

B4G 이동 통신 기술 동향

Beyond 4G Mobile Communications

예충일 (C.I. Yeh)	B4G 이동통신방식연구실 책임연구원
고영조 (Y.J. Ko)	B4G 이동통신방식연구실 책임연구원
남준영 (J.Y. Nam)	B4G 이동통신방식연구실 선임연구원
노태균 (T.G. Noh)	B4G 이동통신방식연구실 선임연구원
신준우 (J.W. Shin)	B4G 이동통신방식연구실 선임연구원
안재영 (J.Y. Ahn)	B4G 이동통신방식연구실 실장
송평중 (P.J. Song)	B4G 이동통신연구부 부장

* 본 연구는 미래창조과학부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음(10038765, 스마트 모바일 서비스를 위한 B4G 이동통신 기술 개발).

최근 다양한 모바일 스마트 기기 및 앱의 활발한 사용, 클라우드 서비스의 등장 등으로 과거 어느 때보다 전송속도에 대한 사용자의 요구가 증대하고 있다. 또한 WCDMA/HSPA, cdma2000/EV-DO, WiMAX 등의 복수 표준으로 대표되었던 3G/3.5G 때에는 달리 LTE가 4G의 거의 유일한 표준으로 정착되고 있는 상황이다. 본 논문은 LTE 기반으로 LTE보다 10배 빠른 전송속도를 달성하기 위해 연구되고 있는 B4G(Beyond 4G) 기술 및 동향에 대하여 기술한다.

스마트 유무선 네트워크 특집

- I. 머리말
- II. B4G 위상
- III. B4G 핵심 기술 및 동향
- IV. 맺음말

I. 머리말

최근 과거 어느 때보다 모바일 전송속도에 대한 사용자의 요구가 증대하고 있다. 또한 3GPP가 LTE-Advanced(Release-10) 규격을 발행한 이후 관련 업계에서는 “Everything On the Mobile GigaNet!”으로 요약되는 새로운 비전을 수립하였는데 이것의 핵심 골자는 2020년까지 LTE-Advanced 대비 약 500배에서 1,000배 수준의 전송속도로 모바일 서비스를 제공하는 데 있다.

이와 같은 대용량 무선 전송기술 개발을 위해 관련 연구자들은 대략 다음 3가지의 방향에서 접근하고 있는데 이 중 LTE 기반의 진화 기술을 B4G(Beyond 4G)로 볼 수 있다.

- LTE 기반의 진화 기술
- mmWave 기반의 진화 기술
- 새로운 무선 전송기술에 기반한 혁신 기술

B4G 이동통신 기술은 이미 관련 업체 및 기관들에서 많이 연구되었고 3GPP에서 표준화 단계를 거치고 있다. 3GPP Release-10까지의 규격을 4G라고 한다면 2012년 3월 발간된 stage 3 단계의 Release-11, 2014년 발간 예정인 stage 3 단계의 Release-12 규격은 B4G 이동통신 기술로 간주될 수 있다. 3GPP 표준화 관점에서 B4G는 혁신 기술로 대체되는 순간까지 진화를 계속할 것이다. <표 1>은 3GPP stage별 문서 특징을 요약한 것이다.

<표 1> 3GPP stage별 문서 특징

Stage	문서 특징
0	구현 가능성 검토(SI 단계)
1	사용자 관점에서 서비스 기술
2	문제를 논리적으로 분석, 기능 요소들로 세분화한 다음 기준점을 통한 기능체들 간의 정보 흐름 기술
3	구현 가능한 프로토콜 구현
4	시험 규격

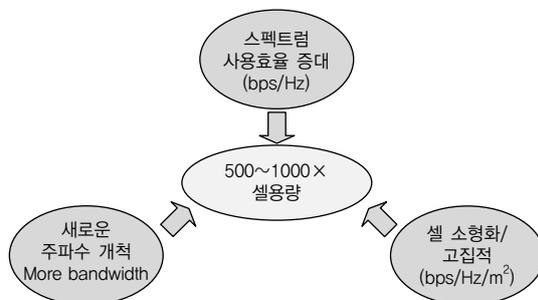
mmWave 기반 이동통신 기술 및 새로운 무선 전송기술에 기반한 혁신 기술은 몇몇 선두 기관들이 연구 및 개발에 참여하고 있으나 아직 표준화 등 상용화와 관련하여 수면 위로 부상하고 있지는 않다. 특히 통상적으로 사용되는 용어는 아니지만 새로운 무선 전송기술에 기반한 혁신 기술을 5G로 부르기도 한다.

II. B4G 위상

어떻게 1,000배의 전송속도를 얻을 수 있는가? (그림 1)은 1,000배의 전송속도를 달성하기 위한 세 가지 측면의 접근 방법을 도시하고 있다. 새로운 주파수 개척을 통한 사용 스펙트럼 확장, 셀 소형화/고집적화 등을 통한 주파수 재사용 효율 증대, 새로운 전송기술 개발을 통한 스펙트럼 사용 효율 증대 등이 대용량 전송속도 달성을 위해 논의되고 있는 기술들이다.

