

LTE/LTE-A 배타적 접속 펌토셀에 대한 검출 성능 평가

주양익[†]

(원고접수일 : 2014년 2월 13일, 원고수정일 : 2014년 3월 25일, 심사완료일 : 2014년 3월 25일)

Performance evaluation of LTE/LTE-A closed subscriber group femto-cell discovery

Yang-Ick Joo[†]

요약: LTE (Long Term Evolution) 및 LTE-A (Long Term Evolution-Advanced) 망에서는 사용자에 대한 시스템 용량 향상을 위해 펌토셀(femto-cell)을 이용한 계층적(hierarchical) 셀 구조를 고려하며, LTE/LTE-A에서 고려되는 펌토셀은 일반적으로 특정 개인 및 집단에 제한된 접속을 허용하는 배타적 접속(Closed Subscriber Group; CSG) 펌토셀로 구현된다. 하지만 이러한 배타적 접속 펌토셀이 보편화되기 위해서는 배타적 접속 펌토셀로의 진입(inbound) 핸드오버(handover) 지연시간 문제를 해결해야 한다. 특정 단말(User Equipment; UE)에게만 접속이 허용된 배타적 접속 펌토셀은 제한된 지역에만 분포하여 셀 검출 시도의 빈도가 낮을 수 밖에 없으므로 일반적인 매크로셀(macro-cell)에 비해 셀 검출에 보다 많은 시간이 소요되며, 이로 인한 진입 핸드오버 지연이 발생한다. 이러한 배타적 접속 펌토셀에 대한 검출을 고려하지 않은 LTE/LTE-A 단말을 이용하여 접속이 허용된 배타적 접속 펌토셀 검출을 시도할 경우 현재 표준에서 제시하는 셀 검출에 대한 성능 기준을 충족시키지 못할 수 있으며, 따라서 본 논문에서는 현재 LTE/LTE-A 표준에 따른 기본적인 셀 검출 방식을 이용하여 LTE 배타적 접속 펌토셀에 대한 검출 성능 평가를 수행하고 문제점을 분석하여, LTE 배타적 접속 펌토셀에 대한 진입 핸드오버 지연 문제를 해결할 수 있는 근거를 제시하고자 한다.

주제어: 셀 검출, 배타적 접속 펌토셀, 진입 핸드오버, 홈 기지국

Abstract: In LTE (Long Term Evolution)/LTE-A (Long Term Evolution-Advanced) networks, hierarchical macro/femto-cell structure is adopted to enhance system capacity. Such a femto-cell is deployed as a Closed Subscriber Group (CSG) eNB. However, the inbound handover to CSG cell experiences longer delay than normal handover because it spends more time detecting the associated CSG cells due to its sparse deployment. Most of all the legacy UEs (User Equipments) have been implemented without considering the inbound CSG handover. Accordingly, they may not meet the performance requirements on the cell discovery described in the LTE/LTE-A standards. Therefore, in this paper, the performance of the CSG femto-cell detection is evaluated using computer simulation. The evaluation results will provide a basis to tackle the latency problem of inbound CSG handover.

Keywords: Cell detection, CSG, Inbound handover, Home eNB (HeNB)

[†]Corresponding Author: Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime and Ocean University, Dongsam-dong, Yeongdo-gu, Busan, 606-791, Korea, E-mail: yijoo@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4419

1. 서론

LTE/LTE-A 시스템에서는 용량 증대를 위해 계층적 셀 배치를 적용하며, 계층적 셀 배치는 매크로셀을 구성하는 eNB (evolved Node B)와 펠토셀을 구성하는 HeNB (Home eNB)로 구성된다. 이 때 HeNB가 접속이 승인된 특정 단말들에 대해서만 접속을 허용하는 경우 배타적 접속 펠토셀로 정의한다.

