

셀룰라 네트워크 환경에서 시스템 레벨 시뮬레이션 기반 단말간 직접통신 성능 분석

이 호 원*, 최 현 호°, 정 수 정*, 장 성 철**, 권 동 승***

Performance Evaluation of Device-to-Device Communications Based on System-Level Simulation in Cellular Networks

Howon Lee*, Hyun-Ho Choi°, Soojung Jung*, Sung-Cheol Chang**, Dong-Seung Kwon***

요 약

최근 셀룰라 네트워크의 주파수 효율을 높이고 다양한 사용자 경험을 제공하기 위하여 단말간 직접 통신(device-to-device, D2D) 기술이 주목을 받고 있다. 본 논문에서는 D2D 관련 표준 및 기존 연구에 대한 선행 조사를 통하여 D2D 통신이 가지는 많은 장점들과 이 장점들이 제대로 실제 시스템에 적용되기 위해서 해결되어야 할 주요 문제점들에 대해서 살펴본다. 특히, 가장 중요시 되는 셀룰라 링크와 D2D 링크간의 간섭 이슈를 고려하여 5가지 D2D 자원할당 및 간섭제어 시나리오에 대해 시스템 레벨 시뮬레이션을 수행한다. 성능 분석 결과, D2D를 사용할 경우에 주파수 재사용 및 데이터 오프로딩(off-loading) 효과로 인해 전체 셀 용량 및 D2D 사용자 전송률이 현저히 증가하며, 이들 성능을 최대화하는 최적 D2D 통신 허용 반경값이 존재함을 알 수 있다.

Key Words : Device-to-device (D2D) communication, System level simulation, Performance evaluation.

ABSTRACT

Recently, device-to-device (D2D) communications have been highlighted to improve the spectral efficiency and offer various user experiences in cellular networks. In this paper, we survey standards and literatures related to the D2D technology and address various advantages of D2D technology, and the problems to be resolved before practically implemented. Especially, by considering an important interference issue between cellular and D2D links, five resource allocation and interference management scenarios are provided and their performances are evaluated through the system level simulations. The simulation results show that the use of D2D significantly improve the cell capacity and the D2D user rate due to the effects of frequency reuse and data off-loading. Notably, it is also shown that an optimal D2D communication range exists to maximize the system performance.

I. 서 론

최근 스마트폰과 스마트패드 사용자들의 급증으로 인해 멀티미디어 및 소셜네트워크 서비스에 대한 수

요가 폭발적으로 증가하고 있다^{1,2)}. 그 결과, 모바일 트래픽이 엄청난 속도로 늘어나고 있으며, 이를 위해 보다 빠른 속도의 차세대 무선통신 서비스에 대한 필요성이 증대되고 있다³⁾. 전 세계적으로 다양한 모바일

※ 본 연구는 방송통신위원회의 방송통신원천기술개발의 연구결과로 수행되었음 (KCA-2012-12-911-04-002)

♦ 주저자 : 국립한경대학교 전기전자제어공학과, hwlee@hknu.ac.kr, 종신회원

° 교신저자 : 국립한경대학교 전기전자제어공학과, hhchoi@hknu.ac.kr, 정회원

* 한국전자통신연구원 무선액세스시스템연구부, sjjung@etri.re.kr

** 한국전자통신연구원 무선액세스시스템연구부, scchang@etri.re.kr

*** 한국전자통신연구원 무선액세스시스템연구부, dskwon@etri.re.kr, 정회원

논문번호 : KICS2013-01-060, 접수일자 : 2012년 1월 28일, 최종논문접수일자 : 2013년 4월 4일

일 기기들의 보급이 급증하고 있기 때문에, 무선 트래픽의 증가 추세는 더욱 가파르게 상승할 것으로 예측된다. Cisco 사의 전망에 의하면 북미에서 모바일 데이터 트래픽의 양은 2009년 대비 2014년에 약 50배 이상 증가할 것으로 예측하고 있다^[1]. 이러한 모바일 환경의 변화에 대응하기 위하여 Massive MIMO, Small Cell Network, Heterogeneous Network, Device-to-Device (D2D) Communication, Cognitive Radio, mmWave, Beamforming, Coordinated Multi-Point transmission/reception (CoMP) 등의 다양한 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

D2D 통신은 인접한 단말들이 기지국을 통하지 않고 직접적인 통신링크를 만들어 서로의 데이터를 송수신할 수 있게 해주는 기술이다. 면허 대역과 비면허 대역에서 모두 활용될 수 있으며 셀룰러 네트워크 환경에서 사용자들의 통신 환경을 개선하는 동시에 자원 활용을 극대화할 수 있는 중요한 기술로 꼽힌다. D2D 통신 기술은 1) 디바이스의 성능을 향상 시킬 수 있으며, 2) 스펙트럼 재사용 효율과 시스템 수율(throughput)을 향상 시킬 수 있고, 3) 데이터 오프로딩(data offloading) 효과를 얻을 수 있으며, 4) 에너지 절감 효과를 얻을 수 있고, 5) 단말 기반 릴레이를 통하여 커버리지를 확장 시킬 수 있으며, 6) 인접한 두 단말의 D2D 통신을 통해 새로운 서비스 발굴이 가능하다. 하지만 이러한 장점을 얻기 위해서는 해결해야 할 여러 문제점들이 존재한다. 예를 들어, 셀룰러 통신과 D2D 통신 사이의 효율적인 자원 배분 문제, D2D 링크 간/D2D와 셀룰러 링크 간 간섭 문제, 목적에 맞는 사용자 디스커버리 문제, 사용 주파수 결정 문제 등 많은 기술적 난제들을 내포하고 있다.

현재 직접통신 서비스를 위하여 3GPP Proximity Services (ProSe), IEEE 802.15.8 Peer Aware Communication (PAC), IEEE 802.11 Wi-Fi P2P, IEEE 802.16 GRIDMAN 등에서 표준화 작업을 활발하게 진행하고 있으며, 학계나 연구소에서도 직접통신의 주요 문제점을 해결하기 위해서 연구를 진행 중에 있다. 3GPP Proximity Services (ProSe)에서 D2D 단말들은 기본적으로 사업자 네트워크의 제어로 동작한다^[4,5]. 네트워크의 커버리지 내의 단말들은 사업자 네트워크의 제어 하에서 근접한 단말들을 발견하고, 근접 단말과 직접 데이터를 주고받을 수 있다. 이와 같이 기지국을 거치지 않고 데이터를 송수신함으로써 네트워크 오프로딩 효과, 간섭 절감 효과 등의 이득을 얻을 수 있다. 3GPP SA에서는 퀄컴(Qualcomm) 주도로 ProSe discovery, ProSe communication을 위한

use-cases와 서비스/시스템 구조를 논의하고 있으며, commercial/social use, network offloading, public safety-용 기술들을 3GPP release 12 규격에서 지원하는 방안을 논의하고 있다.

