

클라우드 기지국에서의 조정 다중점 송수신 운용 방법

박순기*, 신연승*, 송평중**, 김대영^oThe Operation Method of Coordinated Multi-point
Transmission/Reception in Cloud Base StationSoon-gi Park*, Yeon-seung Shin*, Pyeong-jung Song**, Dae-young Kim^o

요 약

이동통신 사업자들은 자신의 망 총소유비용을 줄이면서 데이터 폭증에 대처하기 위한 다양한 기술적인 대책 들을 강구하고 있다. 이 논문에서는 그러한 기술적인 대책의 하나로써 클라우드 기지국이란 새로운 기지국 구조에서 조정 다중점 송수신 운용에 따른 시스템 용량 및 이동성 성능에 관련된 모의실험 결과를 도출한다. 그 결과는 조정 다중점 송수신이 적용되는 클라우드 기지국의 규모 및 적용 영역에 따라 시스템 용량 및 이동성 성능도 개선될 수 있다는 것을 관찰할 수 있었으며 이러한 상호 인과 관계들은 실제 이동통신 사업자의 망 운용에 있어서 하나의 실용적 지침을 제공할 수 있다.

Key Words : Cloud Base Station, Coordinated Multi-point(CoMP), Joint Processing, Joint Transmission, Distributed Antenna System(DAS), Cloud, Remote Radio Head(RRH)

ABSTRACT

Mobile operators are considering a variety of technical measures to cope with the explosion of data while reducing TCO(Total Cost of Ownership) of their networks. In this paper, to investigate the possibility about one of such technical measures, system level simulation to evaluate the performance of the capacity and mobility was performed in cloud base station structure to apply coordinated multi-point transmission and reception. As a result, we find out that system capacity and mobility performance may be improved according to the scale and application area of cloud base station with the operation of coordinated multi-point transmission and reception, and these mutual causality can provide practical guidelines to mobile network's operation.

I. 서 론

과거 피쳐폰상에서의 Walled Garden 형태의 제한적인 콘텐츠 서비스 및 음성 통화 중심의 시대에서 이동 통신 사업자들은 트래픽의 증가에 비례하

는 수익을 창출하였다. 그러나 아이폰을 시작으로 한 스마트폰의 대중화로 인해 이용자들이 필요한 콘텐츠에 직접 접속하는 개방형 네트워크 서비스 및 데이터 중심의 시대에서 이동통신사들은 단순 데이터 전달자로서의 역할 축소 및 기존 음성 통화

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 한국산업기술평가원 IT R&D 사업으로 지원된 연구결과임 (Project No. 10038765, 스마트 모바일 서비스를 위한 B4G 이동통신 기술 개발)

※ 본 연구는 충남대학교 학술연구비에 의해 지원되었음

• First Author : 한국전자통신연구원 통신인터넷연구부 B4G이동통신연구부 소프트웨어지국연구실, yoyo@etri.re.kr, 정희원

° Corresponding Author : 충남대학교 정보통신공학과 컴퓨터통신실험실, dykim@cnu.ac.kr, 중신희원

* 한국전자통신연구원 통신인터넷연구부 B4G이동통신연구부 소프트웨어지국연구실, shinys@etri.re.kr, 정희원

** 한국전자통신연구원 통신인터넷연구부 B4G이동통신연구부 소프트웨어지국연구실, pjsong@etri.re.kr, 정희원

논문번호 : KICS2013-05-207, 접수일자 : 2013년 5월 8일, 최종논문접수일자 : 2013년 10월 10일

중심의 수익 모델조차 위협 받게 되어 수익은 정체 되고 예상되는 데이터 폭증에 필요한 인프라 투자는 계속 늘려야 하는 상황에 직면해 있다. 따라서 기존 이동 통신 사업자들은 이러한 상황을 타개하기 위하여 다양한 제도적, 사업적 그리고 기술적인 해결책을 모색하고 있다.

본 논문에서는 상기의 이동 통신 사업자가 직면한 상황을 타개하기 위한 기술적인 해결책의 하나로써 모색되고 있는 클라우드 기지국이라는 새로운 기지국 구조상에서 전체적인 시스템 이득을 향상시킬 수 있는 다중점 송수신 운용상의 실용적 지침을 제시하기 위하여 클라우드 기지국 규모의 변화, 두 가지 조정 다중점 송수신 방식 그리고 조정 다중점 송수신 적용 영역의 변경에 따른 스펙트럼 효율 및 이동성 성능 측면에서의 상호 인과관계를 파악하였다.

2장에서는 클라우드 기지국의 정의 및 조정 다중점 송수신에 대한 기술 동향을 간략히 소개하고 3장에서는 조정 다중점 송수신 운용 방법 및 다중점 송수신 운용상에서의 이동성 관리 방법을 설명한다. 3장에서는 모의실험 결과를 통해 클라우드 기지국 상에서 조정 다중점 송수신 적용을 통해 발생한 시스템 이득(average cell capacity, cell edge user capacity) 그리고 클라우드 기지국상에서 조정 다중점 송수신 적용 상황에서의 이동성 관련 성능 지표(handover failure rate, ping pong rate) 결과를 검토하고 마지막으로 결론을 맺고자 한다.

II. 클라우드 기지국 및 조정 다중점 송수신

클라우드 기지국^{1,8,9}의 가장 중요한 핵심 키워드는 DAS(Distributed Antenna System)¹²와 Cloud¹³이다. DAS 기술은 기존 일체형 기지국(Base Station(BS))을 RF 서브시스템(예. Remote Radio Head(RRH))과 그것을 제외한 나머지(예. BS(-))로 분리된 이원화된 구조를 갖게 할 수 있으며 지리적으로 분산 배치된 다수의 RRH들에서 발생하는 송수신 신호를 하나의 장소에 집중화 시켜주는 환경(Centralized Baseband)을 제공한다. 또한, 기지국에 Cloud 개념을 적용한다는 의미는 BS(-) 자원들을 하나의 장소에 모아서 공용 사용할 수 있도록 지원할 수 있다는 것과 동시에 실시간 처리가 가능한 환경(real-time Cloud)을 제공한다. 특별히 클라우드 기지국은 이러한 환경(Centralized Baseband, real-time Cloud)상에서 협력적인 무선(Cooperative

Radio) 기능 구현이 용이하기 때문에 기존 시스템 대비 전체적인 시스템 성능 향상을 도모할 수 있다.

