

# 펄토셀 환경에서 채널별 전송전력의 적응적 제어 기법

이 호 석\*, 조 호 신<sup>o</sup>

## An Adaptive Control of Individual Channels' Transmission Power in Femtocells

Hoseog Lee\*, Ho-shin Cho<sup>o</sup>

### 요 약

본 논문은 펄토셀 환경에서 시스템 용량 향상 및 호손율 감소를 위해 펄토 기지국이 자기 최적화 기법을 이용하여 채널별 전송전력을 적응적으로 제어하는 방법을 제안한다. 펄토셀 관련 국제표준에서는 요구사항으로 펄토셀 밀집 배치에 따라 성능 열화가 없어야 한다는 점을 들고 있다. 제안방식에서는 각 펄토 기지국이 펄토 게이트웨이를 통해 전달받은 이웃 기지국의 채널별 전송전력 정보와 주기적 스펙트럼 감지를 통해 측정된 이웃 펄토셀로부터의 채널별 수신 전력을 바탕으로 자신의 채널별 전송전력을 결정하게 된다. 또한 각 채널별로 펄토 사용자 단말(Femto Mobile Station: FMS)의 이동에 따라 적응적으로 전송전력을 제어함으로써, 핸드오버 감소 및 펄토셀 간 균등한 서비스 기회를 가지도록 한다. 이를 통해 펄토셀 밀집 배치에 따른 성능 열화를 방지할 뿐만 아니라, 펄토셀이 밀집할수록 시스템 용량이 향상되고 호손율이 낮아지는 효과를 얻을 수 있다. 또한 채널별 전송전력을 독립적으로 제어함으로써 커버리지 holes 줄일 수 있으며, 시스템 내에 존재하는 펄토셀의 개수와 상관없이 항상 일정 수준 이상의 커버리지와 호손율을 유지할 수 있다. 컴퓨터 모의실험을 통해 시스템 용량과 호손율 측면에서 기존 방식과 비교 분석하였으며 그 결과 제안한 방식이 기존 방식보다 우수함을 볼 수 있었다.

**Key Words** : Femtocell, Interference, Power Control, Self-Organization, 펄토셀, 간섭, 전력제어, 자기 조직화

### ABSTRACT

In this paper, we propose an adaptive power control scheme employing a self-optimization concept in femtocell systems, in order to improve system capacity, thereby reducing call-drop probability. In the proposed scheme, each femto base station(FBS) controls individual channel's transmission power base on two parameters; the neighboring cell's transmission power for each individual channel which is delivered from a femto-gateway and the received power strength from neighboring cells which is periodically measured by means of a spectrum sensing. Adaptive adjustment of individual channel's transmission power in accordance with femto mobile station(FMS) mobility features can also reduce undesirable handovers and evenly distribute traffic load over all femtocells. In addition, the manipulative control of channel's transmission power is able to keep the system coverage and the call-drop probability within an acceptable range, regardless of density of femtocells. Computer simulation shows that the proposed scheme outperforms existing schemes in terms of the system coverage and the call-drop probability.

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원을 통한 한국연구재단 지원 (지역대학 우수과학자 사업, No. 2009-0065766)과 2012년도 경북대학교 학술연구비에 의하여 연구되었음.

◆ 주저자 : 삼성전자 소프트웨어센터 Convergence Solution팀 Cloud Computing 연구실, hoseog.lee@samsung.com, 정회원

o 교신저자 : 경북대학교 IT대학 전자공학부 이동통신연구실, hscho@ee.knu.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-02-050, 접수일자 : 2012년 2월 7일, 최종논문접수일자 : 2012년 8월 14일

## I. 서 론

높은 데이터 전송률, 낮은 전력 소모, 높은 주파수 효율에 대한 요구가 이동통신 사용자와 서비스 제공자 사이에서 꾸준히 높아져왔다. 한편 무선 사용량에 대한 최근 연구에서 50% 이상의 음성통화와 70% 이상의 데이터 통신이 실내에서 발생하는 것으로 밝혀졌다<sup>[1]</sup>. 이러한 현상들에 대한 해결책으로 제시된 펠토셀은 좁은 커버리지, 낮은 가격과 낮은 전력 소모의 특징을 가진다.

