

# 셀룰러 망에서 Proximity Service를 위한 효율적인 셀 간 간섭 완화 방안

## An Efficient Inter-Cell Interference Mitigation Scheme for Proximity Service in Cellular Networks

김 차 주\* · 민 상 원\*\*

\* 주저자 : 광운대학교 전자통신공학과 석사

\*\* 교신저자 : 광운대학교 전자통신공학과 교수

Cha-Ju Kim\* · Sang-Won Min\*\*

\* Dept. of Electronics & Communications Eng., Univ. of Kangwoon

\*\* Dept. of Electronics & Communications Eng., Univ. of Kangwoon

† Corresponding author : Sang Won Mim, min@kw.ac.kr

Vol.17 No.1(2018)

February, 2018

pp.100~113

ISSN 1738-0774(Print)

ISSN 2384-1729(On-line)

<https://doi.org/10.12815/kits>

2018.17.1.100

Received 5 December 2017

Revised 4 January 2018

Accepted 14 February 2018

© 2018. The Korea Institute of  
Intelligent Transport Systems. All  
rights reserved.

### 요 약

네트워크 수요량 향상 방안 중 가장 주목받고 있는 Proximity Service는 주파수 사용의 효율성 증대를 위해 대부분 주파수 재사용 방식을 사용한다. 그 결과 셀 edge에서 셀룰러 사용자의 Proximity Service 사용자의 셀 간 간섭 문제가 발생한다. 본 논문에서는 eNB에 Proximity Function의 기능과 파라미터를 새롭게 정의하고, ProSe 파라미터와 ProSe user equipment에 대한 정보를 X2 인터페이스를 통해 인접 셀과 교환하게 함으로써 셀 간섭 완화 방안을 제안한다. 우선 ProSe 탐색 과정에서 주파수 센싱을 통해 셀 간 간섭 문제를 일으키지 않을 자원을 할당한다. 그리고 ProSe 통신 상황에서는 ProSe application code, ProSe application QoS, ProSe application ID의 validity timer를 기반으로 간섭을 일으키지 않을 적합한 자원을 재 할당함으로써 셀 간 간섭 문제를 해결한다.

핵심어 : Proximity Service, ProSe Function, 셀 간 간섭, 셀룰러 통신망, 자원 재할당

### ABSTRACT

The Proximity Service, which is one of the most popular network capacity improvement methods, uses the frequency reuse in order to increase the frequency efficiency. As a result, inter-cell interference between cellular and proximity service users occurs at a cell edge. In this paper, we proposed a mitigation scheme for inter-cell interference, where we suggested a new function of and eNB with ProSe function exchanging information about ProSe parameters and ProSe user equipment with neighboring cells via the X2 interface. As the first step, the resource which did not cause the inter-cell interference problem were pre-allocated through the frequency sensing in the ProSe direct discovery. As the next step, the inter-cell interference problem was solved by reallocating appropriate resources based on the ProSe application code, the ProSe application QoS, the ProSe application ID and validity timer in ProSe direct communication.

Key words : Proximity Service, ProSe Function, Inter-cell Interference, Cellular Networks, Resource Relocation

## I. 서론

모바일 네트워크 사용자의 다양한 요구사항 증가와 함께 네트워크 수용량 향상에 필요성이 증가하였다. 현재 mmWave, 셀룰러 네트워크에서 스몰 셀 전개, 무선 주파수 인식을 기반으로 하는 주파수 공유, D2D (device-to-device) 통신이라 불리는 직접 통신과 같은 다양한 해결책이 제시되고 있다. 이 중에서 가장 주목되고 있는 해결책은 D2D 통신이다(Belleschi et al., 2011). D2D 통신은 현재 3GPP(Third Generation Partnership Project)와 ITU(International Telecommunication Union)에서 셀룰러 네트워크를 기반으로 다양한 표준화가 진행 중이며, 3GPP에서는 D2D 통신을 ProSe(Proximity Service)로 명명하여 표준화를 진행 중이다(3GPP TS 23.303, 2016).

Proximity Service에서 주파수는 주로 업 링크, 다운 링크, 또는 두 링크를 동시에 사용하는 방식이 가능하지만, 대부분의 Proximity Service의 관련 연구에서는 업 링크 자원을 주로 사용한다(Mach et al., 2015)(3GPP TS 36.300, 2016). 업 링크는 다운 링크에 비하여 충분히 활용되지 않고 남은 여분의 주파수 공간을 가지고 있으며, 업 링크는 다운 링크에 비하여 간섭을 받는 ProSe 사용자의 문제 해결이 더 쉽다는 이점을 갖는다(Min et al., 2011).

Proximity Service의 셀룰러 네트워크 도입에 있어서 가장 큰 이슈는 셀룰러 사용자와 ProSe 사용자 간의 주파수 공유로 인한 간섭 문제 해결이다. Proximity Service는 대부분 셀룰러 서비스와 주파수를 공유하여 사용한다. 그러나 이러한 주파수 공유 방식은 ProSe 사용자와 셀룰러 사용자에게 상호적으로 강한 간섭을 발생시키며 셀룰러 사용자의 QoS 보장에 큰 문제를 발생시킨다. 이를 해결하기 위해 현재 파워 컨트롤, 자원 관리, 스케줄링, 클러스터링과 같은 다양한 방식의 간섭 해결책이 제시되고 있다(Mach et al., 2015; Liu et al., 2015; Asadi et al., 2014). 그러나 대부분의 간섭 문제는 단일 셀 내부에 한정되어 해결되고 있다. 이러한 간섭 문제는 셀 내부 간섭 문제 뿐 만이 아니라 셀 간 간섭이 더 큰 간섭 문제를 발생시키며, 셀 간 간섭 문제 또한 반드시 해결되어야 한다.

본 논문에서는 이전에 제시된 셀 내부 간섭 문제 해결방안에서 한발 더 나아가 셀 간 간섭 문제 해결방안에 대해 제시하고자 한다. 셀 내부에서의 간섭 문제 해결책은 공통적으로 단일 eNB(evolved-nodeB)에서 자원을 효율적으로 관리하는 방식으로 해결한다. 그러나 인접 셀과 동일한 주파수를 사용하는 셀룰러 네트워크의 특성은 단지 단일 셀의 자원 관리뿐만 아니라 인접 셀 간의 협력을 필요로 한다.

이를 위하여 본 논문에서는 3GPP에서 정의한 ProSe Function의 ProSe application code와 그 밖의 여러 파라미터를 eNB에게 관리하도록 제안한다. 이와 함께 ProSe application QoS를 새롭게 정의하고 관리함으로써 간섭 상황에서 새로운 자원을 재 할당하는데 판단근거로 사용하게 한다. 이러한 ProSe 파라미터를 기반으로 eNB의 자원 관리 방안에 대해 제시하고, ProSe 탐색과 ProSe 통신 상황에서 간섭 완화 방안을 제시한다.