IEEE 802.15.8 Peer Aware Communication (PAC)의 목표는 기지국의 제어가 없는 환경에서 단말 간 직접통신을 위한 Wireless Personal Area Network (WPAN)용 PHY와 MAC 동작 메커니즘을 개발하는 것이다^[6]. 주로, social networking service를 주된 서비스 시나리오로 고려하고 있으며, 서비스 반경이 1 Km 이내의 영역에서 근접 사용자를 인식하여 단말간 직접통신을 수행한다. LG, 삼성, ETRI, NICT, InterDigital 등 다수의 회사가 use-cases 및 기술들을 위한 표준화 작업에 활발하게 참여하고 있으며, 현재 Task Group (TG) 활동이 진행 중에 있다. 비면허 대역과 면허 대역을 모두 고려하고 있으며, 가장 활발하게 표준화가 진행되고 있는 직접통신 표준 중 하나이다.

Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) 기술은 Wi-Fi Alliance에서 발표한 마케팅 용어로 Wi-Fi Direct라는 이름으로도 불린다. 기존의 Wi-Fi 망에서는 AP를 기반으로 대부분의 데이터 송수신이 이루어진 것에 반해, Wi-Fi P2P는 기존 Wi-Fi 표준 규격의 대부분의 기능을 유지하면서 Wi-Fi 디바이스 간 직접적인 데이터 송수신할 수 있는 기능이 추가되었다^[7,9]. Wi-Fi 통신의 특성상, Wi-Fi P2P도 통신을 위해 비면허 대역을 사용하며, 소프트웨어 기능 업그레이드만으로 디바이스 간 P2P 통신을 사용할 수 있는 장점을 가지고 있다. Wi-Fi P2P에서는 AP와 같은 역할을 수행하는 group owner (GO)와 단말 역할을 수행하는 client들이 다양한 그룹을 형성할 수 있다. GO와 client들은 1:N 접속구조를 가질 수 있으며, 1:1 직접 통신을 수행한다. Wi-Fi P2P에서는 GO 없이 client들 사이에서 직접통신이 불가능하다. 따라서 group 형성 과정이 매우 중요하며, group 형성은 크게 discovery 절차와 group 형성 절차로 이루어져 있다. Discovery 절차를 통하여 P2P 디바이스들은 동일한 주파수 채널에서 서로의 존재를 파악하고, intent 값을 교환하여 group owner와 client 사이에서 서로의 역할을 결정한다^[10].

IEEE 802.16 Greater Reliability In Disrupted Metropolitan Area Networks (GRIDMAN)은 스마트 그리드, 공공안전, 공항의 지상통신, 해안/해양통신 및 감시 응용과의 시너지를 목표로 하는 기술로 재난통신망 구축을 위해 표준화가 진행 중에 있다^[11]. GRIDMAN 기술을 통하여 통신 신뢰성의 증강과 합

계 재난 재해로 인한 위급상황에 대한 대처가 가능하다. Land Mobile Radio (LMR)로의 활용, 재난 상황에서의 망 강건성 제공, 공항/해상 운항 관제 서비스 제공을 대표 3가지 서비스 시나리오로 고려하여 표준화가 진행되고 있다.

본 논문에서는 D2D 관련 표준 및 기존 연구에 대한 선행 조사를 통하여 D2D 통신의 다양한 문제점들에 대해서 살펴보고, 해결해야 할 다양한 기술 이슈를 도출한다. 또한, 가장 문제시 되는 셀룰라 링크와 D2D 링크 간의 자원 관리 및 간섭 제어 이슈에 대해 5가지 D2D 적용 시나리오를 제시하고, 시스템 레벨 시뮬레이션을 통하여 그 문제점과 해결 방안을 살펴본다.

II. 기존 연구 및 D2D 주요 기술 이슈 분석

2.1. 기존 연구 분석

I장에서 언급한 것과 같이, D2D 통신은 인접한 단말들이 기지국을 통하지 않고 직접적인 통신링크를 만들어 서로의 데이터를 송수신할 수 있게 해주는 기술이다. D2D 통신은 셀룰러 네트워크 환경에서 사용자들의 통신 환경을 개선하는 동시에 자원 활용을 극대화할 수 있는 기술로써 학교와 연구소, 산업체에서 그 연구가 매우 활발하게 연구가 진행 중이다. 기본적으로 D2D 통신 기술은 공간적 자원 활용 최적화를 통하여 스펙트럼 재사용 효율과 시스템 수율(throughput)을 향상 시킬 수 있으며, 단말 간 통신을 활용하여 트래픽을 분산시킴으로써 데이터 오프로딩(data offloading) 효과를 얻을 수도 있다. 또한, 거리가 가까운 인접 단말들 간의 직접 통신을 통하여 전송 에너지 절감 효과를 얻을 수 있으며, 기지국과 연결이 어려운 단말들을 위해 전송 릴레이를 통하여 통신 커버리지를 확장하는 효과도 얻을 수 있다. 하지만, 이러한 많은 장점을 가지고 있음에도 불구하고, D2D 통신은 셀룰러 링크/D2D 링크간 자원 배분 문제, D2D 링크와 셀룰러 링크 사이의 간섭 문제, D2D 링크들 간 간섭 문제 등 여전히 해결해야 할 많은 문제점들을 가지고 있다.

Qualcomm은 D2D 통신을 위해 셀룰라와 독립적인 주파수를 사용하는 기술로 FlashlinQ라는 D2D 시스템을 제안하였다^[12]. 이는 Proximity Internet이라고도 불리며 500 m 거리 내에서 인접한 단말들 간의 직접 통신을 지원한다. 크게 discovery와 communication의 두 단계로 이루어져 있으며, 각각을 위한 구체적인 시스템 요구사항과 기술들은 제시하고 있다. Gábor

