

차세대 이동통신 시스템에서 동기신호를 이용한 펌토셀 탐색 기법

김 영 준*, 조 용 수°

Femtocell Searching Technique Using Synchronization Signals for Next-Generation Mobile Communication Systems

Yeong Jun Kim*, Yong Soo Cho°

요 약

본 논문에서는 co-channel deployment 방식을 사용하는 closed access 펌토셀 주변에서 매크로셀 단말의 동기 소실 문제를 해결하고 펌토셀의 전력 누수 때문에 발생하는 셀 탐색을 줄이기 위하여 CS(Common Signal)을 사용한 펌토셀 탐색 기법을 제안한다. CS는 특정 매크로셀 내의 펌토셀들이 같은 시간에 공통으로 전송하는 신호로, 펌토셀이 CS를 송신할 경우 매크로셀 내에서 매크로셀 기지국의 CINR(Carrier to Interference Noise and Ratio) 값이 크게 유지되어 closed access 펌토셀 주변에서 매크로셀 단말이 동기를 유지할 수 있다. 또한, CS는 단말이 CS를 사용하여 측정된 CSCINR(Common Signal Carrier to Interference Noise and Ratio) 값을 이용하여 펌토셀 존재 여부를 판단할 수 있도록 설계되므로, 매크로셀 단말은 매크로셀 기지국에 동기를 유지하면서 펌토셀 존재 여부를 판단할 수 있다. 그리고 제안된 방식에서는 옥외에서 이동 중인 단말이 자신의 이동성을 이용하여 펌토셀 탐색 여부를 판단함으로써 단말의 펌토셀 탐색 빈도를 줄인다. 따라서 펌토셀 탐색에 대한 부담을 줄이고, 이에 대한 부가적 이득으로 핸드오버 시도의 빈도 감소를 기대할 수 있다.

Key Words : OFDMA, femtocell, macrocell, synchronization, cell searching, common signal

ABSTRACT

In this paper, we propose a femtocell searching technique which can prevent a macrocell UE(user equipment) from losing synchronism to its serving macrocell near closed access femtocells in co-channel deployment due to the leakage of femtocell signals by using a CS(Common Signal). The CS, commonly transmitted by femtocells in a macrocell at the same time, enables the macrocell UEs to be kept synchronized with their serving macrocells since the CINR(Carrier to Interference and Noise Ratio) of base stations in macrocell can be kept high even near closed access femtocells. Also, the CS is designed in such a way that a macrocell UE can recognize the existence of femtocell by using the metric CSCINR(Common Signal Carrier to Interference and Ratio) measured with CS. In addition, the proposed femtocell searching technique can reduce the frequency of femtocell searching trial by using the metric on mobility of a macrocell UE defined in this paper, and the reduction of the frequency of handover trial can be also expected as a byproduct.

* 본 연구는 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(NIPA-2012-H0301-12-4004), 2012년도 교육과학기술부의 한국연구재단의 기초연구사업(2012005603) 지원을 받아 수행되었음

◆ 주저자 : LIG Nex1, yeongjun.kim@lignex1.com, 정회원

° 교신저자 : School of Electric & Electronic Engineering, Chung-Ang University, KOREA, yscho@cau.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-09-434, 접수일자 : 2012년 9월 14일, 최종논문접수일자 : 2013년 1월 4일

I. 서 론

마크로셀은 높은 투과 손실로 인해 옥내 서비스 확보에 취약하여 저비용, 저전력 기지국인 펌토셀(femtocell)을 옥내에 설치하여 사용하는 방안이 연구 개발되고 있다. 펌토셀은 사용 대역이나 사용자의 접근 정도에 따라 분류되는데, 이 중 co-channel 펌토셀은 마크로셀(macrocell)과 펌토셀 간 간섭 때문에 outage 확률이 큰 반면에 open access 펌토셀은 모든 단말이 접근할 수 있기 때문에 핸드오버(handover) 시도가 빈번히 발생하며, 펌토셀의 자원을 다수의 사용자와 나누어 쓰기 때문에 펌토셀을 설치한 사용자의 전송 속도를 저하시킬 수 있다. 마크로셀 내에 다수의 펌토셀이 존재할 경우 펌토셀의 PCI(Preamble Cell ID)는 중복 할당될 수 있으므로 마크로셀은 펌토셀에 대한 neighbor list를 방송할 수 없다. 따라서 마크로셀 간 핸드오버처럼 broadcast된 neighbor list를 이용하여 셀 탐색(cell searching) 시 필요한 시간과 전력 소모를 감소시킬 수 없다. 또한, 펌토셀이 closed access 모드로 동작할 때 접근이 허용되지 않은 단말이 펌토셀 탐색 및 핸드오버 시도를 하거나, 창가나 건물 외벽에 가깝게 설치된 co-channel deployment 펌토셀 신호의 옥외 누수로 인해 이동 중인 마크로셀 단말이 펌토셀 탐색 및 핸드오버를 시도하는 것, 그리고 closed access 펌토셀 주변에서 마크로셀 단말의 동기 성능 열화는 시스템 성능을 열화시키는 원인이 될 수 있다^[1-4].

펌토셀 또는 계층적 셀룰러 시스템 도입 시 발생할 셀 탐색 및 핸드오버 문제를 해결하기 위하여 펌토셀이 CSG(Closed Subscriber Group) indicator를 전송하는 방법, 단말이 subscriber로 등록된 펌토셀의 위치 정보 및(펌토셀이 포함된 마크로셀의 cell ID나 GPS정보(Global Positioning System)) 마크로셀 기지국과 단말의 거리를 이용하는 방법, 셀 타입에 따라 PCI를 할당하는 방법^[1-3,6]들이 제안되었고, [4,5]에는 단말이 펌토셀을 탐색할 때 펌토셀 프리앰블에 할당된 PCI의 CINR(Carrier to Interference and Noise Ratio)을 검출하고 자신의 위치 정보와 함께 기지국에 보고하면, 기지국이 해당 단말을 위한 neighbor list를 전송하고 단말은 이를 이용하여 추가적인 셀 탐색을 수행하는 방법이 소개되었다. 하지만 위치 정보를 이용하거나 CSG indicator 전송 및 셀 타입 정보를 PCI에 할당하는 방법은 closed access 펌토셀에 대한 핸드오버를 줄이기 위

한 방법이므로 open access나 hybrid access 펌토셀에서 신호의 옥외 누수로 인한 불필요한 셀 탐색 및 핸드오버 시도를 줄일 수 없고, neighbor list를 unicast 하는 경우도 시스템 정보(system information)를 확인하는 회수 및 closed access 펌토셀에 대한 불필요한 핸드오버 시도를 줄일 수 있지만 neighbor list를 unicast하기 때문에 overhead를 증가시킬 수 있고, 단말이 위치정보를 획득하지 못할 경우 적용할 수 없으며, 전력 누수에 의한 옥외 단말의 셀 탐색 및 핸드오버 시도 문제도 여전히 남아있다. [7,8]에서는 마크로셀과 마이크로셀이 중첩되어 있을 때 핸드오버 발생 회수를 줄이고 데이터 throughput을 높이기 위하여 저속 단말에 대하여 마이크로셀로부터 call origination을 하거나 마이크로셀로 handover 시키는 방법이 제안되었고, [9]에서는 고속철에서 빈번한 핸드오버 발생에 따른 latency를 줄이기 위한 방안이 제안되었지만 셀 탐색에 대해서는 고려하지 않았다.

일반적으로 셀 탐색에서 단말은 neighbor list의 마크로셀 기지국의 CINR을 측정하고 neighbor list상의 기지국 ID와 함께 CINR 측정 결과를 보고한다. 펌토셀이 도입될 경우 단말은 neighbor list의 마크로셀 프리앰블에 대한 CINR 측정뿐만 아니라 펌토셀 프리앰블의 CINR도 측정해야 한다. 그런데 마크로셀 내에서 펌토셀 PCI 충돌 문제로 마크로셀 기지국이 펌토셀에 대한 neighbor list를 broadcast할 수 없기 때문에 펌토셀 프리앰블의 CINR 측정과 함께 시스템 정보를 읽어 펌토셀의 ID를 검출하거나 기지국으로부터 unicast되는 펌토셀의 neighbor list를 이용한 추가적인 셀 탐색 과정을 거쳐 펌토셀의 ID를 검출해야 한다. 따라서 neighbor list를 이용하는 셀 탐색 기법과 비교할 때 단말의 전력 소모가 증가할 뿐 아니라 펌토셀 탐색 빈도를 고려할 때 셀 탐색에 대한 overhead 및 call drop이 증가할 수 있다^[10,11]. 또한, 마크로셀 기반 셀룰러 시스템에서 idle mode 단말이 paging 정보를 수신하기 위하여 깨어날 때 CINR 감소 때문에 셀 탐색을 수행하는 경우가 마크로셀 단위로 이동할 때 발생하는 반면, 펌토셀 도입 시에는 펌토셀 단위의 이동에서 마크로셀의 CINR이 감소할 수 있기 때문에 idle mode 단말의 셀 탐색 수행 빈도가 높아져서 UE의 소모 전력 감소 효율을 저하한다^[12].