2020년 Mobile GigaNet 대비 B4G의 목표는 보다 단 거적이다. B4G는 2015년까지 LTE-Advanced 대비 약 10배 수준의 전송속도를 달성하는데 있다. 수치상으로 1,000배와 10배 사이에는 매우 큰 차이가 있지만 기술적인 측면에서 B4G와 5G는 동일선상에 존재할 가능성이 크다. B4G 역시 용량 증대를 위해 (그림 1)의 방향을 수용하고 있기 때문이다.

특별한 혁신 기술의 등장으로 5G가 완전히 새로운 마당에서 펼쳐지는 것을 배제할 수는 없으나 B4G 기술



(그림 1) 셀 용량 증대 기술

기반에서 규모와 기술 측면에서 스케일링되는 모양으로 5G가 시작될 가능성도 매우 크다.

또 B4G는 LTE 기반의 진화 기술이므로 3GPP의 LTE 표준화 단계와도 무관하지 않다. 사실 B4G에서 연구되고 있는 대부분의 기술들이 3GPP Release-12에서 SI(Study Item) 또는 WI(Work Item)으로 표준화가 진행되고 있다. 그렇다고 B4G의 방향이 3GPP 표준화와 완전히 일치하는 것도 아니다. B4G는 각 회사 및 기관 별로 연구되고 있고 10배 전송속도가 LTE/LTE-Advanced 이후의 3GPP의 목표도 아니기 때문이다. <표 2>는 B4G 주요 기술과 3GPP Release-12에서 논의되고 있는 기술들을 분야 별로 나누어 비교한 표이다. 기술 분야가 거의 일치하고 있으나 세부적 내용에는 다소 차이가 있다. B4G에서 연구되고 있는 기술들이 3GPP 표준화는 물론 5G 등에서도 활용될 것임은 거의 분명하다.

III. B4G 핵심 기술 및 동향

<표 2>에 따르면 Release-8부터 Release-11까지의 유지보수가 Release-12에서 주요 내용 중 하나임을 알

<표 2> 분야별 B4G, Release-12 기술 비교

기술분야	B4G	Release-12
새로운 주파수 개척	mmWave	해당 사항 없음
스펙트럼 사용 효율 증대	mMIMO*, NAICS, HetNet*-CoMP	3D 빔포밍, FD-MIMO, NAICS, CoMP non-ideal backhaul
셀소형화/고집적화	NCT, SCE	NCT, SCE
기타 기술	D2D, 미래 이동통신 망 구조	eIMTA*, D2D, MTC*, TDD-FDD CA*, LTE Coverage Enhancement, Further MBMS

* mMIMO(Massive MIMO)
 * HetNet(Heterogeneous Network)
 * eIMTA(Enhancements to LTE TDD for DL-UL Interference Management and Traffic Adaptation)
 * CA(Carrier Aggregation)
 * MTC(Machine Type Communication)

수 있다. 반면 B4G는 스펙트럼 사용 효율 증대, 셀 소형화, D2D(Device to Device)등에 초점을 맞추고 있다. 여기서는 B4G 핵심 기술 및 기술 동향을 소개한다

1. 다중점 협력 송수신 기술

CoMP(Coordinated Multi-Point) 송수신 기술은 지리적으로 떨어진 복수의 송수신 점들의 협력 송수신 기술은 의미한다. 3GPP는 고전송률 영역 확대, 셀 경계 및 셀 평균 용량 향상을 위해 CoMP 송수신 지원을 LTE Release-11 규격에 포함시켰다.

가. 하향링크 CoMP

하향링크 CoMP 송신 방식은 크게 JP(Joint Processing)와 CS/CB(Coordinated Scheduling/Beam forming)로 나눌 수 있다. JP에서는 지리적으로 떨어져 있는 복수의 전송점들이 단말에게 전송할 데이터를 공유한다. JP 기술은 조인트 전송(Joint Transmission)과 동적 전송점 선택(Dynamic Point Selection)으로 나뉘어진다. 조인트 전송에서는 다수 전송점들이 동시에 같은 자원을 사용하여 같은 데이터를 단말에 전송한다. 동적 전송점 선택은 어느 순간에 한 개 전송점이 데이터를 전송하지만 전송점은 동적으로 바뀔 수 있다. CS/CB에서는 데이터를 전송하는 전송점은 하나이지만 이 전송점은 주변 전송점들과 스케줄링 및 빔 형성에 대한 협력을 통해 전송점들 경계에 위치한 단말이 경험하는 간섭을 줄인다. CS/CB는 Release-8에서 규격화된 전송전력차원의 협력에서 더 나아가 공간적 자유도인 빔 형성의 상호 협력을 포함한다.

나. 상향링크 CoMP

상향링크 CoMP는 JR(Joint Reception)과 CS/CB로 나눌 수 있다. JR은 복수의 수신점들을 통해 상향 물리

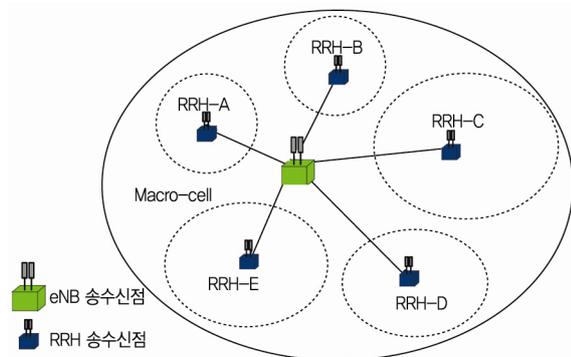
채널을 수신하는 방식을 의미하고 CS/CB는 복수의 수신점들이 서로 협력하여 스케줄링과 프리코딩을 수행하는 방식을 의미한다. 단말은 한 개의 수신점을 가정하고 데이터를 송신한다.

