

# LTE SON 기술 동향 분석

A Technical Trend Analysis of LTE SON

김홍숙 (H.S. Kim)      펠토셀시스템연구팀 선임연구원  
 이찬용 (C.Y. Lee)      펠토셀시스템연구팀 책임연구원  
 박남훈 (N.H. Park)      펠토셀시스템연구팀 팀장

## 목 차

- .....
- I . 서론
  - II . SON 기술
  - III . SON 기술 동향
  - IV . 결론

\* 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002129, LTE-Advanced 시스템을 위한 SON 및 Femtocell 기술 개발]

기존 2G/3G 무선 네트워크에서 많은 네트워크 요소들과 관련된 파라미터들이 수동으로 설정되었다. 네트워크 구성 요소들과 이와 관련된 파라미터들의 설계, 설정, 통합 및 관리 기능은 효율적이고 신뢰성 있는 네트워크 운용을 위하여 매우 중요하다. 그러나, 이들 네트워크 파라미터 조정에는 전문적인 엔지니어의 수작업이 필요하다. 이러한 수작업 과정은 시간이 많이 걸리고 잠재적으로 수작업에 따른 오류 발생 가능성이 있다. 이동 통신 시스템에서 펠토셀 및 차세대 4G 도입이 가시화됨에 따라, 기지국의 설치 및 운용 과정에서 Self-Configuration, Self-Optimization 및 Self-Healing과 같은 자동화 기능을 포함하는 SON 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 고에서는 LTE에서의 SON 기술 관련 주요 기술적 내용을 정리하고, 표준화 동향 및 업체 기술 동향에 대하여 살펴보고자 한다.

## I. 서론

현재 또는 앞으로 출시될 모바일 기기들(스마트 폰, PC 데이터 카드, USB 모뎀, 무선통신 기능 내장 가전기기 등)은 공공부문 또는 기업 사용자들에 의한 무선 데이터 사용의 폭발적 증대에 큰 몫을 할 것이다.

네트워크 측면에서, 무선 서비스 제공업체의 네트워크들은 점점 더 복잡해지고 이중 장비들로 이루어지고 있다. 현재의 상황에서 커버리지 확장성 및 매크로셀을 용량 절감을 위한 펌토셀 및 피코셀들의 급속한 수적 증가 및 2G/3G/4G/WLAN 등의 여러 기술이 결합된 네트워크들의 보급 속도의 증가가 예상된다. 이러한 경향은 매크로/펌토, 매크로/피코간의 간섭 관리뿐만 아니라, 매크로/펌토 핸드오버 및 이중 무선 접속 기술간의 종적 핸드오버(vertical hand-over)를 고려해 볼 때, 잠재적으로 운용 비용 및 네트워크 복잡도의 증가를 의미한다. 대용량 데이터 트래픽의 증가 및 더욱 복잡해지는 네트워크를 운용 비용 측면에서 효율적으로 관리하기 위해서는 기존에 사용하던 네트워크 관리 방법의 많은 개선이 필요하다.

기존 2G/3G 무선 네트워크에서 많은 네트워크 요소들과 관련된 파라미터들이 수동으로 설정되었다. 네트워크 구성 요소들의 파라미터 설계, 설정, 통합 및 관리 기능은 효율적이고 신뢰성 있는 네트워크 운용을 위하여 매우 중요하다. 그러나, 이들 네트워크 파라미터의 설계 및 조정에는 고비용의 전문적인 엔지니어의 수작업이 필요하다. 3G 시스템의 경우 OPEX 중 네트워크 관련 운용 및 수리비용이 25~30%에 육박하는 것으로 분석되었다[1]. 영국 Vodafone의 경우, 이 비용은 12억 5천 유로에 달하는 것으로 보고되었다[2].

비용문제 외에도 수작업 과정은 시간이 많이 걸리고 수작업에 따른 잠재적 오류 발생 가능성이 높다.

이에 반해 대부분의 네트워크 토폴로지나 운용 환경은 매우 빨리 변화하므로, 수동 조정을 통해서 네트워크 성능의 일부만 최적화된 결과를 얻게 된다는 기술적 한계를 가지고 있다.

이동 통신 시스템에서 펌토셀 및 차세대 4G 통신망 도입이 가시화됨에 따라 기지국의 자동화 기능을 포함하는 SON 기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

펌토셀과 같은 소형기지국들은 이동통신 사업자에 의해 지정된 최적의 위치에 설치되는 것이 아니고 사용자가 직접 구매하여 설치하기 때문에, 사전에 셀 배치 설계를 할 수 없고, 펌토셀 기지국 스스로가 주변 환경을 탐지하여, 자가 설정 및 최적화를 수행하여야 한다. 또한, 설치되는 펌토셀 기지국의 개수가 매크로 기지국과 비교하기 힘들 정도로 많아질 것으로 예상되므로, 관리의 측면에서도 SON 기술에 기반한 자동화된 네트워크 관리가 더욱 절실해진다.

본 고에서는 LTE에서의 SON 기술 관련 주요 기술적 내용을 정리하고, 표준화 동향 및 업체 기술 동향에 대하여 살펴보고자 한다.

## II. SON 기술

### 1. SON 관련 주요 기술 개요

분류 기준에 따라 다소 차이는 있을 수 있으나, LTE에서 SON 기술은 크게 Self-Configuration, Self-Optimization 및 Self-Healing 기능으로 나누어진다.

Self-Configuration 기능은 기지국 신규 또는 추가 설치시, 기지국 초기 동작에 필요한 파라미터를 자체적으로 수집 분석하여 기지국 초기 부트 업 과정 및 운용 전 단계에서 인접 기지국 식별, 관계 설정/등록 및 코어 망(core network)과의 연결 설정 등의 절

차를 자동화하는 기능이다.

Self-Optimization 기능은 기지국 운용 및 유지 보수 단계 중, 인접 기지국간 신호 및 트래픽 유형정보를 활용하여 기지국간 간섭을 최소화하기 위한 기지국 신호 세기 제어, RACH 최적화, 핸드오버 시 RLF를 최소화하기 위한 핸드오버 파라미터 최적화, 인접 기지국간 부하의 균등 조절, 불필요한 기지국 운용 시간을 최소화하기 위한 전원 절감 등의 기술을 포함한다.

