

3GPP 소형 셀 향상 표준화 기술 동향

3GPP Standardization Activity for Small Cell Enhancements

백승권 (S.K. Baek) B4G 이동통신방식연구실 선임연구원
고영조 (Y.J. Ko) B4G 이동통신방식연구실 책임연구원
안재영 (J.Y. Ahn) B4G 이동통신방식연구실 실장
송평중 (P.J. Song) B4G 이동통신연구부 부장

* 본 연구는 미래창조과학부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음(10044933, Local Access 효율 증대를 위한 다중셀·다중 무선망 협력기술개발).

최근 다양한 형태의 스마트 기기 출현과 대중적 보급으로 고속 데이터 전송에 대한 수요가 나날이 증가하고 있어 소형셀 기술에 대한 이동통신 사업자들의 관심이 높다. 이에 데이터 요구량이 많은 위치에 소형 셀을 다층으로 밀집 배치하고 매크로 기지국 및 소형 셀 기지국의 밀접한 협력을 통해 무선 네트워크의 용량을 증가시키기 위한 기술들에 대한 요구가 높아지고 있다. 매크로 셀과 소형 셀이 다층으로 배치된 구조에서 고려해 볼 수 있는 요소기술들은 단말의 다중 노드 연결, 효율적인 이동성 보장, 효율적인 셀/이동단말 발견, 이중 듀플렉스캐리어 집성, 셀 간 간섭 관리 등이며, 본 논문에서는 이들을 기반으로 최근 3GPP에서 활발히 논의되고 있는 LTE 소형셀 향상 표준화 동향에 대해 기술한다.

스마트 유무선 네트워크 특집

- I. 서론
- II. 소형 셀 향상을 위한 요구사항
- III. 소형 셀 향상을 위한 표준화 동향
- IV. 결론

I. 서론

휴대 가능한 이동 단말 및 태블릿 PC(Personal Computer)의 광범위한 보급과 무선 인터넷 기술을 근간으로 하는 모바일 컴퓨팅의 급속한 확대는 무선 네트워크 용량의 획기적인 증대를 요구하게 됐다. 많은 연구[1][2]에서 2014년까지 모바일 사용자들이 월 평균 7GB의 트래픽을 소모할 것으로 예상하고 있으며 전세계 모바일 데이터 트래픽의 총량은 2009년 대비 월 평균 약 39배 늘어난 3.6엑사바이트에 이를 것으로 예측된다. 이러한 폭발적인 트래픽 증가의 요구사항을 충족시키기 위해서 진화된 물리계층 기술을 적용 및 추가적인 스펙트럼을 할당하여 기존 셀룰러망을 업그레이드하는 것이 대표적인 해결책이지만 물리계층 기술은 이론적인 한계점에 다다르고 있으며 추가적인 스펙트럼의 할당을 통한 셀룰러망의 용량증대는 근본적인 해결책이 될 수 없다[3].

따라서 셀룰러망에서 폭발적으로 증가하는 사용자의 데이터 트래픽을 효율적으로 지원하는 방법은 셀의 크기를 줄여서 더 많은 소형 셀들을 촘촘히 설치하거나 다중구조의 셀룰러망을 이용하여 서비스를 제공하는 방법이 현실적인 대안으로 고려될 수 있다.

본 논문에서는 매크로 셀 기반의 셀룰러 망에 소형 셀을 다층으로 밀집 배치하고 매크로 기지국 및 소형 셀 기지국의 밀접한 협력을 통해 무선 네트워크의 용량을 증가시키기 위해 3GPP에서 논의 중인 소형 셀 향상 기술의 표준화 동향에 대해서 기술한다. 3GPP에서 논의 중인 소형 셀 향상 기술의 목적은 고밀도의 소형 셀을 밀집 배치하여 단위면적당 스펙트럼 효율(spectrum efficiency)을 극적으로 증대시켜 폭증하는 트래픽을 수용하면서 이동통신에 필수적인 커버리지 확보와 효율적인 이동성 관리를 가능하게 하는데 목적이 있다.

II. 소형 셀 향상을 위한 요구사항

3GPP에서는 2012년 6월 Rel-12 및 이후에서 다들

기술적 이슈들에 대한 워크숍을 개최하였으며, 빠르게 증가하는 데이터 트래픽 수요를 효율적으로 수용하기 위해 LTE(Long Term Evolution)-Advanced 이후의 이동통신망에서 요구되는 기술적 이슈들에 대해서 논의하였다. 이 워크숍에서는 Local area enhancement, New carrier type, Beam-forming enhancement, Machine-type communication enhancement, 그리고 이동단말 간의 direct communication 등에 대한 도입을 논의하였으며, 특히 소형 셀을 이용한 Local area enhancement와 관련하여 대다수의 회사들이 도입의 필요성을 언급하였다.

위와 같은 요구사항을 기반으로 3GPP TSG RAN(Radio Access Network)에서는 E-UTRA 및 E-UTRAN에서 소형 셀 향상을 위한 시나리오 및 요구 사항에 대한 논의를 수행하였으며 2012년 12월 RAN Plenary회의에서 소형 셀 향상을 위한 물리계층 및 상위계층 SI(Study Item)를 승인하였다[4][5].

소형 셀 향상을 위한 시나리오는 소형 셀의 배치, 스펙트럼, 트래픽, 그리고 이전 규격과의 호환성을 연관하여 고려해볼 수 있다. 소형 셀의 배치와 관련한 고려사항은 소형 셀과 매크로 셀 영역과의 중첩 여부, 소형 셀의 설치위치(실외, 실내), 백홀의 형태(ideal, non-ideal), 소형 셀의 설치밀도(sparse/dense), 셀 간의 동기 등을 고려해야 한다. 스펙트럼과 관련한 고려사항은 매크로 셀과 소형 셀이 동일한 주파수를 이용하는 방식 및 서로 다른 주파수를 이용하는 방식을 고려해야 하며 트래픽과 관련한 고려사항은 소형 셀에 접속하는 사용자의 수가 제한적이고 트래픽의 분포가 비대칭적일 수 있으므로 이에 대한 고려가 필요하다. 이전 규격과의 호환성과 관련한 고려사항은 기존 Rel-10/11 이동단말이 소형 셀에 접속 가능해야함을 의미한다.