본 논문에서는 co-channel deployment closed access 펌토셀 주변에서 마크로셀 단말의 동기 소실 문제를 해결하고 펌토셀의 전력 누수 때문에 발생

하는 셀 탐색을 줄이는 방법을 제안한다. 본 논문에서 펠토셀은 펠토셀 내 매크로셀 단말이 동기를 유지하면서 펠토셀의 존재 여부를 파악할 수 있도록 펠토셀 CS(Common Signal)를 전송한다. CS는 특정 매크로셀 내의 펠토셀들이 같은 시간에 공통으로 전송하는 신호이고, CS를 이용하여 측정된 신호 품질을 CSCINR(Common Signal Carrier to Interference and Noise Ratio)이라 명명한다. 매크로셀 단말은 자신의 이동성 및 CSCINR을 측정하여 펠토셀 탐색 수행 여부를 결정한다. 본 논문에서 제안하는 방법을 펠토셀 시스템에 적용할 경우 다음과 같은 이득을 기대할 수 있다. 첫째, 펠토셀 CS 설계 시 매크로셀 내에서 매크로셀 기지국의 CINR이 큰 값으로 유지되도록 설계함으로써 co-channel deployment closed access 펠토셀 영역에서 매크로셀 단말이 동기를 유지하고 idle mode 단말의 셀 탐색 빈도를 줄일 수 있다. 둘째, 매크로셀 단말이 CSCINR을 측정하여 펠토셀 존재 여부를 판단한 후 펠토셀 탐색을 수행하기 때문에 매크로셀과 펠토셀의 셀 탐색을 구분하여 수행할 수 있으므로 셀 탐색 시 검출해야하는 프리앰블의 수를 줄일 수 있다. 셋째, 저속 이동 중인 매크로셀 단말만 펠토셀에 대한 셀 탐색을 수행하므로 옥외에서 이동 중인 매크로셀 단말의 펠토셀 탐색 시도를 줄일 수 있고, 부가적으로 핸드오버 시도의 빈도 감소도 기대할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 펠토셀 CS 생성 및 전송 방법과 CSCINR 측정 및 펠토셀 존재 여부 판단 방법에 대해 기술하고, III장에서는 매크로셀 단말이 자신의 이동성을 판단하는 방법과 펠토셀 탐색 진입 절차에 대한 흐름도를 제시한다. IV장에서는 단말의 이동 속도를 고려할 때 셀 탐색 발생 빈도 감소에 대해 분석한다. V장에서는 CS를 LTE 시스템에 적용할 경우 펠토셀 주변에서 매크로셀 단말의 동기 성능 및 제안한 방법을 적용할 때 얻을 수 있는 셀 탐색 빈도 감소 효과를 모의실험으로 확인한다. 본 논문에서는 co-channel deployment 펠토셀을 고려하고, 단말, 매크로셀 기지국, 펠토셀 기지국을 각각 UE(User Equipment), eNB(evolved NodeB), HeNB(Home eNB)로 명명하며, 매크로셀 UE를 MUE(Macrocell UE)라 표현한다.

II. HeNB CS 생성 및 전송 방법

UE는 프리앰블을 이용하여 자신이 속한 셀의 CINR을 측정한다. CINR은 단말이 셀 경계로 접근할 때 감소하며, CINR의 품질이 특정 값 이하가 될 때 인접 셀로 핸드오버를 수행한다. 하지만 closed access HeNB의 경우 HeNB에 접근이 허용된 UE들만 서비스를 받기 때문에 대부분의 UE들은 HeNB 영역 내에서 매크로셀로부터 서비스를 받아야한다. 따라서 UE는 closed access HeNB 영역 내에서 eNB의 동기를 획득할 수 있어야 하지만 HeNB의 간섭으로 인해 매크로셀 동기 획득에 어려움이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 HeNB 주변의 MUE가 동기를 유지할 수 있도록 HeNB가 CS를 전송하는 방법을 제안한다. CS는 HeNB가 포함된 매크로셀의 프리앰블과 동일한 시퀀스로 생성되며 eNB의 프리앰블과 같은 심볼 구간에 전송된다. HeNB가 air-interface snooping 방법^{2,13)}으로 동기를 획득한 후 자신의 신호를 송신할 경우 CS는 HeNB 주변에서 매크로셀의 프리앰블과 동일한 심볼 구간에 UE에게 도달하기 때문에 HeNB 주변에서 매크로셀의 CINR이 큰 값으로 유지되어 MUE가 HeNB 주변에서 동기를 유지할 수 있다. 하지만 CS를 이용하여 HeNB 주변에서 eNB의 프리앰블을 검출하더라도 HeNB와 MUE 간 CFO(Carrier Frequency Offset)와 MUE와 eNB 간 CFO 차 때문에 ICI(Inter-carrier Interference)가 발생할 수 있으므로 HeNB는 CS 전송 시 시간 영역에서 위상 회전된 신호를 송신하여 HeNB 주변에서 MUE가 ICI를 경험하지 않도록 한다. 그런데 HeNB 주변에서 매크로셀의 CINR이 큰 값으로 유지되면 MUE가 동기를 유지할 수는 있지만 HeNB 존재 여부를 인식할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 HeNB는 프레임 단위로 CS의 위상을 π 만큼 회전하여 송신하고, MUE는 CS의 프레임 간 위상차를 이용하여 CSCINR를 측정함으로써 HeNB의 존재 여부를 판단한다. 다음 식은 HeNB가 포함된 매크로셀의 프리앰블과 본 논문에서 제안하는 CS의 관계를 보여주는 식이다.

$$\begin{aligned}
 x_{CS_s,t,r}(n) &= e^{jn(t\%2+1/2)} x_{P_r}(n) e^{j2\pi\epsilon_s n} \\
 &= e^{jn(t\%2+1/2)} \sum_{k=0}^{N_{fft}-1} X_{P_r}(k) e^{j\frac{2\pi kn}{N_{fft}}} e^{j2\pi\epsilon_s n}
 \end{aligned}$$

where $0 \leq n \leq N_{fft} - 1$

(1)

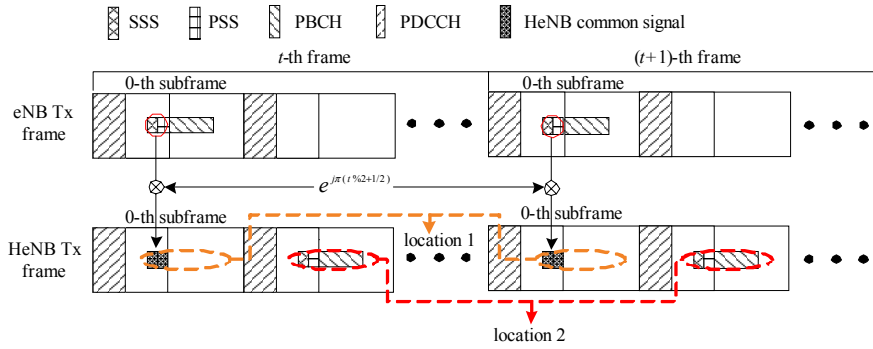


그림 1. HeNB 공통 신호를 적용한 eNB 송신 프레임 구조
Fig. 1. A frame structure of eNB employing a HeNB common signal

여기서 $\%$, t , r , s , $x_{CS,t,r}$, $x_{P,r}$, $X_{P,r}$, ϵ_s , N_{fft} 는 각각 modulo 연산자, 프레임 인덱스, 프레임 내 심볼 인덱스, HeNB 노드의 인덱스, t 프레임 구간의 r 번째 심볼 구간에서 HeNB가 전송하는 CS, HeNB가 포함된 매크로셀의 프리앰블의 시간 영역 신호, 매크로셀 프리앰블의 주파수 영역 신호, eNB와 s 번째 HeNB 간의 CFO, FFT 크기이다. 그리고 LoS (Line-of-Sight) 환경에서 HeNB의 CS와 eNB의 SS(Synchronization Signal)를 수신하였을 때 두 신호가 상쇄되지 않도록 위상을 0.5π 만큼 추가적으로 회전시킨다.

CS는 HeNB의 PCI 정보를 포함하고 있지 않기 때문에 PCI 정보를 포함하는 프리앰블을 전송해야 한다. 매크로셀을 위해 설계된 프리앰블 후보 중에서 HeNB 프리앰블을 선택할 경우 eNB로부터 수신한 신호의 전력보다 HeNB로부터 수신한 신호의 전력이 클 때 초기 동기화 절차에서 eNB 또는 HeNB를 검출할 수 있으므로 closed access HeNB 주변에서 매크로셀 동기 획득에 실패할 가능성이 존재한다. 이러한 이유로 eNB와 HeNB의 프리앰블을 서로 다른 집합에서 선택하고, 초기 동기화 절차 중 eNB의 프리앰블들만 검출함으로써 초기 동기화 절차에서 HeNB가 UE에게 transparent하게 만든다.

