

셀룰러 네트워크상의 D2D 통신을 위한 공유릴레이 기반 간섭 관리 기법

양 모 찬*, 오 선 애*, 신 오 순**, 신 요 안^o

Shared Relay-Based Interference Management Schemes for Device-to-Device Radio Underlying Cellular Networks

Mochan Yang^{*}, Shanai Wu^{*}, Oh-Soon Shin^{**}, Yoan Shin^o

요 약

셀룰러 인프라 구조에 기반하여 셀룰러 스펙트럼을 공유하여 사용하는 D2D (Device-to-Device) 통신은 몇 가지 장점이 있지만, 셀룰러 네트워크 사용자와 동일한 자원을 사용하므로 간섭이 생기는 큰 문제점이 있다. 특히, 다중 셀에서 셀 경계 D2D 사용자와 셀룰러 사용자 간의 간섭 문제는 셀의 중심부에서보다 훨씬 강도가 높게 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 인접한 셀들의 중심에 위치한 SRN (Shared Relay Node)이 셀룰러 링크와 D2D 링크 사이에 발생하는 간섭을 효율적으로 관리하는 새로운 방식을 제안한다. 제안하는 SRN은 기존 Type II 릴레이와 같이 데이터 재전송 역할을 수행할 뿐만 아니라, 추가적으로 간섭 관리를 위한 기능을 수행하기 때문에 몇 가지 기능이 새롭게 정의된다. 셀룰러 링크와 D2D 링크 사이에 간섭 관리를 위한 구체적인 방법으로 본 논문에서는 셀 경계 영역 사용자들의 간섭 회피를 위한 SRN 기반 자원할당 방법을 제안하고 이들의 성능을 모의실험을 통해 검증하였다.

Key Words : 3GPP LTE-Advanced, D2D (Device-to-Device), SRN (Shared Relay Node), Resource Allocation, Interference

ABSTRACT

D2D (Device-to-Device) communication on an underlying cellular infrastructure which exploits the same spectrum has several advantages such as increased resource utilization and improved cellular coverage. However, D2D communication system needs to cope with ICI (Inter-Cell Interference) and interference between cellular and D2D links. As a result, macro UEs (User Equipments), especially those located near cell edge, will suffer from serious link performance degradation. We propose a novel interference avoidance mechanism assisted by SRN (Shared Relay Node) in this paper. SRN not only performs data re-transmission as a usual Type II relay but also has several features newly defined to avoid interference between cellular and D2D links. In particular, we suggest resource allocation methods based on the SRN for effective interference avoidance, and evaluate their performance through computer simulations.

※ 본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 중견연구자지원사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2012-0005330).

• 주저자 : 송실대학교 대학원 정보통신공학과, ymc0124@ssu.ac.kr, 학생회원

o 교신저자 : 송실대학교 정보통신전자공학부, yahsin@ssu.ac.kr, 종신회원

* 송실대학교 대학원 정보통신공학과, sunae0814@ssu.ac.kr, 학생회원

** 송실대학교 정보통신전자공학부, osshin@ssu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2013-02-090, 접수일자 : 2013년 2월 26일, 최종논문접수일자 : 2013년 3월 5일

I. 서 론

차세대 이동통신 규격인 3GPP LTE (Third Generation Partnership Project Long Term Evolution)-Advanced는 저비용으로 셀 서비스 영역을 확장하고 하향링크에서 최대 1 Gbps, 상향링크에서 최대 500 Mbps의 전송률을 제공한다. 현재 표준 승인이 완료된 Release-10에서 논의된 주요 기술로는 반송과 결합, 다중 안테나 전송, eICIC (enhanced Inter-Cell Interference Coordination), 무선 릴레이 기술 등이 있다. 릴레이 기술은 다수의 사용자들에게 고속 데이터 전송을 보장하기 위해 도입되었으며, 음영 지역 및 셀 경계에 릴레이를 설치함으로써 효과적으로 셀 커버리지를 확장하고 셀 전체 용량을 높일 수 있다^[1-3]. 한편 3GPP LTE-Advanced 규격으로서 근접성에 기반해 단말간 직접 통신을 수행하는 D2D (Device-to-Device) 통신 방식이 표준화 작업 중에 있다. 셀룰러 인프라 구조에 기반해 셀룰러 스펙트럼을 동일하게 사용하는 D2D 통신은 몇 가지 장점이 있다^[4-14]. D2D 통신에서 UE (User Equipment)의 근접성은 높은 비트율, 낮은 지연 그리고 낮은 전력 소비의 측면에서 장점이 나타난다. 셀룰러 통신과 D2D 통신을 동시에 사용하는 경우 주파수 재사용 이득이 매우 높아지게 된다. 셀룰러 통신에서 기지국을 경유해 상향링크 또는 하향링크를 사용하는 방식에 대비해서 D2D 모드에서 단일 링크를 사용하는 경우에서 얻어지는 이득을 “Hop Gain”이라고 부른다. 추가적으로 D2D 통신은 셀룰러 통신의 커버리지를 확장하며 새로운 형식의 P2P (Peer-to-Peer) 방식을 제공하게 된다.

위와 같은 장점에도 불구하고 셀룰러 스펙트럼을 공유하는 D2D 통신은 다음과 같은 몇 가지 문제점들을 가지고 있다. LTE-Advanced 시스템에서 사용하는 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식에서 D2D 통신을 사용하는 경우, 셀 내에서 생기는 간섭이 무시할 수 없을 만큼 커지게 되는 문제점이 존재하며 다중 셀에서 셀간 간섭은 D2D와 셀룰러의 예상치 못한 근접성의 정도에 따라서 MUE (Macro UE)의 통신을 단절시킬 수 있다. 이와 같은 문제점들을 극복하기 위해 단일 셀 내에 존재하는 D2D와 셀룰러의 간섭을 회피하기 위한 다양한 자원할당 방법들이 제시되었지만, 셀과 셀 사이에 존재하는 D2D 간섭 문제를 해결하는 연구가 미흡한 수준이다^[6,7].

