

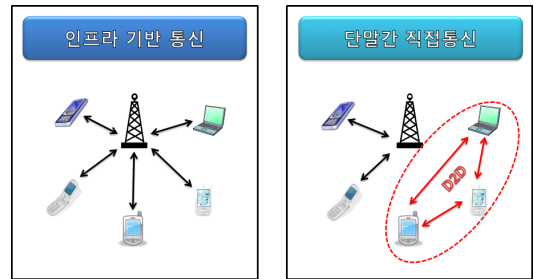
<h2 style="margin: 0;">LTE-Advanced 기반 D2D 통신 기술 표준화 동향</h2>	<p style="margin: 0;">강길모 · 김현민 남종현 · 신오순</p>
	<p style="margin: 0;">승실대학교 정보통신전자공학부</p>

### I. 서 론

최근 다양한 스마트 기기들의 급속한 확산으로 인해 모바일 트래픽이 매년 약 2배씩 증가하는 추세이며, 특히 모바일 서비스의 다변화로 인해 데이터 사용량이 급격히 증가하고 있다. 또한 개인이 다수의 모바일 디바이스를 소유함에 따라 이러한 추세는 더욱 심화되고 있다<sup>[1]</sup>. 하지만, 가용 주파수는 한정되어 있고, 점점 포화 상태에 이르고 있어, 이동통신을 위한 신규 주파수 발굴 및 주파수 이용 효율 향상 기술 개발이 활발히 진행되고 있다.

신규 주파수 발굴 측면에서는 무선인지(Cognitive Radio) 기술 도입을 통한 TV White Space의 효율적인 활용과 밀리미터파 대역을 이용한 소형 셀의 활성화 등이 대표적인 사례라 할 수 있다. 한편, 셀룰러 시스템의 주파수 이용 효율 개선을 위한 방안의 하나로 최근 표준화가 활발히 진행 중인 기술이 단말 간 직접통신, 즉 Device-to-Device(D2D) 통신 기술이다. D2D 통신이란 [그림 1]과 같이 지리적으로 서로 근접한 단말들이 기지국 또는 AP(Access Point)와 같은 기존 인프라를 거치지 않고, 직접적으로 정보를 주고받는 기술을 의미한다<sup>[2][3]</sup>.

이미 상용화가 이루어진 Wi-Fi Direct, Bluetooth, ZigBee, NFC 등과 같은 근거리 통신 기술은 비면허 대역(Unlicensed Band)을 이용한 D2D 통신 기술로 분류할 수 있다. 하지만 비면허 대역은 간섭 측면이



[그림 1] 인프라 기반 통신과 D2D 통신의 차이점

나 서비스 측면에서 제어가 어려워 서비스 품질의 보장에 대한 한계가 존재하며, 전송 범위 또한 한정적이라는 문제점을 갖고 있다. 이에 따라 면허 대역(Licensed Band)을 사용하는 셀룰러 시스템에서 D2D 통신 기술에 대한 필요성이 대두되었다<sup>[2][4]</sup>.

셀룰러 시스템에서 근접한 거리의 단말들이 D2D 통신을 함으로써 기지국의 부하를 분산시킬 수 있으며, 기지국보다 가까운 거리를 전송함으로써 단말의 전력 소모를 줄일 수 있으며, 전송지연(Latency) 또한 줄일 수 있다. 전체 시스템 관점에서는 기존의 셀룰러 단말과 D2D 단말이 동일한 주파수를 공유하여 공간적으로 주파수를 재사용함으로써 주파수 이용 효율을 향상시키는 효과가 있다.

퀄컴(Qualcomm)사에서 독자 개발한 D2D 통신 기술인 FlashLinQ를 2011년 2월 MWC(Mobile Wireless Congress)에서 시연한 것을 시발점으로 셀룰러 기반 D2D 통신 기술에 대한 관심이 증폭되기 시작하였다

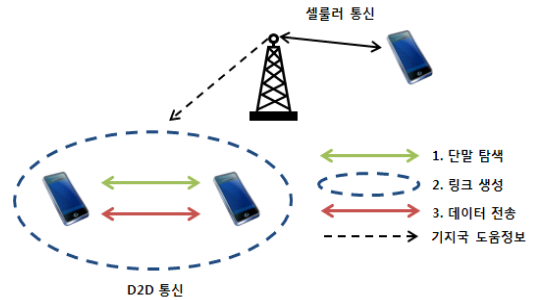
\* 본 연구는 미래부가 지원한 2013년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었고, 또한 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013- R1A2A2A01011222).

[5],[6]. IEEE 802.16에서는 GRIDMAN(Greater Reliability In Disrupted Metropolitan Area Networks)이라는 명칭 하에 이미 2009년 6월부터 재난 통신용 D2D 기술에 대한 표준화가 진행 중에 있다<sup>[7]</sup>. 최근에는 이동통신 표준화 단체인 3GPP(3rd Generation Partnership Project)에서 LTE-Advanced release 12 표준 기술의 하나로 LTE ProSe(Proximity-based Services)라 불리는 D2D 통신 기술에 대한 논의를 시작하였다<sup>[8],[10]</sup>. LTE ProSe 표준화에는 퀄컴, 노키아(Nokia), 삼성전자, LG 전자 등 국내외의 유수의 IT 기업들이 참여하고 있다.

본 지에서는 셀룰러 기반 D2D 통신 기술에 대한 간략한 설명과 함께 LTE-Advanced를 중심으로 D2D 통신 기술 표준화 동향에 대해 논하도록 하겠다. 먼저 II장에서 일반적인 셀룰러 기반 D2D 통신의 개념, 중요한 기술적인 이슈 및 응용 시나리오에 대해 설명하고, III장에서 LTE ProSe 표준화 현황을 살펴본다. IV장에서는 최근 표준화 회의에서 논의되고 있는 D2D 핵심 기술을 단말 탐색(D2D Discovery) 부분과 통신(D2D Communication) 부분으로 나누어서 설명한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 셀룰러 기반 D2D 통신