Self-Healing 기능은 네트워크 운용 중 발생하는 구성 요소의 장애를 파악하여, 자동 복구가 가능한 요소들을 복구함으로써 오류를 해결하거나 오류에 따른 시스템 영향을 최소화하는 기능이다. Self-Healing 기능은 장비의 장애시 발생하는 경보(alarms)들을 모니터링 하면서, 경보가 발생하는 경우 추가적인 관련 정보를 측정 또는 검사를 통하여 수집한 후, 자동적인 복구가 가능한 경우에는 해당 복구 동작을 수행한다.

복구 동작과 관련하여 소프트웨어적인 장애의 경우에는 시스템 초기화, 백업 소프트웨어 재설치, 장애 복구 소프트웨어의 시작, 새로운 소프트웨어 유닛의 다운로드, 재구성 등이 될 수 있다.

하드웨어적인 장애의 경우에는 여유분의 백업 하드웨어가 있는 경우, 이를 동작시키는 방법과 여유분

이 없는 경우에는 성능이나 기능을 축소하여 동작하도록 운용하는 방법 등을 생각할 수 있다.

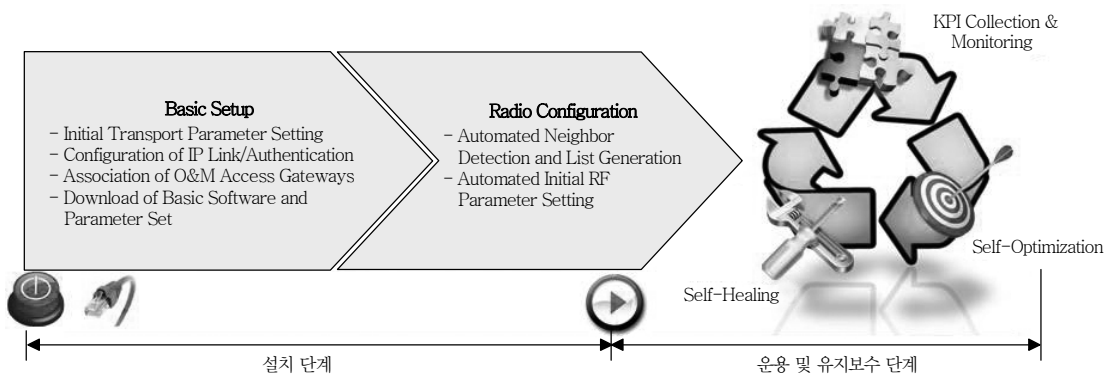
(그림 1)은 기지국 전원 인가 후 운용 및 유지 보수 단계까지의 SON 기술 적용 과정을 도시한 것이다.

## 2. Self-Configuration 기술

SON의 Self-Configuration 기술의 목표는 기지국 설치에 따른 전 과정에서 PnP 기능을 제공함으로써 인적 자원의 개입을 줄이는 것이다.

기지국에 전원이 인가되고 전송 링크에 연결된 후에, Self-Configuration 작업이 이어진다. 전원이 인가되면 기지국은 부팅 후, 기본적인 하드웨어 자체 검증(self test) 후, 자가 탐지(self detection) 기능들을 수행한다. 자가 탐지 기능에는 트랜스포트 타입, TMA, 안테나 케이블의 길이의 탐지를 수행하고 수신기 경로(receiver path)의 자동 조정하는 기능들이 포함된다.

자가 탐지 기능 수행 후에 기지국은 물리적 전송 링크를 설정하고 DHCP/DNS 서버와의 연결을 통하여, 자신이 사용할 IP 주소 및 serving gateway, MME, configuration server 등의 관련 장비 또는 서비스로의 IP 주소에 대한 정보를 획득한다. 이 과정을 마치고 나면 기지국은 OA&M, S1 및 X2 링크에 사



(그림 1) 기지국 동작 단계별 SON 기술

용할 보안 터널을 만들 수 있으며, 새로운 설정 파라미터들을 얻을 수 있는 설정값 저장 서버(configuration server)와 통신할 준비가 된 것이다.

설치 시점에서 대부분의 무선 파라미터들은 업체에서 제공하는 기본값으로 설정되어 있다. 좀 더 세밀한 파라미터 최적화는 기지국이 동작상태에 진입한 후 Self-Optimization 기능에서 수행된다. 자동화된 SON 기능을 통하여 이웃 관계(neighbor relation) 설정이 선택적으로 수행될 수도 있다. 그렇지 않은 경우에는 초기 셋업은 네트워크 설계(planning) 결과에 따라 완료된다.

ANR은 새로운 기지국을 설치하고 이웃 정보를 최적화할 때 이웃 정보에 수작업을 가능한 최소화하거나, 제거하는 것을 목표로 한다. LTE에서 ANR 기능은 사용자 UE가 현재 접속중인 기지국(이하 접속 기지국, 또는 접속 셀)에서 다른 기지국(이하 이웃 기지국 또는 이웃 셀)에 이웃 정보의 획득 및 설정에 있어서 자동화된 방법을 제공한다. 또한, ANR은 핸드오버에 사용할 목적으로 LTE에서 기지국간의 인터페이스로 지원하는 X2 인터페이스를 자동으로 설정한다.

RRC 연결(connection)이 설정된 후에(즉, 셀에 attach된 후에) UE는 접속 기지국으로부터 측정치(measurements) 보고 요청을 받으며, *RRC connected mode*에 있는 동안 계속해서 측정 보고 요청에 지시된 내용에 따라 측정치를 보고한다. UE는 *RRC connected mode* 동안 접속 기지국이 지시한 측정 보고 기준에 따라, 자신이 탐지한 모든 PCI(LTE 셀에 대한 식별자)를 보고한다. UE로부터 받은 측정 보고에 미지의 셀이 포함되어 있는 경우, 접속 기지국의 ANR에서는 해당 셀로 있을지도 모른 핸드오버를 위하여 미지의 셀을 식별하기 위한 절차를 시작한다.