한편, 3GPP LTE-Advanced 시스템에서는 릴레이 기술과 더불어 셀간 간섭 관리를 위한 다중 셀 협력통신 기술 개발에도 총력을 가하고 있다. 특히, 릴레이 기술을 다중 셀 환경으로 확장하는 기법들이 소개되고 있다^[15,16]. 다수의 셀 인접 지역에 릴레이를 위치시켜 다수의 셀이 하나의 릴레이를 공유하는 SRN (Shared Relay Node) 기술은 시스템 복잡도를 낮추고, 시스템 구현 비용을 절감시키면서 셀 전체 용량을 향상시키는 장점을 가지고 있다. 하지만 기능적인 측면에서 SRN은 주변 셀들에 대해 기존의 릴레이 기능만을 수행하기 때문에 셀간 간섭을 효과적으로 제어하기 어렵다^[15].

본 논문에서는 3GPP LTE-Advanced 시스템에서 SRN을 이용하여 릴레이 기능뿐만 아니라 효과적으로 셀룰러와 D2D 사이의 간섭을 효율적으로 관리하는 방법을 제안한다. 제안하는 SRN 기반의 셀룰러와 D2D 사이의 간섭 관리 방법을 적용하기 위한 네트워크는 다수의 인접한 eNB (enhanced Node-B)가 하나의 SRN을 공유하는 구조를 갖는다. SRN은 셀의 인접 지역에 위치하면서 eNB들로부터 오는 하향링크 신호와 MUE들의 상향링크 신호를 Overhearing하고, 이를 이용해 기본적인 Type II 릴레이 기능인 인접 셀 데이터 재전송 역할을 수행한다^[17]. 또한, SRN은 Overhearing을 통해서 얻은 정보를 바탕으로 셀룰러와 D2D 사이에 발생하는 간섭 상황을 인지하여, 셀 경계 지역에서의 성능 저하를 유발하는 MUE와 DUE (D2D UE) 사이의 간섭을 회피할 수 있도록 자원을 할당하는 역할을 수행한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 셀룰러와 D2D 링크 사이에 발생할 수 있는 간섭 시나리오를 상향링크 및 하향링크에서 살펴본다. 3장에서는 SRN 기반으로 셀룰러와 D2D 사이의 간섭을 효율적으로 제어하기 위한 SRN의 기능을 정의한다. 계속해서, 4장에서는 SRN 기반의 간섭회피를 위한 자원할당 방법 두가지를 제시한다. 5장에서는 제안 방법을 적용한 모의실험 결과를 제시하며, 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. 셀룰러 네트워크 상의 D2D 통신에서 간섭 시나리오

LTE-Advanced 시스템에서 사용하는 OFDMA 방식에서 D2D 통신을 사용하는 경우 셀 내에서 생기는 간섭이 무시할 수 없을 만큼 커지게 되는 문

제점이 존재하며, 다중 셀에서 셀간 간섭은 D2D와 셀룰러의 예상치 못한 근접성의 정도에 따라서 MUE의 통신을 단절시킬 수 있다. 또한, D2D 간섭은 셀룰러의 하향링크 혹은 상향링크 상황에 따라서 간섭을 강하게 받는 주체가 달라진다. 그림 1과 2는 각각 하향링크와 상향링크의 간섭 시나리오를 도시한다.

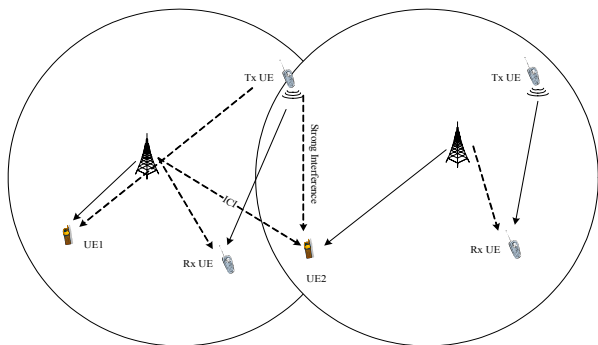


Fig. 1. Cochannel interference scenario between D2D communication links and cellular communication links in downlink

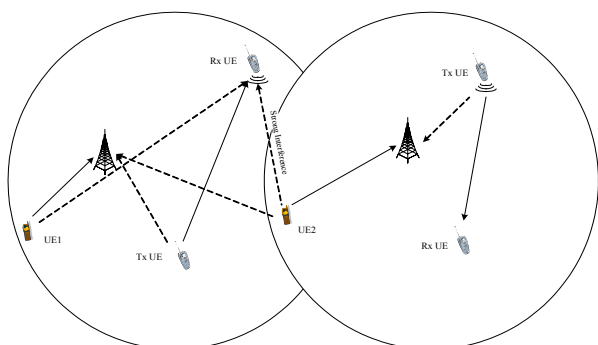


Fig. 2. Cochannel interference scenario between D2D communication links and cellular communication links in uplink

그림 1과 같은 하향링크 간섭 시나리오에서는 셀 경계에 존재하는 MUE인 UE2가 셀간 간섭뿐만 아니라 인접해 있는 D2D Tx UE로부터 강한 간섭을 받게 된다. 셀 경계에 존재하는 MUE의 경우 SINR (Signal-to-Noise-plus-Interference Ratio)이 낮아서 D2D 모드로 선택될 가능성이 높기 때문에 이와 같은 간섭 시나리오의 발생 가능성은 매우 높아 보인다. 결국, D2D 링크가 셀 경계에서 존재할 가능성이 매우 높고 MUE는 이와 같은 상황에서 링크 성능을 보장 받기 어렵다. 한편 그림 2와 같은 상향링크 간섭 시나리오에서는 셀 경계에 존재하는 MUE인 UE2가 eNB와 원활한 링크를 형성하기 위해 높은 전력을 사용하게 되고, 인접해 있는 DUE인 Rx UE는 동일한 셀룰러 자원을 사용하는 경우

UE2로부터 강한 간섭을 받게 된다. 결국, 셀 경계에서 간섭 상황을 고려해 보면 하향링크 및 상향링크의 경우 각각 MUE 및 DUE의 링크 성능을 보장하기 위한 간섭 관리가 필요하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위해 SRN 기반의 새로운 간섭회피 방법을 제안하고자 한다.

III. SRN의 기능 정의

본 논문에서 고려하는 SRN 기반의 셀룰러 링크와 D2D 링크 사이의 간섭 회피 방법은, 그림 3과 같이 3개 eNB가 1개 SRN을 공유하는 네트워크 기본 구조를 가지며, 셀룰러 통신에서는 FFR (Fractional Frequency Reuse)이 1이라고 가정하며 D2D 통신은 셀룰러 통신과 동일한 자원을 사용한다고 가정한다.