ProSe 탐색 상황에서는 Proximity Service를 사용하고자 하는 UE(user equipment)들에게 사용가능한 주파수를 탐색하게 하고, 간섭 발생시키지 않을 가장 적합한 자원을 eNB가 선택하여 할당한다. 그 다음 eNB가 ProSe application code와 본 논문에서 정의한 ProSe application QoS 및 그 밖의 ProSe 파라미터를 관리하고, 인접 셀과 공유하여 셀 간 간섭 발생을 방지한다.

ProSe 통신 상황에서는 UE들의 이동에 따라 새롭게 발생할 수 있는 간섭 문제를 자원 재 할당 방식으로 해결한다. 자원 재 할당 방식은 총 3가지로 나뉜다. 첫 번째는 공유된 자원 중에서 사용가능한 자원을 재 할당한다. 두 번째는 사용가능한 공유된 자원이 없다면 ProSe monitoring UE의 셀룰러 자원을 해제시키고 ProSe 통신에 할당한다. 세 번째는 사용가능한 자원이 없다면 공유된 자원 중에서 ProSe application code의 validity timer를 기반으로 가장 빠른 시간 내에 사용가능한 자원을 찾아 재 할당한다.

제안된 방안의 성능 검증을 위하여 각 시뮬레이션에 대한 네트워크 구성 및 시나리오를 설계하고 시뮬레이

선을 진행한다. ProSe UE의 셀 간 간섭 완화 성능 검증을 위하여 공유된 주파수의 비율을 20%, 40%, 60%로 설정하고 ProSe UE의 평균 처리량을 측정한다. 또한 셀룰러 UE의 셀 간 간섭 완화 성능 검증을 위하여 동일한 조건으로 평균 처리량을 측정한다. 이와 함께 셀 간 간섭 완화를 통한 네트워크의 전체 처리율을 측정한다.

## II. 셀 간 간섭 완화 방안

### 1. 셀 간 간섭 완화를 위한 eNB의 자원 관리

UE의 EMM(EPS mobility management), ECM(EPS connection management), RRC(radio resource control)상태에 따라 eNB는 각각 다른 UE의 상태정보와 ID 값을 관리한다. UE의 상태가 EMM-registered, ECM-connected, RRC-connected 상태 일 경우 eNB는 가장 많은 UE의 자원을 관리한다. 이 상태에서 S5 베어러, S1 베어러, radio 베어러가 연결되어 있으며 eNB는 UE의 TAI, C-RNTI, ECGI, AS Security, EPS bearer ID, DRB ID, QCI 등의 파라미터를 관리한다. 이와 함께 eNB는 LTE에서의 ICIC를 위해 인접 셀과 간섭 간섭을 일으키는 자원 정보를 교환하고 다음 주기 동안에 셀 edge에서 높은 파위를 발생시킬 자원에 대한 정보를 공유한다.

ProSe 통신은 셀룰러 통신과는 다르게 셀에서 독립된 단독적인 서비스이다. 따라서 인접 셀과의 간섭 문제도 일반적인 셀룰러 통신에 비해 더욱더 심각하게 발생하며, 이로 인해 기존의 셀룰러 사용자의 QoS 보장에 큰 문제를 발생시킨다. ProSe 통신의 셀 간 간섭 완화를 위해서는 우선 ProSe Function의 일부 기능을 eNB에 정의하여 eNB가 ProSe UE의 자원을 직접적으로 관리하도록 해야 한다. 따라서 ProSe 탐색과 ProSe 통신에 필요한 ProSe application code를 eNB에 저장하게 하고 이를 인접 셀과 공유하게 하여 간섭을 완화하는 방안을 제안한다.

본 논문에서는 eNB가 자신의 셀 edge에 위치하지만 다른 셀에 종속되어 있으면서 셀 간 간섭을 발생시킬 수 있는 ProSe UE 정보를 관리하게 한다. Proximity Service를 사용하는 UE에 대한 정보는 ProSe application code와 함께 UE의 location, ProSe application의 validity timer, 공유된 주파수 정보, ProSe application QoS를 함께 관리하게 함으로서 셀 간 간섭에 문제를 해결한다.

<Table 1> Example cell resource management

Cell coverage	Inter cell	UE ID	...	location	QoS	ProSe app code	Reuse frequency
Center		C_UE x	...	...			shared
		...	...	...			...
		...	...	...			...
Edge	eNB B	C_UE y	...	...			dedicated
	eNB B	P_UE a	...	...	high	code 1	shared
	eNB C	P_UE b	...	...	low	code 2	dedicated

<Table 1>은 본 논문에서 제안하는 eNB의 자신의 셀 커버리지에 위치하는 UE들의 자원 관리 방안이다. eNB는 자신의 셀 커버리지에 속해있는 셀룰러 UE와 ProSe UE를 구별하고, 이와 함께 셀 center와 셀 edge의 UE를 나누어 관리한다. eNB에 ProSe application code 관리 기능을 추가 하고 ProSe application QoS, ProSe application의 validity timer, 위치, 재사용된 주파수 정보를 함께 관리한다. 셀 edge 부분의 UE들에 대한 정보는 다시 인접한 셀별로 분류 후 관리하며, 주기적으로 X2 인터페이스를 통해 인접 셀에게 보낸다.

<Table 2> Example neighbor cell resource management

Service	Inter cell	UE ID	...	location	QoS	ProSe app code	Reuse frequency
Cellular	eNB B	C_UE z	...	...			shared
	eNB B	...	...	...			...
	eNB C	...	...	...			...
ProSe	eNB B	P_UE c	...	...	high	code 3	dedicated
	eNB C	P_UE d	...	...	middle	code 4	shared
	eNB C	P_UE e	...	...	low	code 4	shared

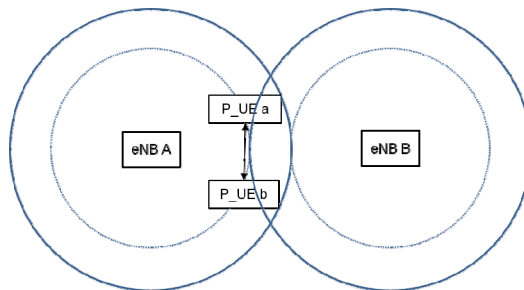
eNB는 인접 셀에 속하면서 자신의 셀 edge에 위치한 UE들의 정보 또한 관리함으로써, 자신의 셀 edge에서 발생할 수 있는 셀 간 간섭 문제를 해결한다. <Table 2>는 본 논문에서 제안하는 인접 eNB에 위치하는 UE들의 자원 관리 방안이다. X2 인터페이스를 통해 수집한 정보를 기반으로 셀룰러 UE와 ProSe UE를 분류하고 각각의 인접 셀에 대한 위치와 ProSe application code를 관리한다. 이와 함께 ProSe application QoS, 위치, 재사용된 주파수 정보를 함께 관리한다. 인접 셀 자원 정보는 다음 주기에 자신의 셀 edge의 UE의 자원 할당에 사용된다.