소형 셀 향상을 위한 요구사항은 소형 셀 설치 측면, 기능 및 성능 측면, 구조 및 동작 측면으로 나누어 볼 수 있다. 소형 셀 설치 측면의 요구사항은 소형 셀이 이동

통신사업자 혹은 사용자에 의해서 설치될 수 있으므로 소형 셀 설치를 위한 cell planning 관련 노력을 최소화 하면서 유연한 설정이 가능해야 한다. 기능 및 성능 측면의 요구사항은 시스템 성능, 이동성 성능, coverage 성능 등으로 나누어 볼 수 있다. 시스템 성능은 실제 백홀의 지연 등을 고려한 단위면적당 용량을 기준으로 측정되며 이동성 성능은 이동단말의 소형 셀 탐색에 따른 배터리 소모량 및 이동성 절차 중 제어평면 및 사용자평면 지연과 패킷 손실 등을 기준으로 측정된다. Coverage 성능은 앞서 기술한 소형 셀 향상을 위한 다양한 시나리오를 지원하기 위해 상/하향 링크를 유연하게 제어할 수 있는 기능을 의미한다. 구조 및 동작 측면의 요구사항은 소형 셀 향상을 위한 네트워크 구조 및 절차가 정의되어야 하며 비용 및 복잡성을 최소화하면서 Rel-10/11의 E-UTRA/E-UTRAN과 같은 보안수준을 보장해야 한다.

III. 소형 셀 향상을 위한 표준화 동향

1. 물리계층 표준화 동향

가. 개요

SCE-PHY(Small Cell Enhancements - Physical Layer Aspects) SI는 현재 RAN1 WI/SI 중에서 사업자들의 관심이 큰 아이템이다. SCE의 목적은 고밀도의 소형 셀을 배치하여 단위면적당 스펙트럼 효율을 극적으로 증대시켜 향후 폭증하는 트래픽을 수용하면서 이동통신에 필수적인 커버리지 확보와 이동성 관리도 효율적으로 가능하도록 하는데 목적이 있다. SCE-PHYSI에서는 2012년 12월에 승인된 TR(Technical Report) 36.932에 기술되어 있는 소형 셀시나리오와 요구사항을 만족하기 위해 물리계층에서 필요한 후보 기술들을 확인하고 후보 기술들이 제공하는 이득을 평가하는데

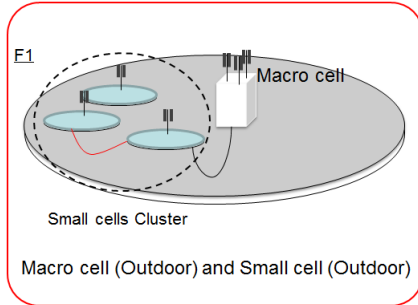
있다. 주로 논의되고 있는 기술적 분야는 아래와 같다.

- 스펙트럼 효율 증대:
하향링크를 위한 고차변조(256 QAM: Quadrature Amplitude Modulation)
- 오버헤드 감소
단말 고유 레퍼런스 시그널의 오버헤드 감소
제어 시그널링의 오버헤드 감소
- 소형 셀의 효율적 운영
간섭 회피/조정 등 셀 간 간섭문제 해결
소형 셀레이어에 복수 캐리어 도입
소형 셀 ON/OFF
- 소형 셀 디스커버리
새로이 도입되는 단말이 매크로 셀과 소형 셀레이어로의 이중연결성을 비롯한 상위계층 요소들을 효율적으로 지원하기 위한 물리계층 기술

현재는 소형 셀 향상 시나리오, 시뮬레이션 등의 평가를 위한 채널, 가정, 조건 등에 대해 대부분 합의가 이루어진 상태이고 일부 주제들은 시뮬레이션 결과가 제시되고 있다. 아래는 SI SCE-PHY에서 평가를 목적으로 만든 소형 셀 배치 시나리오이다.

- 소형 셀 시나리오 1((그림 1) 참조)
 - 매크로셀이 overlaid된 구조,
매크로셀과 소형 셀들이 동일한 주파수를 사용, 소형 셀들이 실외에 위치
 - 소형 셀 시나리오 2a/2b((그림 2)와 (그림 3) 참조)
매크로셀이 overlaid된 구조, 매크로셀과 소형 셀들이 다른 주파수를 사용, Scenario 2a는 소형 셀들이 실외에 위치, Scenario 2b는 소형 셀들이 실내에 위치
 - 소형 셀 시나리오 3((그림 4) 참조)
매크로셀 커버리지가 없음, 소형 셀들이 실내에 위치
- 위 모든 시나리오에서 소형 셀들은 클러스터를 이루

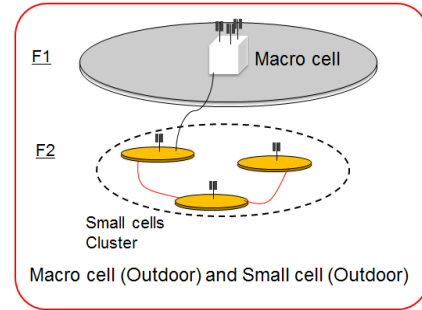
Scenario 1



— Backhaul link within cluster
 — Backhaul link between small cells and macro cell
 Note: Users are distributed both for outdoor and indoor.

(그림 1) 소형 셀 시나리오 1

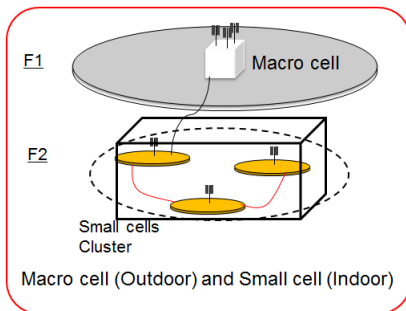
Scenario 2a



— Backhaul link within cluster
 — Backhaul link between small cells and macro cell
 Note: Users are distributed both for outdoor and indoor.

(그림 2) 소형 셀 시나리오 2a

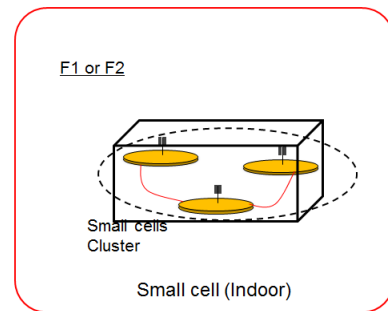
Scenario 2b



— Backhaul link within cluster
 — Backhaul link between small cells and macro cell
 Note: Users are distributed both for outdoor and indoor.