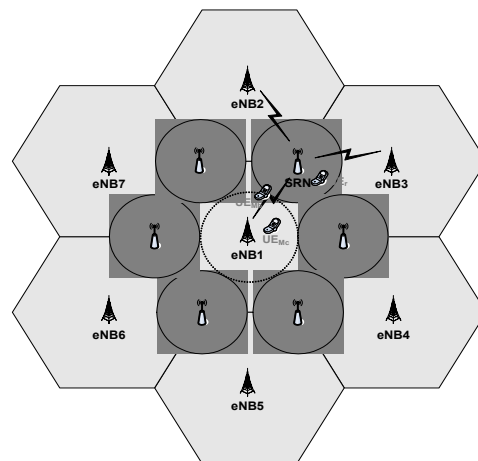


Fig. 3. Example of SRN deployment in a multi-cell network architecture

SRN은 3개 독립적인 셀의 중심에 위치하면서 셀 경계에서 발생할 수 있는 셀룰러와 D2D 링크 사이의 간섭 관리를 수행한다. 또한, SRN은 각 셀에 대해서 기본적인 릴레이의 기능인 셀 경계지역의 채널 용량 향상을 위한 데이터 재전송 역할을 수행한다. 본 연구에서 고려하는 SRN은 기능적으로는 Type II RN과 유사하지만 간섭 관리 기능을 수행하기 위해서 제어 신호의 공유 측면에서 몇 가지 추가적인 기능을 필요로 한다[18][19]. 다음은 SRN에서 요구되는 전반적인 기능 및 가정을 나열한다.

SRN의 Type II 릴레이 기능

- ① SRN은 별도의 셀 ID를 갖지 않으며 새로운 셀을 생성하지 않는다.

- ② SRN은 PDSCH (Physical Downlink Shared CHannel)를 전송할 수 있어야 한다 (3GPP LTE Release-8 UE들은 릴레이 하는 기능을 수행할 수 있어야 한다).
- ③ Release-8 UE들은 SRN의 존재를 인식해서는 안 된다.

SRN의 추가된 기능

- ④ SRN은 PDCCH (Physical Downlink Control CHannel), PUCCH (Physical Uplink Control CHannel) 등 제어 정보를 x2 시그널링을 통해 eNB들에게 전송할 수 있으며, UE들에게 전용 제어 채널을 통해 전송할 수 있다.
- ⑤ SRN은 PDCCH, PUCCH 등 제어 정보를 복원할 수 있다.
- ⑥ SRN은 eNB와 제어 정보 공유를 위한 x2 시그널링을 새롭게 정의하거나 기존의 x2 시그널링을 사용할 수 있다.
- ⑦ SRN은 eNB-UE 하향링크 및 상향링크 신호를 Overhearing하여 정상적으로 신호를 복조한 경우에 대해서만 릴레이 기능을 수행한다.
- ⑧ SRN은 상향링크 SRS (Sounding Reference Signal) 신호를 Overhearing하여, UE→SRN 링크에 대한 채널을 측정할 수 있고, 그 결과에 따라 MCS (Modulation and Coding Scheme) Level을 변경할 수 있다 (TDD의 경우 SRN→UE 채널에 대해서도 확립하여 적용이 가능하다).
- ⑨ SRN은 셀간 간섭의 조정을 위해 자신의 영역 내에 있는 UE들을 판별하는 기능을 가진다.
 - SRN은 UE→eNB SRS를 Overhearing하여, 임계값을 기준으로 SRN 영역 내의 UE로 판별하는 기능을 가진다.
 - SRN은 D2D Tx UE→Rx UE 신호를 Overhearing하여, 임계값을 기준으로 SRN 영역 내의 UE로 판별하는 기능을 가진다.
- ⑩ SRN은 다수의 eNB→UE 신호를 Overhearing하여 PDCCH, PDSCH 정보를 공유한다.
- ⑪ SRN은 자신의 영역에 있는 UE→eNB 신호를 Overhearing하여, PUCCH, PUCSH (Physical Uplink Shared CHannel) 정보를 공유한다.
- ⑫ SRN은 DUE의 CTS (Clear-To-Send) 신호를 Overhearing해 CQI (Channel Quality Indicator) 정보를 공유한다.
- ⑬ SRN은 DUE의 데이터 전송 동안에 스펙트럼 센싱을 수행할 수 있는 기능을 가진다.

여기서 SRN은 ⑩, ⑪, ⑫, ⑬과 같은 방법에 의해 공유한 정보를 이용하여 셀과 셀 사이에 발생하는 간섭 관리를 수행한다. 셀과 셀 사이의 간섭 관리는 ⑩, ⑪, ⑫, ⑬에 의해 얻은 데이터를 이용한 모든 가능한 방법들을 의미한다.

IV. 시스템간 간섭회피를 위한 SRN 기반의 자원할당 방법

본 장에서는 셀룰러와 D2D 통신 사이의 서로 다른 시스템간 간섭 회피를 위한 공유 릴레이 기반의 셀간 간섭 회피를 위한 자원할당 방법을 제안하고자 한다. 특히, 본 논문에서는 SRN이 시스템간 간섭을 얼마나 효율적으로 관리하는지에 초점을 맞추어 SRN-UE 링크의 데이터 재전송은 고려하지 않았다. 따라서 그림 4와 같은 릴레이를 사용하지 않는 일반적인 프레임 구조를 고려한다.

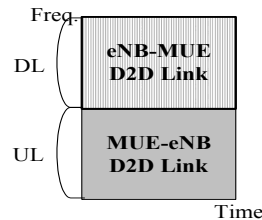


Fig. 4. General frame structure where no relay is used

본 논문에서는 LTE-Advanced 네트워크에서 D2D 통신을 위해 상향링크 및 하향링크 채널을 공유하는 것을 고려한다. 일반적으로 LTE 상향링크에서는 MUE가 eNB로부터 자원할당 정보를 수령한 후에 약 수 TTI (Transmission Time Interval) 후에 전송하는데, DUE는 위 정보를 기반으로 수 msec 내에서 자원관리를 마칠 수 있기 때문에 D2D 통신이 일반적으로 상향링크에서 원활하게 사용된다[20]. 반면에 하향링크에서는 스케줄링이 빠르게 이루어지기 때문에 MUE와 DUE가 자원을 간섭 없이 공유하는데 문제점이 존재했다. 따라서, 본 논문에서는 LTE 상향링크 뿐만 아니라 하향링크에서도 셀룰러와 D2D 통신이 간섭 없이 존재하는 SRN 기반의 새로운 간섭회피 방법을 제시하고자 한다. SRN 기반 셀룰러와 D2D 사이에 존재하는 시스템간 간섭 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 두 가지 간섭 회피 방법을 제시하고자 한다. 첫번째, 간섭회피 방법 #1은 그림 5와 같은 절차에 따라 동작한다.