그림 1은 normal CP(Cyclic Prefix)를 이용하는 LTE 시스템에서 HeNB가 CS를 전송하는 예를 보여준다. 그림에서 HeNB는 eNB가 SS를 전송하는 자원(location 1)에서 CS를 송신하고 CS의 다음 부프레임(sub-frame)의 location 2에서 SS 및 BCH(broadcast channel)를 전송한다. 그런데 CS의 수신 전력은 location 2에서 수신한 신호의 전력과의 동일할 것이므로 HeNB가 location 2에서 SS를 송신한다면 UE가 HeNB에 인접하여 eNB로부터의 수신 전력보다 HeNB로부터의 수신 전력이 월등

히 클 때 초기 동기화 절차의 셀 탐색 과정에서 eNB 또는 HeNB를 검출할 수 있다. 따라서 closed access HeNB 주변에서 eNB 검출에 실패할 가능성이 존재한다. 이러한 이유로 본 논문에서는 초기 동기화 절차에서 UE가 HeNB를 검출하지 않도록 location 2에서 LTE 시스템의 PSS 대신에 HeNB를 위한 시퀀스인 HSS(HeNB Synchronization Signal)를 전송하는 것을 제안한다. HSS는 PSS 처럼 HeNB의 cell ID 정보를 포함하는 시퀀스이다. HSS는 LTE 시스템에서 사용되는 Zadoff-chu 시퀀스의 root index 중 25, 29, 34를 제외한 값 중에서 cross-correlation 특성, frequency offset sensitivity, cubic metric^[14]을 기준으로 선정한다. Cross-correlation 특성과 frequency offset sensitivity는 각각 root index에 따른 상호 상관 값을 비교한 결과, 반송파 주파수가 2GHz이고 오실레이터 오차 범위가 $-5\sim 5$ ppm일 때 자기 상관의 desired peak의 크기에 대한 undesired peak 크기의 비를 평균한 값이다. Zadoff-chu 시퀀스의 root index 간 차가 시퀀스 길이와 서로소일 때 Zadoff-chu 시퀀스 간 cross-correlation 특성^[15]이 좋기 때문에 root index 간의 차가 63과 서로소인 root index 중 frequency offset sensitivity와 cubic metric 특성이 좋은 시퀀스를 선택하여 HSS로 사용한다. 본 논문에서는 앞서 기술한 특성을 고려하여 23, 28, 40을 HSS를 위한 root index로 선택하고 cell ID 0, 1, 2를 각각 28, 23, 40의 root index에 할당한다. Root index 23, 28, 40의 frequency offset sensitivity는 대략적으로 각각 0.43, 0.4, 0.43이며, raw cubic metric은 각각 3.28dB, 2.3dB, 3.28dB이다. HSS를 적용할 경우 UE가 초기 동기화 절차에서 PSS에 대한 검출만 수행하면 HeNB의 존재는 UE에게 transparent하므로 초기 동기화 절차에서 MUE는 eNB의 동기를 획득할 수 있다.

프레임 내 r 번째 심볼 구간에서 eNB의 프리엠블이 전송된다고 가정할 때 t 번째 프레임의 프리엠블 구간에서 k 번째 부반송파로 수신한 eNB 프리엠블과 HeNB CS의 수신 신호는 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 Y_{t,r}(k) &= \sum_{n=0}^{N_{fft}-1} y_{t,r}(n) e^{-j2\pi kn/N_{fft}} \\
 &= \sum_{n=0}^{N_{fft}-1} \left\{ y_{eNB,t,r}(n) + \sum_{s=0}^{S_{HeNB}-1} y_{s,t,r}(n) \right\} \\
 &\quad \times e^{-j2\pi kn/N_{fft}} \\
 &= H_{eNB,t,r}(k) X_{P_r}(k) e^{-j2\pi k/N_{fft}} \\
 &\quad + e^{j\pi(t\%2+1/2)} \sum_{s=0}^{S_{HeNB}-1} \left\{ H_{s,t,r}(k) X_{P_r}(k) \right\} \\
 &\quad \times e^{-j2\pi k\delta_s/N_{fft}} \\
 &\quad + W_{t,r}(k)
 \end{aligned} \tag{2}$$

여기서 y , S_{HeNB} , δ_s , H , X , W 는 각각 시간 영역 수신 신호, 마크로셀 내 HeNB의 수, eNB로부터 수신한 신호의 전송 지연을 기준으로 계산한 s 번째 HeNB로부터 수신한 신호의 전송 지연 값, 채널의 주파수 응답, 송신 신호의 주파수 영역 심볼, AWGN(Added White Gaussian Noise) 잡음 성분이다.

CSCINR은 FFT 기반으로 추정된 채널 임펄스 응답을 이용하여 측정된다. 식 (2)의 수신 신호를 이용하여 FFT 기반으로 추정한 채널의 임펄스 응답은 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 \hat{h}_{t,r}(n) &= \sum_{k=0}^{N_{sync}-1} Y_{t,r}(p(k)) X_{P_r}(p(k))^* e^{\frac{j2\pi kn}{N_{sync}}} \\
 &= \sum_{k=0}^{N_{sync}-1} H_{eNB,t,r}(p(k)) e^{\frac{j2\pi kn}{N_{sync}}} \\
 &\quad + e^{j\pi(t\%2+1/2)} \sum_{s=0}^{S_{HeNB}-1} \sum_{k=0}^{N_{sync}-1} \left\{ H_{s,t,r}(p(k)) \times \right. \\
 &\quad \left. - \left(\frac{j2\pi p(k)\delta_s}{N_{fft}} - \frac{j2\pi kn}{N_{sync}} \right) \right\} \\
 &\quad + \hat{w}_{t,r}(n) \\
 &= h_{eNB}(n) + e^{j\pi(t\%2+1/2)} h_{HeNB}(n) + \hat{w}_{t,r}(n)
 \end{aligned} \tag{3}$$

where

$$\begin{aligned}
 h_{eNB}(n) &= \left\{ (\rho_{eNB} D_{eNB,UE}^{-\beta_{eNB}}) P_{Tx,eNB} \right\}^{-1/2} \gamma_{eNB}(n), \\
 h_{HeNB}(n) &= \sum_{s=0}^{S_{HeNB}-1} h_s(n) \\
 &= e^{j\pi(t\%2+1/2)} \sum_{s=0}^{S_{HeNB}-1} \left\{ (\rho_{HeNB} D_{s,UE}^{-\beta_{HeNB}}) \right. \\
 &\quad \left. \times P_{Tx,s} \right\}^{-1/2} \gamma_s(n)
 \end{aligned}$$

여기서 ρ_z , $D_{z,UE}$, β_z , $P_{Tx,z}$, N_{sync} , $p(k)$, $\gamma_z(n)$,

\hat{w} 는 각각 기지국 z 에 대한 경로 손실 상수, 기지국 z 와 UE의 거리, 기지국 z 에 대한 경로 손실의 지수항, 기지국 z 의 송신 전력, 채널 임펄스 응답을 추정할 때 사용되는 IFFT 크기, 채널 임펄스 응답 추정 시 IFFT의 k 번째 주파수 인덱스에 해당하는 $Y_{t,r}$ 의 부반송파 인덱스, 기지국 z 와 UE 간 채널의 n 번째 샘플의 계수, 추정 오차를 포함하는 잡음 성분이다.

식 (3)에서 추정된 채널 임펄스 응답을 이용하여 다음 식과 같이 CSCINR을 측정한다.

$$CSCINR = \frac{\max \left\{ \left| \hat{h}_{t+1,r_1}(n) + \hat{h}_{t,r_2}(n) \right|^2 \right\}}{\max \left\{ \left| \hat{h}_{t+1,r_1}(n) - \hat{h}_{t,r_2}(n) \right|^2 \right\}} \tag{4}$$

여기서 r_1 과 r_2 는 각각 CSCINR 측정을 위해 사용되는 프리엠블의 프레임 내 심볼 인덱스를 의미한다.

MUE가 저속으로 이동하여 $h_{t+1,r_1}(n) \approx h_{t,r_2}(n)$ 의 조건을 만족한다고 가정할 때 (4)의 $\hat{h}_{t+1,r_1}(n) + \hat{h}_{t,r_2}(n)$ 와 $\hat{h}_{t+1,r_1}(n) - \hat{h}_{t,r_2}(n)$ 는 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 &\hat{h}_{t+1,r_1}(n) + \hat{h}_{t,r_2}(n) \\
 &= \left\{ (\rho_{eNB} D_{eNB,UE}^{-\beta_{eNB}}) P_{Tx,eNB} \right\}^{-1/2} \gamma_{eNB}(n) + w_1(n) \\
 &= \hat{h}_{eNB,t}(n) \\
 &\hat{h}_{t+1,r_1}(n) - \hat{h}_{t,r_2}(n) \\
 &= 2e^{j\pi/2} \sum_{s=0}^{S_{HeNB}-1} \left\{ \rho_{HeNB} D_{s,UE}^{-\beta_{HeNB}} \right. \\
 &\quad \left. \times P_{Tx,s} \right\}^{-1/2} \gamma_s(n) + w_2(n) \\
 &= \hat{h}_{HeNB,t}(n)
 \end{aligned} \tag{5}$$

위 식에서 $\hat{h}_{eNB,t}(n)$ 과 $\hat{h}_{HeNB,t}(n)$ 는 각각 eNB로부터 수신한 신호와 HeNB로부터 수신한 신호가 경험한 채널의 임펄스 응답 추정 값이므로 CSCINR은 채널 임펄스 응답의 최대 값의 비로 표현된다.

식 (6)은 HeNB 존재 여부 판별식이다. 식 (6)에서 condition 1은 MUE가 마크로셀과 펠토셀 경계에 있는 조건, condition 2는 마크로셀 간 경계에 있는 조건으로 MUE는 마크로셀 간 신호 품질인 CINR과 마크로셀과 펠토셀 간 신호 품질인 CSCINR 측정 결과가 condition 1에 해당할 경우

펠토셀 탐색을 수행하고, condition 2를 만족할 경우 매크로셀 탐색을 수행한다. CS가 적용되지 않은 기존 방법에서는 셀 탐색 시 neighbor list 상의 매크로셀 프리앰블과 펠토셀에 할당된 프리앰블을 모두 검출해야 하지만 펠토셀 경계와 매크로셀 경계를 구분할 경우 셀 탐색 수행 시 neighbor list 상의 매크로셀의 프리앰블과 펠토셀에 할당된 프리앰블 집합 중 택일하여 검출하면 되므로 셀 탐색 시 검출해야 할 프리앰블 수를 줄일 수 있다. 본 논문에서 CINR의 정의는 간섭과 잡음 전력의 합에 대한 수신 신호 전력의 비로 정의한다.

$$\text{condition 1)} \quad (CSCINR \leq Th) \& (CINR > Th_M) \quad (6)$$

$$\text{condition 2)} \quad (CINR \leq Th_M)$$

$$\text{where } CINR = \frac{P_{Rx, \text{servingeNB}}}{P_{Rx} - P_{Rx, \text{servingeNB}}}$$

여기서 Th , Th_M 는 매크로셀과 펠토셀 간 CSCINR에 대한 문턱 값과 매크로셀 간 CINR에 대한 문턱 값이고, P_{Rx} 와 $P_{Rx, \text{servingeNB}}$ 는 각각 수신 전력과 serving eNB로부터 수신한 신호의 전력이다.