Fodor는 먼허 대역(licensed spectrum)환경에서 3GPP Long Term Evolution (LTE) 시스템을 기반으로 D2D 통신을 활용할 수 있는 새로운 시스템을 디자인 하고, 근접성을 고려한 효율적 자원 공유 기술을 제안함으로써, 주파수 효율(spectrum efficiency)과 에너지 효율(energy efficiency)이 개선되는 것을 보였다^[13]. 이를 통해 D2D 통신 단말 쌍(pair)과 기지국과 통신하고 있는 단말 사이의 효율적인 간섭관리가 전체 성능에 매우 큰 영향을 끼치는 점을 알려주었다. 아울러, H. Wang과 X. Chu는 거리 제한에 따른 자원 공유 방식(distance-constrained resource-sharing criteria, DRC)을 제안하였다. DRC에서 셀룰라 기지국은 D2D 통신 링크와 셀룰러 수신 단말과의 거리를 고려하여 적절한 셀룰러 수신 단말을 선택함으로써, D2D 통신 링크로의 간섭을 최소화하도록 하였다. 따라서, DRC를 사용할 때 기존 방안 대비 D2D 통신 링크들의 outage probability가 획기적으로 개선됨을 볼 수 있었다^[14]. C.-H. Yu 등은 셀룰라 통신 링크와 D2D 통신 링크가 같은 주파수 자원을 사용하는 환경에서, 직교(orthogonal) 자원 공유 방법과 비직교(non-orthogonal) 자원 공유 방법을 사용할 때의 자원 할당 최적화 문제를 제시하고, 다양한 토폴로지와 환경에 대해서 조건에 따라 최적 솔루션이 존재함을 보여주었다^[15]. 또한 K. Doppler 등은 3GPP LTE-Advanced Network에서 D2D 통신을 적용하기 위하여 SAE(System Architecture Evolution)에서의 동작 과정을 고려한 세션 설정(set-up)과 관리(management)를 위한 메카니즘을 제시하였다^[16]. 링크 간 간섭을 고려하여 D2D 통신을 적용할 경우, 그렇지 않은 경우 대비 50% 이상의 성능 향상이 있음을 시뮬레이션을 통하여 보여주었다. 이와 비슷하게, D2D 통신을 위하여 셀룰러 통신의 자원을 공유하면서 효율적인 자원관리와 간섭관리를 통해 전체 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있는 연구들이 다수 진행되었다^[17-19].

이와 같이, D2D 통신의 많은 문제점들을 해결하기 위한 노력들이 다각적으로 수행되고 있으며, 가장 시급하게 해결해야 할 문제들 중의 하나가 D2D 링크와 셀룰러 링크/D2D 링크와 D2D 링크 사이의 간섭 절감 및 효율적 자원 관리 문제로 보고 많은 연구가 진행되고 있음을 파악할 수 있었다. 본 논문에서도, 간섭 이슈에 주안점을 두고 시스템 레벨 시뮬레이션을 기반으로 성능 분석을 수행한다.

2.2. D2D 주요 기술 이슈 분석

효과적인 D2D 통신을 위해서는 셀룰라 링크와 D2D 링크간 자원 관리 및 간섭 제어, 그리고 인접한 D2D 단말의 탐색(discovery) 및 연결 설정에 대한 효율적인 동작 방안이 필요하다. 여기에서는 이와 같은 D2D 동작을 위해 고려해야 할 주요 기술 이슈에 대해 살펴본다.

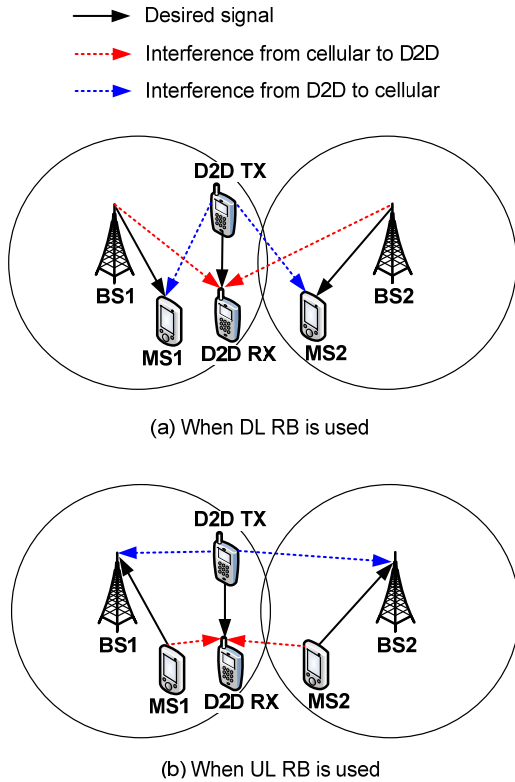


그림 1. 셀룰라와 D2D 링크간의 간섭 구조
Fig. 1. Interference structure between cellular and D2D links

- D2D 자원 할당: D2D 전용 주파수가 정의되어 있지 않다면, D2D 통신은 셀룰라의 하향링크(downlink, DL) 또는 상향링크(uplink, UL) 자원을 재사용해야 한다. 이때 동일 주파수 자원의 재사용으로 인해 셀룰라 링크와 D2D 링크간의 간섭 문제가 발생한다. 그림 1은 D2D가 셀룰라의 어떤 자원을 사용하느냐에 따라 상이한 간섭 구조를 보여준다. DL 자원을 사용할 경우 D2D 수신(Rx) 단말은 높은 파워로 전송하는 BS로부터 간섭을 받지만, UL 자원을 사용할 경우 낮은 파워로 전송하는 MS로부터 간섭을 받는다. 아울러 DL 자원을 재사용할 경우 D2D 송신(Tx) 단말은 셀룰라 MS에게 간섭을 주지만, UL 자원을 재사용할 경우 BS에게 간섭을 준다. 이와

같은 간섭 상황에서 DL과 UL중 어떤 자원을 얼마나 D2D 용으로 할당할지에 대한 결정이 필요하다.

- D2D 간섭 제어: 자원 재사용으로 인한 셀룰라와 D2D 통신간 간섭 문제를 최소화하기 위해서는 셀룰라와 D2D 간에 협력적인 스케줄링을 통해 일부 자원을 분리(coordinated silencing, CS) 하여 간섭 없이 사용하거나, 기지국과 단말이 다중 안테나를 사용할 경우에는 협력적인 빔포밍(coordinated beamforming, CB)을 통해 간섭을 제거할 수 있다. 이와 같은 셀룰라와 D2D간 자원 할당 및 간섭 제어는 매우 중요한 이슈로 D2D를 허용할 경우에 기존 셀룰라 통신의 전송률 및 QoS를 보장하면서도 D2D 통신의 전송률을 최대화해야 한다. 아울러 모든 간섭 제어가 중앙 집중형으로 네트워크에서 이루어진다면 시그널링 오버헤드 및 계산 복잡도가 크게 증가하므로, D2D 단말 스스로 조직화(self-organizing) 하고 분산적으로 동작하는 자원 관리 및 간섭 제어 방식도 같이 고려할 수 있다.
- D2D 탐색 시작의 결정: 기지국 또는 단말은 언제 D2D 탐색을 시작할지 결정해야 한다. 즉, D2D 통신의 필요성이 있는 두 단말의 인접성을 어떠한 조건으로 판단할지 규정해야 한다. 아울러 D2D 통신을 하려는 두 단말 간에 사용하는 Frequency Allocation (FA) 또는 사업자가 다른 경우에 D2D 탐색 시작 과정에서 서로 어떻게 동일 채널에서 만날 것인지(rendezvous problem)에 대한 문제도 고려해야 한다.
- D2D 간 채널 측정을 위한 orthogonal pilot 패턴의 선택: D2D 단말의 탐색을 위해서는 단말 간 채널을 측정해야 한다. 수많은 D2D 통신 pair가 인접하여 존재할 수 있으므로 셀룰라 링크와 D2D 링크를 포함한 모든 인접 통신 링크 간에는 pilot/preamble 패턴이 충돌하지 않도록 지능적인 orthogonal pilot 할당 방식이 필요하다. D2D용 pilot 패턴은 기지국이 결정하여 알려줄 수도 있고, 단말 스스로 주변의 사용 pilot 패턴을 인식하고 사용하지 않는 최적 패턴을 하나 선택할 수도 있으며, 두 방식의 하이브리드로 처음에는 기지국이 결정하고 상황에 따라 단말이 동적으로 변경 사용하는 방식을 취할 수도 있다.
- D2D 연결 시작의 결정: D2D 탐색을 마친 후에 실제 D2D 연결을 시작 할 때, 이를 위한 최적 결정 알고리즘이 필요하다. D2D로의 연결 결정