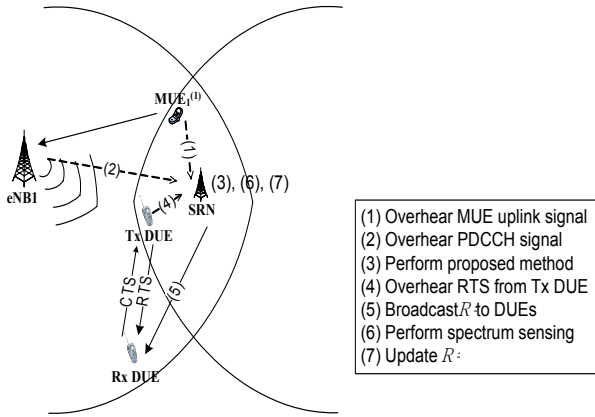


Fig. 5. SRN-based interference avoidance procedures #1

간섭회피 방법 #1

- ① SRN은 MUE의 PUCCH 신호를 Overhearing한다.
 - SRN은 다음과 같이 간섭 관리가 필요한 UE를 선정한다.

$$S = \{UE_M \mid \gamma_{UE_M} \geq \Gamma\} \quad (1)$$

$$T = S^C \quad (2)$$

여기서 γ_{UE_M} 은 SRN이 MUE로부터 수신한 신호의 크기를 나타내며 Γ 는 임의의 한계 값을 나타낸다.

- ② SRN은 하향링크 신호인 PDCCH/PDSCH 신호를 Overhearing한다.
- ③ SRN은 상향링크 및 하향링크 제어신호를 복조하고 DUE에게 간섭을 줄 수 있는 SRN의 영역 내에 있는 MUE의 상향링크 자원할당 정보를 획득한다. 여기서, D2D 링크는 셀룰러의 상향링크 및 하향링크와 무관하게 세션이 시작되는 것을 고려하기 때문에, 본 제안 기법에서는 S에 대한 상향링크 및 하향링크 자원 R_s 을 획득하는 것을 원칙으로 한다. 여기서 R_s 는 S에 속한 MUE들이 할당 받은 자원을 의미한다.
- ④ SRN은 eNB들로부터 D2D 세션 요청 신호를 Overhearing한다.
- ⑤ Tx UE는 Rx UE로 RTS (Request-To-Send) 신호를 전송하며, 동시에 SRN은 Rx UE에게 Opposite Signal을 전송한다. Opposite Signal은 ③에서 획득한 자원들에 대해서 전력을 최대로 할당하는 방식으로 생성한다.
- ⑥ Rx UE는 Tx UE로 CTS (Clear-To-Send) 신호를 전송하며, 동시에 SRN은 이를 Overhearing한다.

- ⑦ Tx UE는 ⑥에서 획득한 자원 정보와 CQI 정보를 이용하여 자원을 할당한다.
- ⑧ Tx UE는 ⑦에서 할당된 자원을 이용하여 데이터 전송을 시작하며, SRN은 D2D 링크의 데이터 전송 동안에 스펙트럼 센싱을 수행하며, 이를 통해 사용 중인 RB (Resource Block)를 R_s 에 추가한다.

본 연구에서 각각의 eNB는 그림 6과 같은 동적 자원할당 방법을 고려한다. eNB는 각기 FFR=1을 기반으로 모든 RB들을 동적으로 할당하는 구조를 고려하고 있으며, PF (Proportional Fairness), Max CINR (Carrier-to-Interference-plus-Noise Ratio) 등의 다양한 스케줄링 기법을 통해 RB를 할당하는 것을 고려한다. 본 논문에서는 SRN-DUE의 전용 제어채널을 고려하기 때문에 그림 6과 같이 RB가 중첩되지 않는 경우를 고려한다.

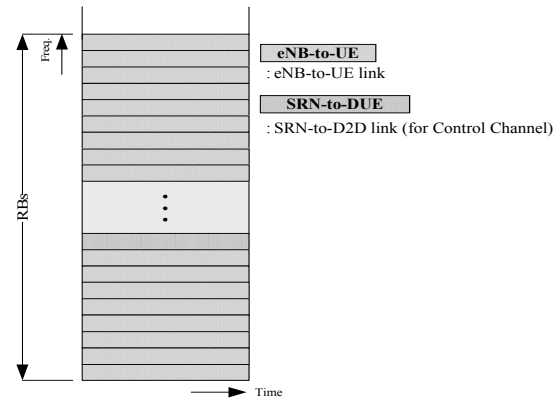


Fig. 6. General dynamic resource allocation in our proposed scheme (FFR=1)

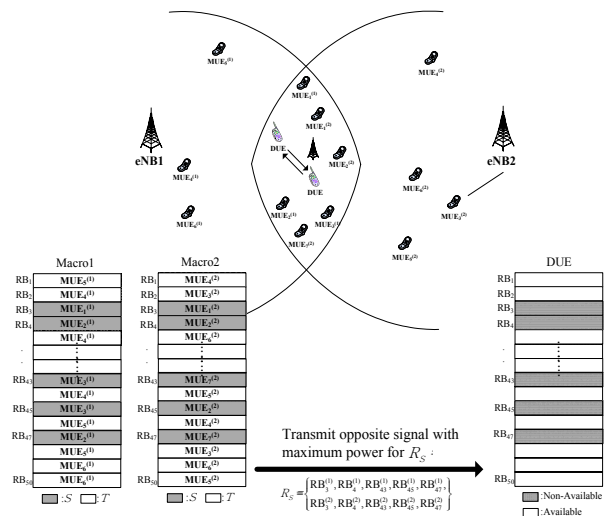


Fig. 7. SRN-based resource allocation method #1

본 논문은 그림 6과 같은 자원할당 구조에서 간섭 회피를 위한 자원할당 방법을 그림 7과 같이 제시한다. 본 논문에서 제시하는 자원할당 방법은 앞서 제시된 간섭회피 방법 #1에 따라 동작하게 된다. SRN은 간섭의 원인이 되는 MUE를 절차 ①에 따라 파악한 후 ②, ③을 통해 간섭을 일으킬 수 있는 R_s 자원 정보를 그림 7의 좌측과 같이 취득한다. 이후, ④~⑦ 과정을 통해 간섭을 회피하는 동작을 수행한다. 한편 본 논문에서 제안하는 간섭회피 방법에 대한 신호 흐름도를 그림 8에 도시한다.