일반적인 LTE 매크로셀 핸드오버의 경우, 현재 서빙셀(serving cell)에서 핸드오버 타겟셀(target cell)에 대한 정보를 전달해주므로 핸드오버를 위한 추가 정보는 불필요하다. 하지만 배타적 접속 펠토셀로의 진입 핸드오버의 경우에는 단말 스스로 해당 타겟 펠토셀에 대한 접속 가능 여부를 사전에 판단해야하므로 타겟 배타적 접속 펠토셀의 MIB (Master Information Block)와 SIB1 (System Information Block Type1)을 사전에 획득하여 CGI (Cell Global Identifier)를 확인해야하며, 그 이유는 다음과 같다. 증가된 eNB의 수로 인해 중복되는 PCI (Physical Cell Identifier)를 갖는 eNB가 특정 지역에 둘 이상 존재하고 그 eNB들 중 하나로 핸드오버를 시도하는 경우, 핸드오버를 위한 측정 보고(measurement report) 메시지에 포함된 PCI로는 측정 보고 메시지를 수신한 현재 서빙셀이 단말이 핸드오버를 시도하고자하는 타겟셀을 명확히 구분할 수 없는 상황이 발생하게 된다. 이를 LTE/LTE-A 표준에서는 PCI 혼동(PCI confusion) 문제로 정의하며, 이로 인해 배타적 접속 펠토셀로의 진입 핸드오버는 일반적인 매크로셀 핸드오버에 비해 타겟셀의 CGI 획득을 위한 추가 지연이 발생한다.

이러한 배타적 접속 펠토셀에 대한 진입 핸드오버 시 CGI 획득을 위한 SI (System Information) 메시지 수신에 대한 문제점과 이에 대한 극복 방안이 [1], [2]에 제시되었다. 참고문헌 [1]에서는 배타적 접속 펠토셀로의 진입 핸드오버를 위한 SI 획득 방안이 제안되었으며, 제안된 방식들은 측정 구간 패턴(measurement gap pattern)과 eNB에 의한 측정 스케줄링(measurement scheduling) 여부를 기준으로 분류되었다. 즉, 타겟셀의 SI 획득 방식을, 측정 구간 패턴의 길이에 따라 짧고 긴 측정 구간 패턴으

로 분류하고, 측정 구간 설정 방식에 따라 자동 측정 구간 설정과 강제 측정 구간 설정 방식으로 구분하였다. 이러한 기준들을 조합하여 6가지 방식의 SI 획득 방안을 제안하였으며, 이들 조합 중 AAPSG (Autonomous Acquisition with the Parallel Small Gaps) 방식이 SI 획득 시간 측면에서 최고의 성능을 보임을 증명하였다. 참고문헌 [2]에서는 타겟 HeNB로의 진입 핸드오버 시 SI 획득에 의해 야기된 서비스 중단 시간에 대한 성능 분석 결과가 제시되었다. 성능 평가 결과, 타겟 HeNB의 타이밍 정보에 대한 활용이 진입 핸드오버 시 발생하는 서비스 중단 시간을 감소시키는 데에 중요한 영향을 미침을 보여주었다. 따라서 [1], [2]의 결과를 토대로 배타적 접속 펠토셀에 대한 진입 핸드오버 성능을 개선시킬 수 있을 것으로 예상된다.

[1], [2]에서는 배타적 접속 펠토셀 검출 이후 상황에서 진입 핸드오버 성능 향상을 위한 방안들이 제시되었다. 하지만 배타적 접속 펠토셀로의 진입 핸드오버 지연 문제는 SI 수신을 통한 CGI 확인 작업 이전에도 존재한다. CGI 확인 작업을 위해서는 해당 타겟 펠토셀을 검출해야하며, 이는 물리계층에서의 채널 측정 동작과 병행되어야 하므로, 배타적 접속 펠토셀 검출 성능이 진입 핸드오버 성능에 영향을 줄 수 있다. 특히 LTE 연결이 유지되어 단말과 eNB 간 통신이 이루어지는 RRC_CONNECTED 상태에서는 기존 확인된(identified) 셀들에 대한 채널 측정 작업과 함께 새로운 셀을 검출하고 측정하는 작업이 인접 셀 리스트(neighbor cell list)없이 수행되어야 하며, 관련 테스트 표준[3]에서는 이에 대한 요구사항을 명확히 제시하고 있다. LTE 단말의 물리계층에서는 서빙셀과 인접 셀 리스트에 포함된 리스트셀(listed cell), 그리고 인접 셀 리스트에 포함되지 않았지만 단말이 직접 검출한 검출셀(detected cell)에 대한 측정 작업을 모두 참고문헌 [3]에 제시된 요구사항을 준수하여 수행해야하므로 이에 대한 단말 물리계층의 소프트웨어 설계는 매우 어려운 작업이다. 하지만 현재 관련 표준[4]에서는 배타적 접속 펠토셀은 기본 검색 기능을 통해 검출하는 것으로만 정의되었으므로, 배타적 접속 펠토셀 검출을 위한 단말 물리계층 구현에 대한 근거 및 기준이 필