UE가 보고한 PCI가 접속 기지국 내에서 ANR에 의해 관리되고 있는 이웃 셀 DB에서 찾을 수 없는 경우, 즉 이웃 셀로 등록되어 있지 않은 경우 접속 기지국의 ANR에서는 해당 셀을 식별하기 위하여 미지의 셀에 대한 PCI를 사용하는 셀의 ECGI를 검색하도록 UE에게 요청한다. ECGI 검색 요청을 받은 UE는 이웃 기지국의 셀에서 방송되는 ECGI 정보를 읽어서 접속 기지국에 보고하고, 보고를 받은 접속 기지국은 EPC(LTE의 core network)의 구성 요소 중 하나인 MME의 도움을 받아 이웃 기지국의 IP 주소를 확보한다.

접속 기지국은 확보된 이웃 기지국의 IP 주소를 이용하여 이웃 기지국에 X2 인터페이스 설정을 요청한다. 이 요청에는 이웃 셀에서 접속 셀로의 이웃 셀 정보 생성에 필요한 모든 셀 데이터(PCI, ECGI, TAC PLMN-id 및 주파수 정보 등)가 포함된다. 이웃 셀을 관장하는 이웃 기지국은 UE의 접속 셀을 자신의 이웃 셀 리스트에 추가하고, UE의 접속 셀을 관장하는 접속 기지국에서 이웃 셀 정보 리스트에 자신의 셀에 대한 정보를 추가할 수 있도록 필요한 정보(PCI, ECGI, TAC PLMN-id 및 주파수 정보 등)를 UE의 접속 기지국으로 전송한다. X2 인터페이스가 준비되면, 이후의 모든 셀간의 핸드오버는 X2 인터페이스를 이용하여 수행할 수 있게 된다.

PCI 설계 계획은 한정된 PCI 자원을 셀 간에 충돌 없이 사용하기 위한 방법이다. UE에서 수신하는 신호를 보내는 기지국의 셀을 구분할 수 있도록 각각의 기지국의 셀에는 PCI라고 불리는 시퀀스를 사용한다. TS 36.211에 명시된 물리 계층 규격에 따르면, 총 504개의 물리 계층 셀 식별자(physical layer cell identifier)가 있다. 이들 504개의 물리 계층 셀 식별자들은 다시 168개의 물리 계층 셀 식별자 그룹으로 나누어지며, 각각의 그룹 내에는 3개의 식별자를

가진다[3].

UE는 서로 다른 두 개의 셀이 동일한 PCI를 사용하는 경우를 발견할 수도 있는데, 이는 PCI가 다수의 기지국 셀들에 의해 재사용되기 때문이다. 사용 가능한 PCI는 540개이지만, 전형적인 이동 통신 서비스에서 200개 내지 300개의 셀 사이트를 가질 수 있으므로, 셀 사이트 당 세 개의 기지국만 가정하여도 천여 개의 기지국들이 있을 수 있다. 따라서, 이동 통신 사업자는 각각의 인접한 기지국 셀들이 동일한 PCI를 가지지 않도록 PCI를 할당하거나 최적화하여야 한다.

일반적으로 이동 통신 사업자는 서비스할 지역에 PCI 배치를 위하여 오프라인 배치 설계 툴이나 수작업으로 결정한다. PCI 배치 설계에 필요한 기본 데이터는 기지국 위치, 잠재적인 이웃 셀 정보 등이며 이를 활용하여 기지국별로 PCI를 할당한다. PCI 할당 시에는 PCI 충돌이 인접한 기지국간에 없는지를 확인한 후 기지국 설치 시에 설정파일을 통해 전달하거나, 현장 작업 기사들이 직접 입력한다. 이러한 PCI 할당 절차는 잇따른 변화에 적합하지도 않고 실수가 따르기 쉽다.

SON 메커니즘을 사용하면 통신 사업자는 지루한 PCI 결정 및 할당 과정을 자동화할 수 있다. SON 프레임워크에서는 Self-Configuration 기간 동안 기지국에 전원이 인가되면 바로 PCI를 할당 받는다. 할당되는 PCI는 PPT를 사용하여 개별 기지국의 예상되는 커버리지 지역 정보를 추측하고 동일한 PCI를 할당 받을 기지국들이 PCI 충돌이 나지 않을 만큼 거리를 두어서 할당된다. SON 기능을 사용하여 각각의 기지국 설치시 수작업 없이 PCI를 할당 받을 수 있다.

기지국의 초기 설치 이후, 동작상태에서 각각의 기지국은 PCI 충돌 정보가 포함된 정보를 수집한다. 초기 PCI 배치 설계 단계에서의 오류, 서비스 지역 내의 단말기 분포의 변화, 기지국의 전력 변화 등의 요인에

따라 PCI 충돌이 관찰될 수 있다. LTE용 UE는 동일한 PCI를 사용하는 두 개의 eNB로부터 신호를 받으면, 접속 기지국에 PCI 충돌 내용을 보고한다. 접속 기지국에 보고된 PCI 충돌내용은 SON 메커니즘으로 중계되며, SON 메커니즘은 PCI 충돌에 대한 로그를 유지 기록한다. 통신 사업자는 적절한 주기마다 POT를 운용하여 PCI 충돌 로그 내용을 분석하고 커버리지 맵을 업데이트하여 PCI 변경이 필요한 기지국들을 확인한 후 새로 PCI 값을 할당한다. 추가적으로 SON 알고리즘은 새로 할당한 PCI 값이 해당되는 기지국에 중계되도록 보장해야 한다.

### 3. Self-Optimization 기술

Self-Optimization 기술은 기지국 운용 중, 인접 기지국간 신호 및 트래픽 유형 정보를 활용하여 기지국간 간섭을 최소화하는 ICIC 기능, 커버리지 홀을 탐지하고 최적 용량 및 커버리지를 위한 CCO 기능, RACH 최적 사용을 위한 RO 기능, 인접 기지국간 부하의 균등 조절을 위한 MLB 기능, 핸드오버 시 RLF를 최소화하기 위한 핸드오버 파라미터를 최적화하는 MRO 기능, 불필요한 기지국 운용 시간을 최소화하여 전원 절감 기능인 ES 기능 등을 포함한다.