하지만 식 (6)의 CSCINR의 측정 및 HeNB 존재 판단은 $h_{t+1, r_1}(n) \approx h_{t, r_2}(n)$ 조건을 만족할 경우에만 유효하다. 따라서 MUE가 CSCINR을 이용하기 위해서는 자신의 이동성을 측정하여 CSCINR 유효성을 판단해야 한다. 다음 장에서 MUE가 자신의 이동성을 측정하여 CSCINR의 유효성을 판단하는 방법을 설명한다.

III. MUE의 이동성 측정

MUE의 이동성 측정 결과는 CSCINR의 유효성 판단 근거로 이용될 수 있는 동시에 MUE의 펠토셀 탐색 시도의 판단 근거로도 활용될 수 있다. 펠토셀의 좁은 영역을 고려할 때 이동 중인 MUE는 빈번한 펠토셀 탐색 및 핸드오버를 경험할 수 있기 때문에 시스템 성능이 열화되고, 단말의 전력 소모 및 call drop이 증가할 가능성이 있다. 반면에 저속 이동 중인 단말의 경우 펠토셀로부터의 간섭 및 링크의 품질을 고려하여 펠토셀로의 핸드오버를 수행하면 데이터 throughput을 높일 수 있다^[7,8,16]. 따라서 저속의 MUE들만 펠토셀 탐색을 수행하도록 하

는 것이 효율적이다.

UE의 이동성을 판단하는 방법으로 UE가 셀을 통과하는 데 걸리는 시간을 기반으로 단말의 이동성을 추정하고 핸드오버 수행 여부를 결정하는 방식^[17]과 수신 신호를 이용하여 이동성을 측정하는 crossing 기반 방식^[18]과 채널의 상관 기반 방식^[19] 등이 제안되었다.

하지만 핸드오버 또는 셀 탐색 수행 결과를 이용할 경우 펠토셀 탐색의 빈도 때문에 셀 탐색 및 핸드오버 overhead 감소에 효과적이지 못하다. 따라서 본 논문에서는 셀 탐색 수행 전 수신 신호를 이용하여 MUE의 이동성을 판단함으로써 overhead 증가를 줄인다.

본 논문에서는 상관 방식을 이용하여 MUE의 저속 이동 여부를 판별하는데, MUE의 최대 도플러 주파수 및 속력을 추정하기 보다는 채널 상관을 문턱 값과 비교하여 채널의 변화 정도를 결정함으로써 MUE의 저속 이동 여부를 결정한다. 상관 측정 시에 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반 시스템에 적합하도록 주파수 영역 채널 추정 값을 이용하며, OFDMA 심볼 구간의 배수만큼 시간 차가 발생하도록 추정된 채널 값을 곱한 후 프레임 단위로 weighted average를 수행하여 해당 시간차에 대한 상관 값을 측정한다.

MUE는 채널의 시간 상관을 측정하기 위해 주파수 영역 수신 신호 Y_{t, r_1} , Y_{t, r_2} , Y_{t, r_3} 를 이용하고, 이 중 r_3 번째 신호를 이용하여 서비스 받고 있는 매크로셀에 대한 채널 추정을 수행한다. 그리고 추정된 채널과 r_1 , r_2 번째 OFDMA 심볼에서 수신한 known 심볼을 이용하여 weighted average를 수행함으로써 채널 상관 값을 구한다. 채널 추정 시 잡음 제거를 위해 FFT 기반 채널 추정 기법을 고려하였고, known 신호는 r_1 , r_2 , r_3 에 따라 프리앰블 심볼 또는 파일럿 심볼이 될 수 있다. 다음 식은 weighted average를 적용하여 측정된 상관 값을 보여준다.

$$C_{r_m} = (1 - \alpha)C_{r_m} + \alpha C_{t, r_m}, \quad m = 1, 2 \quad (7)$$

where

$$\begin{aligned} C_{t, r_m} &= \sum_{k=0}^{N_{\text{known}}-1} Y_{t, r_m}(q(k)) X_{r_m}(q(k))^* \widehat{H}_{t, r_3}(q(k))^* \\ &= \sum_{k=0}^{N_{\text{known}}-1} (H_{t, r_m}(q(k)) H_{t, r_3}(q(k))^*) + \widetilde{W}_t \end{aligned}$$

여기서 \hat{H} , N_{known} , α , $q(k)$, \bar{w} 는 각각 채널 추정 값, known 심볼 시퀀스의 원소 수, average weight, known 심볼 시퀀스의 k 번째 원소가 할당 되는 부반송파 인덱스, 채널 상관 추정 결과의 잡음 성분이다. 식 (7)에서 weighted average를 수행하는 구간이 증가할수록 \bar{w} 는 0으로 수렴한다.

식 (7)에서 C_{r_m} 는 weight의 영향, eNB의 송신 전력, 경로 손실에 영향을 받기 때문에 C_{r_1} 을 C_{r_2} 로 나누어 정규화 한다. r_3 가 r_2 에 매우 가까운 값이라면 C_{r_2} 는 상관이 1인 채널에 대해 weighted average를 수행한 값으로 근사화된다. 따라서 C_{r_1} 을 C_{r_2} 로 나누어 weight의 영향, eNB의 송신 전력, 경로 손실의 영향을 제거할 수 있다. Jakes 채널 모델을 가정할 때 C_{r_1} 을 C_{r_2} 로 나누어 정규화한 상관 값 C 가 다음 식을 만족할 때 MUE는 자신이 저속 이동 중이라고 판단한다.

$$C = |C_{r_1}/C_{r_2}| = J_0(2\pi(v/\lambda)|r_2 - r_1|) + e_c \geq Th_c \tag{8}$$

여기서 v , λ , T_{sym} , $J_0(x)$, e_c , Th_c 는 각각 단말의 속력, 반송파의 파장, OFDMA 심볼 길이, 제 1종 0차 Bessel 함수, 상관 추정의 오차, 이동성 판단을 위한 문턱 값이며, $J_0(2\pi(v/\lambda)|r_2 - r_1|)$ 는 Jakes 채널 모델의 채널 상관을 의미한다. e_c 는 weighted average를 수행하는 구간이 증가할수록 감소하기 때문에 충분히 weighted average를 수행하면 C 는 $J_0(2\pi(v/\lambda)|r_2 - r_1|)$ 에 근접한 값이 된다. 보행자 수준의 속력으로 이동하여 v 가 충분히 작을 때 $J_0(2\pi(v/\lambda)|r_2 - r_1|)$ 는 v 의 단조 함수가 되므로 $J_0(2\pi(v/\lambda)|r_2 - r_1|)$ 로부터 v 를 추정할 수 있지만, v 가 큰 경우에는 일 대 다 매핑이 되므로 $J_0(2\pi(v/\lambda)|r_2 - r_1|)$ 로부터 v 를 추정할 수 없다²⁰⁾. 따라서 펠토셀의 서비스 영역을 고려할 때 펠토셀 탐색 빈도를 줄이기 위하여 보행자 수준의 속력으로 이동하는 MUE에게만 펠토셀 탐색을 허용한다고 가정하면 식 (8)를 적용하여 MUE의 이동성을 판단할 수 있다.

그림 2는 본 논문에서 제안하는 CS를 이용한 HeNB 셀 탐색 수행 여부 판단 및 셀 탐색 절차의 흐름도이다. 이 그림에서 UE가 망에 초기 진입할 때 매크로셀에 대한 셀 탐색 및 동기화 절차를 수행한 후 매크로셀에 대한 CINR과 자신의 이동성을

측정하기 시작한다. 이동성 측정 결과 저속으로 이동 중이라고 판별될 경우 CSCINR을 측정하고, CINR 측정 결과와 CSCINR 측정 결과를 이용하여 자신이 매크로셀 또는 펠토셀 경계에 존재하는 지 판단한 후 상황에 맞게 셀 탐색을 시작한다. 하지만 고속 이동 환경이라 판단되면 매크로셀과의 연결을 유지하고 서비스를 받는다.

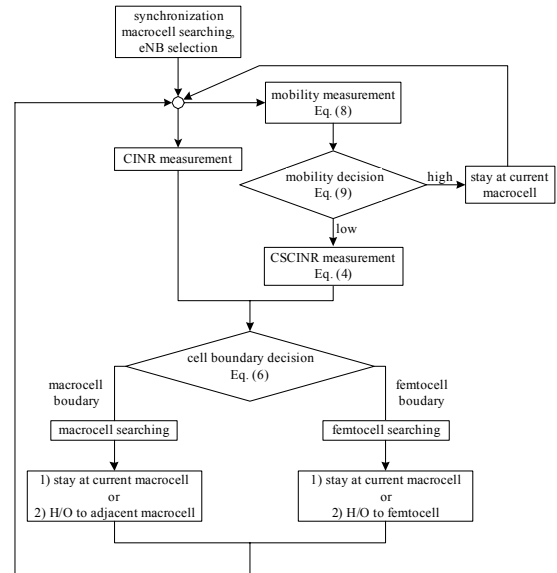


그림 2. CS 적용 시 UE의 셀 탐색 진입 절차 흐름도
Fig. 2. A flowchart of cell searching procedure for a UE when CS is employed.