## 2. ProSe 세션 설정 과정에서 간섭 회피

셀 간 간섭 완화 방안은 총 2가지로 나누어 제안한다. 소단원 2에서는 ProSe 탐색 과정을 기반으로 주파수 탐색을 기반으로 가장 적합한 자원을 할당한다. ProSe application code과 사용한 자원을 인접 셀에 알림으로써 ProSe 탐색 이후 ProSe 통신 상황에서 발생할 수 있는 간섭 문제를 방지한다. 이후 소단원 3에서는 ProSe 통신 상황에서 셀룰러 UE가 접근하거나 또는 ProSe UE가 이동함에 따라 발생하는 새로운 간섭 문제를 해결한다. 소단원 2의 ProSe 탐색 상황에서의 간섭 완화 방안은 2가지로 나누어지며, ProSe UE가 동일한 셀에 속할 경우와 ProSe UE가 각각 다른 셀에 속할 경우로 나누어 방안을 제안한다.

### 1) 두 ProSe UE가 동일한 셀에 위치한 경우

<Fig. 1>은 ProSe 탐색 상황에서 UE가 동일한 셀에 속한 경우를 나타낸다. P\_UE a와 b는 모두 eNB A에 속해 있으며 인증된 상태이다. P\_UE a는 announcing UE의 상태이고 P\_UE b는 monitoring UE 상태이다. 이후 P\_UE b는 ProSe Function으로 할당받은 discovery filter를 통해 P\_UE a의 ProSe application code를 발견한 상태이다.

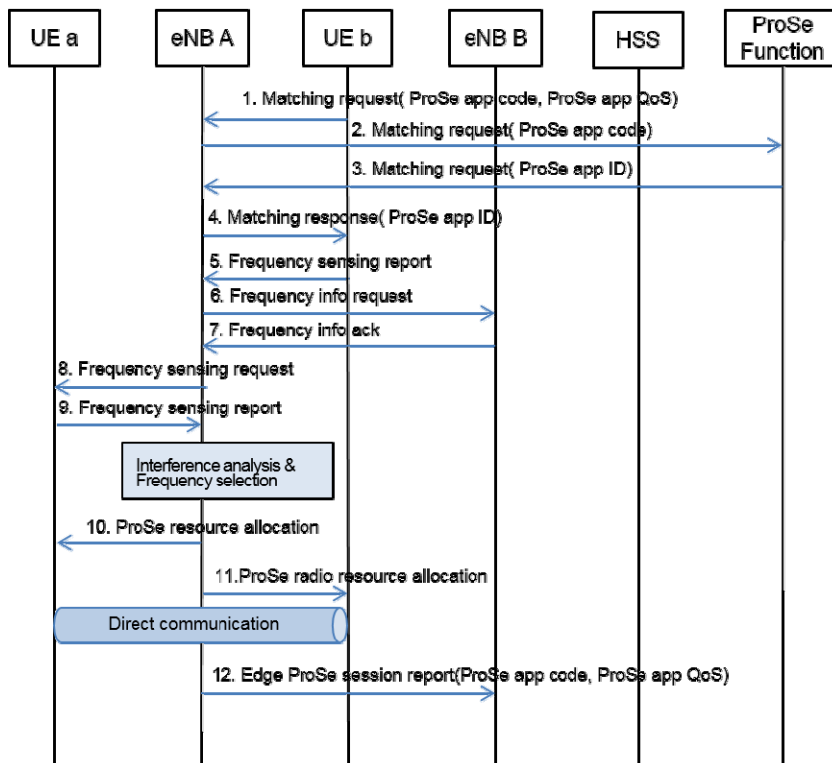


<Fig. 1> ProSe UE located in the same cell

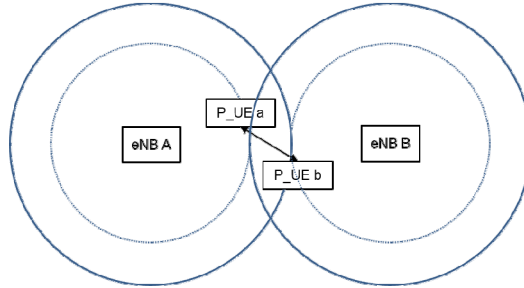
<Fig. 2>는 ProSe 탐색 과정에서 두 UE가 동일한 셀에 속해 있을 때 간섭 회피를 방안을 나타낸다. <Fig. 2>에서의 UE a는 <Fig. 1>의 P\_UE a와 동일하고 UE b는 P\_UE b와 동일하다. UE b는 discovery filter를 기반으로 ProSe application code를 발견한다. 이후 매칭 과정을 위해 ProSe application code와 ProSe application QoS를 eNB A에게 보낸다. ProSe application QoS는 추후 ProSe 통신 상황에서의 간섭 회피를 위해 사용된다. 이후 ProSe application code는 ProSe Function에게 보내지고 이를 확인한 ProSe Function은 ProSe application ID를 응답 메시지에 포함시켜 UE b에게 전달한다. ProSe application ID를 수신한 UE b는 세션 설정을 진행하기 위해 간섭을 발생시키지 않고 사용가능한 주변의 주파수를 탐색과정을 통해 eNB A에게 알린다. eNB A는 eNB B에게 다음 주기 동안 셀 edge에서 사용가능한 자원 정보를 요청한다. 이와 함께 UE a에게도 사용가능한 주파수를 탐색 하도록 지시하여 각각 UE a와 UE b의 주파수 탐색 정보와 eNB A의 다음 주기 동안의 셀 edge의 자원 사용 현황에 대한 정보를 조합하여 분석하고 최적의 자원을 선택한다. 이후 선택된 자원을 UE a와 b에게 각각 알리고 UE a와 b는 ProSe 통신을 진행한다. 이후 eNB A는 eNB B에게 다음 주기 동안 사용할 자원 정보와 함께 ProSe application code와 ProSe application QoS를 보낸다.

2) 두 ProSe UE가 각각 다른 셀에 위치한 경우

<Fig. 3>은 ProSe 탐색 상황에서 UE가 각각 다른 셀에 위치한 경우를 나타낸다. P\_UE a는 eNB A에 속해 있으며 P\_UE b는 eNB B에 속해있으며 인증 된 상태이다. P\_UE a는 announcing UE의 상태이고 P\_UE b는 monitoring UE이 상태이다. P\_UE b는 ProSe Function으로 할당받은 discovery filter를 통해 P\_UE a의 ProSe application code를 발견한 상태이다.