펠토 기지국은 사용자 개개인이 집이나 사무실에 직접 설치하기 때문에 기존 2G/3G 무선 네트워크에서처럼 네트워크 운용을 위한 전문적 파라미터의 설정이 이루어질 수 없다. 또한 매크로셀 환경에서는 최적화된 중앙 집중형 망 관리가 가능했으나 최근에는 이동통신 시스템의 성능에 대한 요구사항이 다양해지고 이에 따라 네트워크 구조 및 성능 파라미터가 다차원화 되면서 중앙 집중적인 시스템 운영이 점점 어려워지고 있다<sup>[2]</sup>. 따라서 설치 및 운용 과정에서 펠토 기지국은 사용자에게 의해 동적으로 설치되고, 위치 또한 쉽게 이동되기 때문에 변화하는 환경에 따라 스스로 파라미터를 설정하기 위한 자기구성, 자기 최적화 및 자기치유와 같은 자동화 기능을 포함하는 자기조직화 네트워크 기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

펠토셀 설치에 있어서 동일 채널 간섭은 신호 대 간섭 비를 나쁘게 하여 무선 네트워크의 용량을 감소시키므로 반드시 해결해야 하는 문제점으로 지적되고 있다. 앞서 설명한 자기조직화 네트워크 기술 중에서 자기 구성 및 자기 최적화 기술이 커버리지 조정, 사용 주파수 할당 등의 기능을 통하여 동일채널간섭 문제를 해결할 수 있다. [3]에서는 펠토셀과 매크로셀로 구성된 네트워크에서 발생하는 간섭의 종류를 6가지로 구분하였다. 그 중에 좁은 지역에 펠토 기지국이 밀집해서 배치 될 때 펠토셀 간 발생하는 간섭은 심각한 문제로 대두되고 있다<sup>[4]</sup>. 따라서 기존의 많은 연구에서 이러한 간섭을 줄여 네트워크의 용량을 향상시키기 위한 연구가 진행되었고 다양한 기법들이 제안되었다. [5]에서는 펠토셀의 커버리지를 중심 영역과 가장자리 영역으로 나누고 중심 영역은 이웃 펠토셀의 영향을 받지 않는 범위로 정의하여 모든 펠토셀이 중심 영역에서 동일한 주파수 대역을 사용하도록 하였다. 이 방식에서는 중심 영역의 커버리지가 이웃 펠토셀과의 거리에 따라 다를 수 있고 가장자리 영역에서는 이웃

펠토셀 간의 간섭이 발생할 가능성이 높으므로 이웃 펠토셀에 의한 간섭이 가장 적은 주파수 대역을 선택하도록 하는, 유동적 주파수 재사용을 위한 주파수 할당 방식을 제안하였다. [6]과 [7]에서는 인지 라디오 기능을 가지는 펠토 기지국인 인지 펠토 기지국을 정의하고 주사용자가 스펙트럼을 사용하지 않을 때 인지 펠토 기지국이 부사용자로서 해당 스펙트럼에 접근하여 사용할 수 있도록 하는 방식을 제안하고 스펙트럼 감지 능력에 따른 성능 분석을 시도하였다. [8]에서는 매크로셀과 펠토셀 간의 공존하는 환경에서 게임이론과 기계적 학습알고리즘을 통하여 간섭을 경감시키는 기법을 소개하였다. [9]에서는 매크로셀과 펠토셀이 공존하는 환경에서 간섭 제한 커버리지 영역(Interference Limited Coverage Area: ILCA)을 정의하고 있다. 여기에서는 ILCA의 임계치를 기준으로 매크로셀 커버리지의 안쪽 영역과 바깥쪽 영역을 구분하고 펠토 기지국이 안쪽 영역에 위치할 경우 주파수 재사용을 허용하지 않고, 바깥쪽 영역에 위치할 경우는 주파수를 재사용하도록 하여 간섭을 완화함과 동시에 주파수 재사용 효율을 높였다. 지금까지 설명한 기존의 연구에서는 주로 매크로셀과 펠토셀 간의 간섭에 대한 연구가 주로 이루어졌다. 반면에 펠토셀 간의 간섭 또한 매크로셀과 펠토셀 간의 간섭만큼 중요하며, IEEE 802.16m SRD(System Requirements Document)<sup>[10]</sup>에서 ‘펠토셀 밀집 배치시 성능 보장’이 요구사항으로 제시되었다. 하지만 이에 대한 분석이 거의 이루어지지 않고 있을 뿐만 아니라 펠토셀 밀집 배치 시에 가용자원의 고갈로 인하여 성능 열화가 발생할 수 있다. 또한 이웃 펠토셀간 동일 채널 재사용을 위한 단순한 전력 제어 기법은 셀 가장자리에서 이웃 기지국의 동일 채널 간섭으로 인한 커버리지의 홀이 발생하는 문제점이 예상된다.