본 논문에서는 클라우드 기지국이 가진 상기의 시스템적 특징들을 이용하여 LTE-Advanced Release 11에서 논의된 조정 다중점 송수신(Coordinated Multi-point)^{41[15]}에서의 시나리오 2의 적용을 클라우드 기지국의 규모, CoMP 적용 영역의 변경 그리고 단말 이동에 따른 시스템적 이득을 고찰하고자 한다. 시나리오 2에서는 RRH들을 지역적으로 분산시키고 이러한 RRH들과 집중형 BS(-) 사이를 광케이블로 연결하여 CPRI(Common Public Radio Interface)⁴¹ 혹은 OBSAI(Open Base Station Architecture Initiative)¹⁵와 같은 인터페이스를 갖도록 하는 것으로 트래픽 밀도가 높은 도심지역에 적용하기가 용이하다. 그림 1은 LTE-Advanced에서 논의된 CoMP 방식을 도시한 것으로 하향인 경우는 Non-coherent JT(Joint Transmission), DPS(Dynamic Point Selection) without muting, DPB with muting (DPB (Dynamic Point Blanking)), CS(Coordinated Scheduling)/CB(Coordinated Beamforming) 방식이 상향인 경우는 JR(Joint Reception), CS/CB 방식이 적용 가능하도록 규격화 되었다. 비록 Release 11에 도입된 CoMP 기술이 효율적인 네트워크 조정에 대한 수단을 제공하게 되었지만 관련한 규격 작업이 PHY 및 RRC(Radio Resource Control) 중심으로 이루어졌기 때문에 Release 12/13 규격 작업에서 CoMP 기술에 대한 개선 작업이 계속 진행될 것이라고 예측된다.

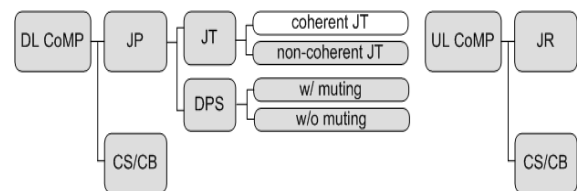


그림 1. LTE-Advanced CoMP 기술 분류
Fig. 1. LTE-Advanced CoMP technology categories

III. 조정 다중점 송수신 운용 및 이동성 관리

조정 다중점 송수신 적용 영역 및 참여 셀 변경을 위한 주요 파라미터는 T1, T2 문턱(threshold) 값으로 이동 단말이 측정하는 서빙 셀의 신호 세기가 T1 이상이면 해당 단말에 대한 조정 다중점 송수신은 동작하지 않으며 T1 미만으로 내려가면 이웃 셀과의 연계를 통해 해당 단말에 대한 조정 다중점

송수신이 동작한다. 조정 다중점 송수신이 운용되는 경우에 있어서 신호 세기가 가장 큰 이웃 셀 하나가 다중점 송수신에 자동으로 참여하게 되며 가장 강한 이웃 셀의 신호세기에서 T2(오프셋)안에 들어오는 다른 이웃 셀들이 존재한다면 그 중에서 가장 강한 이웃 셀이 조정 다중점 송수신에 참여하게 된다. 환언하면 서빙 셀의 신호 세기가 T1 미만이면 CoMP 송수신 동작이 개시되는데 T2가 0인 경우는 가장 큰 신호 세기를 갖는 이웃 셀이 참여하게 되어 총 두 개의 셀이 CoMP 송수신 동작에 참여하게 되며 T2가 어떤 양의 값을 갖는 경우에는 최대 세 개의 셀이 CoMP 송수신 동작에 참여할 수 있다. 따라서 Homogeneous Coverage Layer 측면의 매크로 셀 환경에서 CoMP 송수신 동작이 이루어지는 경우에 이동 단말이 측정하여 올리는 현재의 서빙 셀과 이웃 셀들의 신호세기에 따라 하나 혹은 두 개의 이웃 셀이 서빙 셀과 함께 CoMP 송수신 동작에 참여하게 된다.

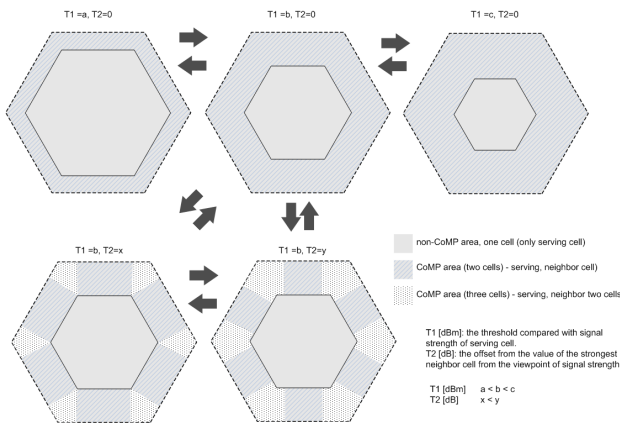


그림 2. CoMP 적용 영역 및 참여 셀 변경 방법
Fig. 2. CoMP application area and participant cell change method

그림 2는 이러한 CoMP 송수신 파라미터 T1, T2 변화에 따른 CoMP 영역 및 참여 셀의 변화를 도시하고 있다. T1 값이 커짐에 따라($a < b < c$) non-CoMP 영역은 줄어들고 반대로 CoMP 영역이 늘어나고 있고 T2 값이 0 인 경우에 있어서는 CoMP 영역에서 서빙 셀과 가장 강한 이웃 셀이 참여하는 CoMP 영역(2 cells)만 존재한다. 그리고 T1 값이 일정한 값(b)이고 T2가 0이 아닌 어떤 양수 값($x < y$)을 가짐에 따라 T2 값이 0인 경우의 CoMP 영역(2 cells)이 줄어들고 그 줄어든 영역만큼 서빙 셀과 두 개의 이웃 셀이 CoMP 송수신에

참여하는 CoMP 영역(3 cells)이 늘어나게 된다. 그러나 그림 2는 모든 이동 단말들이 셀에 랜덤하게 배치되어 움직이지 않고 동일한 T1, T2 값을 가지는 무선 환경인 경우를 가정하여 조정 다중점 송수신 운용 개념을 일반화하여 도시한 것으로 실제로는 동일한 T1, T2 값을 같더라도 개별 이동 단말의 이동 속도 및 주변 무선 환경에 따라 이동 단말별로 CoMP 영역이 다르게 나타날 수 있고 실제 개별 이동 단말별로 T1, T2를 다르게 구성할 수 있고 변경이 가능하기 때문에 이동 단말별 그리고 그 이동 단말의 주변 무선 환경, 변경된 T1, T2 값에 기인하여 이동 단말별 CoMP 영역이 다르게 나타날 수 있다.