에는 단말의 이동성, 배터리 잔량, 단말 간 채널 상태 등을 고려하여 D2D 연결 개시 후 원하는 시간동안 D2D 통신이 유지되도록 해야 한다 (즉, ping-pong 현상이 발생하지 않아야 한다). 또한 D2D 통신을 함으로서 셀룰라 통신의 Quality of Service (QoS)에 열화가 발생하지 않아야 하며, 시스템 측면에서 전체 셀 용량이 증대되는 경우에만 D2D 연결을 시작하는 것이 바람직하다.

- D2D 연결 설정 절차의 최적화: 기지국을 통한 연결을 D2D 연결로 변환하기 위해서는 단말의 추가적인 D2D 채널 추정 동작과, 기지국과 단말 사이에 여러 시그널링 절차가 필요하다. 따라서 D2D로의 전환 여부를 잘 결정하는 것 외에도, D2D로의 전환 동작에 필요한 시그널링 절차를 최적화하여 서비스 중단 시간을 최소화해야 한다.

III. 시스템 레벨 시뮬레이션 기반 D2D 성능분석

본 장에서는 앞에서 기술한 주요 D2D 기술 이슈 중 성능에 가장 큰 영향을 미치는 D2D 자원 관리 및 간섭 이슈에 대해서 고찰한다. 시스템 레벨 시뮬레이션을 통해 고려하는 D2D 자원 할당 및 간섭 제어 시나리오 대하여 SINR 및 셀 용량 측면에서 성능을 도출하고, 전체적인 비교 분석을 통해 D2D 적용 시 전체 셀 성능을 극대화 할 수 있는 D2D 자원 관리 방안을 제시한다.

3.1. 시뮬레이션 환경 및 시나리오

표 1은 사용한 시뮬레이션 파라미터를 보여준다. 기본적으로 셀 토폴로지, 채널 모델링, 기지국 및 단말 관련 파라미터들은 3GPP 36.814 표준의 시스템 레벨 시뮬레이션 방법론을 준수하였다^[20]. D2D 환경을 위해 전체 57개의 각 셀 영역 내에 10개의 UL 단말, 10개의 DL 단말, 20개의 DiL(Direct Link) 단말 (즉, 10개의 D2D Tx-Rx pair)이 uniform-random 하게 설치된다. 이때 DiL 단말 쌍의 설치를 위해 Tx 단말을 먼저 셀 내에 무작위로 설치하고, 설치된 각 Tx 단말을 기준으로 주변 DiL user deployment range 내에서 무작위로 Rx 단말을 설치한다^[13]. 이렇게 설치된 Tx-Rx 쌍들 간의 물리적인 거리가 D2D communication range 보다 작다면 DiL 단말이 되고, 그렇지 않으면 Tx 단말은 셀룰라 UL 단말로 Rx 단말은 셀룰라 DL 단말로 귀속된다^[12]. 따라서 D2D 단말

개수는 R로 표현되는 D2D communication range 값에 영향을 받게 되는데, R=0이면 D2D 단말 쌍은 존재하지 않고, R이 증가하여 초기 설치시 사용한 DiL user deployment range와 같아지면 모든 DiL 단말은 D2D 통신을 하게 된다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Assumption
Macrocell layout	Hexagonal 19 cells, 3 sectors per cell
Inter-BS distance	500 m
Number of MSs per sector	40 (10 UL users, 10 DL users, 20 DiL users)
DiL user deployment range	100 m
D2D communication range (R)	Variable (10~100m)
Minimum distance btw. BS and MS	35 m
Minimum distance btw. MS and MS	3 m
Carrier frequency / Bandwidth	2 GHz / 10 MHz
BS transmission power	46 dBm
MS transmission power	23 dBm
Path loss between BS and MS	128.1+37.6log ₁₀ R [dB], R in km
Path loss between MSs	140.7+36.7log ₁₀ R [dB], R in km
BS antenna pattern	3D pattern of Table A.2.1.1-2 in [20] (BS antenna gain=14 dB, antenna tilt=15 degree)
MS antenna pattern	0 dB (omni-directional)
BS/MS height	32 m / 1.5 m
Shadowing standard deviation	8 dB
Penetration Loss	20 dB
Noise figure	9 dB
Traffic model	full buffer
Number of UL/DL RBs	100 / 100
Ratio of coordinated silencing	0.5
DiL CS threshold	30 m

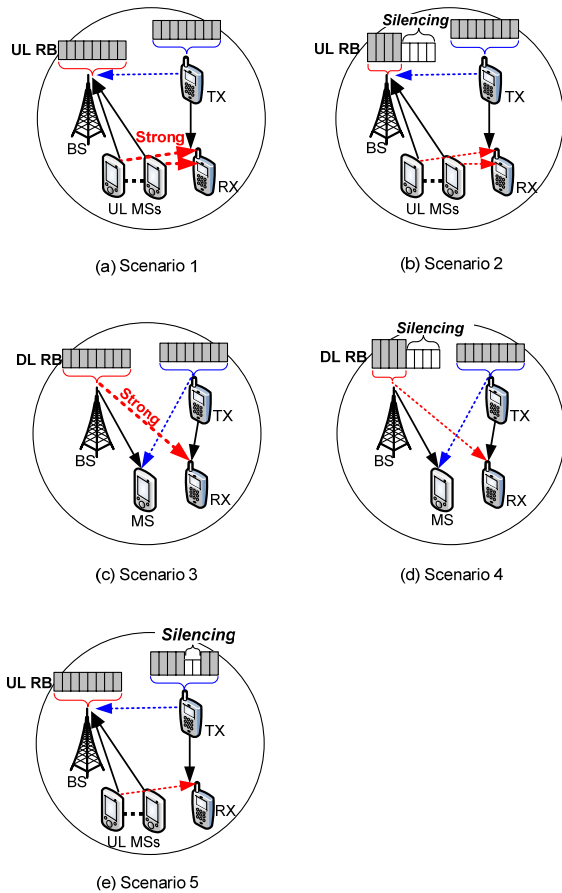


그림 2. 고려하는 D2D 자원 할당 및 간섭 제어 시나리오
Fig. 2. Considered scenarios for D2D resource allocation and interference control

D2D 통신을 위한 자원으로 UL 또는 DL resource block (RB)을 사용할 수 있다. 자원 관리를 위해 UL 또는 DL RB를 중첩 사용할 경우에 발생하는 간섭을 줄이기 위해서 셀룰라 UL 및 DL RB의 일부를 사용하지 않는 coordinated silence (CS) 방식을 적용한다. 아울러 DiL 단말이 UL RB를 사용할 경우에 주변 UL 단말로부터 강한 간섭을 받는 경우에 해당 자원 영역에 대해서는 스스로 회피하는 DiL CS 방식도 고려한다.