ICIC는 주파수를 재사용하는 네트워크에서 셀 상호간에 발생하는 간섭을 최소화하여 SIR을 개선하고 성능을 높이는 것을 목표로 한다. LTE의 기반 물리계층 기술인 OFDM과 SC-FDMA에서의 PRB 사용 패턴을 이웃 셀간에 적절하게 조정하면 상/하향 링크에서 간섭을 줄일 수 있다. ICIC 관련 RRM 파라미터로는 HII, OI, DL TX power indicator 등이 있으며, 이 정보를 기지국간에 서로 교환하여 PRB 사용 패턴을 조정한다[4].

CCO는 네트워크 운용 및 유지 보수 단계에서 트



래픽 패턴과 사용자 통계에 따라 최적의 커버리지 (coverage)/용량(capacity)을 제공하기 위한 과정이다. 셀 설계 계획 틀에 따라 커버리지 누락 영역이 없도록 설계가 되지만, 실제 운용과정에서는 지형 지물과 같은 지리적 영향에 의해 커버리지 홀이 발생할 수 있다. 따라서 운용중에도 이를 탐지하고 복구하여야 한다. 커버리지와 용량은 서로 연관되면서도 상충되어 있는 최적화 목표이고, ICIC, RO, MLB, MRO, ES 기능 등의 다른 거의 모든 최적화 요소 기술들에 끼치는 영향이 크기 때문에 조심스런 최적화가 필요하다.

RACH 성능은 상향 셀간 간섭, TA 크기, 셀 부하, 호 도착률(call rate), 핸드오버 비율, 셀 커버리지 내의 서비스 대상인 UE의 개수 및 사용자 트래픽 패턴 등의 네트워크 환경에 영향을 받는다. RO는 RACH 사용과 관련된 파라미터들을 네트워크 환경의 변화에 맞게 자동적으로 변화시켜 줌으로써 RACH 사용과정에서 발생하는 충돌, 수신 오류 등을 최소화하는 것을 목표로 한다. RACH 사용 성능은 LTE 시스템의 연결 설정 핸드오버, 데이터 재개 지연시간 등의 성능에 직·간접적인 영향을 미친다.

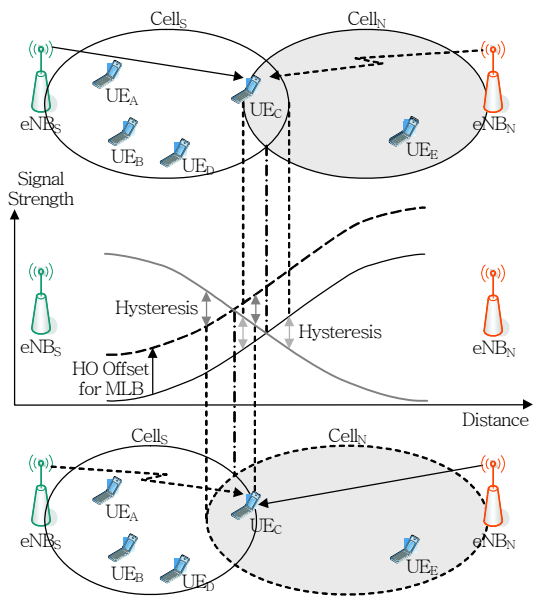
MLB의 목표는 시스템 용량에 최적화하면서 사용자의 체감 품질과 효율적인 성능을 제공하기 위하여, 시스템 내의 필요한 무선 자원이 골고루 사용되도록 사용자의 트래픽을 분산하는 것이다. MLB 알고리즘의 구조는 일반적으로 기반 무선접속 기술에 의해 많이 좌우된다. LTE에서는 X2 인터페이스를 활용하여 MLB 알고리즘이 개별 기지국에서 로컬하게 수행되고, 부하 정보들을 기지국간에 X2 인터페이스를 통하여 서로 교환하여 Idle/Active 핸드오버 파라미터를 조정하거나 RRM 기능을 조정하는 데 사용하는 분산형 알고리즘 구조가 좀 더 적합하다.

WCDMA의 BSC/RAN 구조 또는 매크로 다이버

시티가 포함된 무선 접속기술에는 기지국들이 수집된 부하 정보를 OSS 내에서 실행되고 있는 MLB 알고리즘에 보고를 하고, OSS 내의 MLB 알고리즘은 Idle/Active 핸드오버 파라미터의 적절한 조정값을 개별 기지국에 지시하는 중앙 집중형 알고리즘이 좀 더 적합하다.

(그림 2)는 가상적인 핸드오버 오프셋(HO offset)을 추가하여 현재 과부하 상태의 셀 Cell<sub>S</sub>에서 부하의 여유가 있는 이웃 셀 Cell<sub>N</sub>으로 UE<sub>C</sub>가 이동하게끔 하여 셀간 부하 균등화를 수행하는 예이다.

LTE에서는 MME 풀 개념을 통하여 부하가 증가할 때 서로 다른 MME들간에 사용자 트래픽 부하를 공유하는 방법을 제공하고 있다. 반면, 기지국에서는 RRM 기능을 통하여 이웃 셀들과 트래픽을 공유하거나 부하를 줄여 시스템 용량을 최적화할 수 있다. 그 결과로, 서로 다른 노드에서 실행되는 서로 다른 실시간 알고리즘을 통하여 필요한 네트워크 요소별로 사용자 트래픽에 대한 부하 분산을 동시에 제공할 수 있다. 이외에도 네트워크의 OSS와 같은 중앙 집중형



(그림 2) 가상적인 Cell Offset 추가를 통한 MLB 방법

제어 장치에서 노드별로 장기간의 트래픽 양상을 모니터링하여 트래픽의 흐름을 변경할 수도 있다. 예를 들어, 스포츠 행사, 컨벤션 센터에서의 모임 또는 아침 저녁 통근시간 등과 같이 주기성을 가지거나 예정 시간에 규칙적으로 반복하여 발생하는 부하집중 현상에 있어서 장기간의 트래픽 양상 분석 및 활용은 유용한 기능이다.

셀을 재균등화 하거나 또는 특정 UE를 이동시키는 판단에 있어서, 대상이 되는 UE의 선정이 중요하다. UE가 이동해서 원래 셀에 있을 때 보다 QoS가 나빠지거나 성능이 떨어지거나, 재균등화 후에도 시스템 용량이나 활용도가 떨어진다면 사용자를 이웃 셀 또는 인접 셀로 보내는 것은 바람직하지 않다.

