

# LTE 펌토셀 네트워크에서 핸드오버 파라미터의 자가 최적화에 대한 연구

송민호, 심세민, 한승재  
연세대학교 컴퓨터과학과  
e-mail : {mhsong,sem,sjhan}@cs.yonsei.ac.kr

## A study on Self Optimization of Handover Parameters for LTE Femtocell Networks

Min-ho Song, Semin Sim, Seung-Jae Han  
Dept. of Computer Science, Yonsei University

### 요 약

셀룰러 네트워크에서 핸드오버는 사용자에게 끊김 없는 통신을 제공하기 위한 중요한 이슈 중 하나이다. 그러나 커버리지가 작은 펌토셀이 급격하게 설치되면, 끊김 없는 통신의 지원은 더욱 어려워질 것이다. 이를 해결 하기 위해서는 단말이 시기 적절하게 핸드오버 할 수 있도록 지원해야 한다. 만약 핸드오버가 너무 이르거나 혹은 너무 늦게 수행되면, 사용자는 일시적으로 통신 단절인 RLF (Radio Link Failure)을 경험하게 된다. 핸드오버의 시기는 핸드오버 파라미터에 의해 결정될 수 있다. 본 논문에서는 RLF 을 최소화하고, eNB 가 네트워크 운용자의 도움 없이 최적화된 핸드오버 파라미터를 자가 구성할 수 있는 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 방법은 기존의 방법에 비해 효과적으로 RLF 을 줄일 수 있음을 확인 할 수 있다.

### 1. 서론

무선 인터넷 트래픽의 증가로 인해, 무선 네트워크의 용량도 이에 맞게 증가 되어야 한다. 이를 위해 LTE(Long Term Evolution) 펌토셀이 하나의 대안으로 등장하였다. 기존의 3G 펌토셀은 매크로 셀의 부하를 줄이기 위해 이미 다수 설치가 되어 있으나, 다수의 펌토셀이 실내 및 실외에 설치가 될 경우에, 핸드오버 성능은 더욱 더 중요해 진다.

고 성능의 핸드오버를 보장하기 위해서는 3 가지 사항을 고려해야 한다. 첫 번째는, 사용자에게 최상의 서비스를 보장 할 수 있는 최적의 셀 선정 방법 제공이다. 두 번째는 핸드오버 수행 시 끊김 없는 서비스 지원을 위한 핸드오버 지연시간을 줄여야 한다. 마지막으로, 단말의 핸드오버를 시기 적절하게 수행해야 한다. 만약 단말의 핸드오버가 너무 늦거나 너무 이르게 수행 될 경우, 사용자는 일시적인 통신 단절인 RLF 를 경험 할 수 있다. 이는 사용자와 현재 연결된 셀의 채널 품질이 통신하기에 너무 약해서 발생하는 문제이다. 다수의 펌토셀이 밀집하여 설치된 환경에서 핸드오버 수행 시점은 더욱 더 중요한 문제로 부각된다.

LTE 네트워크에서 기지국은 사용자에게 핸드오버 파라미터를 제공하고, 사용자는 이를 이용하여 셀의 채널 품질에 대한 측정 결과를 기지국에 전송하게 된다. 기지국은 측정 결과에 따라 사용자의 핸드오버 여부를 결정하게 된다. 만약 기지국이 핸드오버 파라미터를 적절하게 설정하지 않았을 경우, 이는 RLF 를

유발 시킬 수 있다.

기존에 많은 연구<sup>[5], [6]</sup>들이 셀 선정 방법과 핸드오버 지연시간을 줄이기 위해 집중되었다. 본 논문에서는 사용자가 시기 적절하게 핸드오버를 수행 할 수 있는 방안에 대해 중점을 둔다.

기존의 매크로 셀의 경우, 핸드오버 파라미터는 네트워크 운영자에 의해 설정되었으나, 이 방법은 다수의 펌토셀이 설치된 환경에서는 적합하지 않다. 최근에 SON(Self Organizing Network)<sup>[1]</sup>가 활발하게 연구가 되고 있다. SON 을 이용하여 기지국은 최적의 네트워크 환경을 네트워크 운영자의 도움 없이 스스로 구성할 수 있으며, 이를 통해 네트워크 운용비를 절감할 수 있다. 본 논문에서는 SON 기술을 이용한 핸드오버 파라미터를 최적화하는 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2 장에서는 LTE 네트워크의 핸드오버 파라미터와 RLF 를 유발하는 핸드오버 실패 유형에 대해 다루며, 3 장에서는 본 논문에서 제안하는 RLF 탐지 기법과 핸드오버 파라미터 최적화 알고리즘을 설명한다. 4 장에서는 본 논문에서 사용한 시뮬레이션 환경과 시뮬레이션 결과에 대해서 설명하고, 마지막으로 5 장에서 결론을 맺는다.