그림 2는 고려하는 5가지 D2D 자원 할당 및 간섭 제어 시나리오를 보여주며 다음과 같이 구분된다.

- 시나리오 1: D2D 통신을 위해 UL RB를 중첩 사용한다.
- 시나리오 2: D2D 통신을 위해 UL RB를 중첩 사용한다. 이때 셀룰라는 UL RB의 일부를 사용하지 않으며(UL CS 수행), CS를 함으로써 남은 단말의 파워는 사용하는 셀룰라용 UL 자원 영역에 더해진다.
- 시나리오 3: D2D 통신을 위해 DL RB를 중첩

사용한다.

- 시나리오 4: D2D 통신을 위해 DL RB를 중첩 사용한다. 이때 셀룰라는 DL RB의 일부를 사용하지 않으며(DL CS 수행), CS를 함으로써 남은 기지국의 파워는 사용하는 셀룰라용 DL 자원 영역에 더해진다.
- 시나리오 5: D2D 통신을 위해 UL RB를 중첩 사용한다. 이때 D2D 단말은 강한 간섭을 받는 RB에 대해서는 사용하지 않는 DiL CS 방식을 사용하며, CS를 함으로써 남은 파워는 다른 D2D용 RB에 더해진다. 성능 평가시 강한 간섭을 받는 조건은 간섭원과 수신단의 거리가 DiL CS threshold 보다 작은 경우로 결정한다.

3.2. D2D 성능 결과

그림 3은 D2D가 UL 자원을 사용할 때(시나리오 1) D2D 통신 반경(R)에 따른 DL, UL, DiL 링크의 SINR과 전송률의 분포를 보여준다. R=0인 경우에는 D2D를 하지 않으며, R이 증가할수록 D2D 단말 수가 증가한다. D2D 단말은 UL 자원을 사용하므로 D2D 단말의 증가는 UL 단말들에게 더 많은 간섭을 일으킨다. 따라서 R이 증가할수록 UL SINR이 감소하며 같은 양상으로 UL 전송률도 감소한다. DL의 경우 DiL과는 별도의 주파수 자원을 사용하므로 R 값에 상관없이 SINR이 일정하다. 하지만 DL 전송률의 경우 R이 증가할수록 UL 전송률과는 달리 오히려 증가하는데, 이는 R 증가에 따라 DiL 단말 수가 증가하므로 전체 DL 단말 수가 줄어들어(즉, offloading 효과) 각 DL 단말은 더 많은 DL RB를 사용하게 되고, 이에 따라 DL 사용자 전송률이 증가하게 된다. UL과 마찬가지로 R이 증가할수록 DiL도 SINR과 전송률이 둘 다 나빠진다. 그런데 DiL의 경우 R이 증가할수록 D2D Tx-Rx 단말간의 평균 거리가 증가하면서 link budget이 나빠지므로 전송률 감소 정도가 더 크게 나타난다.

그림 4는 D2D가 UL 자원을 사용할 때 UL CS의 사용 유무와 D2D 통신 반경(R)에 따른 DiL SINR 분포를 보여준다. UL CS를 할 경우에 UL 단말은 일부 자원을 사용하지 않으므로 DiL 단말에게 미치는 간섭이 줄어든다. 따라서 UL CS를 한 경우에 SINR이 개선된다. 아울러 R이 커질수록 SINR 향상 정도가 줄어들는데, 이는 R이 증가할수록 DiL의 신호의 세기가 작아져 UL CS를 통해 감소되는 간섭 효과가 상대적으로 줄어들기 때문이다.

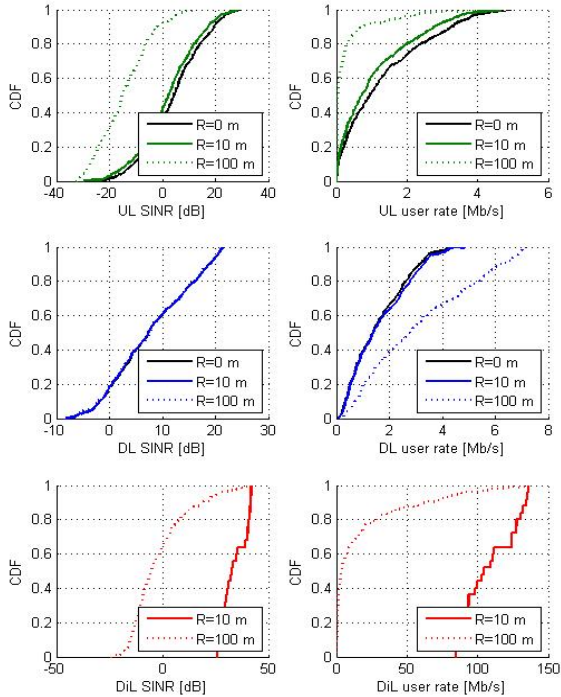


그림 3. UL 자원 사용 시 각 링크의 SINR 및 전송률 분포 (시나리오 1)
 Fig. 3. Distributions of SINR and rate in each link when UL RB is used (Scenario 1)¹⁾

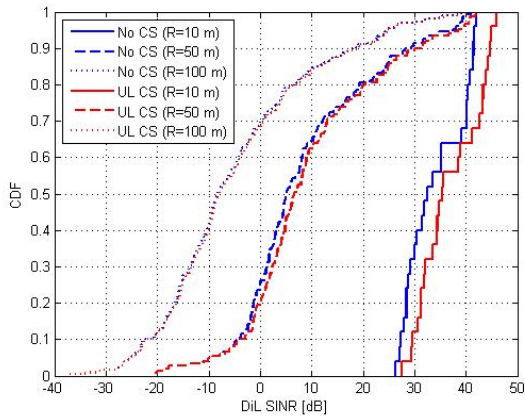


그림 4. UL CS 사용 유무와 D2D 통신 반경에 따른 DiL SINR 분포 (시나리오 1과 2 비교)
 Fig. 4. Distribution of DiL SINR according to D2D communication range and the use of UL CS (Comparison of scenarios 1 and 2)

1) D2D가 DL RB를 중첩 사용할 때 DiL CS를 적용하지 않은 이유는 DL 간섭은 고정된 위치의 기지국으로부터 발생하기 때문에 모든 RB 영역에서 똑같은 양의 간섭을 받으므로 RB 단위로 회피할만한 강한 간섭이 없기 때문이다.