MRO는 Active 모드 핸드오버 및 Idle 모드 셀 재선택에 영향을 주는 파라미터를 자동으로 최적화하여 사용자 체감 품질과 성능을 올리는 데 목적이 있다.

이동통신 사업자가 수행하는 전형적인 핸드오버 파라미터 최적화 방법은 주행 테스트를 통하여 관련된 시스템 로그를 수집하여 후처리하는 방식이다. 잘못된 핸드오버 파라미터 설정으로 야기될 수 있는 핸드오버 핑퐁(HO ping-pong), 핸드오버 실패, RLF 등의 현상은 사용자의 체감 품질을 떨어뜨리고 네트워크 자원의 낭비를 유발한다.

따라서 MRO의 일차 목표는 핸드오버와 관련된 무선 링크 실패 횟수를 감소시키는 것이다. 또한, RLF를 유발하지는 않는다 하더라도 완전하게 최적화되지 못한 핸드오버 파라미터 설정은 서비스 성능의 저하를 가져온다. 예를 들어, 올바르지 못한 HO hysteresis 설정은 핸드오버 핑퐁 현상 또는 타깃 셀로의 과도한 지체시간의 원인이 된다. 그러므로 MRO 알고리즘의 이차 목표는 불필요하거나 잘못된 핸드오버 결정에 따른 네트워크 자원의 비효율적인 사용을 감소시키는 것이다.

핸드오버 실패 또는 최적화되지 못한 핸드오버와 관련된 대부분의 문제들은 무선 커버리지 홀이 없다는 가정 하에, 지나치게 빠른 핸드오버(too early HO), 지나치게 느린 핸드오버(too late HO), 잘못된 셀로의 핸드오버(wrong cell HO)로 분류할 수 있다.

지나치게 늦은 핸드오버 문제는 사용자 단말의 이동 속도가 허용범위 내의 HO 파라미터 값보다 빠르고, 소스 셀에서의 신호 강도가 아주 낮아져야 핸드오버가 결정되어, 즉 늦게 결정하여 소스 셀에서 RLF를 발생시킨다.

지나치게 빠른 핸드오버 유발 상황은 UE가 서빙 셀 커버리지 내에 존재하는 다른 셀의 커버리지 조각(coverage fragment) 영역을 통과하는 과정에서 발생한다. 서빙 셀 A에서 셀 B의 조각 영역을 통과하여 다시 서빙 셀 A 영역으로 진입하는 경우, 셀 B로 핸드오버한 후, RLF를 겪고 다시 셀 A로 연결되는 경우이다. 밀집된 도시 지역과 같은 곳에서 무선 전파(radio propagation) 환경에 기인한 셀 커버리지 조각 영역 내에서 이루어지는 전형적인 시나리오이다.

잘못된 셀로의 핸드오버는 셀과 이웃 셀 쌍에 대한 파라미터가 잘못 설정되어 있는 경우 발생한다. 예를 들어, 셀 A의 실제 이웃 셀이 C지만, 셀 A를 관장하는 기지국의 ANR 정보에 셀 A의 이웃이 셀 B로 잘못 설정되어 있는 경우, 셀 A에서 셀 B로 핸드오버한 직후 RLF를 겪고 다시 셀 B에서 셀 C로 핸드오버하는 경우이다.

<표 1>은 MRO 관련 문제 상황별 특징적 징후를 정리한 것이다. 여기서 “연결 직후 RLF 발생”에서 연결 후에서 RLF까지의 시간 기준을 얼마로 하느냐에 따라 문제 상황의 판단 결과가 달라질 수 있다. 이를 위하여 TS 36.902에 기술된 OAM에 의해 설정 가능한  $T_{store\_UE\_cntxt}$ 를 판단 기준으로 사용할 수 있다[5].

SON의 HO 최적화 기능은 한 셀에서 다른 셀로의

(표 1) MRO 관련 문제 상황별 특징적 징후

문제 상황	RLF 발생 셀	RLF 발생 시점	RLF 후 재연결된 셀
지나치게 낮은 핸드오버	셀 A	HO 시작 전 또는 진행중	셀 B
지나치게 빠른 핸드오버	셀 B	셀 B로의 성공적인 연결 직후	셀 A
잘못된 셀로의 핸드오버	셀 B	셀 B로의 성공적인 연결 직후	셀 C

HO 성능을 향상시키기 위한 단일 알고리즘 혹은 알고리즘들의 집합이다. 각 셀에서 수집된 성능 데이터는 부적절하게 설정되거나 최적화되지 않는 파라미터들과 핸드오버 실패와의 상관 관계를 규명하기 위하여 분석된다. 분석 후에 네트워크 내의 전체적인 HO 성능을 향상시키기 위한 방법으로 파라미터 조정이 이루어진다.

HO 파라미터 설정의 변경은 통계적 모니터링에 기반하여 운용되어야 한다. 운용과정 중에 특정 셀과 이웃 셀 쌍에서 사업자가 정의한 KPI가 한계치를 벗어나는 성능 하락이 있다면, (그림 3)에서 도시한 과정을 반복하여 진행한다. 즉,



(그림 3) MRO 과정

i) 트래픽의 부하, 타입, 시간 측면에서 모든 셀의 성능 평가 기준치를 정확하게 하기 위해서 충분한 시간 동안 네트워크를 모니터링 한다. ii) 관련 알고리즘에 의해 네트워크에 걸쳐 성공적인 HO를 높이기 위해 필요한 파라미터 수치 조정 결과가 계산되면 이들 전부 혹은 일부를 네트워크에 반영한다. iii) 네트워크를 다시 충분한 시간 동안 모니터링 하면서 i) 단계에서의 모니터링 결과를 기준으로 성능 변화를 비교한다. iv) 파라미터 조정 내용들을 계속 유지하면 목표한 KPI가 만족될 때까지 위의 과정을 반복한다. v) 중앙집중형 데이터베이스에 최종 결과를 갱신하고 유지한다.

핸드오버 관련 파라미터 조정은 반드시 다른 SON 알고리즘들과 상호 작용을 통하여 이루어져야 한다. 예를 들어 MLB 또는 ANR 최적화 알고리즘은 MRO 알고리즘과 상충될 수 있다. 그러므로, SON 알고리즘간에 메시지 교환 또는 다른 형태로나도 잠재적인 충돌 상황을 피하고 조율하여야 한다.