(그림 3) 소형 셀 시나리오 2b

Scenario 3



— Backhaul link within cluster
 Note: Users are distributed both for outdoor and indoor.

(그림 4) 소형 셀 시나리오 3

고 클러스터에 들어 있는 소형 셀의 밀도가 Rel-10/Rel-11 eICIC/CoMP(Coordinated Multi-point Transmission and Reception)의 경우에 비해 매우 높고 동일 클러스터 내의 소형 셀들 간, 클러스터와 매크로 eNB 간의 인터페이스는 이상적(ideal)/비이상적(nonideal) 백홀(backhaul)을 가정하고 이외 다른 인터페이스는 모두 비이상적 백홀을 가정한다.

현재 많은 회원사들이 참여하여 다양한 기술을 제안하고 있는 가운데 소형 셀 디스커버리, 소형 셀 ON/OFF, 이종연결성 지원 등이 주요한 주제로 떠올라 집중적 논의가 진행 중이다. SCE-PHY가 종료되면 도입이 검토된

후보 기술들에 대한 설명, 후보 기술들의 시뮬레이션 평가 결과, 결론 등이 포함된 기술 문서 TR 36.872 ‘Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN – Physical Layer Aspects[6]’가 작성된다.

나. 검토 중인 기술들

1) 스펙트럼 효율 향상

가) 256QAM의 사용

소형 셀 배치환경은 대체로 단말이 안테나에 근접 위치하는 경우가 많아 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)이 높은 무선환경이 상대적으로 흔하게 발

생하므로 256 QAM과 같은 고차원 변조방식을 도입해서 보다 높은 전송률을 실현할 수 있을 것으로 기대된다. 3GPP의 성능평가 결과 256 QAM 사용에 따른 성능 이득은 Tx EVM(Error Vector Magnitude), IQ 불균형 등의 구현상에서 Rx impairment에 많은 영향을 받는 것으로 나타나고 있다. 4%의 Tx EVM만을 가정하면 평가 시나리오 3과 2b에서 소형 셀의 밀도가 낮은 경우 평균 사용자 경험 전송률이 6~27% 향상되고, 셀 경계 사용자 전송률은 4~22% 향상되는 것으로 평가되었으나, Rx impairment를 고려하면 성능 이득이 현저히 감소하는 것으로 나타난다. 256 QAM 도입여부는 현실적 Tx EVM과 Rx impairment를 고려하여 만족스러운 성능 개선이 있는지 여부에 달려있다.

나) 단말 고유 레퍼런스 시그널의 오버헤드 감소

소형 셀은 주파수 선택성이 낮고 이동도가 낮은 단말을 서빙하므로 시간적 선택성도 낮다. 이와 같은 채널환경을 고려하면 주파수축과 시간축의 레퍼런스 시그널의 밀도를 떨어뜨리고 대신 데이터 전송에 더 많은 자원을 사용할 수 있다. 하향링크의 경우 DMRS(Demodulation Reference Signal)의 밀도를 낮추어 SINR에 따라 1~4% 정도의 스펙트럼 효율의 이득을 얻을 수 있는 반면, 상향링크는 시간축의 DMRS 밀도를 절반으로 낮추어 한 개 서브프레임당 하나의 RS 심볼을 사용하면 6~9%의 이득을 얻을 수 있는 것으로 평가되었다.

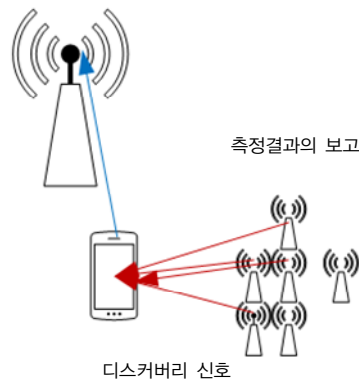
다) 제어 시그널링의 향상

소형 셀의 채널환경을 고려하여 서브프레임마다 매번 스케줄링을 실시하지 않고 한번에 여러 서브프레임을 스케줄링하거나 스케줄링 정보가 전송되는 서브프레임과 전송이 발생하는 서브프레임이 시간적으로 보다 떨어질 수 있는 스케줄링 방식이 검토되고 있다. 이와 같은 방식을 도입하면 일부 서브프레임들에 대해 제어시그널링을 하지 않고 대신 데이터 전송에 사용할 수 있으

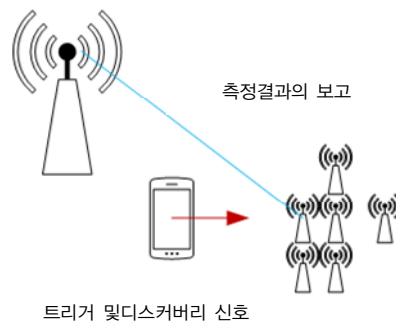
므로 스펙트럼 효율이 향상될 수 있다.

2) 소형 셀 ON/OFF와 셀 디스커버리

소형 셀 ON/OFF 상태 도입으로 네트워크는 셀 운영에 소모되는 에너지를 절약하고 불필요한 간섭을 없애 성능 향상도 얻을 수 있다. 기지국과 연결된 단말이 셀 내에 존재하지 않는 소형 셀은 셀을 OFF시킬 수 있다. 반면 서빙할 단말이 주변에 존재하는 경우에만 셀을 ON 상태로 유지하기 위해 OFF 상태의 셀을 ON 상태로 전환하기 위한 과정이 필요하다. 소형 셀의 ON/OFF 전환에 걸리는 시간에 따라 long-term, semi-static, dynamic 등으로 셀 ON/OFF 방식을 구분한다. OFF 된 소형 셀들 주변에 단말이 위치하게 되면 OFF 상태의 소형 셀들 중에서 단말을 서빙하기에 적합한 셀을 찾아내고 ON 상태로 전환할 필요가 있다. 소형 셀-단말 간 디



(그림 5) 하향링크 기반 디스커버리



(그림 6) 상향링크 기반 디스커버리

스캐러리 방식은 크게 하향링크 기반 방식, 상향링크 기반 방식으로 구분할 수 있다. 하향링크 기반 방식은 소형 셀이 하향링크를 통해 디스캐러리 신호를 전송하고 단말이 이를 발견하고 측정을 수행한다(그림 5) 참조. 반면, 상향링크 기반 방식은 단말이 상향링크를 통해 디스캐러리 신호를 전송하고 소형 셀이 이를 수신, 측정하는 방식이다(그림 6) 참조.