IV. MUE의 이동 속도에 대한 펠토셀 탐색 빈도 분석

본 장에서는 MUE가 이동성을 판단한 후 펠토셀 탐색 수행 여부를 결정함으로써 얻을 수 있는 셀 탐색 빈도 감소 효과에 대해 분석한다. MUE는 CSCINR이 정해진 범위 내에 있을 경우 셀 탐색을 수행한다. 따라서 HeNB 셀 탐색 수행이 허용되는 최대 속력(v_{max})이 주어질 때 MUE가 v_{max} 이하인 속력으로 이동 중일 확률과 매크로셀 내에서 CSCINR이 정해진 범위 내의 값을 갖는 확률로부터 셀 탐색 수행 빈도를 계산할 수 있다. 식 (4)에서 CSCINR은 식 (5)의 채널 임펄스 응답의 최대 값의 비로 표현되기 때문에, CSCINR이 m 보다 작은 확률은 eNB의 채널 임펄스 응답과 HeNB의 채널 임펄스 응답에서 특정 샘플이 최대 값으로 선택될 확률과 각 샘플의 분산으로 표현할 수 있다. 식 (3)에서 FFT 기반 채널 추정을 이용하여 채널 임펄

스 응답을 추정하는데 이는 시간 영역에서 known 신호와 수신 프리앰블의 상호 상관 연산으로 표현되므로 잡음 평균(noise average) 효과를 얻을 수 있다. 따라서 채널 임펄스 응답의 각 샘플에서 잡음의 영향은 크지 않다고 볼 수 있으므로 분석 수행 시 편의를 위해 잡음의 영향은 무시한다.

eNB와 HeNB로부터 수신한 신호가 경험하는 채널 임펄스 응답인 $h_{eNB}(n)$ 과 $h_{HeNB}(n)$ 가 평균이 0인 complex gaussian 분포를 갖는다고 가정할 때 $h_{eNB}(n)$ 과 $h_{HeNB}(n)$ 의 각 샘플의 분산은 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} \sigma_{h_{eNB}(n)}^2 &= E\left[\left|\left(\rho_{eNB} D_{eNB,UE}^{-\beta_{eNB}} P_{Tx,eNB}\right)^{\frac{1}{2}} \gamma_{eNB}(n)\right|^2\right] \\ &= \rho_{eNB} D_{eNB,UE}^{-\beta_{eNB}} P_{Tx,eNB} \sigma_{\gamma_{eNB}(n)}^2 \\ \sigma_{h_{HeNB}(n)}^2 &= E\left[\left|\sum_{s=0}^{S_{HeNB}-1} \left(\rho_{HeNB} D_{s,UE}^{-\beta_{HeNB}}\right)^{\frac{1}{2}} \times P_{Tx,s} \gamma_s(n)\right|^2\right] \\ &= \sum_{s=0}^{S_{HeNB}-1} \rho_{HeNB} E\left[D_{s,UE}^{-\beta_{HeNB}} P_{Tx,s}\right] \sigma_{\gamma_s(n)}^2 \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 $E[a]$ 와 σ_a^2 은 랜덤 변수 a 의 평균과 분산을 의미한다.

식 (9)에서 $D_{s,UE}$ 와 $P_{Tx,s}$ 에 대하여 평균을 구하면 $D_{eNB,UE}$ 에 따른 확률을 구할 수 있지만, $D_{s,UE}$ 와 $P_{Tx,s}$ 에 관한 평균을 구하는 것은 어렵기 때문에 다음과 같이 펠토셀 시스템에 적합한 가정을 하여 간략화 한다. 첫째, eNB를 기준으로 거리가 $D_{eNB,UE}$ 인 위치에 존재하는 MUE에서 반경 ψ_m 이내의 HeNB의 송신 전력은 동일하며, MUE로부터 ζ m에 존재하는 HeNB로부터 수신한 전력이 eNB로부터 수신한 신호의 전력과 동일하도록 HeNB 송신 전력을 설정한다. 둘째, 펠토셀의 특성상 매크로셀의 반경을 R 이라고 할 때 $\psi \ll R$ 가 된다. 셋째, MUE로부터 $D_{s,UE}$ 가 $3\psi(\gg \zeta)$ m 이상인 지점에 존재하는 HeNB는 고려하지 않는다. 그림 3은 앞의 세 가지 가정을 고려한 분석 환경을 보여준다. $D_{s,UE}$ 가 ψ_{limit} m 이하인 영역에 HeNB가 존재하지 않는다고 가정할 때 near region은 $D_{s,UE}$ 가 $[\psi_{limit}, \psi]$ 인 영역이고, far region은 MUE에서 2ψ 인 거리의 임의의 점을 중심으로 한 반지름이 ψ 인 6개의 서로 겹치지 않는 원으로 구성된다. Near region과 far region의 각각의 원에는 동일한 개수의 HeNB들이 원의 중심을 기준으로 uniform하게 분포하며, HeNB들이 포

함된 원의 중심을 기준으로 HeNB들의 $P_{Tx,s}$ 를 정한다. 그리고 θ_{FHeNB} 는 $[0, 2\pi)$ 범위에서 uniform한 분포를 갖는 랜덤 변수로, 6개의 far region들 중 기준이 되는 원의 중심과 near region의 중심이 이루는 각도를 의미한다. 따라서 near region에 포함된 HeNB(NHeNB)들은 동일한 송신 전력을 갖는 반면에 far region의 HeNB(FHeNB)들은 θ_{FHeNB} 에 따라 서로 다른 $P_{Tx,s}$ 를 갖는다.

앞서 기술한 환경 하에서 eNB와 HeNB의 경로 손실을 각각 $15.3+40\log_{10}(D_{eNB,UE})$ [dB]와 $127+30\log_{10}(D_{HeNB,UE}/1000)$ [dB]라고 하면^[21], $\sigma_{h_{HeNB}(n)}^2$ 는 다음과 같이 근사화 된다.

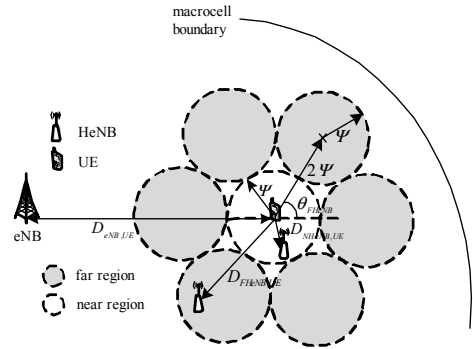


그림 3. 분석 및 모의실험을 위한 환경
Fig. 3. The environment for analysis and simulation

$$\begin{aligned} \sigma_{h_{HeNB}(n)}^2 &\simeq \sigma_{h_{NHeNB}(n)}^2 + \sigma_{h_{FHeNB}(n)}^2 \quad (10) \\ \sigma_{h_{NHeNB}(n)}^2 &= \rho_{HeNB} P_{Tx,NHeNB} \\ &\quad \times \sum_{u=0}^{S_{NHeNB}-1} E\left[D_{u,UE}^{-\beta_{HeNB}}\right] \sigma_{\gamma_u(n)}^2 \\ \sigma_{h_{FHeNB}(n)}^2 &\simeq \rho_{HeNB} \sum_{q=0}^{S_{FHeNB}-1} \left(E\left[P_{Tx,q}\right] \times \right. \\ &\quad \left. E\left[D_{q,UE}^{-\beta_{HeNB}}\right] \sigma_{\gamma_q(n)}^2 \right) \end{aligned}$$

where

$$\begin{aligned} P_{Tx,NHeNB} &= \rho_{eNB} S^{\beta_{HeNB}} P_{Tx,eNB} (\rho_{HeNB} D_{eNB,UE}^{\beta_{eNB}})^{-1} \\ E\left[D_{u,UE}^{-\beta_{HeNB}}\right] &= \int_{\psi_{limit}}^{\psi} a^{-\beta_{HeNB}} \left(\frac{2a}{(\psi^2 - \psi_{limit}^2)} \right) da \\ &= 2(\psi \psi_{limit} (\psi + \psi_{limit}))^{-1} \\ E\left[P_{Tx,q}\right] &= \rho_{eNB} \rho_{HeNB} S^{\beta_{HeNB}} P_{Tx,eNB} \\ &\quad \times \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \left(D_{eNB,UE}^2 + (2\psi)^2 + 4D_{eNB,UE} \psi \cos\theta \right)^{-2} d\theta \\ &= \frac{\rho_{eNB} S^{\beta_{HeNB}} P_{Tx,eNB} (D_{eNB,UE}^2 + (2\psi)^2)}{\rho_{HeNB} (D_{eNB,UE}^2 - (2\psi)^2)^3} \\ E\left[D_{q,UE}^{-\beta_{HeNB}}\right] &= \int_{\psi}^{3\psi} a^{-\beta_{HeNB}} \left(\frac{2a}{(3\psi)^2 - \psi^2} \right) da = (6\psi^3)^{-1} \end{aligned}$$

여기서 u , q , $\sigma_{h_{NHeNB}(n)}^2$ 와 $\sigma_{h_{FHeNB}(n)}^2$ 는 각각 NHeNB 노드 인덱스, FHeNB 노드 인덱스, NHeNB 채널 임펄스 응답의 n 번째 샘플의 분산, FHeNB 채널 임펄스 응답의 n 번째 샘플의 분산을 의미하고, S_{NHeNB} 와 S_{FHeNB} 는 각 region에 포함된 HeNB의 수를 의미한다.