이러한 CoMP 영역 조절 및 참여 셀 변경을 통한 조정 다중점 송수신 운용은 이동성 관리 및 성능에도 영향을 미칠 수 있다. 매크로 셀 환경에서 셀 간 이동은 하드 핸드오버이고 이러한 하드 핸드오버는 태생적으로 데이터 단절 구간이 존재하기 때문에 서비스 품질 저하를 수반할 수밖에 없고 결국 소스 셀의 다운링크 시그널도 가능하면서 타겟 셀의 업링크 시그널도 가능한 핸드오버 영역에서 핸드오버가 가능하기 때문에 이동 단말의 측정값, 이동 단말 속도, 히스토리등과 같은 정보에 근거하여 핸드오버가 가능한 핸드오버 영역에서 반드시 핸드오버를 수행시키기 위한 알고리즘⁷⁾의 설계가 필수적이다. 그러나 가능한 핸드오버 영역을 CoMP 영역이 포함하고 있을 때는 핸드오버 보다 CoMP 동작이 선행하게 되고 이 자체만으로도 기존 하드 핸드오버의 안정성을 높여 줄 수도 있고 어떤 경우에 있어서는 기존 하드 핸드오버와는 다른 이동성 관리 방법이 필요하게 된다. 예를 들어 CS/CB와 같은 방식을 적용할 경우에는 결국 핸드오버 하려고 하는 단말의 간섭을 완화시킴으로써 기존 하드 핸드오버의 안정성을 높여 줄 수 있고 JT/JR 방식이 가능하다면 기존 하드 핸드오버 방식처럼 정확한 핸드오버시점을 정확히 예측할 필요가 없이 그 부근에서 기존 앵커 셀의 PDCCH(Physical Downlink Control CHannel)를 포함한 제어 및 피드백만을 다른 셀로 변경하면 되고 CoMP 송수신 적용 영역안에서는 CoMP 송수신 동작에 참여하는 셀들의 PDSCH(Physical Downlink Data Shared CHannel)상에서의 하향 동시 전송 및 PUSCH(Physical Uplink Shared CHannel)상에서의 상향 소프트 컴바이닝이 일어나게 되므로 하드 핸드오버가 아닌 부분적인 소프트 핸드오버라고 간주할 수 있고 이것은 셀 간 이동의 안정성을 크게 높

이고 데이터 단절 구간이 존재하지 않기 때문에 서비스 품질을 크게 개선시킬 수 있다.

IV. 실험

모의실험의 목적은 클라우드 기지국의 구조적 장점을 활용하여 클라우드 기지국 구조에서의 조정 다중 점 송수신 운용 방법에 따른 시스템 용량관점의 이득을 살펴보고 추가적으로 조정 다중 점 송수신을 이동성 관리에 활용함으로써 얻을 수 있는 이동성 성능 관점의 이득을 분석하고자 하였다. 첫 번째 시스템 용량 분석을 위한 모의실험은 표 1과 같은 시스템 변수들을 사용하여 그림 3과 같은 시뮬레이터를 구성하여 수행하였다. 그림 3은 SDL(Specification and Description Language)로 구현된 시뮬레이터로 SDL의 상위 레벨 시스템 다이어그램이다. RadioEnvSimulator 프레임워크에는 그림 4의 각 셀 배치 유형들과 표 1의 채널 모델 그리고 이동 단말의 정지 및 이동 따른 단말 위치별 무선 환경을 모사하기 위해 C로 구현된 모듈들이 타겟팅 되어 있고 다중 이동 단말의 초기 배치 및 이동성을 모사하기 위한 UE 프레임워크가 있다. 그리고 그림 4의 각 셀 배치에 따른 다중 클라우드 기지국을 모사하기 위한 ENB 프레임워크가 있다. 추가적으로 EPC(Evolved Packet Core)를 모사하기 위한 EPC 프레임워크가 있고 EPC와 ENB의 네트워크 특성을 모델링한 NetworkEnvSimulator가 존재하고 다중 UE들에 대한 초기 위치 및 이동 시나리오를 입력하기 위한 UESIDE_TESTER 프레임워크가 존재한다.

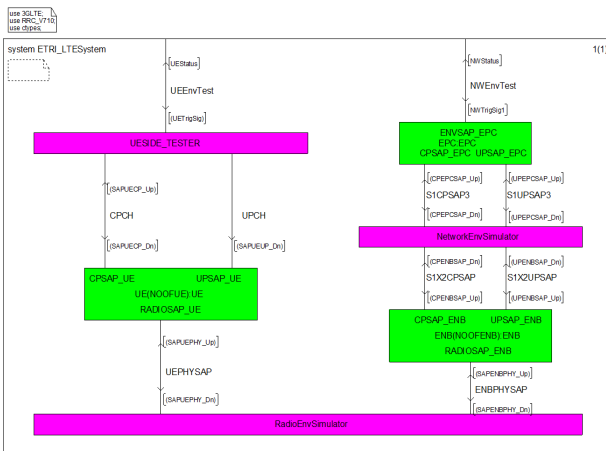


그림 3. SDL로 구현된 시뮬레이터 상위 레벨 다이어그램
Fig. 3. The top level system simulator diagram implemented by SDL