### 2. LTE 네트워크의 핸드오버 파라미터

LTE 네트워크에서 eNB (evolved Node B)는 UE(User Equipment)와의 통신 링크가 생성되었을 때, 핸드오버 파라미터와 주변 eNB 에 대한 정보 포함한 Measurement Configuration 메시지를 전송한다. UE 는

Measurement Configuration 메시지에 따라 현재 연결된 Serving cell 과 주변 셀들의 채널 품질을 측정하고, 측정 결과가 Measurement Reporting 조건인 Event 에 충족하면, UE 는 이를 eNB 에게 전송한다. eNB 는 UE 로부터 전송 받은 측정 결과를 바탕으로 UE 의 핸드오버 여부를 결정한다.

LTE 네트워크의 주요 핸드오버 파라미터는 *Hysteresis*, *TTT* (Time-To-Trigger), *CIO* (Cell Individual Offset), *Offset*, 그리고 *Threshold* 로 정의 되어 있다. *Hysteresis* 는 채널 품질 측정 결과의 Event 진입에 대한 기준 값이다. 이는 핑퐁 효과를 줄이는데 사용된다. *TTT* 는 채널 품질의 측정에 대한 관측 시간이다. 만약 셀의 채널 품질이 Event 에 속한 *TTT* 를 충족할 경우, UE 는 측정 결과를 eNB 에게 전송한다. *CIO* 는 특정 셀로 핸드오버를 유도하거나 지연시키는 파라미터이다. *Offset* 은 *Hysteresis* 와 유사한 기능을 갖는다. 마지막으로, *Threshold* 는 특정 Event 에 사용되는 파라미터로 Measurement Reporting 에 대한 기준 값이다.

LTE 네트워크에서 셀의 채널 품질 측정 결과는 아래의 Event 조건을 충족 시에 전송된다.

- Event A1 :  $M_s - Hys_{A1} > threshold_{A1}$
- Event A2:  $M_s + Hys_{A2} < threshold_{A2}$
- Event A3:  $M_n + Oc_n - Hys_{A3} > M_s + Oc_s + off_{A3}$
- Event A4:  $M_n + Oc_n - Hys_{A4} > threshold_{A4}$
- Event A5:  $M_s + Hys_{A5} < threshold1_{A5}$   
and  $M_n + Oc_n - Hys_{A5} > threshold2_{A5}$

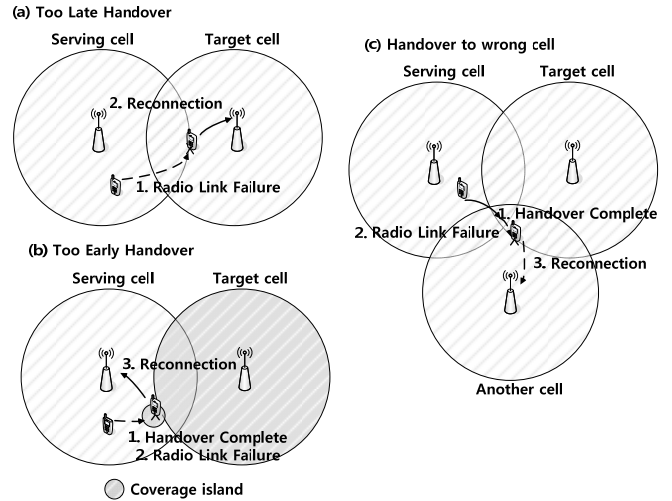
$M_s$  와  $M_n$  은 Serving cell 과 주변 셀에 대한 측정된 채널 품질을 나타낸다.  $Oc_s$  와  $Oc_n$  는 Serving cell 과 주변 셀에 대한 *CIO* 이다. *Hys*, *Off*, *Threshold* 는 특정 Event 별로 정의된 파라미터이다. 이에 대한 역할은 앞선 설명과 동일하다.

eNB 에서 핸드오버 파라미터를 잘못 설정하였을 경우, UE 는 RLF 을 경험할 수 있으며 이는 핸드오버 실패를 야기시킨다. 핸드오버 실패 유형은 *Too Late Handover*, *Too Early Handover*, *Handover to wrong cell* 로 분류 할 수 있다. 이는 그림 1 과 같다.