요하다. 해당 셀 검출을 위한 소모적인 검색은 단말 에너지 소모량을 증가시키게 되며, 특히 배타적 접속 펌토셀은 일반적으로 특정 지역에만 드물게 분포하기 때문에 셀 검출 속도와 셀 검출을 위한 에너지 소모량 사이의 트레이드오프(tradeoff)를 고려해야 한다. 따라서 배타적 접속 펌토셀에 대한 접속이 허용된 단말의 에너지 효율성을 고려할 경우 해당 셀 검출 성능이 배타적 접속 펌토셀에 대한 진입 핸드오버 성능을 저하시킬 수 있다. 그리고 현재 상용화된 대부분의 LTE/LTE-A 단말은 관련 표준화 작업의 지연으로 인해 배타적 접속 펌토셀에 대한 검출 성능을 고려하지 않고 설계되었으므로, 배타적 접속 펌토셀에 대한 셀 검출 성능 시험 시 테스트 표준[3]에 제시된 기준을 충족시키지 못할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 현재 LTE/LTE-A 표준[4]에 따른 기본적인 셀 검출 방식을 이용하여 LTE 배타적 접속 펌토셀에 대한 검출 성능 평가를 수행하고, 이에 대한 문제점을 분석하여, LTE 배타적 접속 펌토셀에 대한 진입 핸드오버 지연 문제를 해결할 수 있는 근거를 제시하고자 한다.

2. LTE/LTE-A 채널 측정 요구사항

현재 LTE/LTE-A 표준에 따르면, LTE/LTE-A 단말은 서빙셀, 리스트셀, 검출셀에 대한 채널 측정을 수행해야 하며, 측정 동작은 테스트 표준[3]에 제시된 요구사항을 충족시켜야 한다. 게다가 단말이 RRC_CONNECTED 상태인 경우, RRC (Radio Resource Control) 연결(connection)을 유지한 상태에서 셀 검색과 채널 측정을 수행해야 하고, 단말의 저전력 동작을 위한 DRX (Discontinuous reception) 기능을 지원해야 한다. 그리고 접속이 허용된 배타적 접속 펌토셀로의 진입 핸드오버 수행 시에는 해당 셀에 대한 검출 이후 CGI 획득을 위한 동작이 추가로 필요하다. 따라서 이러한 모든 표준 요구사항을 고려하여 구현하는 것은 매우 어려운 작업이다.

배타적 접속 펌토셀에 접속이 허용된 LTE/LTE-A 단말의 물리계층 소프트웨어를 구현할 때 표준에 제시된 요구사항 충족만을 위한 보수적

인 정책에 따라 구현한다면, 접속이 허용된 배타적 접속 펌토셀에 대한 사용도(utilization)가 감소되어 매크로셀의 사용자 수용 용량이 부족한 경우 시스템 전체의 QoS (Quality of Service) 저하를 초래할 수 있다. 배타적 접속 펌토셀 사용도 저하는 통신사업자 과금 정책에 따라 통신 요금 증가를 야기할 수 있으며, 배타적 접속 펌토셀로의 적절한 트래픽 오프로딩(traffic offloading)이 이루어지지 않아 통신 서비스 전반의 품질 저하로 이어질 수 있다. 반면 접속이 허용된 배타적 접속 펌토셀에 대한 검색과 채널 측정을 자주 수행하면 배타적 접속 펌토셀의 사용도는 증가하겠지만, 단말의 전력 소모 또한 증가하게 된다. 따라서 셀 검색 및 채널 측정을 위한 동작의 구현은 효율적이고 정밀한 알고리즘 설계를 필요로 한다.

테스트 규격[3]에 따르면, 새로운 셀에 대한 검출과 해당 셀에 대한 한 차례의 채널 측정이 $T_{identify}$ 내에 이루어져야 하며, 이는 배타적 접속 펌토셀로의 진입 핸드오버에 대해서도 동일하게 적용된다. 다시 말해서, LTE/LTE-A 단말이 연계된 배타적 접속 펌토셀 영역으로 진입할 때 해당 펌토셀이 해당 단말 주위에서 유일하게 검출되지 않은 셀인 경우, 그 펌토셀은 $T_{identify}$ 시간 내에 검출되고 채널 측정 결과가 현재 서빙셀로 보고되어야 한다. 그리고 현재 LTE/LTE-A 표준[4]에서는 일반적인 배타적 접속 펌토셀이 인접 셀 리스트에 포함되지 않는 것을 가정하므로, 언급한 펌토셀 채널 측정은 인접 셀 정보 없이 이루어지는 상황을 가정해야 한다.