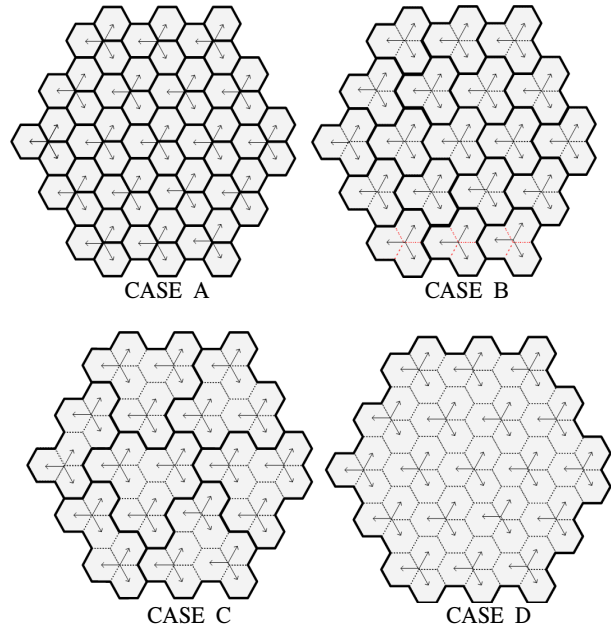


그림 4. 실험용 셀 배치 유형
Fig. 4. Types of experimental cell layout

첫 번째 스펙트럼 효율 측면의 성능 비교를 위해서 총 57개의 셀로 구성된 셀 배치를 놓고 각 셀에 10개의 이동 단말을 균일 분포시켰을 때 570개의 이동 단말이 경험하는 총 스펙트럼 효율의 합을 총 셀의 수로 나눈 평균 셀 용량(average cell capacity)과 570개의 이동 단말이 경험하는 각 스펙트럼 효율들에서 하위 5%의 값들에 대한 평균 스펙트럼 효율인 셀 경계 사용자 용량(cell edge user capacity)을 사용하며 특히 클라우드 기지국의 규모에 따른 시스템 성능 분석을 위하여 그림 4와 같은 네 가지 실험용 셀 배치 유형들을 구분한다. 네 가지 셀 배치 유형 모두 하나의 사이트에서 세 개의 섹터 셀을 갖는 형태로 총 57개의 셀들이 동일하게 배치되어 있으며 CASE A는 57개의 셀이 전혀 협력하지 않고 독립적으로 운용되는 non-CoMP 운용만을 의미하고 CASE B, C, D는 T1, T2 값에 의한 non-CoMP 및 CoMP 운용을 포함한다. 굵은 실선은 집중화되는 하나의 셀 클러스터(즉, 하나의 클라우드 기지국)라고 가정할 수 있고 셀 클러스터 내의 점선은 그 점선 부근에서 위치한 이동 단말에서는 CoMP 송수신 운용이 이루어진다는 것을 의미한다. CASE A는 하나의 셀이 하나의 클라우드 기지국(57개)이라고 생각할 수도 있고 CASE B는 3개의 섹터 셀을 갖는 클라우드 기지국(19개)이라고 볼 수 있고 CASE C는 9개 혹은 6개의 셀로 구성되는 셀 클러스터를 갖는 클라우드 기지국(7개)이 있다고

볼 수 있고 CASE D는 57개 셀을 갖는 하나의 클라우드 기지국이라고 볼 수 있다.

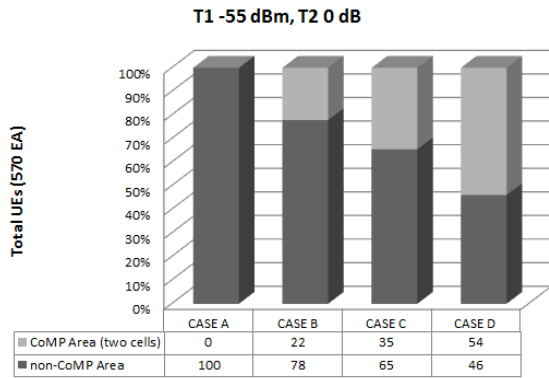


그림 5. 셀 배치 유형별 CoMP 영역 변화
Fig. 5. The change of CoMP area per cell Layout

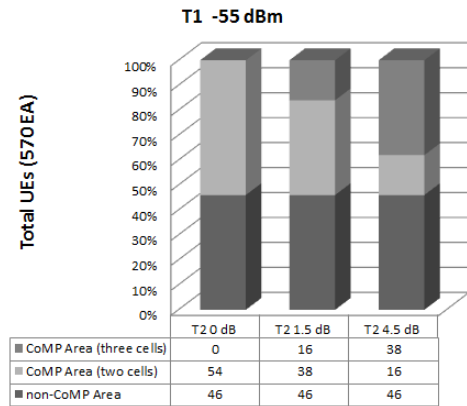


그림 6. CASE D에서 다른 CoMP 영역 변화(고정 T1, 변경 T2)
Fig. 6. The change of CoMP area in cell layout CASE D (Fixed T1, Change T2)

그림 5는 그림 4의 실험용 셀 배치 유형에서 동일하게 균일 배치된 570개의 모든 이동 단말들에 대하여 특정한 T1 및 T2 값을 동일하게 적용한 경우에 non-CoMP 영역에 있는 이동 단말의 수와 CoMP 영역(2 cells)에 있는 단말의 수의 비율을 퍼센티지로 그림 4의 실험용 셀 배치 유형별로 도시하고 있으며 결과는 그림 4의 도시된 점선(CoMP 동작이 가능한 셀 경계 영역을 의미)이 CASE A에서 CASE D로 갈수록 많아지는 것과 같이 클라우드 기지국의 규모가 커질수록 CoMP 적용 영역에 소속된 이동 단말의 비율이 증가함을 알 수 있다. 그림 6은 CASE D라는 하나의 셀 배치 유형에서 셀별로 10개씩 배치된 총 570개의 이동 단말들에 대하여 T1 값을 고정하고 T2 값을 변경(0, 1.5, 4.5)하는 경우에 non-CoMP 혹은 CoMP 영역에 소속된 이동 단말의 수의 비율 변화를 나타내고 있으

며 결과는 T1이 고정 값이면 non-CoMP 영역 대비 CoMP 영역(2 혹은 3 cells 포함)에 소속된 단말 수의 비율은 변화되지 않지만 그림 4에서 도시된 논리적 개념과 유사하게 T2 값의 증가에 따라 CoMP 영역(2 cells)이 줄어들고 CoMP 영역(3 cells)이 증가함을 알 수 있다.