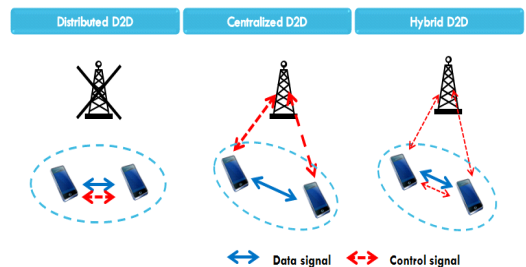
셀룰러 기반 D2D 통신의 일반적인 절차는 [그림 2]와 같이 단말 탐색(Discovery), 링크 생성, 데이터 전송의 세 단계로 구분할 수 있다<sup>[4]</sup>. 단말 탐색은 D2D 통신을 하고자 하는 단말이 정보를 주고받고자 하는 주변 단말을 탐지 및 식별하는 과정을 의미한다. D2D 통신의 효율을 높이기 위해서는 짧은 시간에 적은 양의 무선자원 및 인프라 망을 사용하여 단말 탐색을 수행하는 것이 필수적이다. 링크 생성은 단말 탐색 단계에서 발견한 D2D 단말들 간의 데이터 전송을 위한 링크를 생성하는 단계로 채널 정보를 수신하며, 그에 따른 잡음 및 경로 손실에 대한 추정이 필요하다. 일반적으로 D2D 통신을 원하는 단말



[그림 2] 셀룰러 기반 D2D 통신 절차

들 사이에서 요청신호와 응답신호를 주고받으면서 링크를 생성한다. 마지막으로 데이터 전송은 D2D 통신을 원하는 단말들 간에 링크가 형성된 후에 실질적인 통신이 이루어지는 단계를 의미한다.

셀룰러 기반 D2D 통신이 비편허 대역에서의 D2D 통신과 차별화되는 부분은 기지국이 자원 할당을 포함한 D2D 통신 제어에 관여할 수 있다는 점이다. 셀룰러 기반 D2D 통신은 [그림 3]과 같이 기지국의 개입 정도에 따라 세 가지 형태로 분류할 수 있다. 기지국이 전혀 개입하지 않는 분산형(Distributed) D2D, 제어 신호는 기지국을 통해 전달하고 데이터 신호만 직접 전달하는 중앙 집중형(Centralized) D2D, 그리고 일부 제어 신호는 기지국을 통해 전달하고 일부는 직접 전달하는 혼합형(Hybrid) D2D로 분류할 수 있다. 셀룰러 인프라의 장점을 활용하기 위해서는 기지국의 개입이 필요한 중앙 집중형 또는 혼합형 D2D 기

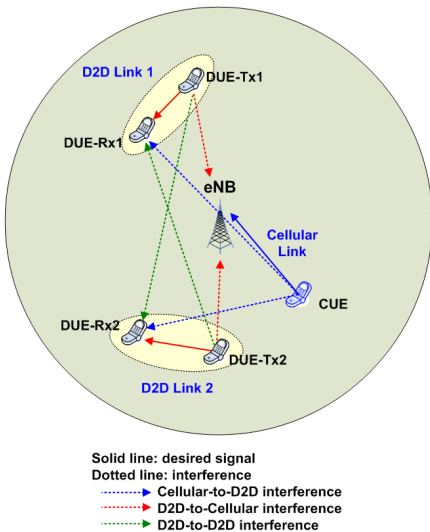


[그림 3] 기지국 개입 정도에 따른 D2D 통신 방식 분류

술이 적합하지만, 인프라가 소실된 재난 상황과 같은 특수 상황을 고려하면 분산형 D2D 기술에 대해서도 고려할 필요가 있다.

D2D 링크가 셀룰러 링크와 자원을 공유하기 때문에 필연적으로 간섭 문제가 발생하고, 이를 적절히 제어하지 못하면 D2D 통신이 어려울 뿐만 아니라, 셀룰러 사용자의 성능까지 저하시키는 문제를 초래할 수 있다. [그림 4]는 단일 셀 환경에서 D2D 링크가 셀룰러 상향 링크 자원을 공유하는 경우, 간섭 시나리오를 나타낸 것으로 셀룰러 단말이 D2D 단말에 주는 간섭, D2D 단말이 기지국에 주는 간섭, D2D 링크 상호 간의 간섭이 부가적으로 발생하는 것을 보여준다. 따라서 셀룰러 기반 D2D 통신을 위해서는 효과적인 간섭 제어가 매우 중요하고, 이는 자원 할당 및 전력 제어 등을 통해 이루어질 수 있다<sup>[11][13]</sup>.

셀룰러 기반 D2D 통신이 활성화되면 기존 셀룰러 시스템의 용량 및 사용자 경험을 향상시킬 수 있고, 또한 단말 릴레이 기능을 이용하여 커버리지를 향상시킬 수 있는 효과가 있다. 뿐만 아니라 D2D 통신을 통해 [그림 5]와 같이 단말 근접성 기반의 신규

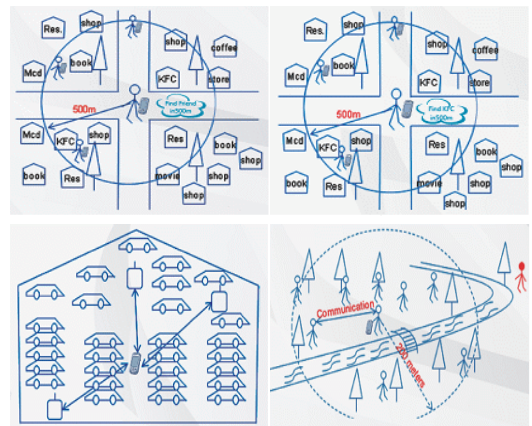


[그림 4] 셀룰러 링크와 D2D 링크 간의 간섭 시나리오

서비스 및 상황 인지 애플리케이션을 제공할 수 있다. 모바일 사용자의 위치를 중심으로 인접한 거리에 있는 상점 및 물건의 정보를 수집하거나, 실내에서의 정밀한 측위, 인접한 거리의 사람들 간의 그룹 통신, 네트워크 게임, 위치 기반 광고 등이 가능하다. 또한 네트워크 인프라 일부 또는 전체가 소실된 재난 상황에서 매우 유용하게 이용할 수 있다.