전원 절감(energy savings)은 전체적인 이동 통신 시스템 전체의 사용 전력을 최소화하는 것을 목표로 한다. 이동 통신 시스템의 규모가 커짐에 따라, 시스템 내의 네트워크 요소에서 사용하는 전력 요구임 OPEX에서 상당한 수준을 차지하기 때문이다[6].

전원 절감은 사용 패턴이나, 네트워크 배치 설계에 따라 여러 가지 방안들이 논의되었다. 예를 들어, 매크로셀과 펌토셀이 겹쳐지는 구조에서는 야간과 같이 펌토셀 사용이 없는 시기에는 매크로셀 커버리지만을 활성화하고 매크로셀 커버리지 내에 포함되는 펌토셀 커버리지를 비활성화 함으로써 간섭을 줄이고, 전원을 절약할 수 있다. 가정용 펌토셀의 경우, 평일 주간시간과 휴일에 주로 사용하는 패턴이므로 정적인 운용 시간표를 설정하여 운용할 수도 있으며, 매크로 기지국의 경우에도 기차역이나 동물원과 같이



사용자의 트래픽의 존재 유무가 시간에 따라 결정되는 경우에는 정적인 전원 조절이 가능하다.

### III. SON 기술 동향

#### 1. 3GPP LTE SON 표준화 동향

3GPP에서 SON 관련 규격은 사업자 관점에서의 네트워크 요소 관리 측면을 다루는 SA5 TSG와 무선 접속 기술을 다루는 RAN3 TSG에서 주도적으로 진행되고 있다. <표 2>는 RAN3/SA5 TSG에서 관장하고 있는 SON 관련 주요 표준 규격 및 내용을 정리한 것이다.

3GPP에서 SON 개념은 Rel. 8부터 시작된 LTE 표준에 포함되었으며, 이후 릴리즈에서 점차 영역을 확대하고 있다.

3GPP 표준화의 중요 목적은 서로 다른 벤더에서 공급된 장비로 구성된 네트워크 환경에서 SON 기능의 지원이다. SON 규격은 Rel. 8 이전에 존재하던 많은 기능을 재사용하는 방식으로, 기존 3GPP 네트워크 관리 구조 위에서 진행되고 있다. 이들 관리 인터페이스들은 포괄적인 방식으로 정의되어 있기 때문에 벤더간의 다른 구현의 여지를 제공하고 있다.

Rel. 8의 초기에는 네트워크 구성요소의 초기 설치 및 통합과 관련된 기능들이 주요 관심사였다. Rel. 8에서는 LTE의 매크로 기지국인 eNodeB의 Self-Configuration과 관련된 다음의 use case들이 포함된 TS 36.902 규격을 추가하였다[7].

- Automatic Inventory[8]
- Automatic Software Download[9]
- Automatic Neighbor Relation[10]
- Automatic PCI Assignment[11]

Rel. 8에서 추가된 3GPP의 TR 36.902 규격에서는 LTE SON use case 9가지에 대하여 필요한 기능, 평가 시나리오 및 예상 결과, O&M 요구사항, 해결 방안에 필요한 입력, 출력 파라미터 및 영향 받는 관련 규격과 인터페이스 등에 대하여 기술하고 있다. 표준화된 SON 기능들은 예상되는 LTE 네트워크 진화 단계에 부합하여 진행되고 있다.

Rel. 9에서 표준화된 좀 더 많은 SON 기능을 제공하였으며 다음과 같은 use case가 추가되었다[12].

- Coverage and Capacity Optimization
- Mobility Load Balancing Optimization
- Mobility Robustness Optimization

<표 2> SON 관련 3GPP 주요 표준 규격 및 내용

RAN3 TSG 규격	TR 32.816	- Study on Management of E-UTRAN and EPC
	TS 36.300	- Self-Configuration/Self-Optimization Stage 2
	TR 36.902	- Self-Configuration/Self-Optimization Network Use Cases and Solutions
	TS 36.331	- UE-eNB간 Self-Configuration/Self-Optimization 관련 RRC 파라미터 및 절차
	TS 36.413	- eNB/HeNB와 MME간 동적 구성을 위한 S1 인터페이스
	TS 36.423	- eNB간 동적 구성을 위한 X2 인터페이스(HeNB간의 X2의 도입 여부는 논의중)
SA5 TSG 규격	TS 32.501-503, 505	- Self-Configuration 개념, 요구사항, IRP(Integration Reference Point) 관련 IS(Information Service) 및 SS(Solution Set)
	TS 32.521-523	- Self-Optimization 관련 요구사항 및 IRP, IS, SS
	TS 32.541-543	- Self-Healing 관련 개념 및 요구사항
	TR 32.826, TS 32.551	- 전원 절감 관리 개념 및 요구사항
	TS 32.690-692, 695, 696	- 장비 관리(inventory management) 관련 요구사항 및 IRP, IS, SS

- RACH Optimization

위의 네 가지 최적화 관련 use case에 대한 RAN3 TSG의 TR 36.902과 SA5 TSG의 TS 32.50x, 32.52x 시리즈의 규격의 개발이 진행되었다. 또한, Rel. 9에서 연구 항목(study item)으로 논의되었던 다른 SON 관련 기능으로는 전원 절감을 증가하기 위한 통신망 관리 시스템의 개선에 대한 TR 32.826 작업, Home eNodeB 제어를 위한 새로운 OAM 인터페이스, 주행 시험(drive test)의 양을 줄이기 위한 UE 보고 기능을 통한 드라이브 테스트 최소화를 위한, 자체 검증 및 자가 복구(Self-Healing)에 대한 규격인 TS 32.541, 542, 543의 개발이 있었다.

Rel. 10에서는 Rel. 9의 SON 작업 항목(work item)별로 Rel. 9의 향상 및 구체화 작업이 진행되고 있다[13]. 특히, SON 기능의 대상을 HeNB로 확대하기 위한 고려와 ES에 대한 관심의 증대가 두드러진다.