*Too Late Handover* 의 경우, Serving Cell 의 신호가 약함에도 불구하고, UE 가 다른 셀로 핸드오버를 하지 않았을 경우에 Serving cell 에서 RLF 를 발생시킨다.

*Too Early Handover* 의 발생 상황은 UE 가 Serving cell 의 커버리지 내에 일시적으로 생긴 주변 셀의 커버리지로 핸드오버 수행 직후에 RLF 를 겪고 다시 원래의 Serving cell 로 연결하는 경우이다.

*Handover to wrong cell* 의 발생 상황은 다음과 같다. 주변 셀 A 의 채널 품질이 좋으나, 잘못된 파라미터 설정으로 인하여 채널 품질이 안 좋은 주변 셀 B 로 단말이 핸드오버를 수행한다. 그러나 셀 B 의 채널 품질이 실제로 좋지 않기 때문에, 핸드오버 수행 직후에 UE 는 RLF 를 겪고 셀 B 에서 셀 A 로 핸드오버



(그림 1) 핸드오버 실패유형

하는 경우이다.

### 3. 제안하는 핸드오버 파라미터 최적화 기법

RLF 를 줄이기 위한 연구가 진행되었으나, 기존의 연구들은 핸드오버 실패유형을 어떻게 구분하는지에 대해 제시하지 않았으며, 다양한 핸드오버 실패 유형이 발생하는 환경을 고려하지 않았다. 본 논문에서는 핸드오버 실패 유형 탐지 기법을 제안하고, 셀 별로 부여되는 핸드오버 파라미터 조정을 통해 다양한 핸드오버 실패 유형을 고려한 방법을 제안한다.

본 논문에서 제안하는 방법인 *MRO* (Mobility Robustness Optimization)은 핸드오버 실패유형을 탐지하는 *RLF Detection Mechanism* 과 핸드오버 파라미터를 조정하는 *Handover Parameter Optimization* 알고리즘으로 구성되어 있다.

제안한 방법에서, 각 eNB 들은 UE 의 이동 정보를 기록한 *UE Mobility History Information* 과 *Handover Parameter Optimization* 알고리즘을 수행하기 위한 기준인 *HPI* (Handover Performance Indicator)를 유지한다. *UE Mobility History Information* 에는 UE 와 eNB 간의 연결 지속 시간 (*Time\_UE\_StayedCell*)과 UE 가 RLF 발생 이전에 머물렀던 eNB 의 ID (*UE\_LastVisitedCell*)가 기록된다. *UE Mobility History Information* 은 *RLF Detection Mechanism* 에 사용된다. eNB 는 주기적으로 *HPI* 를 모니터링하고 갱신한다. *HPI* 는 eNB 에서 발생한 핸드오버 시도 횟수와 핸드오버 실패 횟수를 나타낸 비율이며 이는 핸드오버 실패 유형별로 계산된다. *HPI* 는 아래와 같이 계산된다.

$$HPI_{\{LATE,EARLY,WRONG\}} = \frac{\text{Number of handover failure}_{\{LATE,EARLY,WRONG\}}}{\text{Total number of Handover attempts}}$$

*HPI* 가 특정 기준치를 넘게 되면, *Handover Parameter Optimization* 알고리즘이 동작한다.

#### 3.1 제안하는 RLF Detection Mechanism

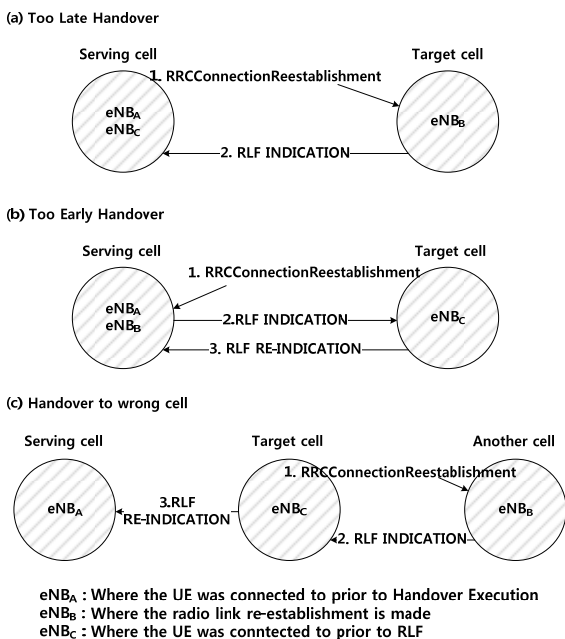
*RLF Detection Mechanism* 은 *UE Mobility History*