### III. LTE ProSe 표준화 현황

3GPP는 2011년 말부터 산하 연구 그룹인 TSG(Technical Specification Group) SA(Service and Architecture) WG(Working Group) 1에서 LTE ProSe (Proximity-based Services)에 대한 타당성 검증 및 이용 시나리오(Use Cases) 개발을 진행하였고, 그 결과가 TR 22.803에 정리되어 있다<sup>[8]</sup>. 또한 TSG SA WG1에서는 2013년 6월 D2D의 구조적인 요구사항(Architectural requirements)을 정립하고, 네트워크 관점의 주요 이슈와 이에 대한 해결책을 제시하였다<sup>[9]</sup>. TSG SA에서의 표준화 작업에 기초하여 TSG RAN(Radio Access Network)에서는 D2D 기술의 물리 계층(Physical Layer) 표준화가 진행 중에 있다. 2012년 12월 제 58차 3GPP



[그림 5] D2D 통신을 통해 가능한 신규 서비스<sup>[14]</sup>

<표 1> 3GPP의 ProSe 표준화 일정<sup>[16]</sup>

Name	Acronym	Level	Rel	Resource	Start	Finish	Comp	Hyper link	Rappor-teur	Notes	TSs & TRs
Proximity-based Services	ProSe	1	Rel-12	S1, S2, S3	13-12-2012	07-03-2014	16%	SP-130030	Qual-comm	Triggered by Rel-12 TR 22.803 Study on Proximity-based Services (FS_ProSe)	Stage 1/2
Stage 1 for Proximity-based Services	ProSe	2	Rel-12	S1	13-12-2012	19-06-2013	100%	SP-130030	Qual-comm		22.115, 22.278
TR on Stage 2 for Proximity-based Services	ProSe	2	Rel-12	S2	13-12-2012	11-09-2013	20%	SP-130030	Qual-comm		new TR 23.703
Stage 2 for Proximity-based Services	ProSe	2	Rel-12	S2	14-12-2012	11-12-2013	0%	SP-130030	Qual-comm		TBD
TR on Security for Proximity-based Services	ProSe	2	Rel-12	S3	07-03-2013	07-03-2014	2%	SP-130030	Qual-comm		new TR 33.8xy
Security for Proximity-based Services	ProSe	2	Rel-12	S3	07-03-2013	07-03-2013	0%	SP-130030	Qual-comm		TBD

TSG RAN 회의에서 퀄컴의 주도 하에 ProSe가 LTE-Advanced release 12의 정식 Study Item으로 채택되었다<sup>[15]</sup>. <표 1>은 3GPP의 ProSe 표준화 마일스톤을 보여준다<sup>[16]</sup>. ProSe 표준화는 2012년 12월에 시작하여 2014년 3월에 완료하는 것으로 계획되어 있다.

RAN 관점에서 ProSe 표준화의 범위 및 요구사항은 <표 2>와 같이 네트워크 가용성에 따라 공공 안전(Public Safety) 서비스와 이를 제외한 일반적인 비공공 안전(Non Public Safety) 서비스로 분류하여 정의되었다<sup>[15]</sup>. 단말이 네트워크 서비스 영역 내에 있는 경우는 비공공 안전 서비스와 공공 안전 서비스 모두 가능하도록 단말 탐색이 이루어져야 하고, D2D 통신은 비상시를 대비하여 적어도 공공 안전 서비스를 제공할 수 있어야 한다. 단말이 네트워크 서비스 영역을 벗어난 경우는 재난 혹은 비상 상황으로 간주하여 공공 안전 서비스를 위한 단말 탐색 및 D2D 통신이 가능해야 한다.

<표 2> 네트워크 가용성에 따른 ProSe 범위 및 요구사항<sup>[15]</sup>

	Within Network Coverage	Outside Network Coverage
Discovery	Non Public Safety & Pubic Safety Requirements	Public Safety Only
Direct Communication	At Least Public Safety Requirements	Public Safety Only

3GPP TSG RAN WG1에서는 2013년 1월에 열린 제 72차 회의에서부터 ProSe 물리 계층 표준화를 본격적으로 진행하였다. 제 72차 및 72b차 회의에서는 D2D 성능 평가를 위한 Layout Option 및 셀 배치 시나리오, 채널 모델, 평가 방법(Evaluation Methodology)에 대한 논의를 중심으로 표준화 회의가 진행되었다. 2013년 5월에 개최된 제 73차 회의에서는 이와 더불어 D2D

단말 탐색 및 D2D 통신 기술에 대한 기고문이 다수 제출되어 핵심 기술에 대한 논의가 이루어지기 시작하였다. 아래에서 72~72b차 회의에서 논의된 주요 내용을 소개하고, 73차 회의에서 논의된 핵심 기술은 IV장에서 다룬다.

### 3-1 Layout Option 및 셀 배치 시나리오

TSG RAN WG 1에서는 D2D 기술의 성능 평가를 위해 다음과 같이 여섯 가지의 Layout Option을 정의하였다<sup>[17]</sup>.

- Option 1 : Urban macro(500 m ISD) + 1 RRH /Indoor Hotzone per cell

- Option 2 : Urban macro(500 m ISD) + 1 Dual stripe per cell
- Option 3 : Urban macro(500 m ISD) (all UEs outdoor)
- Option 4 : Urban macro(500 m ISD) + 3 RRH/Indoor Hotzone per cell
- Option 5 : Urban macro(1,732 m ISD)
- Option 6 : Urban micro(100 m ISD)

Option 1, 2, 3, 4, 6의 경우는 3GPP Case 1에 정의된 파라미터를 사용하고, Option 5의 경우는 3GPP Case 3에 정의된 파라미터를 사용한다.