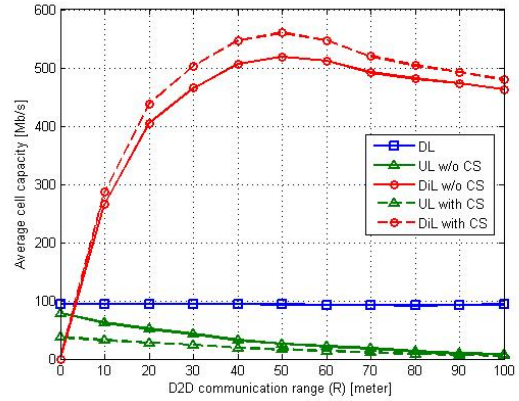


그림 5. UL CS 사용 유무와 D2D 통신 반경에 따른 평균 셀 용량 (시나리오 1과 2 비교)
 Fig. 5. Average cell capacity vs. D2D communication range according to the use of UL CS (Comparison of scenarios 1 and 2)

그림 5는 D2D가 UL 자원을 사용할 때 UL CS 사용 유무와 D2D 통신 반경(R)에 따른 평균 셀 용량을 보여준다. DL의 경우 R 값에 상관없이 일정한 전송용량을 보여준다. UL의 경우 기본적으로 DL 보다 낮은 셀 용량을 보이면서 R이 증가할수록 DiL 수가 늘어나 간섭이 증가하므로 성능이 점점 감소한다. CS를 할 경우에는 자원의 절반만 사용하므로 약 50%의 용량 감소가 발생한다. DiL의 경우 R이 증가할수록 DiL 수가 증가하여 주파수 재사용 이득(reuse gain)이 발생하므로 전체 DiL 용량이 증가한다. 하지만 R이 50 m 이상으로 증가하면 DiL간 간섭 영향이 재사용 이득보다 커져 성능이 오히려 감소하기 시작한다. 따라서 R 값에 따라 재사용 이득과 간섭량 간에 트레이드 오프(tradeoff) 관계가 있으며, 최적 성능을 보이는 D2D 통신 반경이 존재함을 알 수 있다.

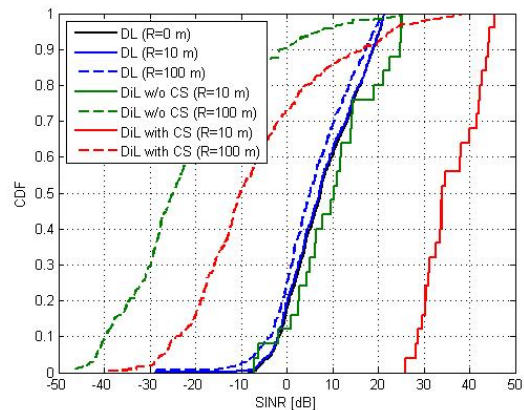


그림 6. DL CS 사용 유무와 D2D 통신 반경에 따른 DL과 DiL의 SINR 분포 (시나리오 3과 4 비교)
 Fig. 6. Distributions of DL SINR and DiL SINR according to D2D communication range and the use of DL CS (Comparison of scenarios 3 and 4)

그림 6은 D2D가 DL 자원을 사용할 때 DL CS 사용 유무와 D2D 통신 반경(R)에 따른 DL과 DiL의 SINR 분포를 보여준다. DL의 경우 R 증가에 따라 SINR이 다소 나빠지는 반면, DiL의 경우 R 증가에 따라 SINR이 급격히 나빠진다. 이 이유는 BS는 전송 파워가 MS에 비해 23 dB (200배) 크고 antenna gain이 존재하므로 DL의 경우 DiL에 비하여 link budget이 매우 좋기 때문에 D2D 단말 증가로 인한 간섭 영향이 작기 때문이다. 하지만 DiL의 경우 D2D간 간섭 증가 및 D2D Tx-Rx 간 거리가 멀어짐에 따라 SINR이 크게 감소하게 된다. DL의 경우 DL CS 유무에 관계없이 SINR은 같은 분포를 갖지만, DiL의 경우 DL CS를 한 경우에 기지국으로부터 받는 간섭량이 줄기 때문에 SINR이 개선된다. 그림 4의 UL CS를 하는 경우와 비교하여 DL CS를 할 경우 성능 개선 폭은 크지만, SINR 값은 UL RB를 사용하는 경우에 더 좋다. 이는 높은 파워와 안테나 이득을 갖는 기지국으로부터 받는 DL 간섭이 단말로부터 받는 UL 간섭보다 크기 때문이다.

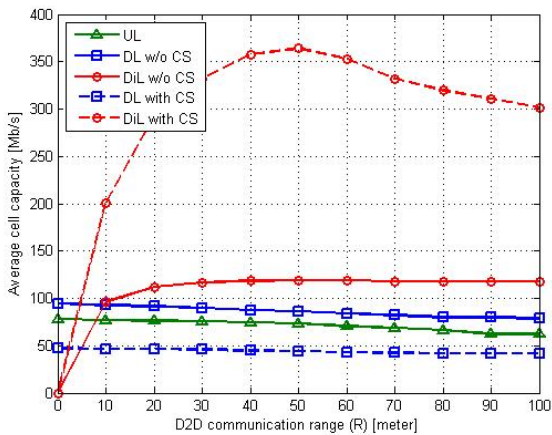


그림 7. DL CS 사용 유무와 D2D 통신 반경에 따른 평균 셀 용량 (시나리오 3과 4 비교)
Fig. 7. Average cell capacity vs. D2D communication range according to the use of DL CS (Comparison of scenarios 3 and 4)

그림 7은 D2D가 DL 자원을 사용할 때 DL CS 사용 유무와 D2D 통신 반경(R)에 따른 평균 셀 용량을 보여준다. DL의 경우 R이 증가함에 따라 D2D 단말 수가 증가하여도 간섭 영향이 적어 성능이 약간 감소하는 수준에 그치며, DL CS를 하는 경우 자원의 절반을 사용하지 않으므로 약 50%의 용량 감소가 발생한다. DL CS를 하지 않는 경우에는 기지국으로부터의 간섭이 커서 낮은 DiL 성능을 보이며, 셀룰라 기지국의 간섭 세기가 D2D 간 간섭보다 상대적으로 커서 R

값 증가에 따른 성능 이득 및 감소 정도가 크지 않다. 하지만 DL CS를 하는 경우에는 기지국으로부터 받는 간섭량이 크게 줄어들어 R 값 증가에 따라 DiL 성능이 크게 변한다. UL RB를 재사용할 때와 마찬가지로 R이 증가할수록 주파수 재사용 이득에 의해 DiL 전송 용량이 증가하지만 50 m 이상으로 증가하면 DiL간 간섭 영향에 의해 성능이 감소한다. 그림 5의 결과와 비교하면 DiL이 DL 자원을 재사용하는 경우에는 기지국으로부터 받는 강한 간섭으로 인해 기본적인 DiL 성능이 낮으며, 대신 DL CS를 함으로써 얻는 성능 이득률은 크다.