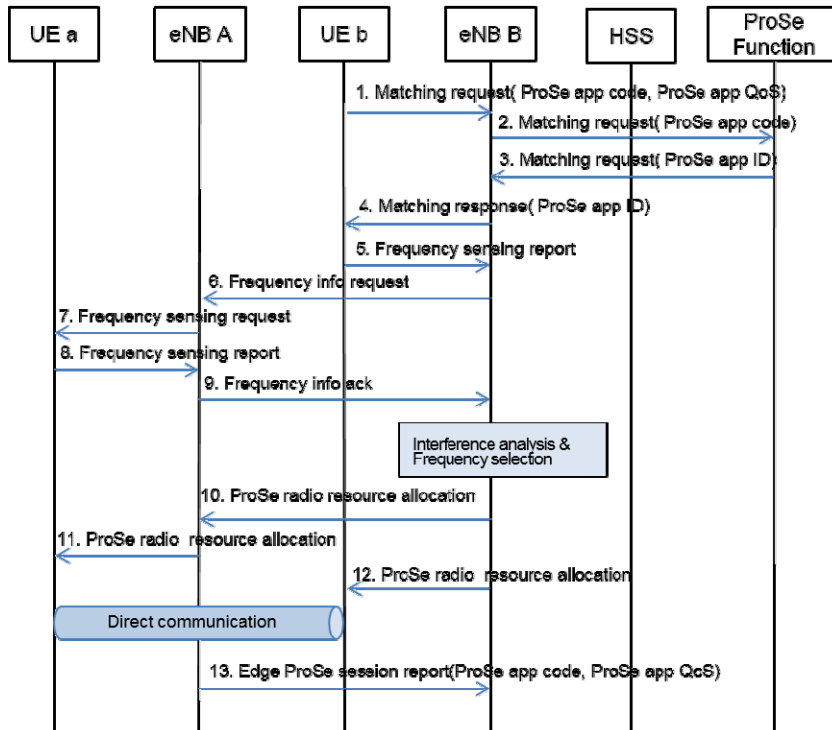


<Fig. 2> Matching procedure in the same cell for avoiding interference



<Fig. 3> ProSe UE located in difference cell

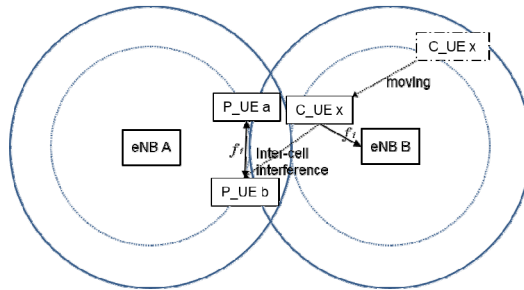
<Fig. 4>은 ProSe 탐색 과정에서 두 UE가 각각 다른 셀에 속해 있을 때 간섭 회피를 방안을 나타낸다. <Fig. 4>에서의 UE a는 <Fig. 3>의 P\_UE a와 동일하고 UE b는 P\_UE b와 동일하다. UE b는 discovery filter를 기반으로 ProSe application code를 발견한다. 이후 매칭을 위해 ProSe application code와 함께 ProSe application QoS를 eNB B에게 함께 보낸다. ProSe application code는 ProSe Function에게 보내지고 이를 확인한 ProSe Function은 ProSe application ID를 응답 메시지에 포함시켜 UE b에게 전달한다. ProSe application ID를 수신한 UE b는 이를 기반으로 UE a와 세션 설정을 위해 주변의 주파수를 탐색하고 주파수 정보를 eNB B에게 알린다. eNB B는 eNB A에게 다음 주기 동안 셀 edge에서 사용가능한 자원 정보를 요청한다. 이와 함께 UE a에게도 사용가능한 주파수 탐색을 지시한다. 각각 UE a와 b의 주파수 탐색 정보와 eNB A의 다음 주기 동안의 edge부근에서의 자원 사용 현황에 대한 정보를 조합하여 분석하고 최적의 자원을 선택한다. 이후 선택된 자원을 UE a와 b에게 각각 알리고 UE a와 b는 ProSe 통신을 진행한다. 이후 eNB B는 eNB A에게 다음 주기 동안 사용할 자원 정보와 함께 ProSe application code와 ProSe application QoS를 보낸다.



<Fig. 4> Matching procedure in the difference cell for avoiding interference

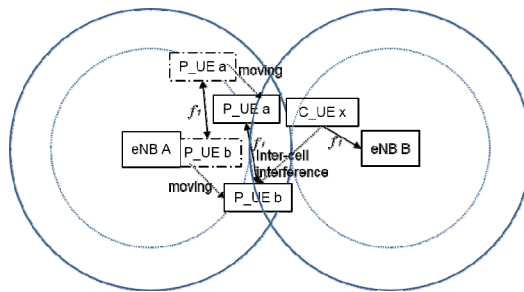
### 3. UE의 이동에 따른 간섭 회피

ProSe 탐색 이후 ProSe UE는 ProSe 통신을 진행한다. 셀 간 간섭은 주로 ProSe 통신 과정에서 발생한다. <Fig. 5>는 ProSe 통신 상황에서 인접 셀의 셀룰러 UE가 접근할 때 발생하는 간섭을 나타낸다. eNB A에 P\_UE a와 P\_UE b가 속해있으며 eNB B에는 C\_UE x가 속해있다. P\_UE들의 ProSe 통신과 C\_UE의 일반적인 셀룰러 통신은 같은 주파수 자원을 사용한다. P\_UE a와 P\_UE b가 ProSe 통신 상황에서 C\_UE x가 셀 edge에 접근하면 동일한 주파수  $f_1$ 를 사용하기 때문에 셀룰러 UE는 ProSe UE에게 간섭을 발생시킨다.



<Fig. 5> Interference due to cellular UE movement

<Fig. 6>은 ProSe 통신 상황에서 셀 center의 ProSe UE가 셀 edge로 접근할 때 발생하는 간섭을 나타낸다. eNB A에 P\_UE a와 P\_UE b가 속해있으며 eNB B에는 C\_UE x가 속해있다. P\_UE들의 ProSe 통신과 C\_UE의 일반적인 셀룰러 통신은 동일한 주파수 자원을 사용한다. P\_UE a와 P\_UE b가 ProSe 통신 상황에서 C\_UE x가 위치하고 있는 셀 edge에 접근하면 동일한 주파수를 사용하기 때문에 ProSe UE는 셀룰러 UE에게 간섭을 발생시킨다.



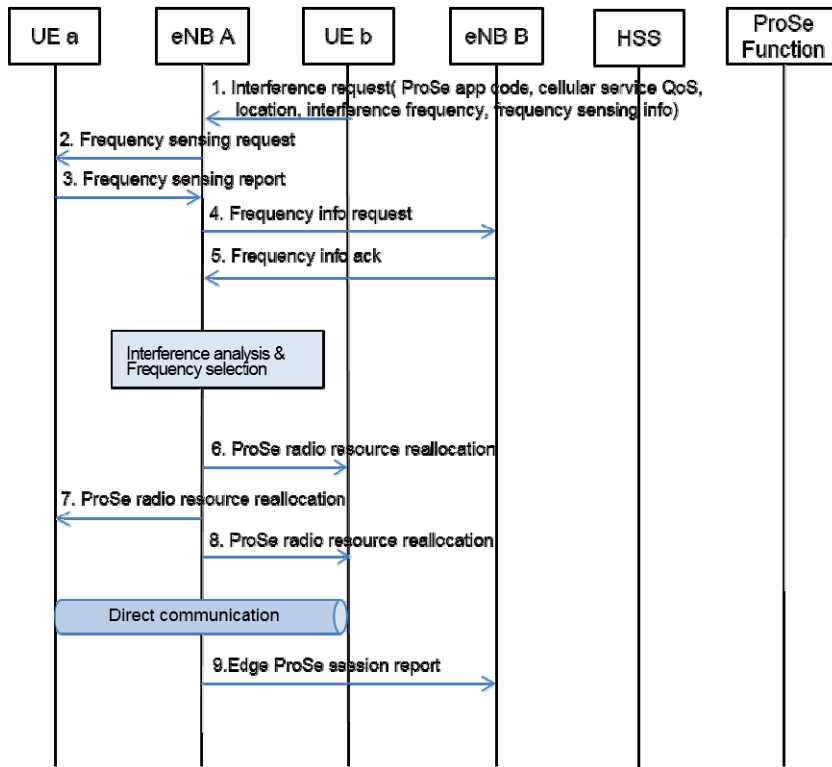
<Fig. 6> Interference due to ProSe UE movement