<표 3>은 Layout Option을 중심으로 분류한 D2D의 셀 배치 시나리오(Deployment Scenario)별 주요 파라미터를 나타낸 것이다<sup>[17]</sup>. 일반 시나리오에서는 Option

<표 3> 3GPP ProSe의 셀 배치 시나리오별 주요 파라미터<sup>[17]</sup>

	General scenarios	Public safety scenarios
LTE layout	Option 1 shall be mandatory Other layouts are optional in order of decreasing priority Option 2 / Option 3 / Option 4 / Option 6	Option 5 shall be mandatory Other layouts are optional in order of decreasing priority Option 3 / Option 1
Carrier frequency(Note: The performance at 2 GHz is expected be different from that at 700 MHz)	2 GHz	700 MHz
System bandwidth	10 MHz uplink and 10 MHz downlink for FDD, 20 MHz for TDD	FFS
Network operation	100% eNBs enabled	{0, x(FFS)}% eNBs enabled (Note that x may be 100%) FFS whether disabled eNBs are selected randomly or deterministically
UE out of coverage criterion	N/A	Average SINR $\leftarrow$ 6 dB over system bandwidth
Network synchronization	All cases shall be treated with equal priority : • all eNBs synchronized • eNBs on different carriers not synchronized • eNBs on given carrier not synchronized	
UE mobility	{3, X} km/hr	120 km/hr for {X} fraction of outdoor UEs {3, X} km/hr for other UEs
UE RF parameters	Max transmit power of 23 dBm for non public safety, 23 dBm, 31 dBm for public safety 1 Tx(2 Tx optional for public safety only), 2 Rx antenna, antenna gain 0 dBi, noise figure 9 dB	
eNB RF parameters	As specified in 3GPP Case 1, except for option 5 which parameters as specified in 3GPP Case 3	
Non D2D traffic	With probability {X}, a D2D UE has non D2D(downlink & uplink) traffic. WAN traffic source shall be FTP2.	Non D2D traffic

1을 필수적으로 고려해야 하며, Option 2, Option 3, Option 4, Option 6 순서로 우선권을 두어 선택적으로 고려해야 한다. D2D 통신의 중심 주파수는 2 GHz 이며, 시스템 대역폭은 FDD인 경우 10 MHz, TDD인 경우 20 MHz로서 셀룰러 네트워크의 상향 링크 혹은 하향 링크를 공유한다. 한편, 공공 안전 시나리오에서는 Option 5를 필수적으로 고려해야 하고, Option 3, Option 1 순서로 우선권을 두어 선택적으로 고려한다.

각 Option에 대한 사용자의 배치 방식은 다음과 같이 정의된다. Option 1, 2, 4에서는 전체 사용자 수의 2/3는 소형 셀 안에 균일하게 배치하며, 나머지 1/3은 소형 셀 밖의 매크로 셀에 배치한다. 또한 전체 사용자 중 80 %는 실내, 20 %는 실외에 있는 것으로 가정한다. Option 3, 5, 6에서는 모든 사용자들을 매크로 셀 안에 균일하게 배치하는 것과 매크로 셀의 특정 지역을 임의적으로 선택하여 Hotspot 지역으로 설정하여 사용자를 배치시킬 수 있다. Hotspot을 설정하는 경우에 Hotspot 지역의 40 m 내에 전체 사용자의 2/3를 배치시키고, Hotspot 외의 매크로 셀 내에 나머지 1/3을 배치시킨다. 추가적으로 Option 5에서는 기지국의 데이터 처리 용량을 늘리기 위하여

각각의 매크로 셀 내에 두 개의 RRH(Remote Radio Head)를 배치시킨다. 또한 모든 사용자들을 매크로 셀 내에 균일하게 배치할 때 사용자의 80 %는 실내, 20 %는 실외로 설정한다.

모든 Option에서 공통적으로 기지국과 D2D 사용자와의 거리는 35 m 이상이어야 하며, D2D 송신단과 수신단 사이의 거리는 3 m 이상이 되어야 한다. D2D 송수신 짝을 설정하는 방식은 한 사용자가 인접 셀 혹은 셀 외부를 포함하여 전체 셀의 19/7배 지역에서 임의로 선택된 후, 같은 방식으로 선택된 사용자를 제외한 나머지 사용자를 선택하여 짝을 이루게 된다. 두 번째로 선택된 사용자의 RSRP(Reference Signal Received Power)를 계산하여 최소 RSRP를 만족하지 않는 경우는 다른 사용자를 선택한다.

### 3-2 채널 모델 및 성능평가 척도

<표 4>는 ProSe의 성능 평가를 위한 단말간 채널 모델을 나타낸 것으로, 단말의 위치가 실내인 경우와 실외인 경우에 따라 분류되어 있다<sup>[18]</sup>. 중심 주파수는 700 MHz와 2 GHz를 모두 고려하고 있다. 고속 페이딩의 AoD(Angle of Departure) Spread와 AoA(Angle of Arrival) Spread는 동일하게 설정되었으나, 후후 변

<표 4> 3GPP ProSe의 모의실험을 위한 단말간 채널 모델<sup>[18]</sup>

	Outdoor to outdoor	Outdoor to indoor	indoor to indoor
Pathloss <sup>1)</sup>	Winner + B1 with [-10]dB offset	Dual strip(layout option 2) Winner + B4(remaining layout options) with [-10]dB offset	Dual strip(layout option 2) InH(36.814)(remaining layout options)
LOS Probability <sup>2)</sup>	ITU-R IMT Umi	ITU-R IMT Umi	ITU-R IMT Umi(for InH) N/A for Dual strip
Shadowing	7 dB log-normal or 10 dB log-normal	7 dB log-normal	LOS : 3 dB log-normal NLOS : 4 dB log-normal
Shadowing correlation	FFS		
Fast fading <sup>3)</sup>	ITU-R IMT Umi LOS and NLOS	ITU-R IMT Umi O2I	ITU-R IMT InH LOS and NLOS

<sup>1)</sup> Pathloss : Pathloss should be defined for 700 MHz in addition to 2 GHz(by applying 20 log(f<sub>c</sub>) correction for 700 MHz if not otherwise specified)

<sup>2)</sup> LOS probability : Some pathloss models do not specify a LOS/NLOS region - the LOS probability would not be used for such models

<sup>3)</sup> Fast fading : AoD spread and AoA spread set equal to each other(further study required)

경될 수도 있다.