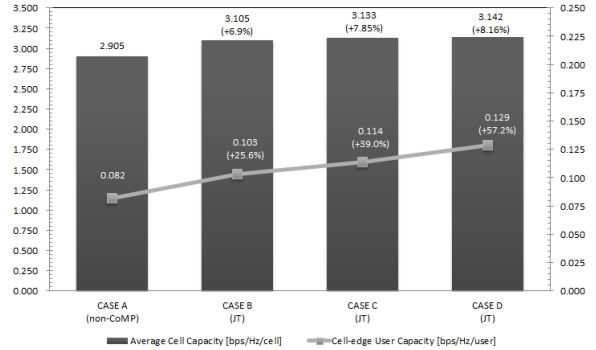


그림 7. CoMP JT 적용 효과(T1 -55dBm, T2 0dB)
Fig. 7. CoMP JT Application Effect(T1 -55dBm, T2 0dB)

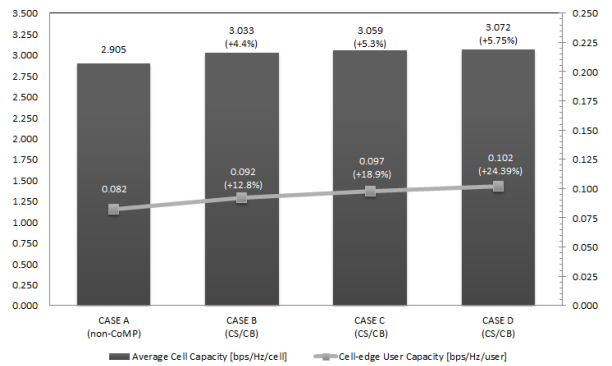


그림 8. CoMP CS/CB 적용 효과(T1 -55dBm, T2 0dB)
Fig. 8. CoMP CS/CB Application Effect(T1 -55dBm, T2 0dB)

그림 7과 그림 8은 T1 -55dBm과 T2 0dB의 동일 CoMP 운용 조건에서 그림 4의 non-CoMP 영역의 CASE A와 non-CoMP영역과 CoMP 영역(two cells)을 갖는 CASE B, C, D에서의 JT와 CS/CB의 두 가지 서로 다른 CoMP 방식 각각에 대한 평균 셀 용량과 셀 경계 용량의 결과를 나타내고 있다. 그림 7은 CASE A(non-CoMP)성능 기준 대비 CoMP 영역에서 JT를 적용한 경우의 CASE B, C, D에 대한 평균 셀 용량과 셀 경계 사용자 용량을 나타내고 있으며 그림 8은 CASE A(non-CoMP)성능 기준 대비 CoMP 영역에서 CS/CB를 적용한 경우의 CASE B, C, D에 대한 평균 셀 용량과 셀 경계 사용자 용량을 나타내고 있다. [8]의 결과에 따르면 T2가 어떤 값을 갖게 되

는 경우의 시스템 성능 평가에서 모든 셀의 Full Loading 환경을 가정하는 경우에 있어서는 셀 경계 사용자의 서비스 속도는 실질적으로 증가 하더라도 스펙트럼 효율로 계산되는 평균 셀 용량 및 셀 경계 사용자 용량은 오히려 낮아지게 되고 네 가지 실험용 셀 배치 유형(즉, 클라우드 기지국 규모의 변화)에 따라서 평균 셀 용량의 변화 추이를 관찰할 수 없기 때문에 본 논문에서는 T2를 모두 0로 놓아 CoMP 영역(2 cells)만 시뮬레이션 대상에 포함하였다. 그림 7은 JT를 적용한 클라우드 기지국의 규모가 커질수록 평균 셀 용량은 CASE A 대비 6.9%, 7.85%, 8.16%로 점진적으로 증가하며 동시에 셀 경계 사용자 용량도 CASE A 대비 25.6%, 39.0%, 57.2%로 크게 증가함을 나타내고 있으며 마찬가지로 그림 8은 CS/CB를 적용한 클라우드 기지국의 규모가 커질수록 평균 셀 용량은 CASE A 대비 4.4%, 5.3%, 5.75%로 점진적으로 증가하며 동시에 셀 경계 사용자 용량도 CASE A 대비 25.6%, 39.0%, 57.2%로 크게 증가함을 나타낸다. CS/CB 대비 JT에 대한 평균 셀 용량은 상대적으로 높고 셀 경계 용량은 더 큰 이득을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

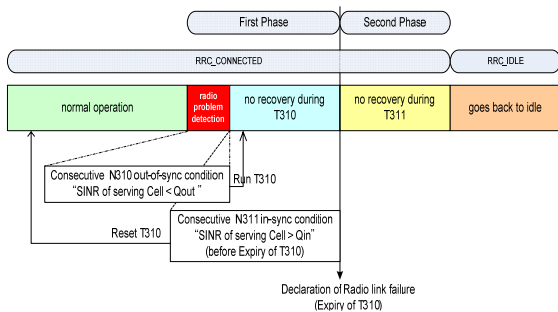


그림 9. 무선 링크 실패 모델링
Fig. 9. Radio Link Failure Modelling

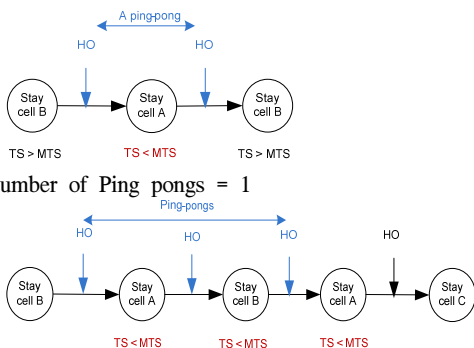


그림 10. 핑퐁 카운트의 예
Fig. 10. The examples of Ping pong count

두 번째 이동성 성능 분석을 위한 모의실험은 3GPP 표준을 따라 시스템 레벨 시뮬레이션(표 1)으로 이루어 졌고 추가적으로 이동성 성능 지표 평가를 위한 주요 시스템 변수들을 도입하였다(표 2 및 표 3). 본 논문에서 사용된 CoMP 운용시의 이동성 성능을 비교하기 위한 두 가지 이동성 성능 지표들은 아래와 같다.

표 1. 시스템 레벨 시스템 파라미터
Table 1. System level system parameters.