따라서 실시간으로 랜덤하게 변화하는 UE들의 위치에 따라 발생하는 셀 간 간섭 문제 해결을 필요로 한다. 본 논문에서는 ProSe UE의 이동과 셀룰러 UE의 이동에 따른 셀 간 간섭 문제를 ProSe UE들에게 할당한 자원을 상황에 따라 각각 다르게 재 할당함으로써 간섭 문제를 해결한다.

#### 1) ProSe 자원 재 할당

ProSe 통신 상황에서 UE 이동에 따른 셀 간 간섭이 발생하면 eNB는 사용가능한 다른 자원으로 재 할당한

다. <Fig. 7>는 eNB가 ProSe 통신에게 다른 ProSe 자원 재 할당 과정을 나타낸다. X2 인터페이스를 통해 인접 셀과 정보교환으로 사용가능한 공유된 주파수가 있다면 Proximity Service에게 다른 자원을 할당 한다. UE b는 다른 인접 셀의 셀룰러 UE의 접근으로 인하여 셀 간 간섭을 받게 된다. 이때 UE b는 ProSe application code, 현재 UE b가 받고 있는 셀룰러 서비스의 QoS, 위치, 간섭을 발생시키는 주파수 정보, 그리고 주파수 탐색을 다음 주기 동안의 사용가능한 주파수 정보를 eNB A에게 보낸다. eNB A는 인접 셀 eNB B에게 다음 주기 동안 셀 edge에서 사용가능한 자원 정보를 수신하고, UE a게도 주파수 탐색을 통해 사용가능한 주파수 정보를 수집한다. 수집한 자원 정보를 바탕으로 사용가능한 자원이 있다면 eNB A는 ProSe UE들에게 새로운 자원을 재 할당한다.



<Fig. 7> ProSe resource reallocation

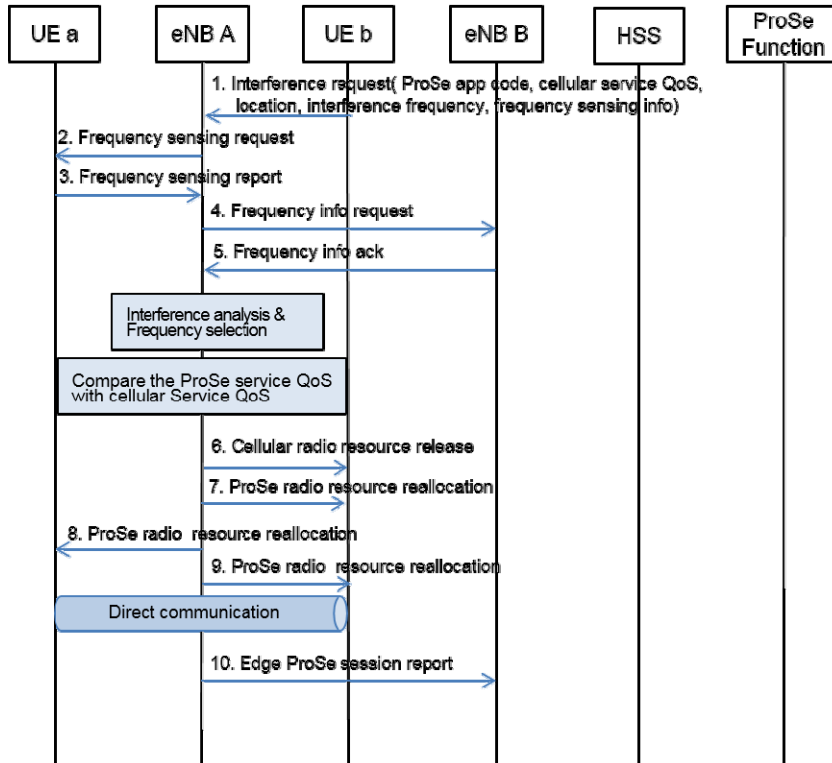
## 2) 셀룰러 자원 해제 후 재 할당

만약 eNB가 인접 셀과의 정보 공유를 바탕으로 재 할당 가능한 공유된 자원이 없다고 판단되면 eNB는 monitoring UE b의 현재 사용 중인 셀룰러 서비스와 Proximity service의 QoS를 비교하여 자원을 재 할당한다. Proximity Service가 셀룰러 서비스보다 QoS가 높다면 eNB는 monitoring UE인 UE b의 셀룰러 연결을 잠시 해제하고 ProSe 통신 자원으로 할당하여 ProSe 통신을 가능하게 한다.

<Fig. 8>는 eNB가 ProSe 통신에게 다른 공유된 자원 할당이 불가능 경우의 셀룰러 자원을 해제하고 재 할당 과정을 나타낸다. 현재 UE a와 b는 모두 셀룰러 네트워크에 접속되어 있는 상태이며 셀룰러 서비스와 ProSe 서비스를 동시에 사용 중이다. UE 이동에 따라 셀 간 간섭 문제가 발생한 UE b는 해당 eNB A에게 간



섭 발생 상황을 알린다. 이후 eNB B와의 자원 정보 교환을 통해 사용 가능한 자원을 찾지만 모두 사용 중이거나 또는 새로운 간섭을 문제를 발생시키는 자원으로 인해 공유된 자원 할당이 불가능하다고 판단한다. 이때 eNB A는 monitoring UE b의 ProSe application QoS와 현재 사용 중인 셀룰러 서비스 QoS를 비교한다. 만약 Proximity Service의 QoS가 높다면 잠시 셀룰러 서비스를 중단시키고 UE b의 셀룰러 자원을 해제한 다음 해당 자원을 ProSe 통신에 재 할당한다. 이후 인접 eNB에게 자원 변경 사실을 알리고 추후 발생할 간섭을 방지한다.