이러한 LTE/LTE-A 표준에 기술된 내용을 기반으로, 새로운 하나의 배타적 접속 펌토셀을 검출하기까지 채널 측정에 소요되는 시간을 표현하면 식 (1)과 같다.

$$T_{turn} = T_{serving} + T_{detect} + T_{search} \times N_{listed,unid} + T_{measure} \times N_{listed,id} + T_{measure} \times N_{detected} \quad (1)$$

여기서 $T_{serving}$ 은 현재 서빙셀에 대한 채널 측정에 소요되는 시간이고, T_{detect} 는 새로운 배타적 접속 펌토셀을 검출하는 데에 필요한 시간이다. T_{search} 는

인접 셀 리스트에 명시된 셀을 검색하는 데에 소요되는 시간을 나타내며, $T_{measure}$ 는 이미 검출된 셀들에 대한 주기적 혹은 비주기적 채널 측정을 수행할 때 필요한 시간을 의미한다. $N_{listed,unid}$ 와 $N_{listed,id}$ 는 인접 셀 리스트 내에 포함된 셀들 중 아직 검출되지 않은 셀들과 이미 검출된 셀들의 수를 나타낸다.

이러한 채널 측정 동작에 대한 LTE/LTE-A 규격 요구사항은 식 (2)와 같이 제시되어있다[3].

$$T_{identify} = T_{basic\ identify\ E-UTRA} \times \frac{T_{Measurement\ Period}}{T} \quad (2)$$

여기서 $T_{basic\ identify\ E-UTRA}$ 는 규격에서 800 ms로 정의하고 있으며, $T_{Measurement\ Period}$ 는 측정 구간의 길이를 나타내며 RRC_CONNECTED 상태에서 200 ms로 정의되어 있다. 식 (2)의 분모에 해당하는 T는 측정 구간(measurement period)동안 채널 측정을 위해 할당된 최소 시간을 나타낸다. 따라서 T는 모든 측정 구간동안 지속적인 채널 측정을 수행한다면 200 ms로 가정할 수 있다.

식 (1)과 식 (2)에 대해 LTE/LTE-A 요구사항을 고려하면, 식 (1)로부터 산출된 배타적 접속 펌토셀 검출을 위한 시간(T_{lum})이 식 (2)에 제시된 $T_{identify}$ 보다 작거나 같아야 한다. 그러므로 배타적 접속 펌토셀에 대한 접속을 고려한 LTE/LTE-A 단말은 이러한 요구사항을 충족시킬 수 있도록 설계되어야한다. 하지만 현재 상용화된 대부분의 LTE/LTE-A 단말은 배타적 접속 펌토셀에 대한 표준 확정이 지연됨에 따라 이에 대한 고려가 설계에 반영되지 않았으므로, 표준에서 제시한 요구사항을 충족시키기 어려울 것으로 예상된다. 따라서 다음 절에서는 리스트셀 및 검출셀의 수에 대한 환경 요인을 가변하면서 배타적 접속 펌토셀 검출 성능을 평가하고자 한다.

3. 성능 평가

본 절에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 LTE/LTE-A 단말의 배타적 접속 펌토셀 검출 성능

을 평가하며, 분석을 용이하게 하기위해 본 성능 평가에서는 DRX 동작을 고려하지 않는다. 컴퓨터 시뮬레이션에 사용된 변수 값은 실측치 평균과 표준에서 제시된 값을 참조하여 Table 1과 같이 설정하였다.

Table 1: The Parameters for computer simulation

Parameters	Values
$T_{serving}$	2.5 ms
T_{search}	80 ms [3]
$T_{measure}$	2.5 ms
T_{detect}	2.5 ms
$T_{identify}$	800 ms