$\gamma_z(n)$ 의 각 샘플이 서로 독립이고 평균이 0인 complex gaussian 분포를 따른다고 가정할 때 l 번째 샘플이 $|\gamma_z(n)|^2$ 의 최대 값일 확률은 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned}
 & F_{\max|\gamma(n)|^2}(l) \tag{11} \\
 &= \int_0^\infty \left\{ \prod_{\substack{n=0, \\ n \neq l}}^{L-1} \int_0^{|\gamma(l)|^2=b} \frac{1}{\sigma_{\gamma(n)}^2} e^{-a/\sigma_{\gamma(n)}^2} da \right. \\
 & \quad \left. \times \frac{1}{\sigma_{\gamma(l)}^2} e^{-b/\sigma_{\gamma(l)}^2} \right\} db \\
 &= \int_0^\infty \underbrace{\left\{ \prod_{\substack{n=0, \\ n \neq l}}^{L-1} (1 - e^{-b/\sigma_{\gamma(n)}^2}) \right\}}_{\Rightarrow A1} \frac{1}{\sigma_{\gamma(l)}^2} e^{-b/\sigma_{\gamma(l)}^2} db \\
 &= \int_0^\infty \left\{ \underbrace{\sigma_{\gamma(l)}^{-2} e^{-b/\sigma_{\gamma(l)}^2}}_{\Rightarrow A2} \times \left[1 + \sum_{m=1}^{L-1} \left\{ \frac{(-1)^m \times}{\sum_{k_1=0}^{L-1} C_m^{-1} m^{-1} \prod_{k_2=0}^{m-1} \left(e^{-\frac{b}{\sigma_{\gamma}^2(\lambda(k_1, k_2; l, m))}} \right)} \right\} \right] \right\} db \\
 &= 1 + \sum_{m=1}^{L-1} \left\{ \underbrace{\sigma_{\gamma(l)}^{-2} (-1)^m}_{\Rightarrow A2} \times \left(\sum_{k_1=0}^{L-1} C_m^{-1} \left(\sum_{k_2=0}^{m-1} \frac{1}{\sigma_{\gamma}^2(\lambda(k_1, k_2; l, m))} + \frac{1}{\sigma_{\gamma(l)}^2} \right) \right)^{-1} \right\}
 \end{aligned}$$

여기서 L , a , C_b 는 각각 $\gamma_z(n)$ 의 길이, a 개 중 b 개를 선택할 경우의 수이다. 식 (11)에서 A1은 $\exp(-b/\sigma_{\gamma(n)}^2)$ 에 대한 $L-1$ 차 다항식이며, 전개하면 $\exp(-b/\sigma_{\gamma(n)}^2)$ 에 대한 다항식 A2와 같이 표현할 수 있다. $\gamma_z(n)$ 에서 l 번째 샘플이 최대일 때 A2의 k_1 번째 m 차 항을 생성하기 위하여 k_2 번째로 곱해지는 원소는 $\exp(-b/\sigma_{\gamma}^2(\lambda(k_1, k_2; l, m)))$ 가 되며, $\lambda(k_1, k_2; l, m)$ 은 해당 원소의 $\gamma_z(n)$ 내 샘플 인덱스를 의미한다.

l 과 m 이 $|h_{eNB}(n)|^2$ 와 $|h_{HeNB}(n)|^2$ 의 최대값의 샘플 인덱스라고 할 때 $D_{eNB, UE}$ 에 위치하는 MUE가 측정된 CSCINR이 Th 보다 작은 확률은 식 (9)과 식 (11)를 이용하여 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & F_{CSCINR}(Th|D_{eNB, UE}) \\
 & \approx \sum_{l=0}^{L-1} \sum_{m=0}^{L-1} \left\{ F_{CSCINR}(Th|D_{eNB, UE}, l, m) \times \right. \\
 & \quad \left. F_{\max|h_{eNB}(n)|^2}(l) F_{\max|h_{HeNB}(n)|^2}(m) \right\} \\
 & \text{where} \\
 & F_{CSCINR}(Th|D_{eNB, UE}, l, m) \\
 & = \left(1 - \frac{\sigma_{h_{eNB}(l)}^2}{Th \sigma_{h_{HeNB}(m)}^2 + \sigma_{h_{eNB}(l)}^2} \right) \tag{12}
 \end{aligned}$$

그림 4는 식 (12)의 확률 값과 모의실험 결과를 보여준다. 그림 4에서 고려하는 S_{NHeNB} 과 S_{FHeNB} 는 각각 1과 6 또는 2와 12이며, R , $D_{eNB, UE}$, Ψ_{limit} , Ψ , ζ , N_{FHeNB} 는 각각 1000m, 300m, 5m, 35m, 10m, 6이다. 그리고 모의실험에서는 마크로셀 수신 신호의 전력을 기준으로 SNR(Signal to Noise Ratio) 5dB의 잡음 환경과 ITU-R PedB 채널 모델 [22], 3km/h의 이동성을 고려하였다. 이 그림에서 S_{NHeNB} 가 1인 경우 식 (12)의 분석 결과와 모의실험 결과가 거의 일치하지만, 2인 경우 분석 결과와 모의실험 결과 간에 차이가 존재하는 것을 볼 수 있다. 이 차이는 식 (10)에서 σ_{FHeNB}^2 를 근사화할 때 존재하는 오차 때문에 발생하는 것으로 S_{FHeNB} 가 증가할수록 분석 결과와 모의실험 간 차이가 증가한다.

마크로셀 내 단말 속력의 PDF를 $f_V(v)$ [7]라고 할 때 CSCINR이 Th_H 이하이고 Th_L 이상이 경우 펄스 셀 탐색을 수행한다고 가정하면, eNB에서 거리가 $D_{eNB, UE}$ 인 MUE가 v_{max} 이하인 속력에서 셀 탐색을 수행할 확률은 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \mu_{search}(D_{eNB, UE}, v_{max}) \tag{13} \\
 &= F(Th_L \leq CSCINR < Th_H) \int_0^{v_{max}} f_V(v) dv \\
 &= \begin{cases} 0.005v_{max}^2 \times F(Th_L \leq CSCINR < Th_H) \\ \quad , 0m/s < v_{max} \leq 10m/s \\ F(Th_L \leq CSCINR < Th_H) \\ \times (-0.005v_{max}^2 + 0.2v_{max} - 1) \\ \quad , 10m/s < v_{max} \leq 20m/s \end{cases}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \text{where} \\
 & f_V(v) = \begin{cases} 0.01v & , 0m/s < v \leq 10m/s \\ -0.01v + 0.1 & , 10m/s < v \leq 20m/s \end{cases} \\
 & F(Th_L \leq CSCINR < Th_H) \\
 & = F_{CSCINR}(Th_H|D_{eNB, UE}) - F_{CSCINR}(Th_L|D_{eNB, UE})
 \end{aligned}$$

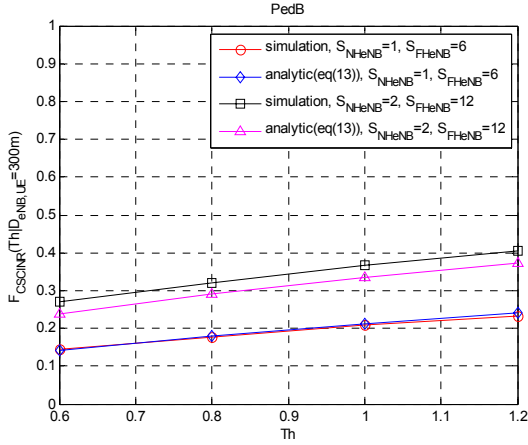


그림 4. $F_{CSCINR}(Th|D_{eNB,UE})$ 분석 및 모의실험 결과
 Fig. 4. The results of analysis and simulation for $F_{CSCINR}(Th|D_{eNB,UE})$

하지만 식 (13)의 확률 값에서 HeNB 탐색 빈도의 변화를 유추하기 어렵기 때문에 v_{max} 에 따라 MUE가 수행하는 HeNB 탐색 빈도의 변화를 확인하기 위하여 η_{CSCINR} 를 정의한다. η_{CSCINR} 는 MUE의 CSCINR 측정이 매 회 독립일 때 HeNB 탐색 진입 전 수행한 CSCINR 측정의 평균 회수를 의미한다. 따라서 η_{CSCINR} 가 증가할수록 셀 탐색의 빈도는 감소한다. $D_{eNB,UE}$ 와 v_{max} 가 주어질 때 η_{CSCINR} 는 식 (13)를 이용하여 다음 식으로 표현된다. 식 (14)에서 η_{CSCINR} 는 $\mu_{search}(D_{eNB,UE}, v_{max})$ 의 역수인 것을 알 수 있다.

$$\eta_{CSCINR} = \sum_{k=1}^{\infty} k\mu(k) = \frac{1}{\mu_{search}(D_{eNB,UE}, v_{max})}$$

where

$$\mu(k) = (1 - \mu_{search}(D_{eNB,UE}, v_{max}))^{k-1} \times \mu_{search}(D_{eNB,UE}, v_{max}) \quad (14)$$

V. 모의실험

본 장에서는 normal CP(Cyclic Prefix)를 이용하는 LTE 시스템의 프레임 구조에 CS를 적용하여 초기 동기화 성능, 이동성 측정 성능, 셀 탐색 빈도 감소 효과를 모의실험으로 확인한다. LTE 시스템에서 HeNB가 CS를 전송하는 방법은 그림 1과 같고, 그림 2의 환경을 고려하였다. 모의실험에서 R , $D_{eNB,UE}$, Ψ_{limit} , Ψ , ζ , N_{FHeNB} 는 각각 1000m, 300m, 5m, 35m, 10m, 6이며, ITU-R PedB 채널

모델을 이용하였고, 채널의 각 탭은 Jakes fading을 경험한다. SNR은 매크로셀로부터 수신한 신호의 전력을 기준으로 계산한 신호 대 잡음비이다.