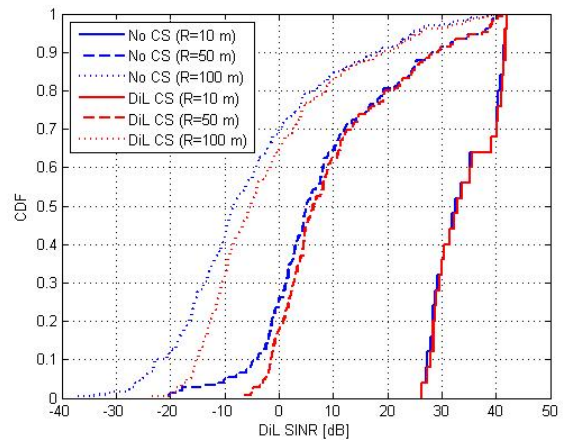


그림 8. DiL CS 사용 유무와 D2D 통신 반경에 따른 DiL SINR 분포 (시나리오 1과 5 비교)
Fig. 8. Distribution of DiL SINR according to D2D communication range and the use of DiL CS (Comparison of scenarios 1 and 5)

그림 8은 D2D가 UL 자원을 사용할 때 DiL CS의 사용 유무와 D2D 통신 반경(R)에 따른 DiL SINR 분포를 보여준다. DiL CS를 할 경우에 DiL은 주변 UL 단말로부터 강한 간섭을 받는 RB를 사용하지 않고 해당 RB에 할당하였던 파워를 다른 D2D용 RB에 할당하게 된다. 따라서 DiL CS를 사용함에 따라 DiL SINR이 향상된다. 그림 4의 UL CS를 사용할 때의 결과와는 달리 DiL CS를 사용하는 경우에는 R 값이 클수록 얻는 SINR 이득이 큰데, 이는 R이 커질수록 신호 성분의 세기가 작아지는 것과 비교하여 제거되는 UL 간섭 수가 증가하기 때문이다.

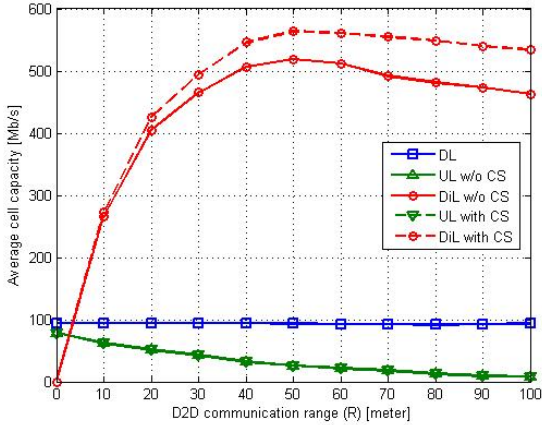


그림 9. DiL CS 사용 유무와 D2D 통신 반경에 따른 평균 셀 용량 (시나리오 1과 5 비교)
 Fig. 9. Average cell capacity vs. D2D communication range according to the use of DiL CS (Comparison of scenarios 1 and 5)

그림 9는 D2D가 UL 자원을 사용할 때 DiL CS의 사용 유무와 D2D 통신 반경(R)에 따른 평균 셀 용량을 보여준다. 전체적인 경향은 그림 4와 비슷한데, DiL CS를 사용하는 경우 UL은 CS를 하지 않고 전체 UL RB를 다 사용하므로 전송률에 영향을 받지 않아 CS 유무에 상관없이 비슷한 성능을 보인다. 이때 DiL CS 사용 여부에 따른 UL 성능을 비교하면 DiL CS로 인해 사용하지 않는 RB에 할당된 일부 파워 자원이 다른 RB에 추가 할당되어도 이로 인한 간섭 증가 효과는 거의 없음을 알 수 있다. 반면 DiL 성능의 경우 DiL CS를 수행함에 약간의 성능이 증가한다. 이 성능 증가폭은 그림 4의 UL CS를 한 경우와 비슷하지만 R 값이 커짐에 따라 좀 더 나은 성능을 보여준다.

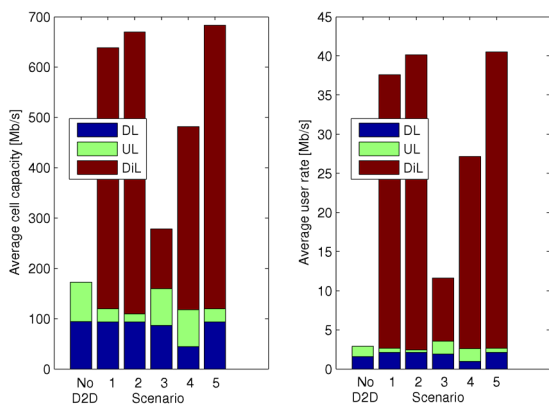


그림 10. 시나리오 별 평균 셀 용량 및 사용자 전송률 (R=50 m 일 때)
 Fig. 10. Average cell capacity and user rate in each scenario when R=50 m