다. CoMP 시나리오

3GPP에서는 고려하고 있는 CoMP 시나리오는 다음 4가지로 분류된다.

- CoMP 시나리오 1: Intra-site CoMP의 동종 네트워크
- CoMP 시나리오 2: 고전력 RRH(Remote Radio Head)와의 동종 네트워크
- CoMP 시나리오 3: 저전력 RRH와의 이종 네트워크로 RRH는 매크로 셀과 서로 다른 셀 아이디를 가진다.
- CoMP 시나리오 4: 저전력 RRH와의 이종 네트워크로 RRH는 매크로 셀과 동일한 셀 아이디를 가진다.

CoMP 시나리오 1은 매크로 셀 eNB로만 구성된 동종 네트워크로 CoMP 협력 지역은 동일 eNB 내에 있는 복수 개의 매크로 셀로만 한정된다. CoMP 시나리오 2는 고전력 RRH로 구성된 동종 네트워크로, eNB에 연결된 고전력 RRH가 형성하는 모든 셀이 CoMP 협력 지역을 구성한다. CoMP 시나리오 3/4는 (그림 2)와 같이 매크로 셀 내에 저전력 RRH가 위치한 이종 네트워크로,



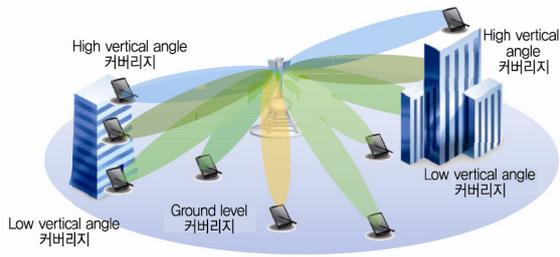
(그림2) CoMP 시나리오 3/4

eNB와 저전력 RRH가 형성하는 모든 셀이 CoMP 협력 지역을 구성한다.

CoMP 시나리오 1/2/3에서 CoMP 협력 지역을 구성하는 셀은 모두 서로 다른 셀 아이디를 갖기 때문에, 각 셀은 CRS(Cell-specific Reference Signal), 하향링크 제어 채널 및 데이터 채널을 독립적으로 전송한다. 반면, CoMP 시나리오 4에서 저전력 RRH는 매크로 셀과 동일한 셀 아이디를 갖기 때문에, CRS, 하향링크 제어 채널 및 CRS 기반 데이터 채널은 매크로 전송점과 일부 혹은 전체 RRH 전송점들이 동시에 동일한 자원을 사용하여 전송할 수 있다. 매크로 전송점만 전송하고 RRH 전송점들은 해당 자원을 이용하여 전송하지 않는 방식도 사용 가능하다. 반면 DMRS(Demodulation Reference Signal) 기반 데이터 채널은 단말 별로 전송 가능하므로, 간섭이 크지 않을 경우에 동일한 자원을 사용하여 복수의 단말에게 서로 다른 데이터를 전송할 수 있다. DMRS는 데이터 채널이 전송되는 전송점과 같은 전송점에서 전송된다.

2. Massive MIMO

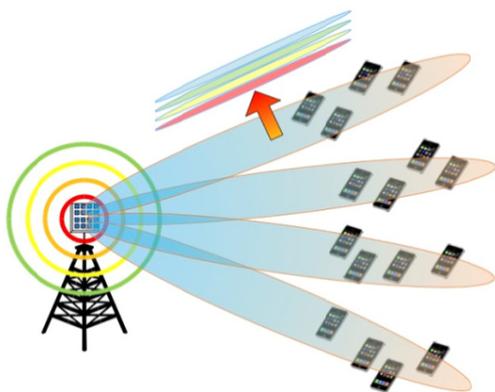
Massive MIMO는 기지국에 수백 혹은 수천 개의 안테나를 장착하여 높은 전송 속도와 더불어 높은 에너지 효율을 얻고자 하는 4G 핵심 요소기술 중 하나이다 [1]. MU-MIMO(Multi User MIMO)기술에서 송신안테나와 사용자의 수를 증가시키기에 따라 전송효율이 크게 증가할 수 있음은 주지의 사실이나, 이에 따라 MIMO 송수신 필터 복잡도가 지수적으로 증가하므로 현실적인 시스템에서 이를 실현하기에는 많은 어려움이 있었다. 이에 반해 massive MIMO 기술은 TDD(Time Division Duplex)시스템에서 상향/하향 링크의 채널 상관 관계를 이용하여 완벽한 채널벡터를 얻을 수 있다면 안테나 수가 많아질수록 서로 다른 사용자의 채널 간에 간섭이 상쇄되어 단순한 송수신 필터의 사용으로 여러 사용자들 동시에 서비스할 있다는 사실을 제시하여 시스템 설계



(그림 3) 3차원 빔포밍 개념도

를 단순화하였다. 하지만, 이러한 massive MIMO 기술에는 여전히 해결해야 할 문제들이 있다. 일례로, 자기셀과 인접셀 간에 비직교 파일럿 시퀀스(non-orthogonal pilot sequence)를 사용하면 인접셀 단말의 파일럿이 간섭으로 작용하여 잘못된 채널정보를 수신하고 이를 통한 빔포밍은 간섭 신호도 증폭시키게 된다. 이를 파일럿 오염 문제(pilot contamination)라 하고 이를 해결하기 위해 여러 가지 연구가 이루어지고 있다[2].