소형 셀 디스캐러리 신호의 후보로써 기본 PSS(Primary Synchronization Signal)/SSS(Secondary Synchronization Signal), CRS(Cell-specific Reference Signal)를 사용하는 방식, 기존 신호에 수정을 가한 형태의 신호를 사용하는 방식이 우선적으로 논의되고 있고 만일 이러한 방식이 효율적이지 못하면 새로운 신호를 디자인할 수 있다.

소형 셀 디스캐러리 절차에서 OFF 상태의 소형 셀이 디스캐러리 신호를 전송하고 단말이 소형 셀 검출과 측정을 수행함으로써 OFF-to-ON 상태변환에 걸리는 시간을 줄일 수 있는 장점이 있다. 다만, 기존 단말들이 특히 짧은 주기의 ON/OFF 상태변환을 적용하는 소형 셀 내에서 제대로 지원되지 못하는 단점이 있다.

3) 간섭 제어 기술

특히 고밀도 소형 셀 배치에 따른 소형 셀 간의 간섭이 중요한 이슈이다. Rel-8의 주파수 도메인 전력제어 방식인 RNTP(Relative Narrowband Tx Power restriction) 방식과 Rel-10에 도입된 ABS(Almost Blank Sub-

frame) 방식 등을 재사용할 수 있다. 소형 셀들 간의 간섭을 완화하기 위해 소형 셀들에 서로 다른 주파수 도메인 전력사용 패턴과 시간 도메인 ABS 패턴을 할당할 수 있다. Rel-11에 도입된 EPDCCH를 활용하면 제어채널의 셀 간 간섭을 주파수 도메인에서 회피할 수 있다(그림 7) 참조.

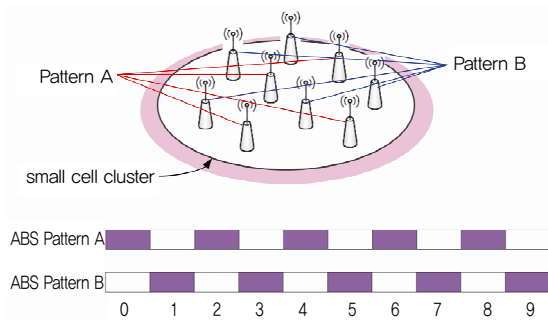
4) 무선 인터페이스 기반 동기화

CoMP, 셀 간 간섭 제어, 소형 셀디스캐러리, 이중연결성 지원 등을 효율적으로 적용하기 위해 셀간 시간 및 주파수 동기화가 필요하다. 그런데, 소형 셀들은 실내에 존재하는 경우가 흔하고 이 경우 GPS(Global Positioning System)를 사용하여 동기화하지 못하고, 기존 IEEE 1588 방식의 동기화는 백홀 상태에 따라 동기화 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 따라서 3GPP에서는 무선 인터페이스 기반의 동기화 방식을 연구하고 있다. 현재 무선 인터페이스 기반 동기화는 크게 아래의 두 가지 방식이 고려되고 있다.

- 네트워크 수신을 통한 동기화: 동기화를 위해 셀은 이미 동기화가 되어 있는 소스 셀의 기준 신호를 수신하여 시간 및 주파수 동기를 획득한다.
- 단말 지원 기반의 동기화: 단말이 소스 셀과 동기화가 필요한 셀의 수신 타이밍 차이를 소스 셀에 제공하면 소스 셀이 동기화가 필요한 셀에 이 정보를 제공하여 동기를 맞추도록 한다.

5) TDD-FDD 캐리어 협동기술

TDD(Time Division Duplex)캐리어와 FDD(Frequency Division Duplex)캐리어 협동기술에서 주로 검토되고 있는 기술은 캐리어 집성(CA: Carrier Aggregation)과 이중연결성(dual connectivity)이며 이외 CMCC가 주도적으로 향상된 듀얼모드(enhanced dual mode) 기술 등이 제안되고 있다. 캐리어 집성은 기존 Rel-10/11 캐리어 집성을 확장하여 TDD와 FDD 캐리어 집성을 지원하



(그림 7) 소형 셀 그룹 단위 ABS 사용

는데 있다. 소형 셀 향상 기술 관점에서 매크로 셀에 FDD 캐리어, 소형 셀에 TDD 캐리어(반대의 경우도 가능)를 사용하는 시나리오에 관심이 많다.

6) 상위계층 소형 셀 향상 기술 지원을 위한 물리계층 기술

이중연결성을 효율적으로 지원하기 위해서 물리계층의 변경이 불가피하다. 이중연결성은 비이상적인 백홀로 연결된 마스터 eNB(MeNB: Master eNB)와 보조 eNB(SeNB: Secondary eNB)에 단말이 모두 무선 연결을 갖는 상태를 의미한다. MeNB와 SeNB 사이에 시그널링 지연에 의해 즉각적인 협력이 어렵기 때문에, ACK/NACK 피드백, CSI(Channel State Information) 보고 등의 UCI(Uplink Control Information)는 각 eNB 별로 해당 정보가 분리되어 독립적으로 전송되어야 한다. 상향링크 채널과 신호의 설정(configuration)은 MeNB와 SeNB가 각각 독립적으로 설정하도록 해야 한다.

단말의 SR(Scheduling Request) 전송, 상향링크 타이밍 획득을 위한 랜덤 액세스(random access) 프리엠블 전송, 시스템 정보 획득, 페이징 수신 등도 비이상적 백홀의 연결성을 고려하여 MeNB와 SeNB 사이에 독립적인 동작이 수행될 필요가 있을 수 있다. 효율적인 전력 제어를 위해 각 eNB가 서로 다른 eNB의 전력 제어상황을 알 수 있도록, 추가적인 제어정보를 단말이 각 eNB에 전달할 필요가 있을 수 있다.

이중연결성 지원은 단말의 능력(capability)에 따라 지원 여부가 검토될 수 있으며 기본적으로 하향링크와 상향링크 모두 각각 2개 이상의 캐리어를 사용하여 송수신할 수 있는 단말이라면 이중연결성을 지원할 수 있다. 반면 상향링크에 대해 한 개 캐리어만을 사용하여 UCI를 송신할 수 있는 단말이더라도 MeNB와 SeNB가 사용하는 두 개 캐리어들 사이를 오가는 캐리어스 위치를 통해 각각의 eNB에 UCI를 전송하는 방식을 사용할 수 있다. 다른 방법으로, 단말은 하나의 상향링크 캐리어를 사용하여 UCI를 전송하되 각 eNB가 서로 시간적으로

자원을 분리하고 수신하도록 하는 방식을 사용할 수도 있다.