그림 10은 최적 성능을 갖는 R=50 m에서 D2D를

사용하지 않을 때와 각 D2D 시나리오 별로 평균 셀 용량 및 사용자 전송률을 보여준다. D2D를 사용함으로써 주파수 재사용으로 인해 전체 셀 용량 및 사용자 전송률이 현저히 증가한다. UL 자원을 재사용하는 것이 DL 자원을 재사용하는 것보다 DL 성능의 감소 없이 전체적으로 더 높은 셀 용량 및 사용자 전송률을 보인다. 이는 기본적으로 DL 간섭이 기지국으로부터 발생하기 때문에 간섭 세기가 UL 간섭보다 크고 셀 전체 영역에 미치기 때문이다. 아울러 UL CS와 DL CS를 함으로써 각각 UL과 DL 성능에 손해를 보지만 전체 성능을 더 증가시킬 수 있다. 하지만 DiL CS를 한 경우에 DL과 UL 성능의 손해 없이 DiL 용량 및 사용자 전송률을 높일 수 있기 때문에 가장 좋은 성능을 보인다. 사용자 전송률의 경우에도 셀 용량과 비슷한 양상을 보이며, D2D로의 offloading 효과로 인해 DL 및 UL 사용자 전송률이 향상되는 효과를 볼 수 있다. DiL, DL, UL 순으로 성능이 좋은데, DiL의 사용자 전송률이 특히 높은 이유는 D2D Tx-Rx 단말간 거리가 상대적으로 DL과 UL 보다는 가까워 link budget이 좋기 때문이며, DiL의 경우 D2D 링크 개수 만큼 주파수 자원이 재사용되기 때문이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 D2D 관련 표준 및 기존 연구에 대한 선행 조사를 통하여 D2D 통신의 다양한 문제점들에 대해서 살펴보고, 해결해야할 다양한 기술 이슈를 도출하였다. 또한, 가장 문제시 되는 셀룰라와 D2D 링크간의 자원 관리 및 간섭 이슈를 고려하여 5가지 시나리오를 제시하고 시스템 레벨 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 D2D를 사용할 경우에 주파수 재사용 및 offloading 효과로 인해 전체 셀 용량 및 사용자 전송률이 현저히 증가함을 볼 수 있었다. D2D 통신을 위해서는 UL 자원을 재사용하는 것이 간섭 및 트래픽 load balancing 측면에서 유리하며, D2D 링크의 위치에 따라 기회적으로 강한 간섭을 회피하는 DiL CS 방식을 사용하는 것이 가장 좋은 성능을 보였다. 아울러 설정하는 D2D 통신 반경에 따라 주파수 재사용률과 간섭량 간의 트레이드오프 관계가 존재하며, 성능을 최대화하는 최적 D2D 통신 반경이 존재함을 알 수 있었다. 이와 같은 연구 결과는 향후 D2D 기반의 이동통신 시스템의 기술적 난제를 해결하는데 활용 가능하다. 추후 연구 이슈로 언급한 다른 D2D 기술 이슈들을 추가 고려하여 관련 알고리즘을 제안하고 성능 분석을 시도할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] Cisco, "Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update, 2009-2014," Feb. 2010.
- [2] J. Huh, "An era of mobile-data explosion, how to prepare?," *KT Digieco Focus*, pp. 1-18, July 2011.
- [3] P. J. Song and S. H. Park, "Trends of wireless access technologies towards future IMT," *ETRI Electron. Telecommun. Trends*, vol. 27, no. 5, pp. 85-94, Oct. 2012.
- [4] 3GPP, "3rd Generation Partnership Project; technical specification group services and system aspects; feasibility study for proximity services (ProSe) (Release 12)," TR 22.803 v12.0.0, Dec. 2012.
- [5] D. G. Kim, E. Chang, J. Kim, and S. Jang, "Trend and perspective of device-to-device (D2D) communications," *KCA PM Issue Report*, vol. 1, no. 2, pp. 1-22, Aug. 2012.
- [6] IEEE, *Introduction to Peer Aware Communications (PAC): A Study Group of IEEE 802.15 WG(2012)*, Retrieved Jan., 2012, from <http://mentor.ieee.org/802.15>.
- [7] Wi-Fi Alliance, *Wi-Fi CERTIFIED Wi-Fi Direct™*(2010), Retrieved Oct., 2010, from <http://www.wi-fi.org/discover-and-learn/wi-fi-direct>.
- [8] Wi-Fi Alliance, *Wi-Fi Peer-to-Peer (P2P) Technical Specification Version 1.1*(2010), Retrieved Oct., 2010, from <http://www.wi-fi.org/knowledge-center>.
- [9] Wi-Fi Alliance, *Wi-Fi Direct System interoperability Test Plan Version 1.0.3*, (2012) Retrieved Feb., 2012, from <http://www.wi-fi.org/knowledge-center>.
- [10] J. S. Ma and J. H. Lee, "Understanding Wi-Fi P2P technical specification," *ETRI Electron. Telecommun. Trends*, vol. 26, no 5, pp. 74-82, Oct. 2011.
- [11] J. Son, "Technologies and standard activities of WiMAX based disaster communications," *J. TTA*, vol. 131, no. 9, pp. 74-77, Sep. 2010.
- [12] M. Scott Corson, Rajiv Laroia, Junyi Li, Vincent Park, Tom Richardson, and George Tsirtsis, "Toward Proximity-Aware Internetworking," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 17, no. 6, pp. 26-33, Dec. 2010.
- [13] G. Fodor, E. Dahlman, G. Mildh, S. Parkvall, N. Reider, G. Miklós, and Z. Turányi, "Design aspects of network assisted device-to-device communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 3, pp. 170-177, Mar. 2012.
- [14] H. Wang and X. Chu, "Distance-constrained resource-sharing criteria for device-to-device communications underlying cellular networks," *IEEE Electron. Lett.*, vol. 48, no. 9, pp. 528-530, Apr. 2012.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] T.-S. Kim, S.-J. Lee, C.-H. Lim, S. Ryu, and C.-H. Cho, "A novel frequency planning and power control scheme for device-to-device communication in OFDMA-TDD based cellular networks using soft frequency reuse," *J. KICS*, vol. 37A, no. 10, pp. 885-894, Oct. 2012.
- [19] Y. J. Hwang, K. W. Sung, and S.-L. Kim, "Feasibility of massive device-to-device communications in cellular networks," *J. KICS*, vol. 37B, no. 12, pp. 1091-1101, Dec. 2012.
- [20] 3GPP, "Further advancements for E-UTRA

physical layer aspects (Release 9),” 3GPP TR 36.814 V9.0.0, Mar. 2010.

이 호 원 (Howon Lee)



2003년 2월 KAIST 전자전산학과 졸업
2009년 8월 KAIST 전기및전자공학과 박사(석박사 통합)
2009년 6월~2010년 2월 KAIST IT융합연구소 선임연구원

2010년 3월~2012년 2월 KAIST IT융합연구소 팀장
2010년 7월~2012년 2월 KAIST IT융합연구소 연구조교수
2012년 3월~현재 국립한경대학교 전기전자제어공학과 조교수
2012년 3월~현재 KAIST IT융합연구소 겸직교수
<관심분야> 차세대 무선통신, 직접통신, N-스크린서비스, 지식융합기술

최 현 호 (Hyun-Ho Choi)

2001년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 졸업
2003년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 석사



2007년 2월 KAIST 전기 및 전자공학과 박사
2007년 3월~2011년 2월 삼성종합기술원 전문연구원
2011년 3월~현재 국립한경대학교 전기전자제어공학과 조교수

<관심분야> 매체접속제어, 분산자원관리, 저전력 프로토콜, 차세대 무선통신시스템

정 수 정 (Soojung Jung)



1998년 8월 고려대학교 전자공학과 졸업
2001년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
2001년 2월~현재 한국전자통신연구원 통신인터넷연구부

<관심분야> 차세대 무선통신, 직접통신

장 성 철 (Sung-Cheol Chang)



1992년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
1994년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1999년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
1999년~현재 한국전자통신연구원 통신인터넷부

무선분산접속연구실장
<관심분야> 이동통신 무선접속 프로토콜 등

권 동 승 (Dong-Seung Kwon)



1985년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업
1987년 2월 연세대학교 전자공학과 석사
2004년 2월 연세대학교 전자공학과 박사
1988년~현재 한국전자통신연구원 통신인터넷연구부

무선액세스시스템연구부장
<관심분야> 이동통신 시스템 및 무선전송기술