Massive MIMO가 TDD를 전제로 하는 기술이지만 세상의 대다수 통신사는 이미 FDD(Frequency Division Duplex)방식을 주로 사용하고 있다. 따라서, 가까운 미래에 TDD massive MIMO를 실현하기에는 어려움이 따른다. 한편, LTE-Advanced 시스템은 8개의 안테나를 이용하여 최대 4개의 사용자에게 각기 하나의 데이터 스트림을 송신할 수 있다[3]. LTE에서는 massive MIMO의 개념을 3차원 공간으로 확장하여 수직 빔포밍 및



(그림 4) JSDM 개념도

FD-MIMO(Full Dimensional MIMO) 기술을 제안하였고 현재 3차원 채널 모델에 대한 SI가 진행되고 있다. 하지만, 이러한 수직 빔포밍 및 FD-MIMO는 단일 사용자 MIMO에 초점이 맞추어져 있어서 massive MIMO의 잠재적 이득을 실현하기에는 한계가 있다.

이러한 배경에서 FDD 시스템에서 TDD massive MIMO의 성능 이득을 실현하는 JSDM(Joint Spatial Division and Multiplexing)이라는 기술이 제시되었다 [4]. 이 기술은 단말의 송신상관행렬(transmit correlation matrix) 간에 존재하는 유용한 구조를 이용하여 비슷한 송신상관행렬을 갖는 단말들을 그룹으로 묶고 이러한 그룹들 중에 서로 유사 직교하는 그룹들을 공간 분리하여 동시에 서비스한다. 또한 그룹 내의 단말들은 공간 다중화를 통해 동시 전송할 수 있다. 이러한 JSDM 기술을 통해 TDD massive MIMO의 성능을 상대적으로 매우 적은 수의 송신안테나를 이용하여 실현할 수 있음이 알려졌다.

한편, 차세대 기술로 초고주파(mmWave)에서 초광대역 이동통신 기술이 학계 및 산업계의 뜨거운 관심을 받고 있다. 초고주파수 대역에서 이동통신을 가능하게 하는 원리는 대규모 송수신 안테나를 통한 빔포밍 이득으로 송신신호의 감쇄를 극복할 수 있음을 전제로 한다. 관련 기술로써 ALU(Bell Labs)는 20 MHz의 셀룰러 대역에서 수백 개 초소형 안테나 배열을 이용하여(400개 기지국 안테나와 40개 단말을 결합한 MU-MIMO), 최대 1.2Gbps급 무선전송(60bps/Hz)이 가능하도록 하는 large scaled MIMO 기술을 제안한 바 있다[5]. 아울러 빔 형성 기술 및 차세대 RF(Radio Frequency) 기술로, 미국의 Silicon image는 60GHz CMOS 기반 빔 형성 기술개발 및 빔 형성이 가능한 60GHz 송수신기 패키지 개발을 통해 실내 비 LOS(Line Of Sight) 환경을 극복하기 위한 연구를 수행 중이다.

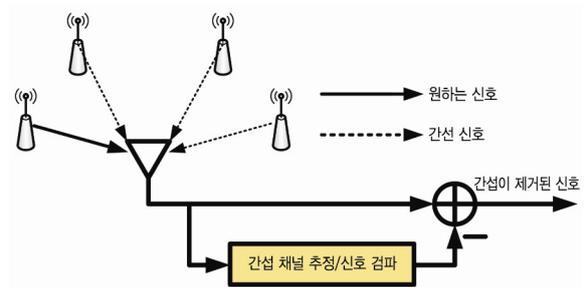
국내에서도 28GHz에서 대역폭 1GHz를 이용하는 ‘millimeter-wave mobile broadband’ 연구를 통해, 반경

500m 단위의 격자형 소형 기지국에서 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반의 빔포밍 기술을 이용하여, 2G급(~2.7Gbps) 무선전송이 가능함을 보인 바 있다. 최근에는 20~50GHz 후보 대역을 이용하여 기지국과 단말 간 massive MIMO 기술(기지국 16×16 array, 단말 4×4 array)을 이용한 ‘adaptive pencil-beamforming’ 연구를 수행 중이다.