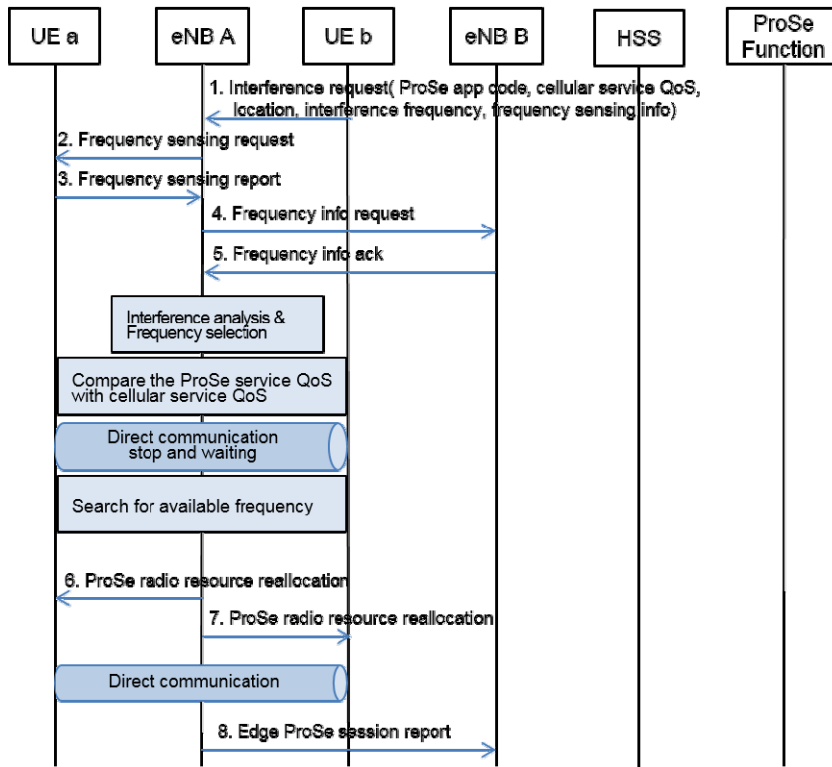
<Fig. 8> Reallocation after release of cellular resource

### 3) 사용 가능한 자원 대기 후 재 할당

eNB가 인접 셀과의 자원 정보를 바탕으로 재 할당 가능한 공유된 자원이 없다고 판단되면 eNB는 monitoring UE b의 현재 사용 중인 셀룰러 서비스와 Proximity Service의 QoS를 비교하여 자원을 재 할당한다. 만약 Proximity Service가 셀룰러 서비스보다 QoS가 낮다면 eNB는 monitoring UE인 UE b의 셀룰러 자원을 해제 하지 않고 ProSe application code와 validity timer를 기반으로 가장 빠른 시간 내에 사용가능한 자원을 탐색한다.

<Fig. 9>는 eNB가 ProSe 통신에게 다른 자원 할당이 불가능 할 경우의 ProSe application code와 validity timer를 기반으로 가장 빠른 시간 내의 사용가능한 자원을 탐색하고 이를 재 할당하는 과정을 나타낸다. 현재 UE a와 b는 모두 셀룰러 네트워크에 접속되어져 있는 상태이며 셀룰러 서비스와 ProSe 서비스를 동시에 사용 중이다. UE 이동에 따라 셀 간 간섭 문제가 발생한 UE b는 eNB A에게 간섭 발생 상황을 알린다. 이후

eNB B와의 정보 교환을 통해 사용 가능한 자원을 찾지만 모두 사용 중이거나 또는 새로운 간섭을 문제를 발생시키는 자원으로 인해 ProSe 자원 할당이 불가능하다고 판단한다. 이때 eNB A는 monitoring UE b의 ProSe application QoS와 현재 사용 중인 셀룰러 서비스 QoS를 비교한다. 만약 ProSe application의 QoS가 셀룰러 서비스의 QoS보다 낮다면 셀룰러 서비스를 중단시키지 않고 공유된 자원 중에서 ProSe application code와 validity timer를 기반으로 앞으로 가장 빠른 시간 내에 사용가능한 자원을 찾는다. 이후 간섭을 발생시키지 않는 자원을 재 할당 받을 때까지 ProSe 통신을 잠시 중단시킨다. validity timer를 기반으로 찾은 자원이 사용 가능하면 간섭을 발생시켰던 자원을 재 할당하고 다시 ProSe 통신을 진행한다. 인접 eNB에게 자원 변경 사실을 알리고 추후 발생할 간섭을 방지한다.



〈Fig. 9〉 Available resource wait and reallocation

### III. 성능 검증 및 평가

본 장에서는 제안하는 셀 간 간섭 완화 방법에 대해 비교 분석하고 성능을 검증한다. 성능 검증에 앞서 시뮬레이션에 대한 네트워크 구성에 대해 설명하고 제안하는 방안에 관한 실제 시뮬레이션 환경을 기술한다. 시뮬레이션에서는 셀 간 간섭 완화 성능 검증을 위해 ProSe UE의 평균 처리량을 측정하여 ProSe UE의 셀 간 간섭 완화 성능을 확인한다. 이와 함께 셀룰러 UE의 평균 처리량도 함께 측정하여 셀룰러 UE의 셀 간 간섭 완화 성능도 함께 확인한다. 마지막으로 네트워크 전체 처리율을 측정하여 Proximity Service를 통한 네트워크의 데이터 트래픽 수용량 향상을 확인한다.

## 1. 시뮬레이션 모델

본 시뮬레이션에 대한 네트워크 구성은 3GPP LTE 네트워크를 기반으로 설계한다. 시뮬레이션 모델은 업 링크 주파수 자원을 사용하고 TDD 방식의 LTE를 기반으로 하는 NS3을 사용하여 검증한다. 시뮬레이션 모델에는 총 3개의 eNB를 배치하였다. 자원 블록은 각 시뮬레이션에 따라 20%, 40%, 60%로 공유된 주파수 비율을 달리하여 성능검증을 진행하였다. ProSe UE의 수는 각 20~150까지 증가시키며 검증을 진행하였다. ProSe pair는 두 ProSe UE가 하나의 pair로 설정하였으며 ProSe UE의 수 20~150은 10~75pair 수와 동일하다.