CCO 관련하여 coverage hole과 capacity 문제가 상충하는 경우 coverage hole 해결에 우선 순위를 부여하도록 하였으며, MRO 및 MDT 기능의 진척 사항에 따라 CCO 탐지 기능이 협력하도록 하고 있다. MRO 관련하여 Inter-RAT 환경에서의 핸드오버 실패에 대한 고려와, Inter-RAT, Intra-LTE 환경에서의 Idle 모드 핑퐁 문제, Inter-RAT 환경에서 Active 모드 핑퐁 문제, Intra-LTE 환경에서의 잘못된 셀로의 핸드오버 문제에 대한 고려가 추가되었다.

MLB와 관련하여 Intra-LTE에서의 MLB 신뢰도 향상 및 Inter-RAT 환경에서의 MLB 기능의 향상에 대한 고려가 추가되었다. 또한, eNB 단계에 머물렀던 SON 범위를 HeNB로 확대하기 위하여 Rel. 9 및 Rel. 10 SON 알고리즘의 적용을 위한 use case 수준의 요구사항 및 OAM 요구사항 등에 대한 고려가

추가되었다.

ES와 관련하여 Rel. 9에서의 ES 연구항목에 대한 기술보고서 성격인 TR 32.826에 대한 작업을 계속 하면서, ES과 관련한 별도의 규격인 TS 32.551에서 개념 및 에너지 소비량, 트래픽 부하 측정, 네트워크 자원의 용량 조정 등의 요구사항들을 정리하고 있다.

## 2. LTE SON 업체 동향

LTE 펌토셀 기지국을 생산하고 있는 업체들은 SON 관련 제품을 같이 개발하여 별도로 공급하거나, 자사의 펌토셀 제품에 적용하고 있다.

Alcatel Lucent는 SON의 Self-Optimizing Network를 구별하여 xSON 솔루션이라 부르고 있다. 2010년 2월 MWC 2010에서 기업용 펌토셀 솔루션 제품인 Small Cell을 발표하였다. SON 관련 기능으로는 ANR 및 핸드오버 파라미터 최적화 기능, 출력 파워 조절, ICIC 최적화 기능이 포함되어 있다. 펌토셀 기지국인 9365 base station에는 동일 빌딩 내의 펌토셀 설정을 위한 ANR 탐지 및 최적화 기능 등이 포함되어 있다.

NSN는 2010년 싱가포르에서 개최된 Commu-Asia 2010에서 분산형과 중앙 집중형 SON 구조가 복합된 하이브리드 구조의 SON 제품인 SON suite을 발표하였다. 이 제품은 NSN의 NetAct 솔루션에 기반한 OSS에서 처리하는 중앙 집중구조의 무선 수준에서는 모든 eNB들이 SON 알고리즘을 수행하는 분산 구조가 복합되어 있는 형태이다. 보안적인 기지국 추가, ANR 및 초기 단계의 자가 복구 기능이 포함되어 있다.

Motorola는 2009년 7월 영국의 테스트 환경에서 1세대 SON 솔루션을 발표하였으며, 2010년 3월에 개최된 CTIA Wireless 2000에서 Rel. 8 표준을 준

수하는 LTE SON 솔루션으로 Advanced SON을 발표하였다. ANR, Inter-Radio Access 기술 지원, 자동화된 call 추적, 자동화된 셀 중단 탐지 등의 기능을 가지고 있으며, SON 관련 네트워크 트래픽을 줄이는 분산형 SON 구조를 취하고 있다.

HUAWEI는 대규모 상업용 전개에 사용 가능한 LTE eNB를 2009년 7월 발표하였으며, 이 제품에 SON 기술을 사용하였다고 발표하였다. 2009년 10월에는 오스트리아 인스브룩에서 T-Mobile의 기존 eNB상에서 HUAWEI의 SON 솔루션 중 ANR 기능의 기술 테스트를 성공적으로 수행하였다고 밝혔으며, MRO 기능과 같은 추가적인 기능에 대한 T-Mobile과의 테스트 계획을 밝혔다.

ZTE는 WCDMA 네트워크 설계 및 최적화 솔루션으로 사용되던 ZXPOS 제품 군에 기반하여 LTE SON 기술을 개발하고 있다.

NEC는 2010년 2월 MWC 2010에서 세계 최초의 3차원 SON 시뮬레이터 개발을 발표하였다. NEC 3차원 SON 시뮬레이터에는 도심 지역에서의 3차원 무선 전파 환경 및 이동 사용자에게 대한 SON 성능 검증기능이 포함되어 있다. NEC는 Actix에서 공급하는 중앙 집중형 구조의 LTE SON을 채택하고 있다.

팜토셀 업체인 Ubiquisys는 MWC 2010에서 Femto-Engine Software라는 이름의 SON 솔루션으로 Self-Installation 및 Self-Configuration 기능을 시연하였다. Femto-Engine은 분산형 SON 구조를 취하고 있다. 이 제품은 현재 SFR 및 SoftBank에서 실제로 사용되고 있기도 하다.

기타국 공급업체 외에도 Actix, Optimi, AirHop, Eden Rock 등이 SON 솔루션을 공급하고 있다[14].

Actix는 NEC에 중앙 집중형 구조의 SON 솔루션을 공급하고 있으며, Optimi는 중앙 집중형 구조의 Multi-Technology SON 솔루션을 보유하고 있으

며, MWC 2010에서 Self-Healing Component인 xNetHealing을 발표하였다.

AirHop사는 3G/4G 프로토콜에 독립적인 플랫폼 구조의 eSON 기술을 개발하고 있으며, 분산형 구조에 중점을 둔 하이브리드형 구조를 취하고 있다.

Eden Rock사 역시 30여 개 이상의 SON 특허를 보유한 기술적 기반 위에 하이브리드형 구조의 SON 제품인 Eden-Net Solutions을 보유하고 있다.

SON 구조 측면에서 업체별로 정리해 보면, Motorola는 분산형 구조를, Actix와 Optimi는 중앙 집중형 구조를, AirHop, Alcatel Lucent, Eden Rock, NSN은 하이브리드형 구조를 취하고 있다.

업체별 SON 기술 동향 분석을 종합해 보면, Alcatel Lucent의 ICIC 기능과 Optimi의 Self-Healing Component를 제외하면, 대부분 Self-Configuration에서의 ANR과 같은 설치단계의 기술 구현 발표가 주를 이루고 있는 상황이다.