3. 네트워크 지원 간섭 제거 및 억제기법

최근 셀룰러 이동통신 시스템의 전송 용량 증대에 대한 연구는 셀 크기를 줄이는데 초점을 맞추고 있다. 이와 관련하여 3GPP Release-12에서는 SCE(Small Cell Enhancement)를 SI로 승인하여 표준화하고 있는 중이다. SCE는 B4G에서 매우 중요한 분야이므로 본지본권의 다른 논문에서 비중 있게 다루어지고 있다. 전송 용량 증대를 위해 셀 크기를 줄여 주파수 재활용률을 높일 경우 셀 크기가 작아짐에 따라 단말기가 셀 경계 영역에서 셀간 간섭의 영향을 받을 확률이 커지게 되었다. 이러한 셀 경계 영역 단말기에 대한 간섭 문제를 해결하려는 연구는 셀간 협력 처리 기술과 같이 기지국 송신기에서 간섭을 줄이는 전송 방법과 고성능 수신 알고리즘을 적용하여 수신기에서 간섭을 처리하는 방법으로 분류할 수 있다. 그런데 전자의 경우 간섭 처리를 위해 각 단말은 채널 정보를 피드백 해야 한다. 물리 안테나 개수의 증가에 따른 피드백 오버헤드와 피드백 정보의 부정확함을 고려할 때, 피드백을 필요로 하는 송신기 간섭 처리 방법에는 제약이 따른다. 반면 수신기에서 간섭을 처리 하는 방법은 피드백을 필요로 하지 않으므로 최근 3GPP에서 주목을 받고 있다.

간섭 영향을 줄일 수 있는 고성능 수신 알고리즘은 크게 간섭 억제 수신기와 간섭 제거 수신기로 분류할 수 있다. 전자의 경우 간섭 신호가 고려된 아래 수식으로 표현되는 MMSE(Minimum Mean Square Error) 기법



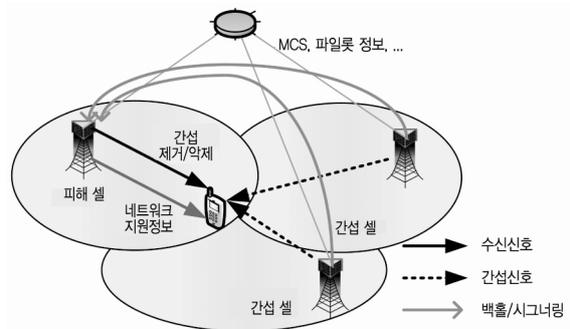
(그림 5) 간섭 제거 수신기 구조

이 사용된다.

$$\mathbf{H}_D^H \left(\mathbf{H}_D \mathbf{H}_D^H + \sum_{i \neq D} \mathbf{H}_i \mathbf{H}_i^H + \sigma_n^2 \mathbf{I} \right)^{-1}$$

여기서 H_D 는 실제 채널 행렬과 송신기의 전처리 행렬이 결합된 유효 채널, H_i 는 다른 사용자, 즉 간섭 신호에 대한 유효 채널, 그리고 σ_n^2 은 수신기 잡음 분산 값이다. 위와 같은 간섭 억제 수신기를 IRC(Interference Rejection Combining)수신기라 부른다. 간섭 제거 수신기는 (그림 5)와 같이 간섭 신호를 재생해 이를 수신 신호에서 빼는 형태로 간섭을 제거한다.

이러한 간섭 제거 혹은 억제 기능의 고성능 수신기를 구현하려면 수신기가 해당 신호에 대한 정보뿐만 아니라 간섭 신호에 대한 채널 정보, 자원 할당 정보, MCS (Modulation and Coding Scheme) 등의 정보를 알아야 한다. (그림 6)과 같이 네트워크에서 간섭 관련 정보를 제공하여 이러한 수신기를 구성할 수 있다. 네트워크 지원 간섭 제거 및 억제 절차는 다음과 같이 요약될 수 있다.



(그림 6) 네트워크 지원 간섭제거 및 억제 방법

- 네트워크는 간섭 신호의 파일럿 정보, MCS 등의 정보를 피해단말이 소속되어 있는 기지국으로 전달
- 간섭 기지국은 간섭 신호에 대한 정보들을 피해 단말이 속한 기지국에 전송
- 피해 단말은 수신한 간섭 관련 정보를 토대로 기술한 간섭 억제/제거 수신 알고리즘을 적용

NAICS(Network assisted interference cancellation and suppression) 연구는 고성능 수신기 알고리즘과 이와 관련된 네트워크 지원 방법으로 분류될 수 있다. 다중 셀 환경에서 간섭제거 및 용량 개선 관점에서 MMSE에 기반한 수신기 알고리즘들이 활발하게 제시되고 있으며[6][7], 3GPP Release-12에서는 NAICS가 SI로 승인되어 네트워크 지원과 관련하여 성능 개선, 지원 정보 종류, 오버헤드 등이 논의되고 있는 중이다.

4. D2D 기술

D2D 기술은 <표 3>과 같이 디스커버리 및 통신으로 양분된다. 애초에 D2D는 네트워크 off-loading, 인접 디바이스 발견을 통한 갖가지 앱 제공 등의 상업적 목적에 초점이 맞추어졌으나 미국 상무성 등 시장의 적극적 요구에 따라 재난통신 중심으로 표준화가 진행되고 있다. 현재 3GPP에서 논의되고 있는 D2D의 목표는 2014년 9월경에 재난통신을 위한 stage 3 최소 규격을 제공하는 것이다. <표 3>에 제시된 바와 같이 B4G와 Release-12의 D2D 범위에는 차이가 있다.