D2D 단말 탐색(Discovery) 측면에서의 기술의 성능평가 척도로는 다음과 같은 메트릭을 고려한다<sup>[17]</sup>. 먼저, 목표 성능 측면에서 주변의 모든 단말을 대상으로 하는 Open ProSe Discovery의 경우, 시간에 따라 탐색되는 사용자의 수와 그 수의 CDF(Cumulative Distribution Function)이 중요한 척도가 된다. 특정 단말들을 대상으로 하는 Restricted ProSe Discovery의 경우는 시간에 따른 사용자의 탐색 확률이 성능 척도가 된다. 탐색 범위와 신뢰성 관점에서는 경로손실에 따른 검출 확률(Detection Probability)과 오검출 확률(False Alarm Probability)이 성능 평가 척도가 된다. 셀룰러 네트워크에 미치는 영향 측면에서는 탐색에 필요한 자원의 양, 셀룰러 시스템의 Throughput 손실, 간섭 증가량 등이 성능 평가 척도가 된다. 또한 단말의 전력 소모 측면에서 D2D 탐색에 필요한 시간 또는 전력 소모량이 성능평가 척도가 된다.

D2D 통신(Communication) 측면에서의 기술의 성능평가 척도로는 다음과 같은 메트릭을 고려한다<sup>[17]</sup>. 먼저 D2D 통신 성능 관점에서 평가 방법은 트래픽 모델에 따라서 Full Buffer 모델과 FTP2 모델의 경우 Throughput의 평균, 5% Outage 값, CDF 등을 고려하고 있고, VoIP(Voice over IP) 모델의 경우 VoIP 시스템 용량과 Delay가 척도가 된다. 탐색 범위와 신뢰성 관점에서는 경로손실 또는 거리에 따른 성능이 평가 척도가 되고, 기지국 커버리지 밖에 있는 경우 Call Setup Latency도 중요한 척도가 된다. 셀룰러 시스템에 미치는 영향 측면에서는 셀룰러 시스템의 셀 Throughput 손실 또는 사용자 Throughput의 CDF, 전력 소모 관점에서 D2D 통신을 위한 전력 소모량이 성능 평가 척도가 된다.

#### IV. LTE ProSe 핵심 기술

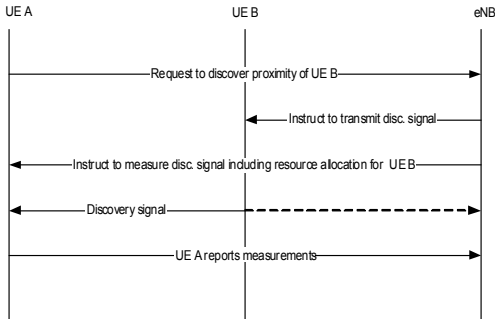
D2D 기술의 Use Case와 시나리오는 TSG SA WG

1에서 논의되고 있으며, 물리 계층 기술은 TSG RAN WG1에서 표준화가 진행 중에 있다. SA WG1에서는 2013년 5월 제 62차 회의에서 전반적인 Use Case와 시나리오에 대한 기준을 정립하였다. RAN WG1에서는 2013년 5월 제 73차 회의에서 Discovery와 Communication 부분의 핵심 기술에 대한 논의를 시작하였다. 또한 RAN WG1에서는 여러 기고문들 중에서 가장 좋은 기술을 선정하기 위한 논의가 진행 중에 있다. 이번 장에서는 RAN WG1에서 논의되고 있는 물리 계층의 주요 기술들을 살펴본다. 아직 표준화 초기 단계에 있으며, 회의를 통해 합의가 이루어진 기술은 TR 36.843에 정리되고 있다<sup>[10]</sup>.

##### 4-1 D2D Discovery

D2D Discovery는 탐색하는 대상 단말의 범위에 따라서 Use Case를 Restricted ProSe Discovery, Open ProSe Discovery, Discovery with Subscribers from Different PLMNs(Public Land Mobile Networks), Discovery with Roaming Subscribers, Network ProSe Discovery로 분류할 수 있다<sup>[8]</sup>. Use Case에 따라 적절한 Discovery 기술 개발이 필요하다.

Discovery를 위한 대표적인 방법은 다음과 같이 세 가지로 분류할 수 있다<sup>[19]</sup>. 먼저 Direct(Autonomous) Discovery는 D2D 통신을 하고자 하는 UE(User Equipment)가 주위에 대상 UE가 있는지 정해진 시간에 Discovery 신호를 보내고, 이를 수신한 UE가 응답하는 형태로 동작한다. eNB-Directed Discovery는 eNB(Enhanced Node B)가 Discovery에 필요한 정보를 제공해 주는 형태가 된다. 가령, Discovery 신호를 전송하는 자원을 할당해 주거나, UE들에게 언제 수신해서 어떤 값을 측정하고, 어떻게 eNB에 보고하는지 등을 전체적으로 제어한다. [그림 6]은 eNB-Directed Discovery를 위한 eNB와 UE 간 Signaling 교환의 예시를 보여준다. Discovery via Enhanced Location Information은 UE가 전송하는 Discovery 신호를 기지국이



[그림 6] eNB-Directed Discovery를 위한 eNB와 UE 간 Signaling 교환<sup>[19]</sup>

수신하여 UE의 위치정보를 파악하고, 이러한 정보를 축적하여 Discovery 하고자 하는 단말에게 후보군을 제공해 주는 등의 역할을 하는 것을 의미한다. 이를 통해 Discovery에 필요한 자원 또는 Discovery 신호 전송 주기를 줄일 수 있는 장점을 가진다.

UE가 Discovery 신호를 전송하기 위해서는 셀룰러 자원을 사용해야 한다. 방법은 크게 두 가지로 나뉘는데, Discovery만을 위한 주파수 자원을 지정하여 사용하는 Dedicated Carrier 방법과 셀룰러가 사용하는 자원을 공유하여 사용하는 방법이 있다<sup>[19],[20]</sup>. 셀룰러와 자원을 공유하는 경우, 상향 링크 또는 하향 링크 자원을 사용할 수 있는데, 일반적으로 상향 링크를 사용하는 것이 더 효과적인 것으로 알려져 있다. 그 이유는 UE에 이미 상향 링크 전송을 위한 RF Chain이 존재하여 이를 재사용할 수 있으며, 또한 간섭 측면에서 하향 링크 자원을 사용한다면 기지국으로부터의 강한 간섭이 있을 수 있기 때문이다. 또한 Discovery 신호 전송을 위해 특정 Resource Block을 전용으로 할당하기 위해서도 상향 링크 자원을 공유하는 것이 효과적이다. 상향 링크 자원을 공유하는 경우, 특정 Subframe을 Discovery 신호 전송 전용으로 할당하는 방법이 있고, 셀룰러 상향 링크 전송 신호와 동적으로 자원을 공유하는 방법이 있다. 후자의 경우 자원 이용의 효율은 높일 수 있지만, 간섭