## IV. 결론

본 고에서는 이동 통신 시스템에서 펌토셀 및 차세대 4G 통신망 도입이 가시화됨에 따라 관심이 높아지고 있는 SON 기술에 대하여 주요 기술 내용을 정리하고 LTE에서의 SON 표준화 동향 및 업체 기술 동향을 분석하였다. SON 기술은 LTE 뿐만 아니라 여타 통신 분야에서도 높은 관심을 보이고 있지만, 표준화 측면에서 많은 부분이 규격화되지 않은 채 남아 있고, 기술 성숙도 측면에서도 Self-Configuration 기술의 초기 구현 정도에 그치고 있다. SON 기술에 기반한 펌토셀의 상용 시장 배치시, 정량적 측면에서만 보더라도 상당한 수의 펌토셀 전개가 예상된다. 연구 표준화 활동이 초기 단계인 SON 기술 개발 분야는 IPR 선점 측면에서 유리한 좋은 기회이다. 추후 연

구에서는 기존 SON 관련 IPR을 분석하고 표준 IPR 확보 가능한 기술 분야에 대한 정리가 필요하다.

● 용 어 해 설 ●

Use case: 시스템 요구사항 분석의 결과로 도출된 업무 목표에 대하여 누가 무엇을 해야 할지에 대하여 기술한 내용

Self-Configuration: 신규 기지국 설치시, 기지국 기본 구성 정보를 자동으로 설정하여 기지국을 쉽게 설치할 수 있는 SON 요소 기술

Self-Optimization: 운용중인 기지국에서 네트워크 환경 변화에 적응하여 성능 향상 및 고품질의 서비스 제공을 위해 관련 파라미터를 자동으로 최적화 설정하여 최적의 서비스를 제공할 수 있는 SON 요소 기술

Femtocell 기지국: 가정이나 사무실 등 실내에서 사용되는 초소형 이동통신용 기지국으로 이동전화와 인터넷을 연결하여 저렴한 비용으로 유무선 융합 서비스를 제공하는 기술로 UTRA의 HNB, LTE의 HeNB가 펌토셀 기지국에 해당한다.

Stage: 3GPP 표준화에서 목표로 하는 기능 및 성능(feature)을 정한 후, 이의 실현을 위하여 사용하는 단계별 작업절차로, 서비스 정의 및 기능 요구조건을 정의하는 stage 1, 서비스 제공에 필요한 기능적 요소 정의 및 기능적 요소간 정보흐름을 정의하는 stage 2, 기능적 요소에 대응하는 물리적 장치의 필요한 기능 명세 및 물리적 장치간 상세 프로토콜을 정의하는 stage 3로 구분된다.

MME	Mobility Management Entity
MRO	Mobility Robustness Optimization
MWC	Mobile World Congress
NSN	Nokia Siemens Networks
OAM	Operations, Administrations, and Maintenance
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OI	Overload Indicator
OPEX	Operating Expenditure
OSS	Operations Support Systems
PCI	Physical Cell Identifier
PLMN	Public Land Mobile Network
POT	PCI Optimizing Tool
PPT	PCI Planning Tool
PRB	Physical Resource Block
RACH	Random Access Channel
RAN	Radio Access Network
RLF	Radio Link Failure
RO	RACH Optimization
RRC	Radio Resource Control
RRM	Radio Resource Management
SC-FDMA	Single-Carrier Frequency Division Multiple Access
SIR	Signal-to-Interference Ratio
SON	Self-Organizing Network
TA	Tracking Area
TAC	Tracking Area Code
TMA	Tower Mounted Amplifier
TR	Technical Report
TS	Technical Specification
TSG	Technical Specification Group
UE	User Equipment
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless LAN
xSON	eXtended SON
ZXPOS	ZTE Network Planning & Optimization System

약어 정리

ANR	Automatic Neighbor Relation
BSC	Base Station Controller
CCO	Coverage and Capacity Optimization
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Domain Name System
ECGI	E-UTRAN Cell Global Identifier
EPC	Evolved Packet Core
ES	Energy Saving
eSON	evolved SON
HII	High Interference Indicator
ICIC	Inter-Cell Interference Coordination
IPR	Intellectual Property Rights
KPI	Key Performance Indicator
LTE	Long Term Evolution
MDT	Minimization of Drive Test
MLB	Mobile Load Balancing

참고 문헌

[1] Yankee Group, "World Mobile CAPEX and OPEX," www.yankeegroup.com, Feb. 2006.  
 [2] Strategy Analytics, "Wireless Operator Per-

- formance Benchmarking Q2 2007,” [www.strategyanalytics.net](http://www.strategyanalytics.net), Sep. 2007.
- [3] 3GPP, TS 36.211 E-UTRA; Physical channels and modulation.
- [4] G’abor Fodor et al., “Intercell Interference Coordination in OFDMA Networks and in the 3GPP Long Term Evolution System,” *Journal of Communications*, Vol.4, No.7, Aug. 2009, pp.445-453.
- [5] 3GPP, TR 36.902 E-UTRAN; Self-Configuring and Self-Optimizing Network Use Cases and Solutions.
- [6] 3GPP, TR 32.826 Telecommunication Management; Study on Energy Savings Management(ESM).
- [7] 3GPP, RP-080747 Revised LTE WIDs, 3GPP TSG-RAN Meeting #41, Sep. 2008.
- [8] 3GPP, TS 32.690 Inventory Management(IM); Requirements.
- [9] 3GPP, TR 32.531 Telecommunication Management; Software Management(SWM); Concepts and IRP Requirements.
- [10] 3GPP, TS 32.511 Automatic Neighbor Relation(ANR) Management; Concepts and Requirements.
- [11] 3GPP, TS 36.300 Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network(E-UTRAN); Overall Description; Stage 2.
- [12] 3GPP, “RP-090162 Work Item Description: SON Features,” 3GPP TSG-RAN Meeting #43, Mar. 2009.
- [13] 3GPP, “RP-100606 LTE Self Optimizing Networks(SON) Enhancements - Core Part/Feature Part,” 3GPP TSG-RAN Meeting #48, June 2010.
- [14] Jelen Grivolos, “SON, a Critical Enabler for Future Wireless Networks,” [www.ovum.com](http://www.ovum.com). Apr. 2010.