<표 3> D2D 기술 분류

분야	항목	B4G	Release-12
디스커버리	환경	In-coverage	In-coverage
	용도	상용, 재난통신	상용, 재난통신
통신	환경	In/Partial/Out-of-coverage	In/Partial/Out-of-coverage
	용도	상용, 재난통신	재난통신
	통신 형태	Unicast groupcast Broadcast	Broadcast
	홉수	Multi-hop	1 or 2 hops

가. D2D 디스커버리

D2D 디스커버리는 단말들이 직접 디스커버리 신호를 주고 받으며 상대를 발견하는 기술이다. D2D 디스커버리는 크게 개방적 디스커버리와 제한적 디스커버리로 분류된다. 개방적 디스커버리는 상대에 대한 명시적 허락 없이 상대를 발견할 수 있는 디스커버리 방식이다. 개방적 디스커버리의 한 예로 근접 광고가 있는데, 이는 상점에서 디스커버리 신호를 전송함으로써 지나가는 사람들에게 마감세일 등의 정보를 전달하는 것이다. 반면, 제한적 디스커버리는 상대에 대한 명시적 허락이 있을 경우에만 상대를 발견할 수 있는 디스커버리 방식이다. 제한적 디스커버리의 한 예로 친구 찾기가 있는데, 이는 카카오톡과 같은 SNS(Social Network Service)에 등록된 친구끼리 서로 디스커버리 신호를 주고 받으며, 내 주변에 있는 친구들을 알려주는 것이다. 위와 같이 D2D 디스커버리는 네트워크 사업자에게 새로운 비즈니스 모델을 제공할 수 있다. NTT DoCoMo나 도이치텔레콤 등은 D2D 디스커버리에 대한 활용 방안 및 과금 등에 대해 연구를 수행하고 있다.

단말 간 직접 신호를 주고 받으며 상대를 발견할 수 있는 기술로 WiFi P2P(WiFi Peer-to-Peer)를 고려할 수 있다. 하지만 D2D 디스커버리는 WiFi P2P에 비해 다음과 같은 장점들을 가지고 있다. D2D 디스커버리는 WiFi P2P보다 단말의 전력 소모가 적고, 전송용량이 더 크다. 또 D2D 디스커버리는 수 km의 전달 거리를 갖는데 반해 WiFi P2P는 수 백 m에 불과하다. 마지막으로 WiFi P2P는 서로 다른 제조사 간 호환성에 제약이 있는 반면 D2D 디스커버리는 서로 다른 제조사 간 높은 호환성을 제공한다.

D2D 디스커버리는 D2D 통신과 함께 2012년 12월에 3GPP에서 SI로 승인되었고, 2014년 3월에 SI를 종료할 예정이다. 현재까지 성능 평가 방법 및 성능 평가 지표, 사용하는 자원, 다중 접속 방식, 전송 타이밍, 물리채널 구조, 자원할당 방식 등이 정의되었다.

개방적 디스커버리에 대한 주요 성능 평가 지표로는 시간에 따른 발견된 단말의 수와 발견된 단말의 수에 대한 CDF(Cumulative Density Function)가 있다. 또 제한적 디스커버리에 대한 주요 성능 평가 지표로는 시간에 따른 발견된 확률이 있다. D2D 디스커버리는 D2D 통신과 마찬가지로 상향링크 자원을 사용하는데, 여기에서 상향링크 자원이란 FDD의 경우 상향링크 스펙트럼이고, TDD의 경우 상향링크 서브프레임이다. 또 D2D 디스커버리는 D2D 통신과 마찬가지로 다중 접속 방식으로 SC-FDMA(Single Carrier FDMA)를 가정한다. D2D 디스커버리의 전송 타이밍은 하향링크 수신 타이밍을 가정한다. 이는 RRC(Radio Resource Control)_IDLE 상태의 단말이 D2D 디스커버리 신호를 송수신 할 수 있도록 하기 위함이다. D2D 디스커버리의 물리채널 구조는 LTE 상향 데이터 채널인 PUSCH(Physical Uplink Shared Channel)를 재사용하지만 채널 코딩, 스크램블링 등에서 차이가 있을 수 있다.

마지막으로 D2D 디스커버리 자원할당 방식으로는 Type 1 디스커버리와 Type 2 디스커버리가 있다. Type 1 디스커버리는 디스커버리 신호를 전송하는 자원이 단말 별로 할당되지 않는 것으로, 디스커버리 자원은 모든 단말 또는 특정 단말 그룹별로 할당될 수 있다. Type 1 디스커버리에서 디스커버리 신호를 전송하는 단말은 할당된 디스커버리 자원 중 하나를 선택해서 그 자원에 디스커버리 신호를 전송한다. 반면 Type 2 디스커버리는 디스커버리 신호를 전송하는 자원이 단말 별로 할당되는 것으로, 디스커버리 신호를 전송하는 단말은 할당된 디스커버리 자원에 디스커버리 신호를 전송한다. Type 2 디스커버리는 디스커버리 자원을 할당하는 빈도에 따라 다시 Type 2A와 Type 2B로 세분화 된다. Type 2A 디스커버리는 디스커버리 신호를 전송할 때마다 디스커버리 자원을 할당하는 것이고, Type 2B 디스커버리는 준정적으로 디스커버리 자원을 할당하여, 디스커버리 신호를 해당 자원에 주기적으로 전송하는 것이다.