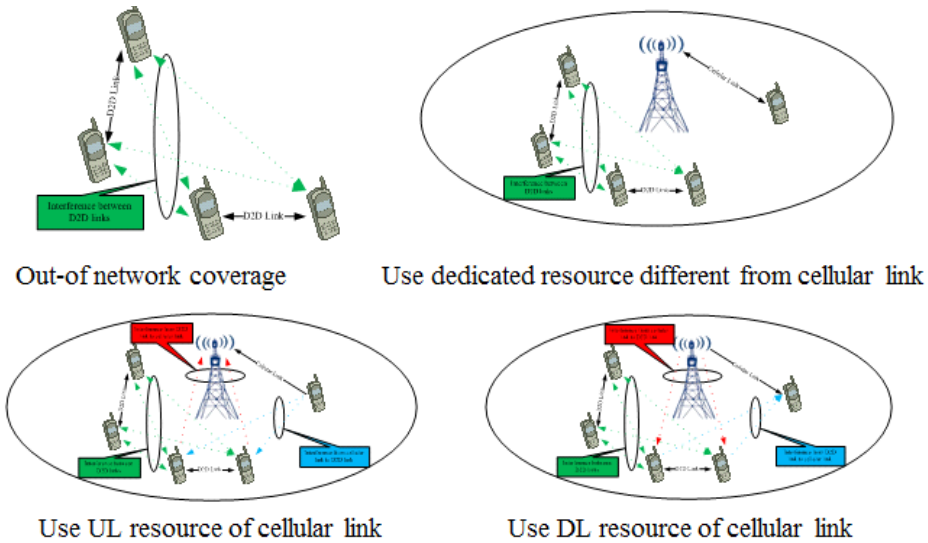
문제에 대한 대처가 필요하다.

Discovery 기술에서 고려해야 할 또 다른 문제는 셀룰러 링크가 Idle 상태인 UE와 Connected 상태인 UE 모두 Discovery 신호를 전송하거나, 다른 UE가 보낸 Discovery 신호를 들 수 있어야 한다는 점이다. 이와 동시에 UE의 배터리 소모를 최소화하기 위해서 Discovery 신호 전송의 주기를 최적화하는 것이 필요하다<sup>[19]</sup>. 또한 Discovery 신호 전송을 위한 시간 동기화(Time Alignment)도 중요한 문제이다<sup>[19]-[21]</sup>. 특히, eNB와 페루프로 정확히 동기를 맞추기 어려운 Idle 상태의 UE나 재난 상황과 같이 네트워크 인프라를 이용할 수 없는 UE들의 동기화가 중요한 문제가 된다<sup>[22]</sup>. 마지막으로, Discovery 과정을 통해 단순히 특정 단말이 D2D 통신이 가능한지 여부만을 결정하는 것이 아니라, 단말 간의 거리(Range)를 측정할 수 있다면 매우 유용할 것이다<sup>[19]</sup>. 예를 들어, 응용 서비스들마다 근접성에 대한 요구 조건이 다를 것이고, 거리 측정 정보를 이용하면 특정 응용 서비스에 적합한 D2D 단말 후보군을 만들 수 있다. 단말 간의 거리는 경로손실, 수신신호의 크기, 전파 지연시간, 단말들의 위치정보 등으로부터 추정 가능하

#### 4-2 D2D Communication

셀룰러 시스템에서 D2D 통신을 지원하려면 기존의 eNB와 UE의 기능 외에 추가적인 기능이 요구된다<sup>[23]</sup>. 먼저 UE에 요구되는 기능으로는 D2D 통신을 하고자 하는 UE 간의 동기화가 이루어져야 하고, UE 간의 채널 정보를 추정 및 보고할 수 있어야 한다. 셀룰러의 상향 링크 자원을 통해 수신하는 기능 또는 하향 링크 자원을 통해 송신하는 기능 또한 부가적으로 요구된다. 또한 셀룰러 링크와 D2D 링크를 동시에 유지할 수 있는 기능이 요구된다. eNB의 요구조건으로는 각각의 D2D 링크를 스케줄링하고 제어할 수 있는 기능 및 여러 링크 간의 간섭을 효과적으로 제어할 수 있는 기능이 요구된다.





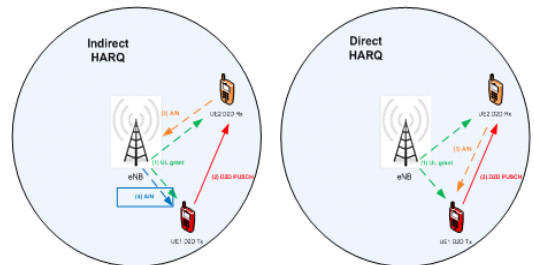
[그림 7] 셀룰러와 D2D 링크 자원 공유 시의 다양한 간섭 시나리오<sup>[26]</sup>

D2D 통신에서 가능 기본적인 문제는 Discovery와 마찬가지로 어떤 셀룰러 자원을 공유하느냐 하는 문제이다. 앞서 4-1절에서 설명한 것과 동일하게 통신 측면에서도 일반적으로 상향 링크 자원을 공유하는 것이 효과적인 것으로 알려져 있다. 셀룰러 링크와 D2D 링크가 자원을 공유하기 때문에 부가적인 간섭 문제가 필연적으로 발생한다<sup>[23]-[26]</sup>. 부가적인 간섭으로는 셀룰러 링크가 D2D 링크에 미치는 간섭, 반대로 D2D 링크가 셀룰러 링크에 미치는 간섭과 D2D 링크 상호 간의 간섭이 있다. [그림 7]은 네트워크 상황 및 공유 자원에 따른 다양한 간섭 시나리오를 보여준다<sup>[26]</sup>. 간섭을 제어하기 위한 대표적인 방법으로 자원 할당과 전력 제어를 고려할 수 있다. 자원 할당의 경우, [그림 3]의 구조에 따라 중앙 집중형, 분산형 또는 혼합형으로 이루어질 수 있고, 기지국의 개입 정도에 따라 간섭을 제어할 수 있는 정도가 달라질 것이다.

