개수를 늘려가면서 성능을 비교 하였고, 그림 13과 14를 통해 D2D 링크가 200개 일 때 셀 내부와 경계지역의 성능을 비교 하였다. 셀룰러 통신만 사용하는 경우 셀룰러 단말들 간 간섭만 고려되기 때문에 D2D 통신이 지원되는 경우보다 셀룰러 통신의 셀 당 시스템 전체 전송량이 높게 나타난다. 제안된 방법에서는 스펙트럼 효율 및 충돌 확률을 따라가지 못하는 기존 SFR 기법에 비해 효과적인 D2D 통신의 자원 할당 및 전송 전력 조절을 통해 셀룰러 단말에 미치는 D2D 통신의 간섭을 줄이고, D2D 통신 단말에 미치는 셀룰러 통신으로부터의 간섭을 조정하여 셀룰러 단말의 셀 내부의 성능과 경계지역의 성능 그리고 D2D 단말의 전체 시스템 전송량을 증가시킬 수 있다. 또한, SINR의 결과와 마찬가지로 이웃셀로부터 오는 간섭 영향의 대응으로 셀 경계에 대한 전력을 증폭하여 사용하였기 때문에 D2D 통신의 전송량은 더욱 증가하게 되었다.

V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 주파수 재사용 기법인 SFR이 적용된 환경에서 새로운 D2D 통신 자원 할당 방법과 전송전력 조절에 대한 기법을 제안하였고, 제안한 방법을 시뮬레이션을 통해 검증하였다. 시뮬레이션 결과 SFR 기반의 랜덤 D2D 자원할당 구조만으로는 스펙트럼 효율과 충돌 확률에 대한 성능을 개선하기 힘들며, 효율적인 자원할당과 전송전력의 조절을 같이 사용함으로써 성능에 대한 향상을 가져올 수 있음을 확인할 수 있었다.

추후 연구로는 D2D 통신에서의 SFR 최적 영역(셀 내부와 경계 영역 구분) 연구와 D2D 링크간 최적 거리에 대한 연구가 진행되어야 하며, 추가적으로 선행적인 연구를 위해 D2D 통신을 위한 절차적인 연구와, D2D 통신 결정(Decision Making) 문제에 대한 연구 그리고 전용자원 할당 방식(Dedicated channel)을 고려한 자원할당 등의 연구가 진행되어야 할 것이다.

References

- [1] Y.J. Park, A.S. Park, S.Y. Kang, Y.K. Kim, S. Ryu, "Trends on Development of Network Capacity in LTE-Advanced to Support Increasing Mobile Data Traffic", *Electronics and Telecommunications Trends*, vol.27, no.1, pp.122-135, 2012.02.
- [2] S.H. Choi et. al, "Cellular Network based Device-to-Device Communication ", *The Korean Institute of Communications and Information Sciences (KISC)*, vol.29, no.7, pp.97-105, 2012.06.
- [3] K. Doppler, M. P. Rinne, C. Wijting, C. B. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communication as an underlay to LTE-advanced networks", *IEEE Communications Magazine*, vol. 47, no. 12, pp. 42-49, 2009.12.
- [4] K. Doppler, M. P. Rinne, P. Janis, C. Ribeiro, and K. Hugl, "Device-to-device communications; Functional prospects for LTE-advanced networks," *IEEE International Conference on Communications Workshops*, pp.1-6, Dresden, Germany, June 2009.
- [5] 3GPP TS 22.368 v11.0.0, "Service requirements for machine-type communications (MTC); Stage 1".
- [6] Tao Peng, Qianxi Lu, Haiming Wang, Shaoyi Xu and Wenbo Wang, "Interference avoidance mechanisms in the hybrid cellular and device-to-device systems", *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp. 617 - 621, Tokyo, Japan, 13-16 Sept. 2009.
- [7] B. Kaufman and B. Aazhang, "Cellular networks with an overlaid device to device network," in *Proc. of Signals, Systems and Computers, 42nd Asilomar Conference*, pp. 1537-1541, Pacific Grove, California, Oct. 2008.
- [8] P. Janis, V. Koivunen, C. Ribeiro, J. Korhonen, K. Doppler and K. Hugl, "Interference-aware resource allocation for device-to-device radio underlaying cellular

networks," in *Proc. IEEE 69th Vehicular Technology Conference*, pp. 1-5, Barcelona, Spain, Apr. 2009.