2. D2D 통신

재난통신의 긴급성에 대하여 미국 상무성 등의 적극적 요구가 제기되기 전, D2D는 주로 in-coverage에서 상용 관점에서 논의되고 있었다. 즉, “어떤 방식으로 망이 자원할당 및 제어를 수행하여 D2D 통신을 제공하는가?”에 초점이 맞추어져 있었고 사업자의 과금 문제 등도 하나의 중요한 이슈로 등장하고 있었다. In-coverage 환경에서는 UE가 망으로부터 동기 및 제어 정보를 수신할 수 있으므로 LTE 네트워크가 제공하는 RRC 시그널링, 하향링크 제어 채널, 데이터 채널에 다중화될 수 있는 MAC CE(Control Element) 및 SI(System Information) 정보, 상향링크 제어 채널 등을 재활용하여 static/semi-static/dynamic한 방법으로 D2D 링크에 자원을 할당하고 제어하는 다양한 방법들이 제시되었다. 주로 unicast 중심으로 연구가 진행되었고 3GPP에서 도출된 합의로는 D2D가 LTE UL spectrum 일부를 TDM 또는 FDM 방식으로 LTE와 나누어 사용한다는 것이다.

그러나 재난상황에서는 UE가 망에 연결될 수 없는 out-of-coverage 상황을 가정하여야 하고 이때 가장 효과적으로 사용되는 통신 형태가 broadcast이므로 3GPP Release-12에서는 broadcast만 논의하는 것으로 결정되었다. 또 RAN Plenary #61에서는 out-of-coverage, in-coverage, partial-coverage의 작업 우선 순위가 순서대로 1, 2, 3으로 결정되었다.

Out-of-coverage D2D 통신은 중앙집중 또는 분산 제어 방식으로 제공될 수 있다. 중앙집중 방식에서는 cluster head(CH)로 불리는 UE를 두고 이것이 D2D 통신에 필요한 동기, 자원할당 및 제어를 제공한다. 중앙집중 방식에서도 자원할당 및 제어의 수준에 대해서 다양한 주장들이 있고 더러는 동기만을 제공하는 UE를 가정하기도 하는데 이것을 synchronization head(SH)로 부른다.

모든 UE들이 공통된 시간 기준을 공유할 경우 용량,

커버리지, 전력절감 측면에서 큰 장점이 있으므로 out-of-coverage에서도 공통 시간 기준을 확립하는 기술이 필요하고 Release-12에서도 공통 시간 기준에 기반한 기술에 대하여 합의가 이루어졌다.

중앙집중 방식을 사용할 경우 모든 UE가 CH 또는 SH가 될 수 있어야 한다. CH/SH가 될 수 있는 UE를 한정할 경우 실제 재난 상황에서 이런 UE들이 존재하지 않을 수 있기 때문이다. 따라서 CH 선출의 어려움, 모든 UE가 집중국의 기능을 지녀야 하는 복잡도 등이 중앙집중 방식의 단점으로 지적되고 있다.

반면 분산제어 방식에서는 모든 UE들이 동등하다. 전송할 정보를 가진 UE는 사용하지 않는 채널을 정해진 알고리즘에 따라 스스로 점유하고 사용하므로 분산 또는 자동 스케줄링(distributed 또는 autonomous scheduling)이란 이름으로 불린다. CH가 없는 플랫폼 구조이므로 CH 간의 간섭 등을 고려할 필요가 없고 ad-hoc 망의 크기가 UE 수와 지리적 크기에 상관없이 유연하게 변할 수 있다(scalability).

Unicast에서는 HARQ(Hybrid ARQ), CQI(Channel Quality Indicator) 등과 관련된 제어 정보 전송을 위해 피드백 채널이 정의되어야 하나 broadcast만 취급하는 Release-12 D2D에서는 피드백 채널 논의를 사실상 배제하고 있다. 또한 시장의 요구 사항에 따르면 재난 상황에 경관, 소방관 등이 in-coverage 환경에서도 off-network 모드로 통신하는 경우가 허다하므로 out-of-coverage D2D 통신을 in-coverage에서도 운용하도록 강제하고 있다. 즉 B4G에서는 상용 목적의 unicast에 집중한 반면, Release-12에서는 재난통신을 위한 broadcast만 취급되고 있다.

우선순위가 3으로 결정되었으나 partial-coverage 또한 중요한 이슈 중의 하나이다. Partial-coverage란 LTE 망과 out-of-coverage에 있는 UE를 연결하는 NW-to-UE 릴레이를 의미한다. Release-10 릴레이에 속해 있는 UE들은 in-coverage UE와 동일하므로 Release-

10 릴레이를 NW-to-UE로 간주할 수는 없다.

NW-to-UE는 다음 두 자기 관점에서 접근 가능하다.

- In-coverage 환경에 있는 UE가 U_u (LTE에서 eNodeB와 UE 사이의 무선 접속)를 백홀 링크, out-of-coverage D2D 무선 접속(PC5)을 액세스 링크로 사용하는 경우
- In-coverage 환경에 있는 UE가 U_n (Release-10 RN(Relay Node) 백홀 링크) 또는 U_u 을 NW-to-UE RN (Relay Node) 백홀 링크로 Release-10 RN 액세스 링크를 수정하여 NW-to-UE 액세스 링크로 사용하는 경우

첫 번째 방법의 경우 out-of-coverage D2D 무선 접속은 분산제어 방식의 broadcast 무선접속(PC5)을 의미한다. 이 경우 물리계층 관점에서는 out-of-coverage D2D 무선 접속이 그대로 사용되므로 수정할 내용이 없다. In-coverage에 속한 한 UE가 두 개의 연결(dual connectivity)를 가진 것으로 간주된다. 상위계층 또는 적용레벨에서 partial-coverage 기능이 수행된다.