2. 상위계층 표준화 동향

가. 개요

3GPP TSG RAN2에서는 2013년 1월부터 소형 셀 향상을 위한 상위계층 SI(SCH-HL)에 관한 표준화를 진행중에 있다. 본 SI의 목적은 TR36.932에서 정의된 시나리오와 요구사항을 만족하기 위한 소형 셀 향상을 위한 프로토콜 및 시스템 구조에 대해서 연구를 수행하는 것이며 다음과 같은 세부 항목에 대한 표준화를 수행하고 있다.

- 동일 주파수 혹은 서로 다른 주파수를 이용한 매크로 셀 및 소형 셀 환경에서 이중연결성 지원에 따른 이득 평가
- TR 36.932에서 제시한 시나리오들을 지원하고 이중연결성 시나리오를 위한 구조 및 제어평면/사용자 평면 프로토콜 관련 Enhancement
- 소형 셀 배치에 따른 RRM(Radio Resource Management)구조 및 이동성 관련 Enhancement

현재 SCH-HL에서는 이중연결성 지원에 따른 이득에 대한 평가를 수행하면서 이중연결성 시나리오를 위한 시스템 구조 및 프로토콜 구조에 대한 다양한 기술을 제안하고 있으며 본 SI가 종료되면 도입이 검토된 후보 기술들에 대한 설명, 후보 기술들의 시뮬레이션 평가 결과, 결론 등이 포함된 기술 문서 TR 36.842'Study on Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN - Higher Layer Aspects[7]'가 작성된다.

나. 기술 이슈

- 1) 소형 셀 향상을 위한 상위계층 기술 이슈
TR 36.932에서 제시한 소형 셀 시나리오에 따라 상

위계층에서 고려해 볼 수 있는 기술적 이슈는 Mobility robustness, UL/DL(Downlink) power imbalance, Signaling load, Throughput improvement, 그리고 Network planning/configuration 등이다.

Mobility robustness는 매크로 셀과 서비스 범위가 작은 소형 셀들이 다층구조로 고밀집 배치된 셀룰러 네트워크 환경에서 이동단말의 이동성에 따른 RLF(Radio Link Failure) 및 HOF(Handover Failure)를 최소화할 수 있는 이동성 관리 구조를 의미한다.

UL(Uplink)/DL power imbalance는 이동단말이 접속해야 할 최적의 상향링크 셀 및 하향링크 셀이 다른 상태를 의미한다. 이는 매크로 셀과 소형 셀들이 다층구조로 배치된 환경에서 매크로 셀 기지국의 송신전력 및 소형 셀 기지국의 송신전력의 차이로 인해 발생한다.

Signaling load는 소형 셀들이 고밀집하게 배치된 환경에서 이동단말의 잦은 핸드오버에 따른 CN(Core Network)에 대한 signaling 부하 및 백홀 트래픽 증가를 의미하며 이를 최소화할 수 있는 구조 및 절차를 고려해야 한다.

Throughput improvement는 매크로 셀들과 소형 셀들이 비이상적인 백홀로 연결되어 있는 네트워크 구조에서 각각의 eNB가 관리하는 셀들 간의 무선자원을 이용하여 트래픽의 QoS(Quality of Service) 요구사항을 보장하면서 성능을 향상시키는 방법을 의미한다.

Network planning/configuration은 통신사업자들이 셀룰러 네트워크의 성능 향상 및 coverage향상을 목적으로 소형 셀들을 설치할 경우 설치/유지보수 비용을 최소화하고 유연하게 유지보수할 방법을 의미한다. 이를 위한 SON(Self Organizing Network)과 같은 기능이 요구되지만, 본 기술적 이슈는 Rel-12 SCE-HLSI에서 다루지 않고 향후 다른 SI에서 다루기로 결정하였다.

2) 소형 셀 시나리오에 따른 기술 이슈

앞서 제시한 내용을 기반으로 Rel-12 소형 셀 향상관련 시나리오에 따른 기술적 이슈는 다음과 같다.

가) 소형 셀 시나리오 1

시나리오 1은 매크로 셀과 소형 셀이 동일한 캐리어 주파수(intra-frequency)를 사용하며 매크로 셀과 소형 셀이 비이상적인 백홀로 연결된 시나리오이다.

본 시나리오에서는 mobility robustness와 관련하여 이동단말이 소형 셀에서 매크로 셀로의 이동 시 HOF 및 RLF가 발생할 확률이 높으므로 복잡성과 성능 이득을 고려한 해결방안을 제시해야 한다.

LTE 시스템에서는 RSRP(Reference Signal Received Power)기반의 셀 선택이 수행되므로 시나리오 1에서는 소형 셀의 경로손실(Path Loss)가 작은 경우에도 UL/DL power imbalance에 의해 매크로 셀에 접속하는 경우가 발생한다. Rel-11에서 이런 형태의 UL/DL power imbalance가 발생하는 경우 CRE(Cell Range Extension)을 통해 상향링크 성능을 높이고 소형 셀로의 오프로딩을 늘릴 수 있는 방법과 CRE 영역에 있는 이동단말의 간섭 관리를 위한 feICIC(further enhanced Inter-Cell Interference Coordination)이 제시되었다. Rel-12 소형 셀 향상에서는 앞서 제시한 기술들에 덧붙여 UL/DL power imbalance 문제를 해결하기 위해 상향링크와 하향링크를 서로 다른 셀로 접속하여 서비스를 수행하는 시나리오에 대해 논의하였으나 성능 이득이 낮은 것으로 판단되어 시나리오 1을 위한 요소기술로 채택되지 못했다.

시나리오 1과 같이 매크로 셀과 소형 셀들이 중첩되어 있는 환경에서 이동단말의 속도가 높아질수록 핸드오버의 횟수가 많아지고 이는 CN에 위치한 MME(Mobility Management Entity)와 S-GW(Serving Gateway)에 대한 시그널링을 높인다. 핸드오버가 발생하는 경우 네트워크 노드에 대한 시그널링 로드는connection의 유지보수를 위한 시그널링 메시지의 양과 RRC(Radio Resource Control) inactive timer와 같은 네트워크 설정 정보에 따라 달라진다. 즉, 핸드오버에 따른 시그널링의 양은 소형 셀의 수가 증가할수록 증가하며 CN에 대한

전체 시그널링 로드는 RRC inactive timer의 설정에 따라 달라지므로 시나리오 1에서 시그널링 로드 감소를 위한 해결 방안이 제시되어야 한다.