Parameters	Value
Cell Layout	Hexagonal grid, 19 sites, 57 cells, wrap around
# of CoMP cells	2 or 3
RRH TX Power (or eNB TX Power)	46 dBm Under any cell layout, the location of RRH or eNB and TX power do not changed.
Inter-site distance	500 m
Bandwidth	10 MHz
Distance dependent path loss and carrier frequency	$L=128.1+37.6\log_{10}(R)$. Rinkilometers @2GHz
Shadowing standard deviation	8 dB
Channel Model	Spatial Channel Model (SCM) – Urban Macro High Spread for 3GPP case 1 [12]
UE speed	3 km/h
Number of UE per cell (Load)	10 (total 570 UEs)
Traffic model	Full buffer
Antenna Configuration	Capacity 4x2, Moblity 1x2
Scheduler	Proportional fair in time and frequency Dynamic switch among layers per UE
Threshold to decide UE at cell edge region (T1 dBm, T2 dB)	T1: -55 T2: 0
Synchronization	synchronized in all cells
RB bandwidth	180kHz (12 subcarriers)
Feedback scheme	CSI per subband (6RB – 1.08MHz) 6ms CSI feedback delay 5ms CSI reporting periodicity

Note. CSI: Channel State Information

- 핸드오버 실패율 [unit:%] = (핸드오버 실패 수)/(핸드오버 시도 수)
여기에서, 핸드오버 시도 수 = 핸드오버 실패 수 + 핸드오버 성공 수
- 핑퐁율 [unit:%] = (핑퐁 수)/(핸드오버 실패를 제외한 핸드오버 성공 수)

핸드오버 실패의 판단 기준은 표 2와 그림 9의 무선 링크 실패 모델링과 밀접하게 관련되어 있다.

표 2. 이동성 성능 파라미터
Table 2. Mobility Performance Parameters.

Parameters	Value
Qout (out-of-sync Quality)	-8 dB
Qin (in-sync Quality)	-6 dB
T310 (ms 0,50,100,200,500,1000,2000)	1,000 ms
N310 (count 1,2,3,4,6,8,10,20)	1 count
T311 (ms 1000, 3000, 5000, 10000, 15000, 20000,30000)	This value is not applied in this simulation.
N311 (count 1,2,3,4,5,6,8,10)	1 count
HO preparation time	50 ms
HO execution time	40 ms
Measurement Error Modelling	To obtain the 90% bound for +/- 2 dB, a normal distribution with deviation = $2 \text{ dB} / (\text{sqrt}(2) * \text{erfinv}(0.9)) = 1.216 \text{ dB}$ can be used ([13])
MTS (Minimum-Time-of-Staty)	1 s

Note.1 In non-DRX mode, the sample rate of UE L1 measurement is once every 10 ms (radio frame), with the samples filtered linearly over a sliding window of 200 ms(i.e. 20 samples) for Qout and 100 ms (i.e. 10 samples) for Qin, respectively. Both windows are updated one per radio frame (10 ms) (as specified in [13]).
Note.2 The default values specified in [14] are used as T310, N310 and N311.

이동 단말이 서빙 셀과 그 서빙 셀과 바로 인접한 셀들에 대하여 10ms 주기로 측정된 값(M)이 존재하며 이 측정된 M값들을 가지고 10ms 마다 필터 처리된 두 개의 값 (M_{Qout} , M_{Qin})이 각 셀별로 계산된다. 기본적으로 M_{Qout} 은 200ms 윈도우 (20개 샘플)를 가지고 처리되고 M_{Qin} 은 100ms(10개 샘플)를 가지고 처리된다. 이때 서빙 셀에 대한 M_{Qout} 이 out-of-sync의 기준값인 Qout 값 (-8dB)보다 낮은 상태로 연속적으로 N310 회수만큼 존재하게 되면 무선 링크 상에 문제가 발생했다고 보고 타이머 T310이 시작된다. T310이 시작된 이후에 T310이 만료되기 전에 M_{Qin} 이 in-sync 기준값인 Qin(-6 dB)보다 높은 상태로 연속적으로 N311 회수만큼 계속 되면 T310을 리셋하고 정상 동작 상태로 취급한다. 그러나 T310이 그냥 만료가 된다면 무선 링크 실패 복구 절차가 수행된다. 그러나 본 논문의 시뮬레이션에서는 그림 9의 두 번째 단계의 무선 링크 실패 복구 절차는 시뮬레이션하지 않고 이동 단말을 RRC_IDLE 상태로 강제로 보내고 이동 단말의 그

위치에서 다시 재시작하는 것으로 시뮬레이션 된다. 이러한 상황에서 핸드오버 실패는 아래의 세 가지 조건을 만족할 때 카운트를 한다.

- 이동 단말이 HO Command 메시지를 수신했을 바로 그 시점에 T310이 구동 되어 있는 경우
- HO Process Part 1(이동 단말이 A3 이벤트 진입 조건으로 판단한 시점에서 기지국에서 HO Command를 내리는 시점) 구간에서 그림 9의 무선 링크 실패로 인식되는 경우
- HO Process Part 2(기지국이 HO Command 를 내린 시점에서 HO Complete를 올리는 시점) 구간에서 타겟 셀의 M_{Qout} 이 Qout 값 (-8dB)보다 작은 경우 (이때 타겟 셀의 M_{Qout} 은 핸드오버 직후이므로 20개 샘플을 확보하기는 힘들기 때문에 2개 이상의 샘플만을 가지고도 M_{Qout} 을 계산하여 Qout 값 (-8dB)와 비교함)

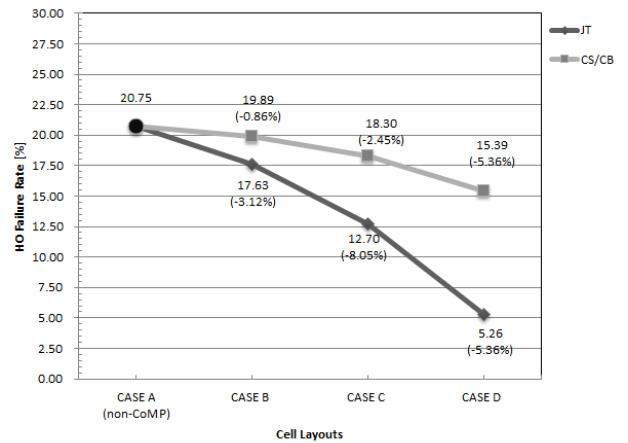


그림 11. 핸드오버 실패율(JT 대 CS/CB)
Fig. 11. HO failure rate(JT vs. CS/CB)

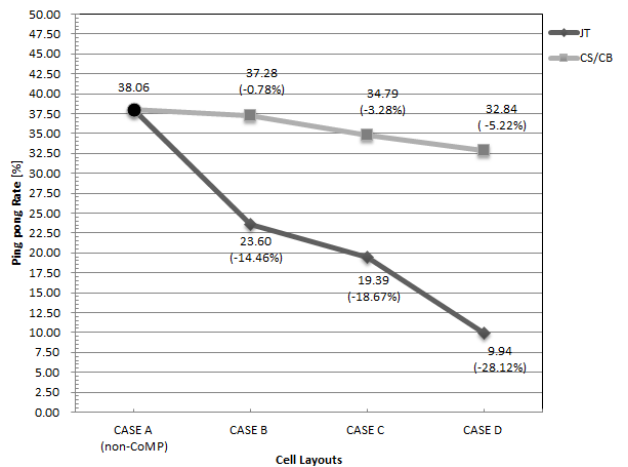


그림 12. 핑퐁율
Fig. 12. Ping pong rate

표 3. 이동성 프로파일 셋
Table 3. Mobility Profile Sets.