<Table 3> Simulation parameter

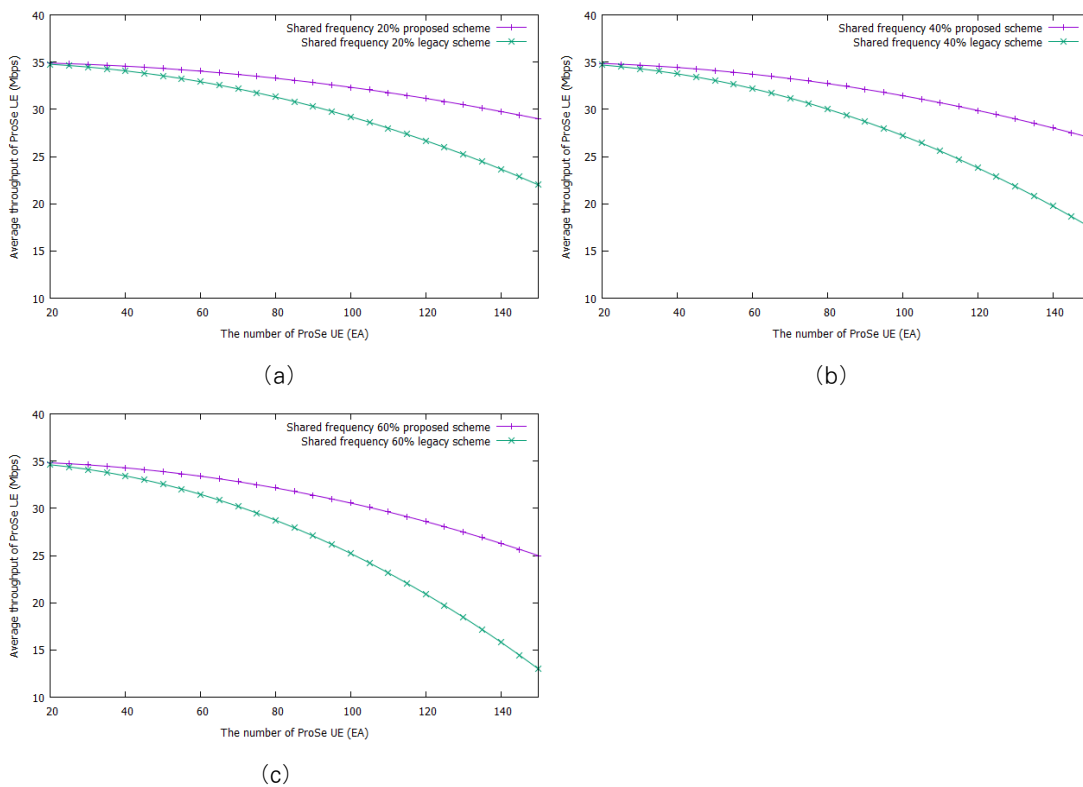
Parameter	Description
Cell radius	1km
UE distribution	randomly
Carrier frequency	2GHz
Frame structure	TDD
eNodeB Tx power	46dBm
Max Tx power	23dBm
The number of cell	3BSs
The number of cellular user	100 at each cell

<Table 3>은 본 시뮬레이션에 대한 기본적인 설정 파라미터를 나타낸다. eNB 내부에서 ProSe 사용자와 셀룰러 사용자는 랜덤하게 위치하며 이동성을 갖는다. 셀 radius는 1km로 설정하며 carrier frequency는 2GHz를 사용하며 channel bandwidth는 10MHz로 설정하였다. 각 셀의 셀룰러 UE의 수는 100으로 설정한다. eNB의 Tx power는 46dBm으로 설정하고, UE의 max Tx power는 23dBm으로 설정하였다. 그 밖의 다른 파라미터들은 3GPP specifications를 기반으로 설정하였다(3GPP TS 36.521-1, 2016).

## 2. 시뮬레이션 분석

본 시뮬레이션에서는 간섭 완화 성능 검증을 위하여 ProSe UE 수 증가에 따른 평균과 처리량과 전체 처리율을 측정한다. ProSe UE의 수를 증가시키며 평균 처리량을 측정함으로써 ProSe UE와 셀룰러 UE의 간섭 완화를 검증한다. 이와 함께 전체 네트워크 처리율을 측정함으로써 간섭 완화를 통한 네트워크 수용량 향상을 검증한다.

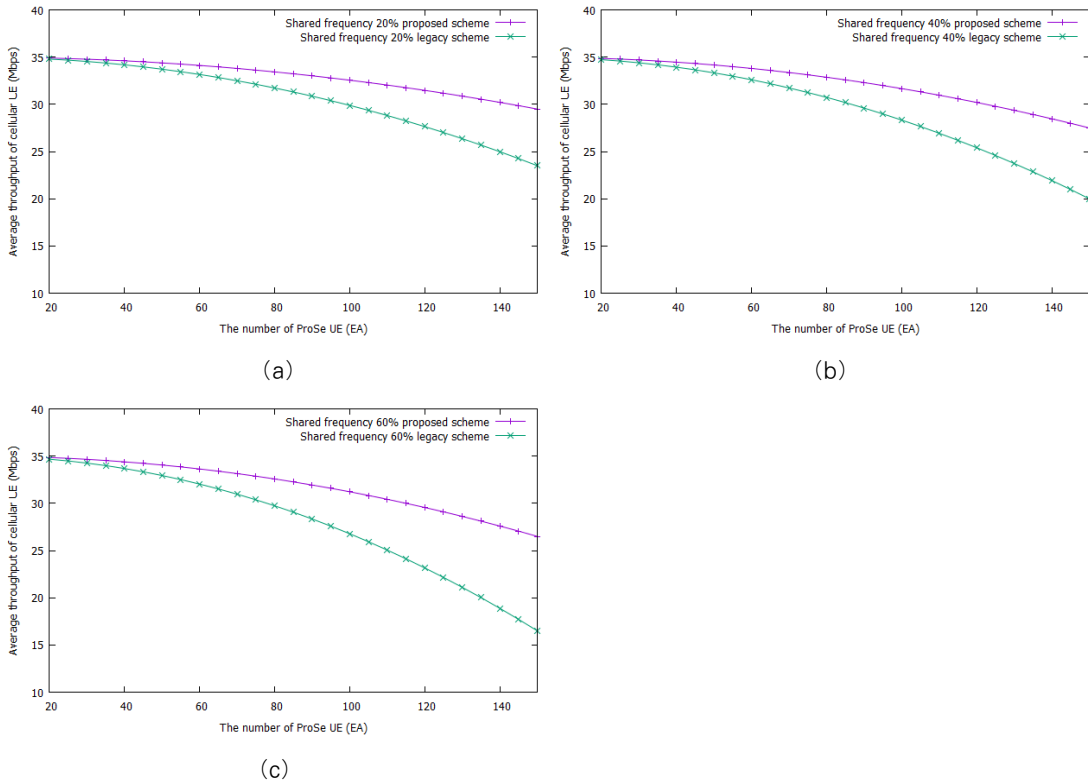
<Fig. 10>은 본 논문에서 제안하는 간섭 완화 방안과 일반적인 간섭 발생 상황에서의 ProSe UE의 평균 처리량을 나타낸다. <Fig. 10> (a)는 공유된 주파수가 20%일 경우, (b)는 40%일 경우 (c)는 60%일 경우의 평균 처리량을 나타낸다. ProSe UE의 수는 20~150까지 증가시키며 측정하였다. ProSe UE가 증가함에 따라 일반적인 간섭 발생 상황은 평균 처리량이 급격히 감소하는 모습을 나타낸다. 반대로 본 논문에서 제안한 방안의 그래프는 상대적으로 더 완만한 감소율을 보인다. ProSe UE가 150이면서 공유된 주파수가 20%인 경우 처리량은 7Mbps, 40%인 경우 처리량은 10Mbps, 60%인 경우 처리량은 12Mbps 정도의 처리량 증가를 보였고 ProSe UE의 셀 간 간섭 완화를 검증하였다.