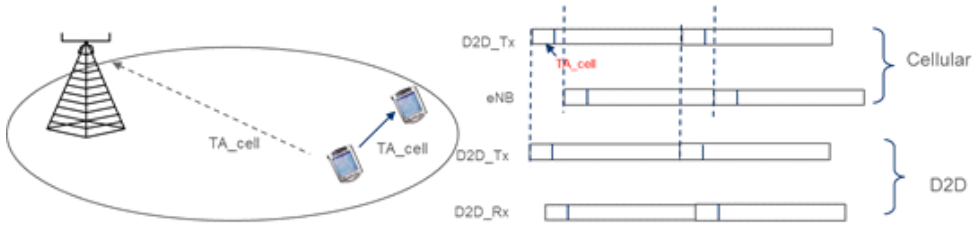
D2D 통신의 또 다른 기술적인 이슈로 HARQ(Hybrid Automatic Repeat Request) 동작을 들 수 있다<sup>[27]</sup>. 기존의 셀룰러 통신과는 달리 D2D 통신에서는 데이

터와 ACK/NACK을 모두 상향 링크 또는 하향 링크 자원 중 하나의 자원을 이용해야 하는 제약이 있다. D2D 통신에서 HARQ를 지원하는 방법은 [그림 8]과 같이 셀룰러 링크를 이용하여 ACK/NACK을 우회적으로 보내는 Indirect HARQ와 D2D 링크를 통해 직접 ACK/NACK을 보내는 Direct HARQ가 있다<sup>[27]</sup>. 서비스 특성에 따라 HARQ를 지원하지 않고, 강한 채널 코딩을 통해 링크를 에러로부터 보호하는 방법도 고려할 수 있다.

단말 간 동기화도 Discovery에서의 마찬가지로 중요한 이슈로 논의되고 있다<sup>[22],[28]</sup>. UE들이 셀룰러 네



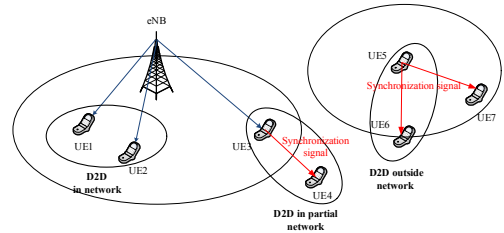
[그림 8] Indirect HARQ와 Direct HARQ<sup>[27]</sup>



[그림 9] D2D 통신 동기화를 위해 셀룰러 상향 링크 Timing Advance를 재사용하는 방법<sup>[28]</sup>

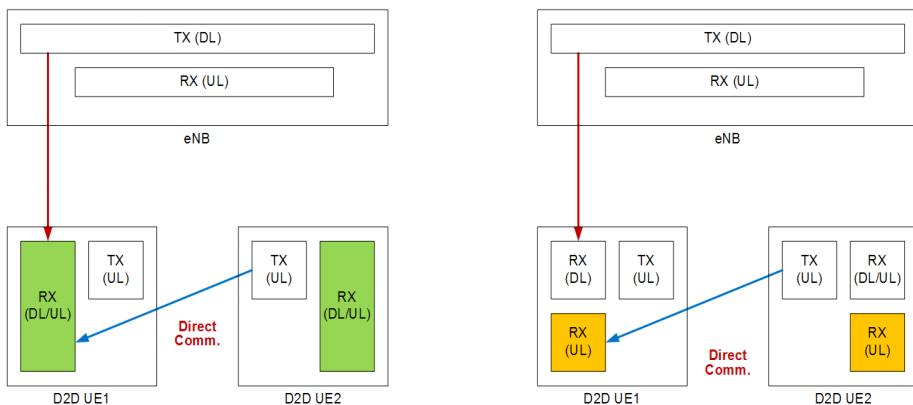
트위크에 접속할 수 있는 경우는 비교적 쉽게 해결할 수 있는데, 대표적으로 [그림 9]와 같이 셀룰러 상향 링크 전송 Timing Advance를 재사용하는 것이다<sup>[28]</sup>. 하지만, 재난 상황 등으로 인해 일부 UE 또는 모든 UE가 셀룰러 네트워크에 접속할 수 없는 경우는 문제가 더 복잡해진다. 이 경우는 특정 UE가 동기화를 위한 Timing Reference Node 역할을 수행해야 할 것이다. 셀룰러 네트워크에 접속할 수 있는 단말이 있다면 그 단말이 Reference Node 역할을 수행하는 것이 바람직할 것이다. [그림 10]은 다양한 네트워크 상황에서 단말 간 동기화를 위한 방법을 개념적으로 나타낸 것이다<sup>[22]</sup>.

D2D 통신에 있어서 또 하나의 기술적 이슈는 단말이 셀룰러 링크와 D2D 링크를 동시에 유지하면서 발생한다. [그림 11]은 D2D 통신이 셀룰러 상향 링크 자원을 공유하는 경우, 단말의 구조에 따라서



[그림 10] 일부 또는 전체 단말이 셀룰러 네트워크에 접속할 수 없는 경우의 단말 간 동기화 방법<sup>[22]</sup>

Half Duplex로 동작할 수도 있고, Full Duplex로 동작할 수도 있음을 보여준다<sup>[22]</sup>. 왼쪽 그림과 같이 하향 링크와 상향 링크 수신부가 통합된 구조의 경우 셀룰러 링크의 하향 링크와 D2D 링크를 동시에 수신할 수 없는 Half Duplex 구조가 되고, 오른쪽 그림과 같이 하향 링크와 상향 링크 수신부가 분리된 경우는 두 링크를 동시에 수신할 수 있는 Full Duplex 구조가 된다.