- [9] C. Yu, O. Tirkkonen, K. Doppler, and C. Ribeiro, "Power optimization of device-to-device communication underlying cellular communication", in *Proc. of IEEE International Conference on Communications Workshops*, pp.1-5, Dresden, Germany, June. 2009.
- [10] Z. Shen, J. G. Andrews, and B. I. Evans, "Adaptive resource allocation in multiuser OFDM systems with proportional rate constraints," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 4, no. 6, pp. 2726-2737, Nov. 2005.
- [11] R1-050841, Huawei, "Further analysis of soft frequency reuse scheme," *3GPP TSG RAN WG1#42*, August 29-Sep. 2. 2005.
- [12] ITU-R report M.2135, "Guidelines for evaluation of radio interface technologies for IMT-Advanced," 2008.
- [13] H. Xing and S. Hakola, "The investigation of power control schemes for a device-to-device communication integrated into OFDMA cellular system," in *Proceedings of IEEE International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, pp.1775-1780, Istanbul, Turkey, Sep. 2010.
- [14] H.Lei, L. Zhang, X. Zhang, X. Zhang, and D. Yang, "A novel multi-cell OFDMA system structure using fractional frequency reuse," *IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, pp.1-5, Athens, Greece, Sep. 2007.
- [15] T.S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [16] IIKwon Cho, Se-Jin Kim, Choong-Ho Cho, "Resource allocation for interference avoidance in OFDMA-TDD based femtocell networks, *IEICE Transactions 95-B(5)*, pp. 1886-1889, feb. 2012.

김 태 섭 (Tae-Sub Kim)



2005년 2월 고려대학교 전산학과 학사
 2008년 2월 고려대학교 전산학과 전산과학 전공 석사
 2008년 3월~현재 고려대학교 전산학 데이터통신 및 네트워크 전공 박사과정

<관심분야> 이동통신시스템, 무선자원관리, 핸드오버, 팜토셀, D2D 통신

이 상 준 (Sang-joon Lee)



2005년 2월 고려대학교 전산학과 학사
 2008년 2월 고려대학교 전산학과 전산과학 전공 석사
 2008년 3월~현재 고려대학교 전산학 데이터통신 및 네트워크 전공 박사과정

<관심분야> 무선자원관리, 호수락제어, 메쉬네트워크, 이동통신시스템

임 치 현 (Chi-Hun Lim)



2004년 2월 고려대학교 전산학과 학사
 2006년 2월 고려대학교 전산학과 전산과학 전공 석사
 2006년 3월~현재 고려대학교 전산학과 데이터통신 및 네트워크 전공 박사과정

<관심분야> 무선통신 시스템, 핸드오버, MAC 프로토콜, 스케줄링

류 승 완 (Seungwan Ryu)



1988년 고려대학교 산업 공학
과 학사

1991년 고려대학교 산업 공학
과 석사

2003년 뉴욕주립대 (SUNY at
Buffalo) 산업공학과 박사

1991~1993년 LG전자 영상미

디어연구소 (주임연구원)

1993~2004년 한국전자통신연구원 이동통신연구단
(선임연구원)

2004년~현재 중앙대학교 정보시스템학과 교수

<관심분야> 이동통신시스템 설계 및 성능 분석, 무
선 MAC 프로토콜, 컴퓨터 네트워크

조 충 호 (Choong-Ho Cho)



1981년 2월 고려대학교 산업공
학과 졸업

1993년 2월 고려대학교 산업공
학과 석사

1986년 프랑스 INSA de Lyon
전산학과(석사)

1989년 프랑스 INSA de Lyon

전산학과(박사)

1990~1994년 순천향대학교 전산통계학과 조교수

1994~현재 고려대학교 전산학과 교수

<관심분야> 통신망 트래픽 관리기술, 무선통신 시
스템, 멀티미디어통신, 인터넷 비즈니스