Information, RRCConnection Reestablishment 메시지<sup>[2], [3]</sup>, RLF Indication 메시지, Tstore\_ue\_cntxt, 그리고 RLF RE-Indication 메시지를 이용한다.

RRCConnection Reestablishment 메시지는 UE 가 RLF 를 겪은 후 eNB 와 새롭게 통신 링크를 설정하기 위해 사용된다. 이 메시지에는 RLF 발생 전, UE 가 연결했던 eNB 의 정보를 포함한다. RLF Indication 메시지는 RRCConnection Reestablishment 를 통해 새롭게 UE 와의 통신 링크가 생성된 eNB 가 RLF 발생 전, UE 와 연결했던 eNB 에게 RLF 발생을 알리기 위해 사용되는 메시지이다. Tstore\_ue\_cntxt 은 RLF 발생 시점을 판단하기 위한 시간에 대한 기준 값이다. 만약 Serving cell (즉, UE 가 핸드오버 이전에 머물러 있던 셀)이 Tstore\_ue\_cntxt 에 지정된 시간 이내에 RLF-Indication 메시지를 수신할 경우, UE 는 RLF 로 인해 핸드오버 직후 다시 Serving cell 과 통신 링크를 재 설정했다고 간주한다. Too Late Handover 의 경우, Serving cell 이 UE 로부터 Measurement Report 메시지를 받기 전에 RLF 가 발생 할 수 있기 때문에, Serving cell 은 Too Late Handover 를 인지하지 못한다. 그러므로, UE Mobility History Information 의 Time\_UE\_StayedCell 와 Tstore\_ue\_cntxt 를 비교함으로써, RLF 발생 시점을 구분 할 수 있다. 마지막으로, RLF RE-Indication 메시지는 Too Early Handover 와 Handover to wrong cell 을 구분하는데 사용한다.

그림 2 는 제안한 RLF Detection Mechanism 의 메시지 다이어그램을 나타낸다. 그림 2 에서 eNB 의 역할은 핸드오버 실패 유형에 따라 동일 할 수 있다.

UE 가 RLF 를 겪으면, eNB 와의 통신 링크를 재설정하기 위해 RRCConnection Reestablishment 메시지를 전송한다 (eNB<sub>B</sub>). eNB<sub>B</sub> 는 RLF 이전에 UE 가 통신을 했던 eNB<sub>C</sub> 에게 RLF Indication 메시지를 전송한다.



(그림 2) RLF Detection Mechanism 의 메시지 다이어그램

eNB<sub>C</sub> 는 Tstore\_ue\_cntxt 와 UE 와의 연결 지속시간인 Time\_UE\_StayedCell 를 비교한다.

만약 Time\_UE\_StayedCell 에 기록된 시간이 Tstore\_ue\_cntxt 보다 클 경우, RLF 는 Too Late Handover 로 인해 발생되었다고 간주한다. Too Late Handover 는 UE 가 해당 eNB 에 오래 머물러 있어서 발생하기 때문이다.

이와 반대로, 만약 Time\_UE\_StayedCell 에 기록된 시간이 Tstore\_ue\_cntxt 보다 작을 경우, RLF 는 핸드오버 직후 발생했음을 나타낸다. Too Early Handover 와 Handover to wrong cell 의 경우, 핸드오버 직후에 RLF 가 발생하기 때문에 Time\_UE\_StayedCell 와 Tstore\_ue\_cntxt 의 비교를 통해 Too Late Handover 와 Too Early Handover 와 Handover to wrong cell 를 구분 할 수 있다. 추가적으로 Too Early Handover 와 Handover to wrong cell 를 판별하기 위해 eNB<sub>C</sub> 는 UE 가 핸드오버 수행 전에 머물러 있던 eNB(eNB<sub>A</sub>)와 eNB<sub>B</sub> 의 ID 를 비교한다.