[그림 11] Half Duplex 및 Full Duplex 단말 구조<sup>[22]</sup>

## V. 결 론

LTE-Advanced 표준이 이미 상용화되고 있고, 5G 이동통신에 대한 관심이 증가하고 있는 시점이다. 좀 더 빠르고 편리한 통신을 원하는 사용자를 만족시키면서 동시에 한정된 주파수 자원을 효율적으로 활용하기 위한 기술인 D2D 기술은 아직 표준화 초기 단계에 있다. D2D 기술이 활성화 되면 에너지효율 향상, 디바이스 성능 향상, 주파수 효율 향상, 기지국 커버리지 확장, 새로운 근접성 기반 서비스 개발 등의 효과를 기대할 수 있다. 본고에서는 3GPP에서 진행 중인 LTE-Advanced ProSe 표준화 현황을 살펴보고, 물리 계층을 중심으로 주요 기술적인 이슈들을 살펴보았다. 멀지 않아 D2D 통신 기술이 차세대 이동통신 기술의 한 부분을 차지할 것으로 기대하며, 이를 위해 적극적인 표준화 활동 및 기술 개발이 필요할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Cisco, "Traffic forecast update, 2011-2016", pp. 1-29, Feb. 2012.
- [2] 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.
- [3] M. S. Corson, R. Laroia, J. Li, V. Park, T. Richardson, and G. Tsirtsis, "Toward proximity aware internetworking", *IEEE Wireless Commun.*, vol. 17, no. 6, pp. 26-33, Dec. 2010.
- [4] 양모찬, 임이랑, 오선에, 김현민, 신오순, 신요안, "LTE-Advanced 네트워크에서 D2D 통신 기술 동향", 차세대통신 시스템 및 요소기술 특집호, 전자공학회지, 제 39권 11호, pp. 27-38, 2012년 11월.
- [5] X. Wu, S. Tavildar, S. Shakkottai, T. Richardson, J. Li, R. Laroia, and A. Jovicic, "FlashLinQ: A synchronous distributed scheduler for peer-to-peer ad hoc networks", in *Proc. IEEE Allerton Conf.*, Monticello, USA, Sep. 2010.
- [6] PCWorld, "Qualcomm aims at peer-to-peer with FlashLinQ", Feb. 2011.
- [7] 손중제, "WiMAX 기반 재난통신 기술 및 표준 현황", *TTA Journal*, no. 131, pp. 74-77.
- [8] 3GPP TR 22.803, "Feasibility study for Proximity Services (ProSe)", V12.1.0, Mar. 2013.
- [9] 3GPP TR 23.703 "Study on architecture enhancements to support Proximity Services (ProSe)", V0.4.1, Jun. 2013.
- [10] 3GPP TR 36.843, "Study on LTE device to device Proximity Services", V0.1.0, Apr. 2013.
- [11] T. Peng, Q. Lu, H. Wang, S. Xu, and W. Wang, "Interference avoidance mechanism in the hybrid cellular and device-to-device systems", in *Proc. IEEE Inter. Symp. Personal, Indoor and Mobile Radio Commun. 2009 (PIMRC 2009)*, pp. 617-621, Sep. 2009.
- [12] B. Wang, L. Chen, X. Chen, X. Zhang, and D. Yang, "Resource allocation optimization for device-to-device communication underlying cellular networks", in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. 2011 Spring (VTC 2011-Spring)*, Budapest, Hungary, May 2011.
- [13] 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.
- [14] Huawei, "Future smartphone solution white paper", Sep. 2012.

- [15] Qualcomm Inc., "Study on LTE device to device Proximity Services", *RP-122009, 3GPP TSG RAN Meeting #58*, Dec. 2012.
- [16] 3GPP Work Plan, Jun. 30, 2013.
- [17] Qualcomm Inc., "Text proposal for TR 36.843", *RI-132499, 3GPP TSG RAN WGI Meeting #73*, May 2013.
- [18] Qualcomm Inc., "Way forward for D2D channel models", *RI-132502, 3GPP TSG RAN WGI Meeting #73*, May 2013.
- [19] Huawei, HiSilicon, "Physical layer options for D2D discovery", *RI-131864, 3GPP TSG RAN WGI Meeting #73*, May 2013.
- [20] Intel Corp., "Discussion on design options for D2D discovery", *RI-131924, 3GPP TSG RAN WGI Meeting #73*, May 2013.
- [21] Ericsson, S. T. Ericsson, "Synchronization procedures for D2D discovery and communication", *RI-132029, 3GPP TSG RAN WGI Meeting #73*, May 2013.
- [22] LG Electronics, "Device discovery outside and partial network coverage", *RI-132249, 3GPP TSG RAN WGI Meeting #73*, May 2013.
- [23] LG Electronics, "Physical layer enhancements for D2D communication", *RI-132250, 3GPP TSG RAN WGI Meeting #73*, May 2013.
- [24] CATT, "On D2D communication", *RI-131897, 3GPP TSG RAN WGI Meeting #73*, May 2013.
- [25] InterDigital, "On the use of UL or DL radio resources for D2D", *RI-132186, 3GPP TSG RAN WGI Meeting #73*, May 2013.
- [26] Alcatel-Lucent, "Consideration of resource used and power setting for D2D communication", *RI-132068, 3GPP TSG RAN WGI Meeting #73*, May 2013.
- [27] InterDigital, "D2D Communication in LTE", *RI-132188, 3GPP TSG RAN WGI Meeting #73*, May 2013.
- [28] Ericsson, "D2D for LTE Proximity Services: Overview", *RI-132028, 3GPP TSG RAN WGI Meeting #73*, May 2013.

≡ 필자소개 ≡

강 길 모



2013년 2월: 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)  
2013년 3월~현재: 숭실대학교 전자공학과 석사과정  
[주 관심분야] 통신시스템, D2D 통신, 빔포밍

남 종 현



2013년 2월: 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)  
2013년 3월~현재: 숭실대학교 전자공학과 석사과정  
[주 관심분야] 통신시스템, D2D 통신

김 현 민



2012년 8월: 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)  
2012년 9월~현재: 숭실대학교 전자공학과 석사과정  
[주 관심분야] 통신시스템, D2D 통신

신 오 순



1998년 2월: 서울대학교 전기공학부 (공학사)  
2000년 2월: 서울대학교 전기공학부 (공학석사)  
2004년 2월: 서울대학교 전기·컴퓨터공학부 (공학박사)  
2004년 3월~2005년 9월: 미국 Harvard University 박사후연구원  
2006년 4월~2007년 8월: 삼성전자 통신연구소 책임연구원  
2007년 9월~현재: 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수  
[주 관심분야] 통신시스템, 통신이론, 통신신호처리