시나리오1에서 CoMP를 이용한 다중 셀의 무선자원을 이용한 성능향상이 고려될 수 있으나, Rel-12 소형 셀 향상에서는 비이상적인 백홀을 고려하고 있으므로 Rel-11에서 제시한 이상적인 백홀 기반의 RRH(Remote Radio Head)를 이용한 CoMP는 성능 향상을 기대할 수 없다. 따라서 시나리오 1에서 다수의 셀의 무선자원을 이용하여 성능 향상을 높이는 기술은 요소기술로 채택되지 못했으며 향후 시나리오 2를 위한 solution이 제시되었을 경우 해당 solution을 시나리오 1에 적용할 수 있을지에 대해 추가적인 논의가 필요하다.

나) 소형 셀 배치 시나리오 2

시나리오 2는 매크로 셀과 소형 셀이 서로 다른 캐리어 주파수를 사용하며 매크로 셀과 소형 셀이 비이상적인 백홀로 연결된 시나리오이다.

시나리오 2에서 mobility robustness와 관련한 시뮬레이션의 결과는 매크로 셀들로만 구성된 시나리오에 비해 낮은 성능을 보였으나 DRX(Discontinuous Reception)를 사용하지 않은 시나리오 1에 비해서는 높은 성능을 보였다. 또 핸드오버 성능은 DRX가 길어질수록 낮아졌으며 트래픽의 오프로딩을 위해서 이동단말을 소형 셀에 오래 머물게 하는 형태로 핸드오버 파라미터를 설정하는 경우, 소형 셀에서 매크로 셀로의 핸드오버 시 HOF 및 ping-pong 확률이 높아짐을 보였다. 따라서 SCE-HL에서는 Rel-12 Het Net Mobility WI에서 논의된 결과를 기반으로 시나리오 2를 위한 새로운 이동성 관리기법의 도입 여부를 결정해야 한다.

시나리오 2에서 UL/DL power imbalance는 발생하지만 시나리오 1에서 기술한 바와 같은 매크로 셀과 소형 셀의 간섭은 발생하지 않는다. 따라서 시나리오 2에서는 앞서 시나리오 1에서 기술한 바와 유사하게 UL/DL

power imbalance는 요소기술로 채택되지 않았다.

시나리오 2에서 signaling load와 관련한 기술적 이슈는 시나리오 1에서 제시한 형태와 동일하므로 시나리오 2에서 시그널링 로드 감소를 위한 해결방안이 제시되어야 한다.

서비스 트래픽의 QoS를 보장하면서 다수의 셀에서 제공하는 무선 자원을 이용하여 사용자의 throughput을 향상시키는 것은 시나리오 2에서도 중요한 기술적 이슈이다. 시나리오 2에서 다수의 셀에서 제공하는 무선 자원을 이용하여 성능을 향상시키는 방안으로 고려해 볼 수 있는 기법은 Rel-10/11에서 제시된 CA이다. 하지만 기존의 Rel-10/11에서의 CA는 RRH 기반의 이상적인 백홀을 고려한데 비해, Rel-12 소형 셀 향상에서는 매크로 셀과 소형 셀 간의 비이상적인 백홀을 고려해야 한다.

다) 소형 셀 배치 시나리오 3

시나리오 3은 하나 이상의 주파수를 이용하여 소형 셀들로만 되었으며 소형 셀들간은 비이상적인 백홀로 연결된 시나리오이다.

시나리오 3에서는 시뮬레이션을 통해 시속 3Km/h 이하의 이동단말의 경우 mobility robustness와 관련된 기술적 이슈는 없는것으로 결정되었으며 시나리오 1 및 시나리오 2와 동일하게 이동단말의 이동성에 따른 셀 변경에 따른 시그널링 문제를 해결하기 위한 방안이 필요하다.

〈표 1〉은 앞서 기술한 소형 셀 시나리오에 따른 기술적 이슈를 나타낸 것이다.

〈표 1〉 소형 셀 시나리오에 따른 기술적 이슈

	Scenario1	Scenario2	Scenario3
Mobility Robustness	X	X	
UL/DL Power imbalance			
Signaling Load	X	X	X
Throughput Improvement		X	

다. 검토 중인 기술들

본 절에서는 앞서 기술한 SCE-HL에서 제시한 기술적 이슈를 기반으로 SCE-HL에서 고려하는 요소 기술 및 요소 기술 실현을 위한 프로토콜 구조에 대해서 기술한다.

1) 이중연결성

본 절에서는 앞서 기술한 기술적 이슈를 해결하기 위해 기존 Rel-10/11 시스템과 비교하여 추가적으로 도입될 수 있는 서비스 시나리오인 이중연결성에 대해서 기술한다.

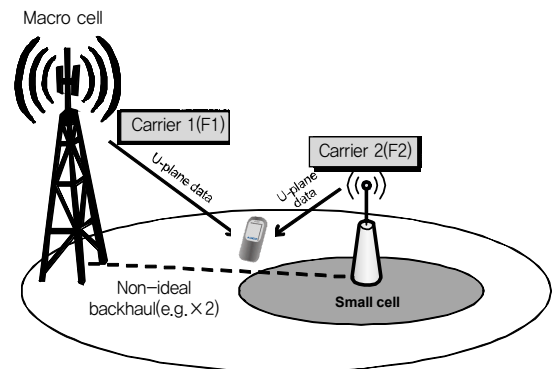
이중연결성은 하나의 이동단말이 비이상적인 백홀로 연결된 2개 이상의 서로 다른 네트워크 접속점에서 제공하는 무선 자원을 이용하여 서비스를 받는 것을 의미한다. 이 시나리오에서 하나의 이동단말을 위해 이중연결성을 제공하는 각각의 eNB는 서로 다른 기능을 수행할 수 있으며 이중연결성 실현을 위해서 다음과 같은 핵심 요소기술을 고려할 수 있다.