만약 두 ID 가 동일하면, UE 는 RLF 를 겪고 다시 eNB<sub>A</sub> 로 통신 링크를 재 연결 했음을 나타낸다. 이는 eNB<sub>C</sub> 의 UE\_LastVisitedCell 에는 eNB<sub>A</sub> 의 ID 와 RLF Indication 메시지를 보낸 eNB<sub>B</sub> 의 ID 가 동일하기 때문이다. 이를 통해 Too Early Handover 를 판별 할 수 있다. eNB<sub>C</sub> 는 Too Early Handover 발생을 RLF RE-Indication 메시지를 통해 eNB<sub>A</sub> 에게 알린다.

이와 반대로, 두 ID 가 일치 하지 않으면, UE 는 RLF 발생 직후 eNB<sub>B</sub> 와 통신 링크를 설정했음을 의미한다. 이는 eNB<sub>A</sub> 와 eNB<sub>B</sub> 의 ID 가 다르기 때문이다. 이를 통해 Handover to wrong cell 이 발생했음을 탐지 하고, eNB<sub>C</sub> 는 eNB<sub>A</sub> 에게 RLF RE-Indication 메시지를 통해 Handover to wrong cell 발생 상황을 알린다.

### 3.2 제안하는 Handover Parameter Optimization 알고리즘

#### 리뷰

제안한 알고리즘에서 eNB 는 주기적으로 HPI 를 모니터링하고, HPI 가 특정 기준 값을 넘으면 핸드오버 파라미터를 변경한다. 제안한 방법에서는 Serving cell 의 채널 품질의 기준이 되는 Threshold 와 특정 셀로 핸드오버를 유도하거나 지연의 효과를 주는 CIO 에 대해 변경을 한다.

Too Late Handover 는 Serving cell 의 채널 품질에 대한 Threshold 가 너무 낮거나 핸드오버의 대상이 되는 주변 셀의 CIO 가 낮게 설정되어 있을 경우 발생 할 수 있다. 이는 UE 가 Serving cell 의 채널 품질이 나빠도 불구하고 이를 좋게 인식 할 수 있기 때문이다. 이를 해결 하기 위해, 제안한 방법에서는 Serving cell 의 Threshold 와 주변 셀의 CIO 를 증가 시킨다.

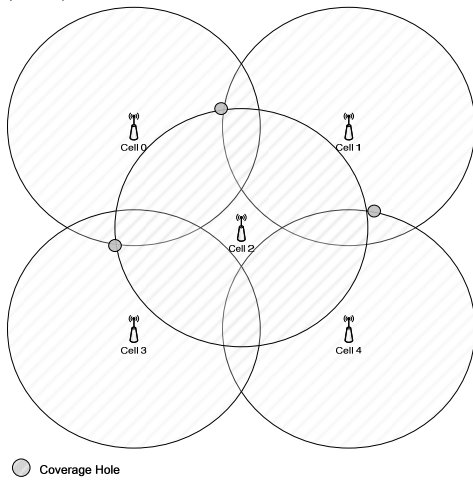
이와 반대로, Too Early Handover 나 Handover to wrong cell 를 해결하기 위해 Serving cell 의 Threshold 와 문제가 발생하는 셀의 CIO 를 감소시킨다. 이는 UE 가 Serving cell 에 오래 머물 수 있게 하여 불필요한 핸드오버를 줄일 수 있다.

제안한 Handover Parameter Optimization 알고리즘은

Conservative 와 Aggressive 모드로 동작한다. Aggressive 는 빈번하게 발생하는 RLF 에 대해 대응하는 방법으로 핸드오버 파라미터를 크게 변경한다. 이와 반대로 Conservative 는 핸드오버 파라미터를 조금씩 변경하는 방법이다.

#### 4. 성능 평가

본 절에서는 시뮬레이션을 통한 제안한 방법에 대한 성능 평가를 한다. 성능 평가를 위해 ns-2 기반<sup>[4]</sup>의 LTE 시뮬레이션을 사용하였다. 그림 3 과 표 1 은 시뮬레이션에서 사용된 네트워크 토폴로지와 파라미터를 보여준다.