표 1은 CS 존재 여부에 따른 초기 동기화 시 셀 탐색 성능이다. 표 1의 모의실험에서 이동속력은 3km/h를 고려하였다. LTE 시스템의 초기 동기화 시 셀 탐색 절차는 5ms 단위로 PSS를 검출하는 cell ID 검출 절차와 10ms 단위로 SSS를 검출하는 cell group ID 검출 절차로 구분된다. 일반적으로 LTE 시스템의 셀 탐색 절차에서는 PSS를 이용하여 추정된 채널을 이용하여 SSS를 검출하는 coherent 검출 방식을 이용한다. 그 외의 CFO 추정과 심볼 타이밍 옵셋 추정은 PSS 검출 절차동안 수행된다 [23]. 표 1에서 legacy는 HeNB가 CS를 전송하지 않고, 그림 1의 location 1에서 SS를 송신하는 경우로 기존 HeNB의 SS 전송방법에 해당한다. CS/PSS는 HeNB가 CS를 송신하지만 location 2에서 LTE 시스템의 PSS를 송신하는 경우이고, CS/HSS는 HeNB가 CS를 송신하고 location 2에서 HSS를 송신하는 경우이다. Legacy의 경우 HeNB 검출 확률이 상당한 값을 갖기 때문에 closed access HeNB 내에서 eNB에 대한 동기 획득에 실패할 가능성이 크다. CS/PSS에서는 CS의 영향 때문에 HeNB 주변에서 eNB 검출 확률이 legacy보다 높지만 HeNB 검출 확률이 여전히 상당한 값을 갖는다. 그리고 S_{NHeNB} 가 1인 경우보다 2인 경우 HeNB의 간섭이 증가하기 때문에 eNB 검출 확률이 감소하고 HeNB 검출 확률이 증가하는 것을 볼 수 있다. CS/HSS의 경우 HeNB가 초기 동기화 과정에서 transparent하게 되므로 UE가 HeNB 주변에 있더라도 eNB의 SS를 검출하게 된다. 따라서 HeNB가 closed access 모드로 동작하더라도 eNB의 동기를 유지할 수 있다. HeNB 주변에서 eNB의 동기를 획득한다는 것은 매크로셀 내에서 eNB의 CINR이 크게 유지되는 것을 의미하기 때문에 idle mode 단말이 paging 정보를 검출하기 위하여 깨어날 때 매크로셀 경계를 기준으로 셀 탐색을 수행하게 된다. 따라서 CS를 적용하지 않은 펠토셀 시스템에 비해 idle mode 단말의 셀 탐색 빈도를 줄임으로써 전력 소모 감소 효율을 증가시킬 수 있다.

표 1. 초기 동기화 시 셀 탐색 확률

Table 1. Cell searching probability of initial synchronization

	S_{NHeNB}	legacy	CS/PSS	CS/HSS
eNB detection probability	1	0.803	0.904	0.99
	2	0.662	0.83	0.987
HeNB detection probability	1	0.195	0.087	0.002
	2	0.329	0.155	0

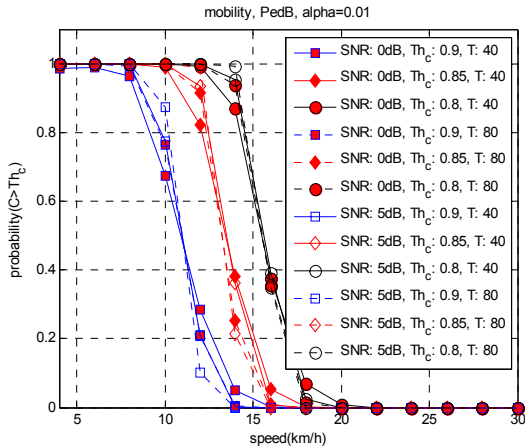


그림 5. 식 (8)의 이동성 판단 성능
Fig. 5. Performance of mobility decision of Eq. (8)

LTE 시스템에서 MUE의 이동성 판단을 위해 사용되는 심볼 인덱스 r_1, r_2, r_3 는 5, 75, 76으로, 마이크로셀과 펠토셀이 SSS(Secondary Synchronization Signal)와 CS를 전송하는 자원에서 수신한 신호를 이용하여 이동성을 판단한다. r_1 과 r_2 의 차를 고려할 때 Jakes fading 채널의 시간 상관 값^[20]을 이용하여 10km/h 이하의 속력을 저속으로 판단하기 위해서는 Th_c 가 0.9이어야 한다. 하지만 식 (8)의 C 는 weighted average를 수행한 frame 수에 대한 랜덤 변수로 볼 수 있기 때문에 Th_c 를 정할 때 적절한

margin을 고려해야 한다. 그림 5는 α 가 0.01이고 SNR이 0dB와 5dB 일 때 Th_c 값에 대하여 식 (8)를 만족할 확률을 보여주는 그림이다. 그림 5에서 weighted average를 수행한 프레임 수(T)는 40과 80이다. 그림 5의 결과로부터 Th_c 가 0.9, 0.85, 0.8에 대하여 각각 8km/h, 10km/h, 12km/h의 속력을 기점으로 transient 구간이 시작되는 것을 볼 수 있으며, 8km/h, 10km/h, 12km/h 이하의 속력에서 확률이 대략적으로 1인 것을 볼 수 있다. 따라서 8km/h, 10km/h, 12km/h를 v_{max} 로 정할 경우 적절한 Th_c 는 각각 0.9, 0.85, 0.8이 된다.

표 2는 식 (14)의 HeNB 탐색 시도 확률(μ_{search})의 분석 결과와 CS 적용 시 CSCINR과 MUE의 이동성을 이용하여 HeNB 탐색 수행 여부를 판단할 때 셀 탐색 시도 확률의 모의실험 결과를 보여준다. 이 표에서 analysis는 식 (14)의 μ_{search} 를 의미하고, simulation은 모의실험 결과를 의미한다. 모의실험에서 고려한 T, Th_H, Th_L 는 각각 40, 1.2, 0.8이고, 식 (13)의 $f_V(v)$ 를 이용하였다. 표 2에서 0.9, 0.85, 0.8, 0.75, 0.7, 0.65, 0의 Th_c 는 각각 8, 10, 12, 14, 16, 18, all speed의 v_{max} 에 맵핑되는 문턱 값으로 실험적으로 얻은 결과이다. 그리고 analysis와 simulation에서 normalized value는 v_{max} 와 문턱 값의 확률을 각각 8km/h와 0.9일 때의 확률로 나눈 값을 의미한다. 표 2에서 simulation의 probability가 analysis의 probability 보다 큰 것을 볼 수 있는데, 이는 속력 증가에 따른 CSCINR의 신뢰도 감소와 그림 5의 확률 곡선의 transient 부분으로 인해 모의 실험 수행 시 HeNB 탐색 시도가 증가하기 때문이다. II장에서 언급한 바와 같이 MUE의 이동성이 증가하여 $h_{t,r_2}(n) \approx h_{t+1,r_1}(n)$ 조건을 만족할 수 없

표 2. $\mu_{search}(D_{eNB,UE}, v_{max})$ 의 분석 결과와 시뮬레이션 결과 비교

Table 2. Comparison between analysis and simulation for $\mu_{search}(D_{eNB,UE}, v_{max})$

v_{max} (km/h)	analysis				simulation				
	(S_{NHeNB}, S_{FHeNB})				(S_{NHeNB}, S_{FHeNB})				
	(1, 6)		(2, 12)		(1, 6)		(2, 12)		
	probability	normalized value	probability	normalized value	probability	normalized value	probability	normalized value	
8	0.0015	1.0000	0.0020	1.0000	0.9	0.0026	1.0000	0.0056	1.0000
10	0.0024	1.6000	0.0032	1.6000	0.85	0.0042	1.6154	0.0088	1.5714
12	0.0035	2.3333	0.0046	2.3000	0.8	0.0066	2.5385	0.0102	1.8214
14	0.0047	3.1333	0.0063	3.1500	0.75	0.0088	3.3846	0.0120	2.1429
16	0.0061	4.0667	0.0082	4.1000	0.7	0.0118	4.5385	0.0166	2.9643
18	0.0078	5.2000	0.0103	5.1500	0.65	0.0146	5.6154	0.0184	3.2857
all speed	0.0623	41.5333	0.0828	41.4000	0	0.1172	45.0769	0.1256	22.4286

을 때 CSCINR의 신뢰성이 감소하므로 HeNB 탐색 여부 판단에서 오류가 증가한다. 판단 기준 속력이 10km/h 이하인 경우(Th_c 가 0.85보다 큰 경우) analysis의 normalized value와 simulation의 normalized value가 유사한 것을 볼 수 있다. 하지만 판단 기준 속력이 10km/h보다 클 때 (S_{NHeNB} , S_{FHeNB})가 (2, 12)인 경우 v_{max} 가 증가함에 따라 analysis의 normalized value와 simulation의 normalized value 간 차이가 증가하는데, 이는 앞서 언급한 것처럼 이동성이 증가함에 따라 CSCINR 측정 성능이 열화되기 때문에 발생하는 차이이다. 이러한 결과를 바탕으로 MUE가 10km/h 이내의 속력으로 이동할 때 CSCINR의 측정 성능의 신뢰도가 유지되는 것을 알 수 있다. 이동성에 의한 CSCINR의 신뢰도 감소로 인해 simulation 결과를 이용하여 v_{max} 에 따른 셀 탐색 빈도의 감소 효과를 분석하기 어렵다. 이러한 이유로 v_{max} 에 따른 셀 탐색 빈도 감소 효과 분석을 위하여 analysis 값을 이용한다. Analysis 결과에서 v_{max} 가 10km/h일 때 HeNB 탐색 시도 확률은 all speed에 대하여 약 3.9%로 감소하는 것을 볼 수 있다.