두 번째 방법의 경우 NW-to-UE RN은 휘하에 있는 UE들이 방송할 수 있도록 자원을 할당하는 기능, GCSE(Group Communication System Enabler)기능, 이동 환경에 적응하는 기능(Release-10 RN은 고정형)등을 가져야 하므로 새로운 액세스 링크의 정의를 필요로 한다.

IV. 맺음말

지금까지 B4G 개념 아래에서 연구, 개발되고 있는 주요 기술들에 대해 알아보았다. 대개 3GPP 기술은 두 번째 발행 단위로 큰 기술들이 포함된다. Release-8을 LTE, Release-10을 LTE-A(LTE-Advanced)라고 부르는 이유도 이와 무관하지 않다. 경우에 따라 Release-10을 LTE-A, Release-12를 LTE-B, Release-14를 LTE-C로 부르는 사람들도 있다. Release-12에서 논의되고 있는 NCT(New Carrier Type)는 사실 기존 LTE와

의 상호 양립성을 어느 정도 포기한 채 논의가 진행되고 있다. 따라서 혁신적인 무선 접속 및 망 기술이 도입된 미래의 Release-n부터 5G로 명명될 것으로 예측하기도 한다.

LTE 기반으로 LTE-A의 10배 용량을 목표로 하는 B4G는 기술적 측면에서 LTE 표준과 일맥 상통하는 측면이 있지만 완전히 동일하지는 않다. 또한 혁신기술을 이용한 5G도 LTE 표준 진행을 무시한 채 독자적 행보를 할 수 없는 형편이다. 지난 날 3GPP2, IEEE WiMAX 등이 시장에서 크게 호응을 받지 못한 채 4G 이동통신이 3GPP 독자체제로 재편되고 있기 때문이다. B4G에서 연구, 개발되고 있는 선도 기술들은 3GPP가 주도하는 이동통신 시장은 물론 이동통신 외의 다양한 무선통신 시장에 적용되어 포화된 기술을 성장하게 하고 일 자리를 창출하는 창조경제에 보탬이 될 것으로 기대된다.

약어정리

B4G	Beyond 4G
CA	Carrier Aggregation
CRS	Cell-specific Reference Signal
CQI	Channel Quality Indicator
CE	Control Element
CoMP	Coordinated Multi-Point
CS/CB	Coordinated Scheduling/Beamforming
CDF	Cumulative Distribution Function
DMRS	Demodulation Reference Signal
D2D	Device-to-Device
eIMTA	Enhancements to LTE TDD for DL-UL Interference Management and Traffic Adaptation
FDD	Frequency Division Duplex
FD-MIMO	Full Dimensional MIMO
GCSE	Group Communication System Enabler
HetNet	Heterogeneous Network
HARQ	Hybrid ARQ
IRC	Interference Rejection Combining
JP	Joint Processing

JR	Joint Reception
JSDM	Joint Spatial Division and Multiplexing
LOS	Line Of Sight
MTC	Machine Type Communication
mMIMO	Massive MIMO
MMSE	Minimum Mean Square Error
MCS	Modulation and Coding Scheme
MU-MIMO	Multi User MIMO
NAICS	Network assisted interference cancellation and suppression
NCT	New Carrier Type
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
PUSCH	Physical Uplink Shared Channel
RF	Radio Frequency
RRC	Radio Resource Control
RN	Relay Node
RRH	Remote Radio Head
SC-FDMA	Single Carrier FDMA
SCE	Small Cell Enhancement
SNS	Social Network Service
SI	Study Item
SI	System Information
TDD	Time Division Duplex
WiFi P2P	WiFi Peer-to-Peer
WI	Work Item

참고문헌

- [1] T. L. Marzetta, "Noncooperative Cellular Wireless with Unlimited Numbers of Base Station Antennas," IEEE Trans. Wireless Comm., vol. 9, No. 11, Nov. 2010, pp. 3590-3603.
- [2] J. Jose et al., "Pilot contamination and precoding in multi-cell TDD systems," IEEE Trans. Wireless Comm., vol. 10, no. 8, Aug. 2011, pp. 2640-2651.
- [3] X. Zhang and X. Zhou, LTE-Advanced Air Interface Technology, CRC Press, 2012.
- [4] J. Nam et al., "Joint spatial division and multiplexing: Realizing massive MIMO gains with limited channel state information," Proc. 46th Annu. Conf. Inf. Sci.

- Syst.(CISS), Mar. 2012, pp. 1-6.
- [5] ALU(Bell Labs), "Large Scale MIMO – New direction of antenna systems," 2010.
- [6] X. Ge et al., "Capacity analysis of a multi-cell multi-antenna cooperative cellular network with co-channel interference," IEEE Trans. WiCOM, 2011, pp. 3298-3309.
- [7] D. Gesbert et al., "Multi-cell MIMO cooperative networks: a new look at interference," IEEE JSAC, 2010, pp. 1380-1408.