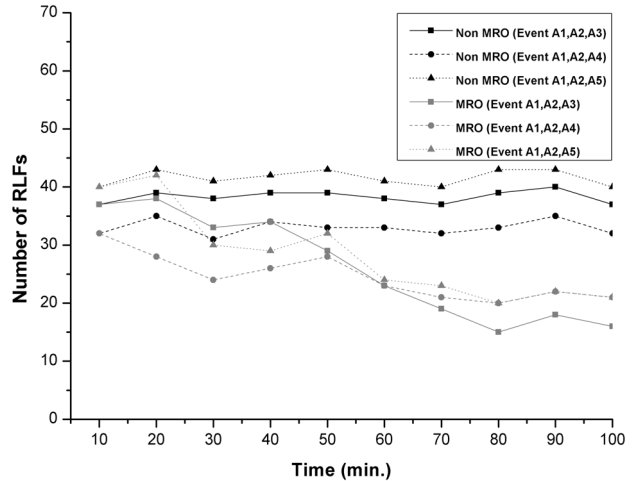
(그림 3) 시뮬레이션 토폴로지

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

시뮬레이션 시간	6000 seconds
UE 의 수	3
전파 모델	Two-ray ground model
	$P_r = \frac{P_t G_t G_r h_t^2 h_r^2}{d^4 L}$
	$h_t, h_r$ : 1.5 (the heights of antennas)
	$G_t, G_r$ : 1 (the antenna gains) $L$ : 1 (System loss)
eNB 의 전송 세기	14dBm
HPI <sub>Threshold</sub>	5%
HPI <sub>Margin</sub>	3%
$\Delta_{CONSERVATIVE}$	1
$\Delta_{AGGRESSIVE}$	2
Threshold 범위	-110dB ~ -40dB <sup>[3]</sup>
CIO 범위	-24dB ~ 24dB <sup>[3]</sup>
UE 의 이동속도	1 meter/second
Tstore_UE_cntxt	1 second

제안한 알고리즘이 Event 에 미치는 효과를 검증하기 위해, 다음과 같이 Event 를 구성하여 시뮬레이션을 수행하였다. [Event A1, Event A2, and Event A3], [Event A1, Event A2, and Event A4], 그리고 [Event A1, Event A2, and Event A5].

그림 4 은 시뮬레이션을 통한 RLF 발생 횟수를 보여준다. Non MRO 는 제안한 알고리즘을 적용하지 않



(그림 4) RLF 발생에 대한 제안한 방법의 성능 비교

은 경우를 나타내며, MRO 는 제안한 알고리즘을 나타낸다. 그림 4 에 보여지는 것과 같이, 초기에 RLF 발생 횟수는 동일하고, MRO 는 RLF 를 줄이기 위해 핸드오버 파라미터를 조정하고 약 30 분 이후부터 RLF 발생이 Non MRO 대비 약 50% 이상 감소됨을 알 수 있다. 표 2 는 Event 구성에 따른 RLF 감소율을 정리한 표이다.

<표 2> RLF 감소율

Event 구성	RLF 발생횟수. (Non-MRO)	RLF 발생횟수. (MRO)	RLF 감소율 (%)
Event A1,A2,A3	696	296	57%
Event A1,A2,A4	732	300	59%
Event A1,A2,A5	887	308	65%

#### 5. 결론

본 논문에서는 LTE Femtocell 네트워크 환경에서 발생 할 수 있는 RLF 현상을 해결하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법을 통해 네트워크 운용자의 도움 없이 eNB 스스로 핸드오버 실패 유형을 탐지하고 이에 대응하여 핸드오버 파라미터를 조정한다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안한 방법이 효과적으로 RLF 를 해결 할 수 확인 할 수 있다.

#### 참고문헌

[1] T. Jansen, I. Balan, I. Moerman, T. Kulkarni, "Handover Parameter Optimization in LTE Self-Organizing Networks", IEEE VTC 2010  
 [2] 3GPP TR36.902 v9.1.0. Self-configuring and self-optimizing network use cases and solutions. Mar.2010  
 [3] 3GPP TS36.331 v9.3.0. Radio Resource Control (RRC); Protocol specification. June.2010.  
 [4] The network simulator-ns-2. <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.  
 [5] David Amzallag, Reuven Bar-Yehuda, Danny Raz and Gabriel Scalosub, "Cell Selection in 4G Cellular Networks," IEEE INFOCOM 2008.  
 [6] Joon-Sang Park and Seung-Jae Han, "Load balancing for video streaming services in hierarchical wireless networks," Computer Networks, vol 52, issue 1