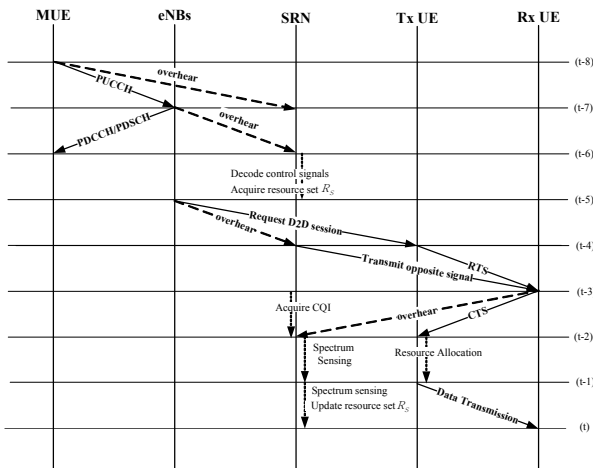


Fig. 8. SRN-based interference avoidance signal flows #1

한편 본 논문에서는 그림 9와 같은 간섭회피 방법 #2를 역시 제시한다. 제안된 간섭회피 절차 #2에서는, 앞서 살펴본 간섭회피 방법 #1과 다르게 D2D 세션 요청 신호를 Overhearing한 후 D2D 전송에 사용되는 스펙트럼을 센싱하여 간섭을 회피하는 방식이다.

간섭회피 방법 #2

- ① SRN은 eNB들로부터 D2D Session Request 신호를 Overhearing한다.
 - ② SRN은 Tx UE→Rx UE로부터의 RTS 신호를 Overhearing한다.
 - ③ SRN은 Rx UE→Tx UE로부터의 CTS 신호를 Overhearing한다.
- SRN은 다음과 같이 관리 대상의 D2D 링크를 선정한다.

$$D = \{DUE | \text{Max}(\gamma_{Tx}, \gamma_{Rx}) \geq \Gamma\} \quad (3)$$

여기서 γ_{Tx} 는 SRN이 Tx UE로부터 수신한 신호의 크기를 나타내며, γ_{Rx} 는 SRN이 Rx

UE로부터 수신한 신호의 크기를 나타낸다.
- SRN은 ③을 통해서 Tx UE→Rx UE 링크의 CQI 정보를 획득한다.

- ④ Tx UE→Rx UE로 데이터 전송을 수행하며, 동시에 SRN은 해당 슬롯 구간에서 CQI 정보를 기반으로 스펙트럼 센싱을 수행한다.
- ⑤ SRN은 스펙트럼 센싱을 통해 결정된 Tx UE→Rx UE가 사용하는 스펙트럼 접근이 허용되지 않는 RB R_D 를 획득한다 (따라서 스펙트럼 접근이 허용되는 RB는 $(R_D)^c$ 이다).
- ⑥ SRN은 RB R_D 와 간섭을 일으킬 수 있는 MUE ID 정보 S 를 eNB들에게 전송한다. Rx UE는 Tx UE로 CTS신호를 전송하며, 동시에 SRN은 이 신호를 Overhearing한다.
- ⑦ eNB들을 셀룰러와 D2D 링크 사이에 간섭을 회피하기 위해 S 에 대해서 상향링크 자원할당을 $(R_D)^c$ 에서 수행한다.
- ⑧ eNB는 하향링크 전송을 수행한다.

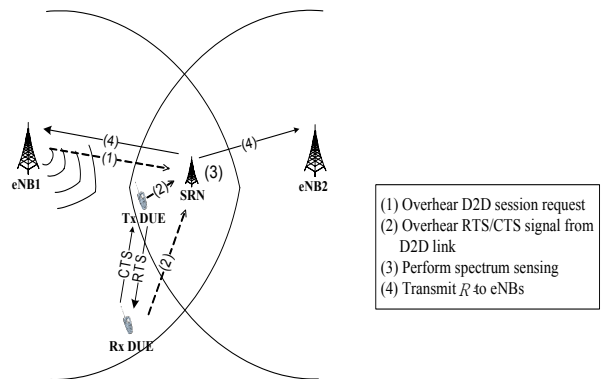


Fig. 9. SRN-based interference avoidance procedures #2

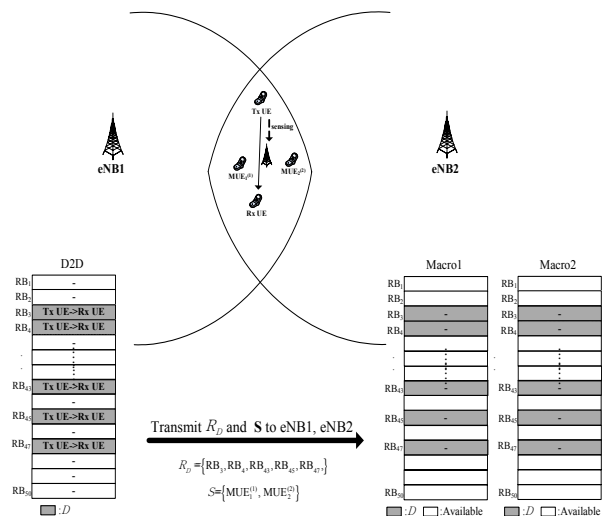


Fig. 10. SRN-based resource allocation method #2

그림 10과 같이 본 논문에서 제시하는 간섭회피 방법 #2에서는 SRN이 ①~③을 통해 간섭 관리 대상의 D2D 링크를 선정된 후, ④와 같이 스펙트럼 센싱을 통해 D2D 링크의 RB 사용 여부를 결정하고, 접근이 불가능한 자원정보와 MUE의 ID 정보를 eNB들에게 전달하여, 각 eNB가 S에 해당하는 MUE에 대한 자원을 제외한 부분에서 자원할당을 수행함으로써 간섭을 회피하는 방법이다. 제안하는 자원할당 회피방법에 대한 신호 흐름도를 그림 11과 같이 나타내었다.