가) INRA

INRA(Inter-node Radio Resource Aggregation)는 사용자의 throughput 향상을 위한 요소기술이며 (그림 8)과 같이 사용자평면 데이터 전송을 위해서 하나 이상의 eNB에서 제공하는 무선자원을 aggregation하여 이동단말에게 서비스를 제공하며 시나리오 2를 위해서 고려될 수 있다. 이를 위해서 매크로 셀을 mobility anchor로 설정하여 CN에 대한 시그널링 오버헤드를 줄이는 것이 하나의 실현방안으로 고려할 수 있다.

나) RRC Diversity

핸드오버와 관련된 RRC 시그널링을 source/target cell에서 송/수신하는 RRC diversity는 mobility robustness를 향상시키기 위한 요소기술이며, 이를 통해 이동단말은 적어도 하나의 셀로부터 연결을 유지할 수 있으므로 RLF를 최소화하고 핸드오버 성능을 높일 수 있다.



(그림 8) Inter-node Radio Resource Aggregation

RRC diversity는 시나리오 1 혹은 시나리오 2에서 매크로 셀과 소형 셀, 매크로 셀 간, 혹은 소형 셀 간에 적용할 수 있다.

2) 이중연결성 지원을 위한 프로토콜 구조

가) 사용자평면 프로토콜 구조

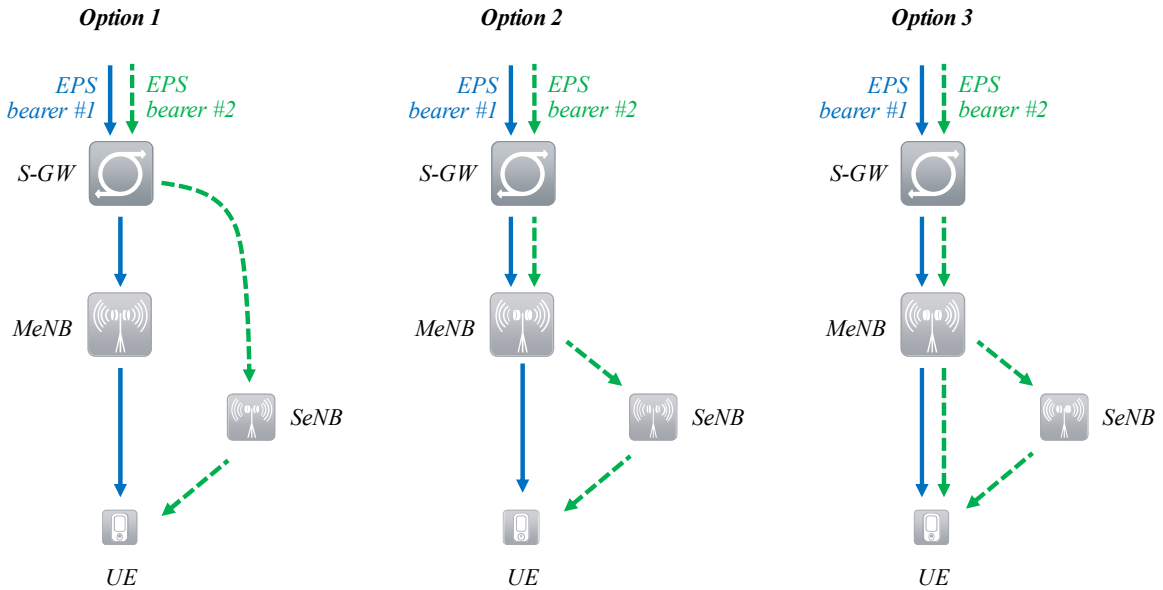
이동단말에게 이중연결성을 제공하기 위해서는 하나의 MeNB와 하나 이상의 SeNB가 필요하며 이들을 이용하여 사용자평면 데이터를 분할하기 위해서 (그림9)와 같은 3가지의 구조를 고려해 볼 수 있다.

- Option 1: S1-U가 SeNB에서 중단하는 형태
- Option 2: S1-U가 MeNB에서 중단하고 RAN에서 bearer split을 지원하지 않는 형태
- Option 3: S1-U가 MeNB에서 중단하고 RAN에서 bearer split을 지원하는 형태

프로토콜 구조적인 측면에서 S1-U가 MeNB에서 중단하는 경우, SeNB는 (Re)segmentation 기능을 지원해야 하며 이를 기반으로 다음과 같은 형태의 사용자평면 구조를 구분할 수 있다.

- Independent PDCPs

현재 정의된 Rel-10/11의 무선 접속 사용자평면 프로토콜 스택을 각각의 bearer별로 적용하는 형태이며 하나의 EPS bearer가 하나의 노드에서 서비스되는 구조이다.



(그림 9) 이중연결성 제공을 위한 Bearer Split 구조 예

• Master-Slave PDCPs

S1-U가 MeNB에서 중단되며 PDCP 기능이 MeNB와 SeNB에 분할되어 있는 구조이다. Master-Slave PDCPs에서 bearer split는 독립적인 RLC bearer를 통해서 실현될 수 있다.

• Independent RLCs

S1-U가 MeNB에서 중단되며 bearer split는 독립적인 RLC bearer를 통해서 실현될 수 있다.

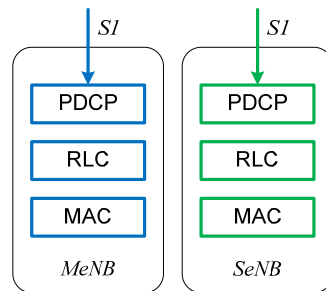
• Master-Slave RLCs

S1-U가 MeNB에서 중단되며 RLC 기능이 MeNB와 SeNB에 분할되어 있는 구조이다.

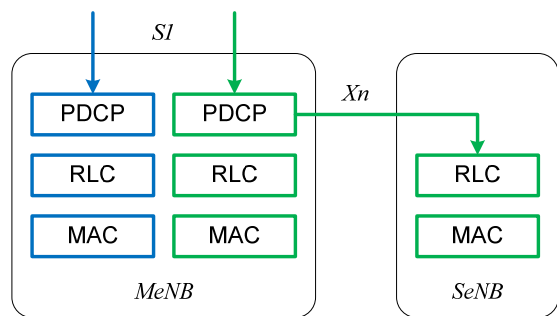
앞서 기술한 사용자 평면 구조를 기반으로 3GPP RAN2에서는 9개의 사용자 평면 프로토콜 구조에 대해서 논의하였으며, RAN2 83bis 회의 후(그림10)과 (그림 11)과 같이 bearer split을 지원하지 않는 구조(1A)와 bearer split을 지원하는 구조(3C)에서 각 하나의 사용자 평면 구조로 down-selection하였다.