그림 6은 식 (14)에서 μ_{search} 의 analysis 결과로부터 구한 η_{CSCINR} 를 보여주는 그림이다. 그림에서 η_{CSCINR} 는 v_{max} 가 증가함에 따라 exponential하게 감소하기 때문에 v_{max} 가 작을수록 HeNB 탐색 빈도가 크게 감소한다. 특히, 10km/h 이하의 속력에서 η_{CSCINR} 의 감소 속도가 빠르기 때문에 HeNB 탐색 시도의 빈도를 줄이기 위해서 v_{max} 를 10km/h 이내의 값으로 설정하는 것이 적절한 것을 알 수 있다. 그림 6에서 v_{max} 가 10km/h 일 때 S_{NHeNB} 이

1과 2인 경우에 대하여 η_{CSCINR} 는 각각 약 417과 314가 되고, all speed 일 때는 약 16과 12가 된다.

본 논문에서는 Th_H 와 Th_L 를 각각 1.2와 0.8로 정하였지만, Th_H 와 Th_L 의 차이가 커질수록 η_{CSCINR} 는 감소한다. 만약 $N_{measure}$ 프레임마다 한 번씩 CSCINR을 측정한다면 v_{max} 가 10km/h 일 때 S_{NHeNB} 이 1과 2인 경우에 대하여 각각 $417N_{measure}$ 과 $314N_{measure}$ 프레임 마다 한번씩 HeNB 탐색을 수행하고, v_{max} 가 all speed인 경우는 $16N_{measure}$ 과 $12N_{measure}$ 프레임 마다 한번씩 HeNB 탐색을 수행하게 된다. 따라서 v_{max} 를 낮은 속력으로 정할 경우 MUE의 HeNB 탐색 및 핸드오버 시도의 빈도를 줄

일 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 펌토셀을 포함한 차세대 이동통신 시스템에서 co-channel HeNB 도입 시 MUE가 closed access HeNB 주변에서 eNB의 동기를 유지하고, 옥외에서 이동 중인 MUE의 HeNB 탐색 빈도를 줄이는 기법을 제안하였다. 본 논문에서 HeNB는 자신이 속한 매크로셀의 SS를 이용하여 생성한 CS를 송신하고, HeNB의 프리앰블을 eNB의 프리앰블 집합과 다른 집합에서 선택하여 HeNB 주변의 MUE가 eNB의 동기를 유지할 수 있도록 한다. 또한, HeNB가 CS를 전송할 경우 매크로셀 내에서 eNB의 CINR이 큰 값으로 유지되기 때문에 idle mode MUE가 paging 정보를 검출하기 위하여 깨어날 때 펌토셀의 간섭 때문에 셀 탐색을 수행하는 것을 막을 수 있으므로 idle mode 단말의 전력 소모 감소 효율을 증가시킬 수 있다. 그리고 자신의 이동성과 CSCINR을 이용하여 HeNB 존재 여부를 판단한 후 HeNB 탐색을 시작함으로써 HeNB 탐색 빈도를 줄일 수 있고, 부가적으로 핸드오버 시도의 빈도 감소도 기대할 수 있다.

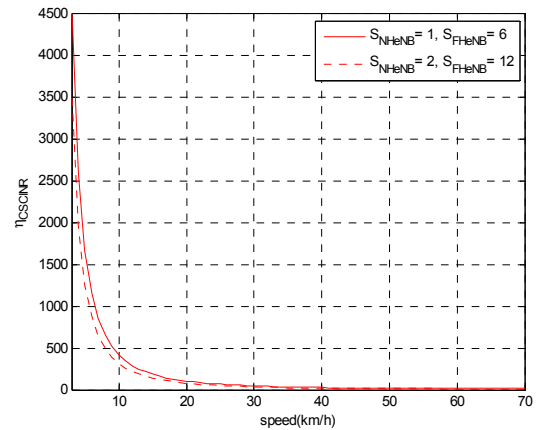


그림 6. 식 (14)의 \bar{K}
Fig. 6. \bar{K} in Eq. (14)

References

- [1] A. Golaup, M. Mustapha, and L.B. Patanapongpibul, "Femtocell access control strategy in UMTS and LTE," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp.117-123, Sep. 2009.

- [2] R. Y. Kim, J.S. Kwak, and K. Etemad, "WiMAX femtocell: requirements challenges, and solutions," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 9, pp.84-91, Sep. 2009.
- [3] G. Roche, A. Valcarce, D. Lopez-Perez, and J. Zhang, "Access control mechanisms for femtocells," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 48, no. 1, pp.33-39, Jan. 2010.
- [4] Y. Li, A. Maeder, L. Fan, A. Nigam, and J. Chou, "Overview of femtocell support in advanced WiMAX systems," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 7, pp. 122-130, Jul. 2011.
- [5] J.I. Choi, J.K. Nam, W.K. Seo, Y.Z. Cho, "An Efficient Femto-cell Scanning Scheme Using Network Assistance in IEEE 802.16e System," *J. KICS*, vol. 36, no. 1, pp. 21-28, Jan. 2011.
- [6] S. G. Niri, and R. Tafazolli, "Position assisted handover algorithm for multi layer cell architecture," in *proc. IEEE VTC 1999*, pp. 569-572, Sep. 1999.
- [7] K.L. Yeung, and S. Nanda, "Channel management in microcell/macrocell cellular radio systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 45, no. 4, pp. 601-612, Nov. 1996.
- [8] S.A. Ghorashi, L. Wang, F. Said, and A.H. Aghvami, "Impact of macrocell-hotspot handover on cross-layer interference in multi-layer W-CDMA networks," in *proc. 5th European Pers. Mobile Commun. Conf.*, pp. 580-584, Apr. 2003.
- [9] O.B. Karimi, J. Liu, and C. Wang, "Seamless wireless connectivity for multimedia services in high speed trains," *IEEE J. Sel. Area. Commun.*, vol. 30, no. 4, pp. 729-939, May 2009.
- [10] S.K. Bahl, "Cell searching in WCDMA," *IEEE Potentials*, vol. 22, no. 2, pp. 16-19, Apr. 2003.
- [11] H.D. Bae, and N.H. Park, "Impact of reading system information in inbound handover to LTE femtocell," in *proc. APCC 2010*, pp. 476-480, 2010
- [12] C. Bontu, and E. Illidge, "DRX mechanism for power saving in LTE," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 47, no. 6, pp. 48-55, Jun. 2009.
- [13] S. Huan, K. Linling, and L. Jianhua, "Interference avoidance in OFDMA-based femtocell network," in *proc. IEEE YC-ICT 2009*, pp. 126-129, Dec. 2009.
- [14] R.Y. Kim, Y.Y. Kim, A.A. Yazdi, S. Sorour, and S. Valaee, "Joint reduction of peak-to-average power ratio, cubic metric, and block error rate in OFDM systems using network coding," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 60, no. 9, pp. 4363-4373, Nov. 2011.
- [15] H.J. Zepernick, and A. Finger *Pseudo Random Signal Processing*, John Wiley & Sons, Ltd., Chichester, UK, 2005
- [16] H.S. Ju, S.W. Lee, D.S. Hong, K.Y. Han, and J.H. Jeon, "Non-handover based mobility management in hierarchically structured cellular networks," in *proc. Comp. Netw. and Services Research Conf. 2010*, pp. 369-375, May 2010.
- [17] Y.U. Chung, D.J. Lee, D.H. Cho, and B.C. Shin, "Macrocell/Microcell selection schemes based on a new velocity estimation in multitier cellular system," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 51, no. 5, pp. 893-903, Sep. 2002.
- [18] A.G. Zajic, "Estimation of mobile velocities and direction of movement in mobile-to-mobile wireless fading channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 61, no. 1, Jan. 2012.
- [19] K.E. Baddour, and N.C. Beaulieu, "Robust doppler spread estimation in nonisotropic fading channels," *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 4, no. 6, pp. 2677-2682, Nov. 2005.
- [20] W.C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1974
- [21] Alcatel-Lucent, picoChip Designes, Vodafone "Simulation Assumptions and Parameters for FDD HeNB RF Requirements," 3GPP Tech. Doc., Tdoc R4-092042, 3GPP TSG RAN

WG4 Meeting #51bis, San Francisco, USA,
May 2007.

- [22] Recommendation (1997) ITU-R M.1225.
Guidelines for Evaluation of Radio
Transmission Technologies for IMT-2000.
- [23] I. G. Kim, Y. Han, and H. Chung, "An
efficient synchronization signal structure for
OFDM-based cellular systems," *IEEE
Trans. Wirel. Commun.*, vol. 9, no. 1, pp.
99-105, Sep. 2010.

김 영 준 (Yeong Jun Kim)



2005년 2월 중앙대학교 전자전
기공학부 졸업(학사)
2007년 2월 중앙대학교 전자전
기공학부 졸업(석사)
2011년 2월 중앙대학교 전자전
기공학부 졸업(공학박사)
2011년 1월~현재 LIG Nex1

선임연구원

<관심분야> 차세대이동통신, MIMO-OFDM, 무선
모뎀 설계

조 용 수 (Yong Soo Cho)



1984년 2월 중앙대학교 전자전
기공학부 졸업(학사)
1987년 2월 연세대학교 전자공
학과 졸업(석사)
1991년 2월 The University of
Texas of Austin 공학박사
1992년 3월~현재 중앙대학교

전자전기공학부 교수

2003년 8월~2007년 12월 TTA 휴대인터넷(와이
브로) 프로젝트그룹(PG302) 무선접속 실무반 의장
<관심분야> 5G 이동통신, OFDM 모뎀 설계,
MIMO-OFDM 모뎀 설계