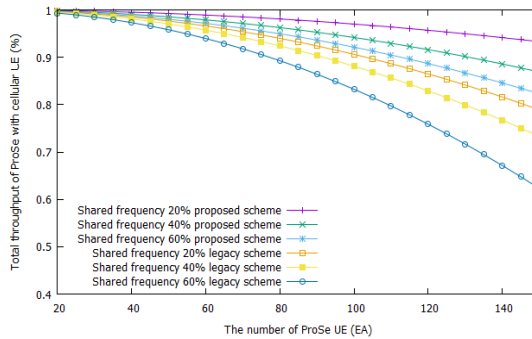
<Fig. 10> Average throughput of ProSe UE (a) Shared frequency 20%, (b) Shared frequency 40%, (c) Shared frequency 60%

<Fig. 11>은 본 논문에서 제안하는 간섭 완화 방안과 일반적인 간섭 발생 상황에서의 셀룰러 UE의 평균 처리량을 나타낸다. <Fig. 11> (a)는 공유된 주파수가 20%일 경우, (b)는 40%일 경우 (c)는 60%일 경우의 평균 처리량을 나타낸다. ProSe UE의 수는 20~150까지 증가시키며 측정하였다. 셀룰러 UE는 ProSe UE와 상호적으로 셀 간 간섭 문제를 발생시켜 평균 처리량이 감소하는 모습을 나타낸다. 공유된 주파수로 인하여 ProSe UE가 증가함에 따라 일반적인 간섭 발생 상황은 평균 처리량이 급격히 감소하는 모습을 나타낸다. 반대로 본 논문에서 제안한 방안의 그래프는 상대적으로 더 완만한 감소율을 보인다. 셀룰러 UE가 150이면서 공유된 주파수가 20%인 경우 처리량은 6Mbps, 40%인 경우 처리량은 8Mbps, 60%인 경우 처리량은 10Mbps 정도의 처리량 증가 보였고 셀룰러 UE의 셀 간 간섭 완화를 검증하였다.

<Fig. 12>는 간섭 완화를 통한 네트워크의 전체 처리율 측정 결과를 나타낸다. 일반적인 방식은 간섭 문제로 인하여 전체 네트워크 처리율이 ProSe UE의 수 증가에 따라 급격히 감소함을 나타낸다. ProSe UE의 수가 150이면서 공유된 주파수가 20%일 경우 처리율은 21%, 공유된 주파수가 40%일 경우 처리율은 27%, 60%일 경우 처리율은 38%가 감소하였다. 반대로 본 논문에서 제안된 방안의 그래프는 상대적으로 낮은 처리율 감소를 나타낸다. ProSe UE의 수가 150이면서 공유된 주파수가 20%일 경우 처리율은 8%, 공유된 주파수가 40%일 경우 처리율은 13%, 60%일 경우 처리율은 19%가 감소하였다. 셀 간 간섭이 발생하는 일반적인 상황에 비해 상대적으로 증가된 처리율을 보였고 네트워크 전체의 수용량 향상을 검증하였다.



〈Fig. 11〉 Average throughput of cellular UE (a) Shared frequency 20%, (b) Shared frequency 40%, (c) Shared frequency 60%



〈Fig. 12〉 Total throughput of network

## V. 결 론

본 논문에서는 셀룰러 네트워크의 주파수를 Proximity Service에 공유하여 사용할 때 발생하는 셀 간 간섭 완화 방안을 제안하였다. 이와 함께 ProSe UE와 셀룰러 UE의 평균 처리량을 측정하여 셀 간 간섭 완화 방안의 성능을 검증하였다. 또한 네트워크의 전체 처리율을 측정하여 간섭 완화에 따른 전체 네트워크의 수용량 증가를 검증하였다.

제안한 방안에 대한 ProSe UE의 셀 간 간섭 완화 성능 검증을 위하여 공유된 주파수의 비율을 20%, 40% 60%로 설정하고 제안한 방안과 셀 간 간섭 발생 상황을 비교하여 평균 ProSe UE의 평균 처리량을 측정하였다. 측정 결과 ProSe UE가 150이면서 공유된 주파수가 20%인 경우 처리량은 7Mbps, 40%인 경우 처리량은 10Mbps, 60%인 경우 처리량은 12Mbps 정도의 평균 처리량 증가를 보였고 ProSe UE의 셀 간 간섭 완화를 검증하였다.

또한 셀룰러 UE의 셀 간 간섭 완화 성능 검증을 위하여 동일한 조건으로 평균 처리량을 측정하였다. 측정 결과 셀룰러 UE가 150이면서 공유된 주파수가 20%인 경우 처리량은 6Mbps, 40%인 경우 처리량은 8Mbps, 60%인 경우 처리량은 10Mbps 정도의 평균 처리량 증가 보였고 셀룰러 UE의 셀 간 간섭 완화를 검증하였다.

이와 함께 네트워크 전체 수용량 향상 검증을 위해 제안한 방안과 셀 간 간섭 발생 상황을 비교하여 전체 처리율을 측정하였다. 측정결과 셀 간 간섭이 발생하는 일반적인 상황에서는 ProSe UE의 수가 150이면서 공유된 주파수가 20%일 경우 처리율은 21%, 공유된 주파수가 40%일 경우 처리율은 27%, 60%일 경우 처리율은 38%가 감소하였다. 반대로 본 논문에서 제안된 방안에서는 ProSe UE의 수가 150이면서 공유된 주파수가 20%일 경우 처리율은 8%, 공유된 주파수가 40%일 경우 처리율은 13%, 60%일 경우 처리율은 19%가 감소하였다. 셀 간 간섭이 발생하는 일반적인 상황의 전체 처리율에 비해 상대적으로 증가된 처리율을 보였고 네트워크 전체의 수용량 향상을 검증하였다.

## ACKNOWLEDGEMENTS

본 연구는 2017학년도 광운대학교 교내학술연구비 지원으로 수행하였습니다.

## REFERENCES

- 3GPP TS 23.303(2016), "Proximity-Based Services (ProSe)," Release 13, 3GPP.
- 3GPP TS 36.300(2016), "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Overall Description," Release 13, 3GPP.
- 3GPP TS 36.521-1(2016), "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) User Equipment (UE) Conformance Specification Radio Transmission and Reception Conformance Testing," Release 14, 3GPP.
- Asadi A. et al.(2014), "A Survey on Device-to-Device Communication in Cellular Networks," *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, vol. 16, no. 4, pp.1801-1819.
- Belleschi M. et al.(2011), "Performance Analysis of a Distributed Resource Allocation Scheme for D2D Communications," *2011 IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps)*, pp.358-362.
- Liu J. et al.(2015), "Device-to-Device Communication in LTE-Advanced Networks: A Survey," *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp.1923-1940.
- Mach P. et al.(2015), "In-Band Device-to-Device Communication in OFDMA Cellular Networks: A Survey and Challenges," *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp.1885 - 1922.
- Min H. et al.(2011), "Capacity Enhancement Using an Interference Limited Area for Device-to-Device Uplink Underlying Cellular Networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 10, no. 12, pp.3995-4000.