나) 제어 평면 프로토콜 구조

소형 셀들을 이용하여 이중연결성을 제공하기 위해서



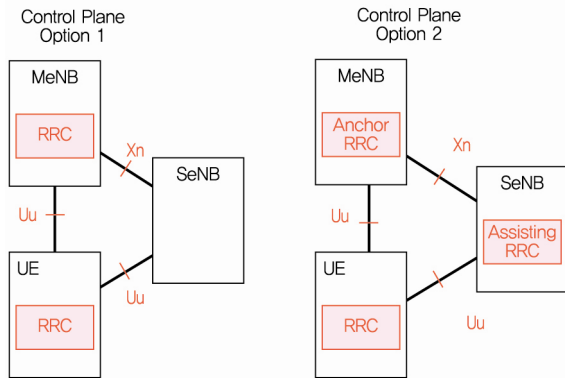
(그림 10) 사용자 평면 프로토콜 구조 예(1A)



(그림 11) 사용자 평면 프로토콜 구조 예(3C)

제어 평면 프로토콜은 다음과 같은 기능에 대한 고려가 필요하다.

- 소형 셀계층의 common radio resource 설정



(그림 12) 제어 평면 프로토콜 구조 예

- 소형 셀계층의 dedicated radio resource 설정
- 소형 셀계층의 measurement/mobility 제어

앞서 기술한 기능을 기반으로 이중연결성을 위한 제어 평면 프로토콜 구조는 (그림12)와 같이 2가지 형태로 나누어 볼 수 있다.

- C1: MeNB에서 RRC 메시지를 생성하여 이동단말과 송/수신하는 형태이며 이를 위해서 MeNB의 RRM 및 SeNB의 RRM 간 coordination이 필요한 구조이다. 이 구조에서는 MeNB가 SeNB의 RRC 기능을 대행하는 형태이며 RRC 절차를 위해서 MeNB와 SeNB 간의 정보교환이 필요하다.
- C2: MeNB 및 SeNB에서 RRC 메시지를 생성하여 이동단말과 송/수신하는 형태이며 이를 위해서 MeNB의 RRM 및 SeNB의 RRM 간 coordination이 필요한 구조이다. 이 구조에서는 SeNB가 이동단말과 직접적으로 RRC 메시지를 송/수신하는 형태이다.

3GPP RAN2에서는 앞서 기술한 제어 평면 architecture에 대해 여러형태의 성능 지표를 고려해 장/단점을 논의 하였으며 RAN2 83차 회의를 통해 C1의 제어 평면 프로토콜 구조로 down-selection하였다.

VI. 결론

본 논문에서는 3GPP Rel-12 소형 셀 향상에서 표준

화 동향 및 이를 위한 요소기술들에 대해 기술하였다. 3GPP 소형 셀 향상에서는 고밀도 소형 셀 배치에 초점을 두고 효율적 에너지 사용, 효율적 이동성 관리, 주파수 이용효율 증대 등을 위해 소형 셀 ON/OFF, 매크로 셀과 소형 셀에 대한 단말의 이중연결성, 단말 인접 소형 셀의 디스커버리, 셀간 간섭 제어, 셀간 동기화, 소형 셀 채널환경을 고려한 오버헤드 감소 및 고차 변조 사용 등에 대한 연구를 진행하고 있다. 향후 일정으로 2013년 12월까지 소형 셀 향상을 위한 후보 기술 확인과 평가 등의 SI을 마감하고 이후 본격적인 규격작업을 시작하여 2014년 9월경에 Rel-12 소형 셀 향상 기술에 대한 규격화 작업을 마무리 할 것으로 예측된다.

용어해설

이중연결성 하나의 이동단말이 비이상적인 백홀로 연결된 2개 이상의 서로 다른 네트워크접속점에서 제공하는 무선자원을 이용하여 서비스를 받는 것을 의미

약어정리

ABS	Almost Blank Sub-frame
CA	Carrier Aggregation
CN	Core Network
CoMP	Coordinated Multi-point Transmission and Reception
CRE	Cell Range Extension
CRS	Cell-specific Reference Signal
CSI	Channel State Information
DL	Downlink
DMRS	Demodulation Reference Signal
DRX	Discontinuous Reception
EVM	Error Vector Magnitude
FDD	Frequency Division Duplex
feICIC	further enhanced Inter-cell Interference Coordination
GIS	Geographical Information System
GPS	Global Positioning System
HOF	Handover Failure

LTE	Long Term Evolution
MeNB	Master eNodeB
MME	Mobility Management Entity
PC	Personal Computer
PSS	Primary Synchronization Signal
RLF	Radio Link Failure
RNTP	Relative Narrowband Tx Power restriction
RRC	Radio Resource Control
RRH	Remote Radio Head
RRM	Radio Resource Management
RSRP	Reference Signal Received Power
QAM	Quadrature Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
RAN	Radio Access Network
SCE	Small Cell Enhancement
SeNB	Secondary eNodeB
S-GW	Serving Gateway
SI	Study Item
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
SON	Self Organizing Network
SR	Scheduling Request
SSS	Secondary Synchronization Signal
TDD	Time Division Duplex
TR	Technical Report

UCI	Uplink Control Information
UL	Uplink

참고문헌

- [1] Cisco visual networking index: Global mobile data traffic forecast update, 2009-2014, February 2010.http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns525/ns537/ns705/ns827/white_paper_c11-520862.html.
- [2] T. Kaneshige. AT&T iPhone users irate at idea of usage-based pricing, December 2009.<http://www.pcworld.com/article/184589/>
- [3] 정송 외, "초소형 셀 자율무선네트워크 기술," 한국통신학회지, 2011.
- [4] 3GPP TSG RAN TR 36.932 v12.1.0 "Scenarios and Requirements for Small Cell Enhancements", Mar. 2013.
- [5] T. Nakamura et al., "Trends in small cell enhancements in LTE advanced," *IEEE Comm. Mag.*, vol. 51, no. 2, 2013.
- [6] 3GPP TSG RAN TR 36.872 v1.0.1, "Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN - Physical Layer Aspects," Aug. 2013.
- [7] 3GPP TSG RAN TR 36.842 v0.2.0, "Study on Small Cell Enhancements for E-UTRA and E-UTRAN - Higher-layer Aspects," May 2013.