Profile [14]	Set 1	Set 2	Set 3	Set 4	Set 5
UE speed [km/h]	3, 30, 60, 120	3, 30, 60, 120	3, 30, 60, 120	3, 30, 60, 120	3, 30, 60, 120
TTT [ms]	480	160	160	80	40
A3 offset[dB]	3	3	2	1	-1
RSRP L3 Filter K	4	4	1	1	0

핑퐁 율을 계산하기 위한 핑퐁 수의 카운트는 핸드오버 후에 이동 단말이 그 셀에 실제 머무는 시간(TS: Time of Stay) 측정과 함께 그 셀에 머무는 최소 시간(MTS: Minimum TS)에 대한 정의가 필요하다. 이동 단말이 셀 B에서 셀 A로 핸드오버 된 이후에 셀 B로 다시 핸드오버되는 경우에 셀 B에 거주한 시간 TS가 기 정의된 MTS보다 작다면 핑퐁을 카운트한다. 만약에 셀 B에서 셀 A 그리고 셀 A에서 셀 B로 가는 경우에 있어 셀 B에서의 TS가 MTS보다 작은 경우라면 핑퐁을 카운트하지 않는다 (그림 10 참조). 표 3은 이동성 성능을 분석하기 위해 정의한 4 가지 프로파일 셋이다. 각각의 프로파일 셋에서는 이동 단말의 속도, TTT(Time-To-Trigger), A3 offset 그리고 L3 필터링 계수^[4]가 정의되어 있다. CoMP 송수신을 적용한 클라우드 기지국의 규모에 따른 핸드오버 실패(HO failure) 및 핑퐁(ping pong) 성능이득은 CASE A의 non-CoMP 성능 지표를 기준으로 하며 CoMP 송수신 운용은 [8]에서 도출한 것과 같이 가장 좋은 셀 경계 사용자 용량을 얻을 수 있는 T1 -55dBm, T2 0dB 조건을 고려하였다. [10]에서 핸드오버 실패(HO failure)의 경우 속도가 고속(120km/h)이면서 이동성 프로파일 셋 5에서 성능이 가장 열악하므로 이것을 HO failure 개선 효과를 보기 위한 프로파일로 선택하고 핑퐁(ping pong)의 경우는 속도가 저속(3km/h)이면서 이동성 프로파일 셋 1에서 성능이 가장 열악하므로 이것을 핑퐁(ping pong) 개선 효과를 보기 위한 프로파일로 선택한다. 따라서 그림 11은 CASE A에서의 HO failure rate 20.75%를 기준으로 CASE B, C, D에 JT 혹은 CS/CB를 적용한 경우의 HO failure 성능 개선 정도를 나타내고 있다. CoMP 송수신을 적용한 클라우드 기지국의 규모가 커짐에 따라 HO failure rate가 감소하는 경향을 보이며 상대적으로 JT가 CS/CB에 비하여 우수한 HO failure 개선 효과가 있음을 나타낸다. 그림 12는 CASE A에서의 Ping pong rate 38.06%를 기준으로 CASE B, C, D에

JT 혹은 CS/CB를 적용한 경우의 Ping pong 성능 개선 정도를 나타내고 있다. CoMP를 적용한 클라우드 기지국의 규모가 커짐에 따라 Ping pong rate가 감소하는 경향을 보이며 상대적으로 JT가 CS/CB에 비하여 우수한 Ping pong 개선 효과 있음을 나타낸다.

V. 결 론

본 논문에서는 클라우드 기지국에서 조정 다중접 송수신 기술을 이용하는 경우에 클라우드 기지국의 규모 증대에 따라 스펙트럼 효율 측면에서 평균 셀 용량 및 셀 경계 사용자 용량이란 시스템 용량 성능 지표를 도입하여 용량 개선 효과가 있음을 밝혔고 또한 이동성 성능 개선측면에서 핸드오버 실패 율 및 핑퐁 율이란 이동성 성능 지표를 도입하여 이동성 성능 개선 효과가 있음을 밝혔으며 추가적으로 이러한 개선 효과가 CS/CB 보다는 JT에서 보다 분명하게 나타남을 알 수 있었다.

본 논문의 연구결과와 이전의 연구결과들^[8-10]을 종합하여 볼 때 동일한 셀 레이아웃일지라도 CoMP 영역 및 참여 셀 변경을 위한 CoMP 송수신 운용 값(T1, T2) 조정에 따라 시스템 용량 변화가 있으며 또한 클라우드 기지국의 규모에 따라 용량 변화가 발생하며 CoMP 송수신 운용이 이동성 성능 자체에도 영향을 미치게 됨을 알 수 있었다. 그리고 동일한 조건에서 CoMP 방식에 의해서도 용량 및 이동성 성능에 대한 영향이 다르게 나타난다는 것을 알 수 있었다. 이러한 상호 인과관계를 알면 실제 필드에서의 적용에 있어 하나의 CoMP 송수신 운용 지침으로 활용될 수 있다. 다만, 시스템 시뮬레이션과 다른 부분들도 존재 하게 된다. 예를 들어 모든 셀이 풀 로딩되는 상황은 드물기 때문에 풀로딩 되지 않는 다른 이웃 셀의 유효한 자원을 이용할 수 있도록 T2 값을 부여하여 해당 셀 경계에 있는 단말의 서비스 속도를 높이도록 기여하게 할 수도 있고 개별 사용자의 속도 및 위치를 고려하여 사용자별 CoMP 영역 및 참여 셀 변경을 위한 운

용 값을 다르게 셋팅할 수 있을 것이고 또한 CS/CB는 JT보다 시스템 이득은 상대적으로 작을 수 있지만 CS/CB는 클라우드 기지국이 아닌 현재의 독립형 기지국에 바로 적용할 수 있는 장점이 있고 상대적으로 JT/JR에 비해 구현하기가 쉬운 방식이기 때문에 오히려 CS/CB가 실용적인 방식일 수도 있고 클라우드 기지국도 어떤 특정 규모 이상이 되면 오히려 CAPEX/OPEX를 증가시키는 부분이 존재할 수 있기 때문에 트래픽 밀도를 고려하여 클라우드 기지국 규모에 대한 신중한 의사 결정이 필요할 것으로 본다.