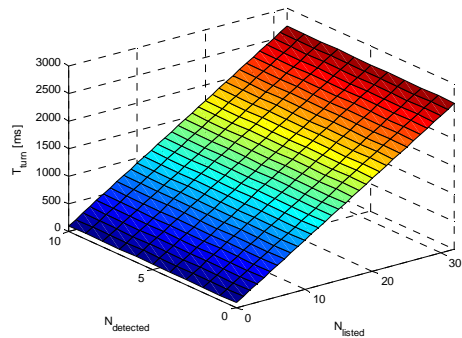


Figure 1: The elapsed time for the associated CSG cell detection

$N_{detected}$ 와 N_{listed} , 즉 검출셀의 수와 리스트셀의 수를 가변하며, 배타적 접속 펌토셀을 검출하는 데에 소요되는 시간을 측정할 결과를 Figure 1에 도시하였다. 여기서 N_{listed} 는 $N_{listed,id}$ 와 $N_{listed,unid}$ 의 수를 합한 전체 리스트셀의 수를 의미한다. Figure 1에서 보는 바와 같이, 배타적 접속 펌토셀 검출에 소요되는 시간이 표준 규격[3]에서 요구하는 $T_{identify}$ 800 ms를 초과한다. 따라서 배타적 접속 펌토셀 검출에 대한 표준 요구사항을 충족하기 위해서는 한번의 채널 측정 주기에 포함될 수 있는 검출셀의 수와 리스트셀의 수가 제한되어야하며, Figure 1의 결과를 기준으로 제시된 $T_{identify}$ 를 충족시키기 위한 측정 주기 내 검출셀 수와 리스트셀 수를 결정할 수 있다.

Figure 2는 $N_{\text{listed, id}}$ 를 N_{detected} 에 포함시킨 결과이다. 즉, 인접 셀 리스트에 포함된 리스트셀 중 검출된 셀은 검출셀로 고려할 수 있으므로, 채널 측정 대상이 인접 셀 리스트로 LTE/LTE-A 단말에 전달 되었을 때 이들 중 단말 스스로 이미 검출한 셀들을 검출셀로 고려하여 채널 측정을 수행하면, Figure 2와 같이 배타적 접속 펌토셀 검출을 위한 소요시간이 Figure 1에 비해 감소된 결과를 얻을 수 있다. 따라서 Figure 2의 결과를 통해서 T_{identify} 를 충족시키기 위한 한 측정 주기 내 검출셀 수와 리스트셀 수를 보다 효율적으로 결정할 수 있다.

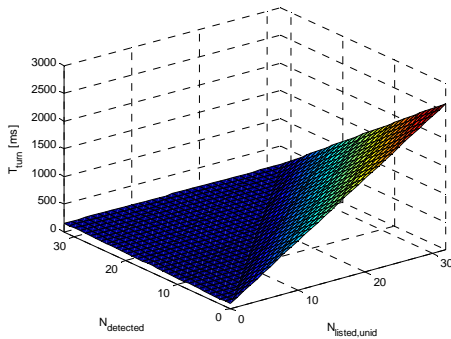


Figure 2: The elapsed time for the associated CSG cell detection when $N_{\text{listed, id}}$ is merged to N_{detected}

4. 결 론

LTE/LTE-A 망에서 배타적 접속 펌토셀의 보편화를 위해서는 배타적 접속 펌토셀로의 진입 핸드오버 지연 문제를 극복해야한다. 하지만, 현재 상용화된 LTE/LTE-A 단말은 표준화 일정의 지연으로 인해 배타적 접속 펌토셀에 대한 고려가 부족한 상황이므로, 배타적 접속 펌토셀의 수요가 증가할 경우 이에 대한 채널 측정 성능이 표준 요구사항을 충족시키지 못할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 LTE/LTE-A 시스템 환경에서 단말의 배타적 접속 펌토셀 검출 성능 평가를 수행하였으며, 이를 통해 배타적 접속 펌토셀 검출에 대한 표준 요구사항을 만족시킬 수 있는 적절한 기준을 제시하였다. 그러므로 본 논문의 성능 평가 결과는 LTE/LTE-A 단말 물리계층 소프트웨어 구현 시, 채널 측정 스케줄러

설계의 근거로 활용될 수 있다.

후 기

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2013R1A1A1008098)

참고문헌

- [1] C. H. Lee and J. H. Kim, "System information acquisition schemes for fast scanning of femtocells in 3GPP LTE networks," IEEE Communications Letters, vol. 17, no. 1, pp. 131-134, 2013.
- [2] H. D. Bae and N. H. Park, "Impact of reading system information in inbound handover to LTE femtocell", Proceeding of 16th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC), pp. 476-480, 2010.
- [3] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for Support of Radio Resource Management, 3GPP TS 36.133 v11.5.0, July 2013.
- [4] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification, 3GPP TS 36.331 v11.4.0, June 2013.