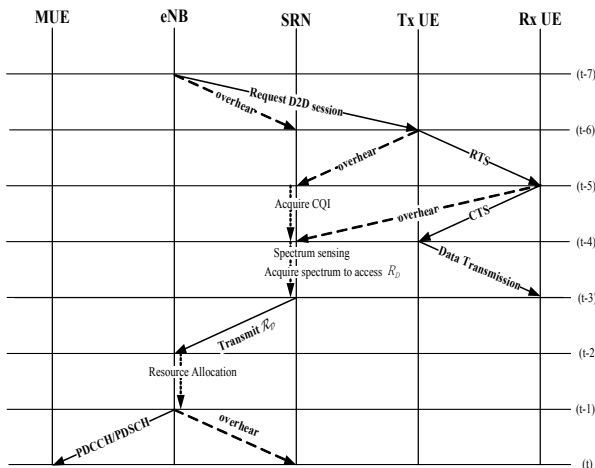


Fig. 11. SRN-based interference avoidance signal flows #2

V. 시스템 레벨 모의실험 결과

본 논문에서는 SRN 기반의 셀룰러 네트워크에서 D2D 간섭 관리 방법을 제안하였고, 특히 그중에서도 간섭회피를 위한 자원할당 방법을 살펴보았다. 성능 분석을 위해 3GPP LTE-Advanced 하향링크 환경에서 시스템 레벨 모의실험을 수행하였다. 모의 실험을 위한 다중 셀 레이아웃은 2계층의 19개 셀 중 3개 셀만을 고려하였으며, 셀 반경 (Inter-Sector Distance; ISD)은 3GPP Case 3 시나리오[21]의 1,732m로 설정하였고, 3 섹터 환경을 고려하였다. 또한, 각 노드 간의 경로 손실 및 Shadowing을 적용하였다^[22]. 표 1은 시스템 레벨 모의실험에서 사용한 주요 파라미터를 요약한 것이다.

SRN은 3개 eNB의 중심에 있는 것을 고려하였으며, 섹터 전체에 MUE를 고루 분포시키기 위해 각 UE간 일정한 최소 거리를 설정하여 무작위하게 배치하였고, SRN의 간섭회피 방법을 집중적으로 살펴보기 위해 DUE는 셀과 셀 사이에 집중적으로 배치하였다. 모의실험에서 고려하는 총 UE수는 각

eNB당 50개이고 D2D UE는 총 50개로 25개의 D2D 링크를 가진다고 고려하였다. SRN은 데이터 전송의 기능을 수행하지 않고 간섭을 관리하는 기능만을 가진다고 고려하고 모의실험을 수행하였다. UE Drop은 총 10번을 수행하였으며, 각 셀의 용량을 계산할 때 평균 결과값을 취하였다.

Tab. 1. Major parameters used in the system-level simulation

| Parameters | Values |
|--|--|
| Duplex mode | FDD |
| Channel link | Downlink |
| Center frequency | 2 GHz |
| Bandwidth | 10 MHz |
| # of FFT / CP points | 1,024 / 128 |
| # of used sub-carriers per OFDMA symbol | 600 |
| # of RBs per sub-frame | 50 |
| RB size | 12 sub-carriers @ freq. Domain 12 OFDMA symbols @ time domain |
| # of OFDMA symbols per sub-frame | 12 |
| Sub-frame duration | 1 msec |
| Cell layout | 19 cells (2-tiers / 57 sectors) |
| Cell radius (Scenario) | 500 m (3GPP case 1) |
| Thermal noise density | -174 dBm/Hz |
| MCS levels (7 levels) | QPSK (1/2), (3/4) 16QAM (1/2), (3/4) 64QAM (2/3), (3/4), (5/6) |
| Path loss model for cellular and D2D links | 128.1+37.6log10 (d[km]) 148+40log10 (d[km]) |
| Shadow fading standard deviation | 10 dB for cellular mode links and 12 dB for D2D mode links |
| Noise figure | 5 dB at BS/ 9 dB at device |
| Forgetting factor for PF scheduling | 0.001 / 0.9989 [23] |
| Fairness calculation period | 100 sub-frames (100 msec) |
| Fading channel model | ITU-R M.1225 PED-B[24] |
| UE velocity | 3 km/h |
| # of drops / sub-frames for simulation | 10 / 100 |
| Minimum distance between nodes | Between eNB and UE: 35m |
| Traffic model | Full buffer |

그림 12와 13은 제안 기법을 적용한 경우와 FFR=1인 일반적인 동적 자원할당을 적용한 경우의 SRN MUE의 용량을 비교한 것이다. PF 스케줄러의 망각인자 β 가 0.9989인 그림 12의 결과에서는, SRN의 도움 없이 일반적인 동적 자원할당을 하는 경우 SRN의 영역에 있는 MUE의 용량이 MUE 개수에 따라 약 0.8~3 Mbps로 확인되었다. 반면 제안된 자원할당 방법을 적용하는 경우, 효과적인 간섭 관리를 통해 SRN 영역 MUE의 용량이 약 1.3~5.9 Mbps로 나타나 제안 기법을 적용하여 약 1.6~1.8배 정도 성능이 높아지는 것을 볼 수 있다. 그림 13은 β 가 0.001일 때의 결과를 도출한 것으로, 제안 기법을 적용한 경우 SRN MUE 개수에 따라서 약 1.2~5 Mbps의 평균용량이 확인되어, 그림 12의 결과와 비교할 때 최대 평균용량은 1 Mbps 낮은 것을 알 수 있다. 이는 PF 스케줄러의 망각인자가 낮을수록 각 UE에게 공평하게 자원을 배분하도록 스케줄링 되기 때문에 평균용량이 낮아진 것으로 보인다.