향후 연구로는 클라우드 기지국이 단순한 커버리지 계층의 기존 매크로 셀만 집중화시키지 않고 운용자가 관할하는 모든 피코 셀을 집중화 시키는 경우에 있어서의 CoMP 운용에 대한 시나리오와 그에 따른 시스템 성능 이득 개선 효과에 대한 분석이 필요하며 향후 표준화 (R12, R13)에서의 CoMP 개선 방안에 대한 기여하기 위한 연구가 필요할 것으로 본다.

References

- [1] China Mobile Research Institute, *C-RAN - The road towards green RAN, White Paper Version 2.5*, Retrieved Oct., 30, 2011, from <http://labs.chinamobile.com/cran/wp-content/uploads>.
- [2] X.-H. You, D.-M. Wang, B. Sheng, X.-Q. Gao, X.-S. Zhao, and M. Chen, "Cooperative distributed antenna systems for mobile communications," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 17, no. 3, pp. 35 - 43, June 2010.
- [3] G. Reese, *Cloud Application Architectures Building Applications and Infrastructure in the Cloud*, O'Reilly Media Press, April, 2009.
- [4] Y. S. Kim, H. J. Lee, Y. B. Kim, and J. H. Lee, "Analysis on performance and standardization trend in CoMP between transmission point in LTE-Advanced," *TTA J.*, vol. 139, pp. 94-99, Jan. 2012.
- [5] CPRI, *Common Public Radio Interface - Interface Specification*, Retrieved Oct., 30, 2011, from <http://www.cpri.info>.
- [6] OBSAI, *Open Base Station Architecture Initiative - BTS System Reference Document*, Retrieved Oct., 30, 2011, from <http://www.obsai.com>.
- [7] T.-H. Kim, Q. Yang, J.-H. Lee, S.-G. Park, and Y.-S. Shin, "A mobility management Technique with simple handover prediction for 3G LTE Systems," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC-2007 Fall)*, pp. 259-263, Baltimore, U.S.A., Sep. 2007.
- [8] S.-G. Park and D.-Y. Kim, "Downlink multi-point transmission effect using aggregate base station architecture," *IEICE Trans. Commun.*, vol. E94-B, no. 12, pp. 3374-3377, Dec. 2011.
- [9] S. G. Park, B. H. Ryu, and D. Y. Kim, "Uplink multi-point reception effect using aggregate base station architecture," in *Proc. 2011 Int. Conf. ICT Convergence (ICTC 2011)*, pp. 172-176, Seoul, Korea, Sep. 2011.
- [10] S. G. Park, B. H. Ryu, N.-H. Park, and D. Y. Kim, "The impact of cloud base station's coordinated multi-point schemes on mobility performance," in *Proc. 2012 Int. Conf. ICT Convergence (ICTC 2012)*, pp. 660-665, Jeju Island, Korea, Oct. 2012.
- [11] 3GPP, *Coordinated Multi-Point Operation for LTE Physical Layer Aspects*, TR 36.819 Release 9, June 2012.
- [12] 3GPP, *CoMP simulation assumptions*, TSG-RAN WG1 #63bis, R1-110598, Jan. 2011.
- [13] 3GPP, *Further advancements for E-UTRA physical layer aspects*, TR 36.814 Release 9, June 2012.
- [14] 3GPP, *Radio Resource Control (RRC)*, TS 36.331 Release 10, June 2012.
- [15] S.-E. Kim, K.-S. Kim, and E.-K. Hong, "Analysis on interference control in heterogeneous networks," *J. KICS*, vol. 38A, no. 3, pp. 268-276, Mar. 2013.

박 순 기 (Soon-gi Park)



1993년 2월 충남대학교 전기공
학교육과 학사졸업
1995년 2월 충남대학교 전기공
학과 석사졸업
2012년 2월 충남대학교 정보통
신공학과 박사졸업
1995년~2000년 대우중공업(두

산인프라코어 전신) 주임연구원
2000년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원
<관심분야> 이동통신, 무선자원관리, 차세대 무선
액세스 네트워크 구조 및 가상화

신 연 승 (Yeon-seung Shin)



1984년 2월 고려대학교 통계
학과 석사졸업
1984년~현재 한국전자통신연
구원 소프트웨어국연구실 실
장(책임연구원)
<관심분야> 이동통신 가상 기지
국 기술, 유연한 무선 네트워

크 구조

송 평 중 (Pyeong-jung Song)



1980년 2월 한양대학교 통신공
학과 학사 졸업
1982년 2월 한양대학교 통신공
학과 석사졸업
1995년 8월 한양대학교 통신공
학과 박사졸업
1986년~1988년 벨지움 Bell

Telephone 파견 근무(System 1240교환기 SW 개
발)
1997년~1998년 ITU-T SGXI/WP3 Editor(IMT200
0 LAC/MAC)
1997~2000년 TTA SC7(IMT-2000) 무선 프로토콜
연구반 의장
2005~2006년 Telcordia(구 Bell telephone) 방문연
구원
1982년~현재 한국전자통신연구원 B4G이동통신연
구부 부장(책임연구원)
<주관심분야> B4G/5G 무선액세스기술

김 대 영 (Dae-young Kim)



1975년 2월 서울대학교 전자
공학과 학사졸업
1977년 2월 KAIST 전기및전
자공학과 석사졸업
1983년 2월 KAIST 전기및전
자공학과 박사졸업
1978년~1981년 독일 아헨대,

하노버대 연구원
1987년~1988년 미국 UC Davis 초빙교수
2009년~2010년 일본 교토대 초빙교수
2011년~현재 APAN 의장
2006년~현재 ISO/IEC JTC 1/SC 6 의장
2007년~현재 FIF 부의장, 자문위원
1983년~현재 충남대학교 정보통신공학과 교수
<관심분야> 미래 인터넷, 이동 인터넷, 멀티캐스트