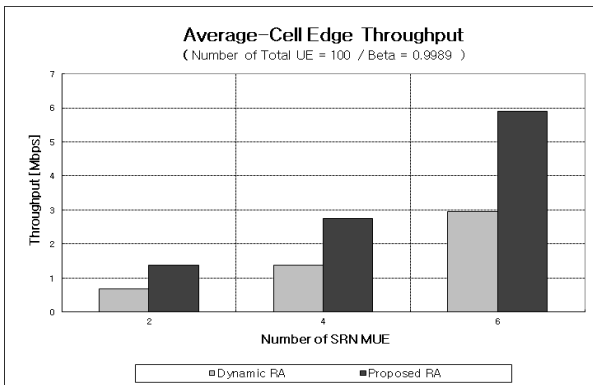


Fig. 12. Comparison of average cell edge throughput according to number of SRN-MUEs for the proposed scheme ($\beta = 0.9989$)

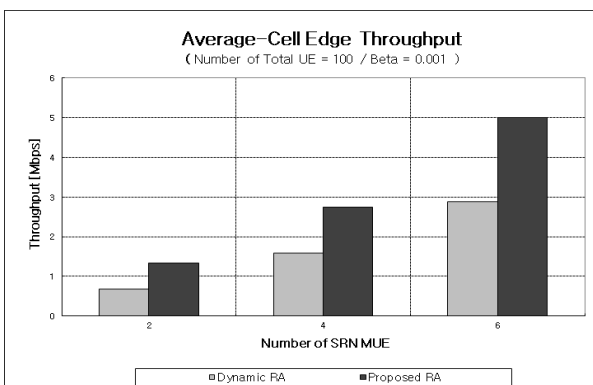


Fig. 13. Comparison of average cell edge throughput according to number of SRN-MUEs for the proposed scheme ($\beta = 0.0001$)

그림 14와 15는 제안 기법을 적용한 경우와 FFR=1인 일반적인 동적 자원할당을 적용한 경우의 SRN DUE의 용량을 비교한 것이다. 그림 14는 β 가 0.9989인 경우로서, SRN의 도움 없이 일반적인 동적 자원할당을 하는 경우 SRN의 영역에 있는 DUE의 용량이 DUE 개수에 따라 약 0~7 Mbps로 확인되었다. 하지만 제안된 자원할당 방법을 적용하는 경우 효과적인 간섭 관리를 통해 SRN 영역 DUE의 용량이 약 10~26 Mbps로 약 4~8배 정도 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 결과를 통해 LTE 하향링크에서 셀 경계에 존재하는 DUE가 3개의 eNB로부터 간섭의 영향을 크게 받는다는 것을 알 수 있다.

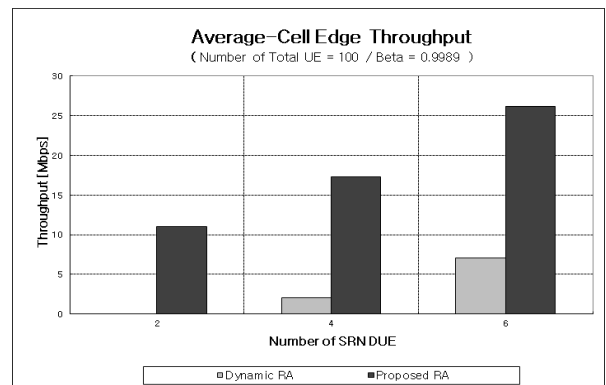


Fig. 14. Comparison of average cell edge throughput according to number of SRN-DUEs for the proposed scheme ($\beta = 0.9989$)

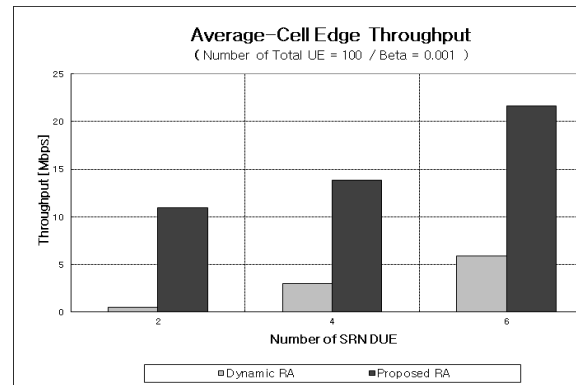


Fig. 15. Comparison of average cell edge throughput according to number of SRN-DUEs for the proposed scheme ($\beta = 0.0001$)

한편 그림 15는 $\beta = 0.0001$ 일 때의 결과이며, 일반적인 동적 자원할당을 하는 경우 SRN DUE의 용량이 개수에 따라 약 0.5~5.8 Mbps이나 제안 기법의 경우 약 10~21 Mbps의 평균용량이 확인되었다. 그림 14의 결과와 비교할 때 최대 평균용량은 5 Mbps 낮게 확인되었고, 최소 평균용량은 소폭 증가

하였다. 이는 PF 스케줄러의 망각인자가 작을수록 각 UE에게 공평하게 자원을 배분하도록 스케줄링 되기 때문에 평균용량이 낮아진 것으로 보인다. 그림 15에서 β 가 0.001인 경우가 β 가 0.9989일 때 보다 공정하게 자원을 분배하기 때문에 DUE의 용량이 낮아지지만, 전체적으로 제안 기법을 적용하는 경우 성능 개선도가 높음을 알 수 있다. 따라서, SRN은 다중 셀로부터 받는 하향링크 간섭을 효율적으로 제어함으로써 DUE의 성능을 크게 개선시켰다고 볼 수 있다.

VI. 결 론

본 논문은 3GPP LTE-Advanced 네트워크에서 셀룰러 링크와 D2D 링크 사이의 간섭을 회피하고 셀 전체 용량을 높이기 위하여 SRN 기반 간섭 관리 방법을 제안하였다. 셀룰러 인프라 구조에 기반하여 셀룰러 스펙트럼을 동일하게 사용하는 D2D 통신은 몇 가지 장점이 있지만, 셀룰러 네트워크 사용자와 동일한 자원을 사용하는 경우 간섭이 생기는 문제점이 있다. 특히, 다중 셀에서 셀 경계에서 D2D 사용자와 셀룰러 사용자 간의 간섭 문제는 셀의 중심부에서보다 훨씬 강도 높게 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 인접한 셀들의 중심에 위치한 SRN이 셀룰러 링크와 D2D 링크 사이에 발생하는 간섭을 효율적으로 관리하는 새로운 방식을 제안하였다. 제안된 SRN은 데이터 재전송 역할을 수행하면서도 인접한 eNB와 UE가 전송하는 제어 신호를 Overhearing해서 셀간 간섭 관리를 수행한다. 본 논문에서는 SRN 기반의 간섭 관리의 구체적인 방안으로 두 가지 간섭 회피 자원할당 방법을 제시하였다. FFR=1인 동적 자원할당 방식을 적용하는 경우 셀 경계 영역에 존재하는 MUE의 성능이 심각히 열화되는데, 제안 자원할당 기법에서는 D2D UE와의 간섭 회피를 위해 셀 경계 영역에 존재하는 MUE에 대해 우선적으로 자원을 할당함으로써 이러한 문제를 극복하였다. 본 논문에서는 제안 기법의 성능 검증을 위해 3GPP LTE-Advanced 하향링크 환경에서 시스템 레벨 모의실험을 수행하였다. 셀 경계 영역 MUE의 평균용량을 비교하면, FFR=1인 동적 자원할당의 경우 0.8~3 Mbps를 확인하였고, 제안 방법을 적용하는 경우 약 1.3~5.9 Mbps로 나타나 제안 방법을 적용하는 경우 약 1.6~1.8배 정도 성능이 높아지는 것을 확인하였다.

References

- [1] T. G. Noh, Y. J. Ko, K. S. Lee, J. Y. Ahn, and Y. J. Kim, "Standardization of 3GPP LTE and LTE-Advanced," *Electron. Telecommun. Trends*, vol. 23, no. 3, pp. 1-9, June 2008.
- [2] R. Schoene, W. Zirwas, and B. H. Walke, "Capacity and coverage analysis of a 3GPP-LTE multihop deployment scenario," in *Proc. ICC 2008*, pp. 31-36, Beijing, China, May 2008.
- [3] R. Schoenen and B. H. Walke, "On PHY and MAC performance of 3G-LTE in a multi-hop cellular environment," in *Proc. WiCOM 2007*, pp. 926-929, Shanghai, China, Oct. 2007.
- [4] T. Koskela, S. Hakola, T. Chen, and J. Lehtomaki, "Clustering concept using device-to-device commun. in cellular system," in *Proc. IEEE WCNC 2010*, Sydney, Australia, Apr. 2010.
- [5] S. Hakola, T. Chen, J. Lehtomki, and T. Koskela, "Device-to-device (D2D) communication in cellular network - performance analysis of optimum and practical communication mode selection," in *Proc. IEEE WCNC 2010*, Sydney, Australia, Apr. 2010.
- [6] P. Janis, V. Koivunen, C. Ribeiro, J. Korhonen, K. Doppler, and K. Hugl, "Interference-aware resource allocation for device-to-device radio underlying cellular networks," in *Proc. IEEE VTC 2009-Spring*, Barcelona, Spain, Apr. 2009.
- [7] M. Zulhasnine, C. Huang, and A. Srinivasan, "Efficient resource allocation for device-to-device communication underlying LTE network," in *Proc. IEEE WiMob 2010*, pp. 368-375, Niagara Falls, Canada, Oct. 2010.
- [8] S. Xu, H. Wang, T. Chen, Q. Huang, and T. Peng, "Effective interference cancellation scheme for device-to-device communication underlying cellular networks," in *Proc. IEEE VTC 2010-Fall*, Ottawa, Canada, Sep. 2010.
- [9] T. Chen, G. Charbit, and S. Hakola, "Time

- hopping for device-to-device communication in LTE cellular system,” in *Proc. IEEE WCNC 2010*, Sydney, Australia, Apr. 2010.
- [10] H. Xing and S. Hakola, “The investigation of power control schemes for a device-to-device communication integrated into OFDMA cellular system,” in *Proc. IEEE PIMRC 2010*, pp. 1775-1780, Istanbul, Turkey, Sep. 2010.
- [11] K. Doppler, C.-H. Yu, C. B. Ribeiro, and P. Janis, “Mode selection for device-to-device communication underlying an LTE-Advanced network,” in *Proc. IEEE WCNC 2010*, Sydney, Australia, Apr. 2010.
- [12] 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.
- [13] P. Janis, V. Koivunen, C. Ribeiro, K. Doppler, and K. Hugl, “Interference- avoiding MIMO schemes for device-to-device radio underlying cellular networks,” in *Proc. IEEE PIMRC 2009*, pp. 2385-2389, Tokyo, Japan, Sep. 2009.
- [14] H. Min, W. Seo, J. Lee, S. Park, and D. Hong, “Reliability improvement using receive mode selection in the device-to-device uplink period underlying cellular networks,” *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, no. 2, pp. 413-418, Feb. 2011.
- [15] S. W. Peters, A. Y. Panah, K. T. Truong, and R. W. Heath, Jr., “Relay architecture for 3GPP LTE-Advanced,” *EURASIP J. Wireless Commun. Networking*, vol. 2009, Article ID 618787, Mar. 2009.
- [16] Y. Song, “Relay station shared by multiple base stations for inter-cell interference mitigation,” *IEEE C802.16m- 08/1436r1*, Nov. 2008.
- [17] Alcatel-Lucent, ASB, CATT, CHITL, CMCC, Huawei, HTC, InterDigital, ITRI, Potevio, Qualcomm, RIM, Samsung, Vodafone, and ZTE, “Way forward on type II relay,” 3GPP TSG RAN WG1 R1-092264, May 2009.
- [18] Alcatel-Lucent and Alcatel-Lucent Shanghai Bell, “Type II relay operation in LTE-A,” 3GPP TSG-RAN WG2 R2-093091, May 2009.
- [19] M. Yang, S. Yoo, O. Shin, and Y. Shin, “Inter-cell interference management scheme using multi-cell shared relay node in 3GPP LTE-Advanced networks,” *Telecommun. Review*, vol. 21, no. 5, pp. 799-818, Oct. 2011.
- [20] T. Peng, Q. X. Lu, H. M. Wang, S. Y. Xu, and W. B. Wang, “Interference avoidance mechanisms in the hybrid cellular and device-to-device systems,” in *Proc. IEEE PIMRC 2009*, pp. 617-621, Tokyo, Japan, Sep. 2009.
- [21] Qualcomm Europe and Vodafone, “Evaluation methodology for LTE-A- heterogeneous networks,” 3GPP TSG-RAN WG1 R1-082554, June 2008.
- [22] 3GPP, “Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS,” 3GPP TR 30.03U ver. 3.2.0, May 1998.
- [23] 3GPP2, “CDMA2000 evaluation methodology,” 3GPP2 CR 1002-A, May 2009.
- [24] ITU-R, “Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000,” ITU-R Recommendation M.1225, Feb. 1997.

양 모 찬 (Mochan Yang)

한국통신학회논문지 Vol. 38, No. 3 참조

오 선 애 (Shanai Wu)

한국통신학회논문지 Vol. 38, No. 3 참조

신 오 순 (Oh-Soon Shin)

한국통신학회논문지 Vol. 38, No. 3 참조

신 요 안 (Yoan Shin)

한국통신학회논문지 Vol. 34, No. 1 참조