본 논문에서는 펠토셀 환경에서 시스템 용량 향상 및 낮은 호손율을 위해 펠토 기지국이 자기 최적화 기법을 이용하여 채널별 전송전력을 적응적으로 제어하는 방법을 제안한다. 제안 방식을 통해 펠토셀 내에 다양한 커버리지를 갖는 채널들이 존재함으로써 펠토셀 밀집 배치에 따른 성능 열화를 방지할 뿐만 아니라, 펠토셀이 밀집할수록 시스템 용량이 향상되고 호손율이 낮아지는 효과를 얻을 수 있으며 이를 컴퓨터 모의실험을 통해 입증하고 기존 방식과 비교분석하고자 한다. 본 논문은 서론에 이어 본론의 1장에서는 본 논문에서 고려하는 시스템 모델에 대해 설명한다. 2장에서는 1장에서 제기

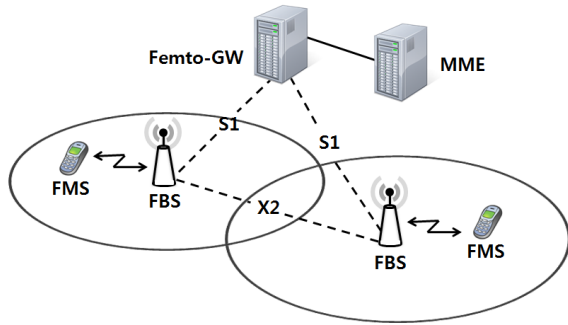


그림 1. 시스템 구성도  
Fig. 1. System configuration

한 문제점을 해결하기 위해 채널별 전송전력의 적응적 제어 기법을 제안하고 3장에서의 모의실험을 통해 성능 분석을 수행하고 마지막으로 결론을 맺는다.

## II. 본 론

### 2.1. 시스템 모델

그림 1은 본 논문에서 다루는 펌토셀 네트워크의 구성도로서 펌토셀 내에는 펌토 기지국(FBS)과 펌토 사용자 단말(FMS)이 있고 그 밖에 네트워크를 제어하기 위한 펌토 게이트웨이(Femto-Gateway: Femto-GW)와 이동성 관리 개체(Mobility Management Entity: MME)가 존재한다. 펌토 기지국과 펌토 게이트웨이는 디지털 가입자 회선, 케이블 모뎀 또는 광섬유 링크 등의 유선망으로 연결된다<sup>[11,12]</sup>. 펌토 게이트웨이는 이웃 펌토셀에서 사용하는 채널별 전송 전력 정보, 채널별 커버리지 정보를 가지고 있다고 가정한다. 펌토 기지국은 전송 전력 정보가 바뀔 경우 펌토 게이트웨이에 보고하고 펌토 게이트웨이는 정보를 갱신한다. 펌토 게이트웨이는 펌토 기지국이 이웃 펌토셀의 채널별 전송 전력 정보 및 커버리지 정보를 요청할 경우 펌토 기지국에 제공한다<sup>[13]</sup>.

펌토기지국의 네트워크 인터페이스는 이동성 관리 개체로의 연결을 위한 S1 인터페이스와 인접 펌토 기지국들과의 통신을 위한 X2 인터페이스를 설정함으로써 이루어진다. S1 인터페이스는 단말기의 이동성을 지원하기 위한 정보를 주고받으며 X2 인터페이스를 통해 펌토 기지국 간의 고속 핸드오버를 위한 신호 및 부하량 정보, 자기 최적화를 위한 정보를 교환한다<sup>[14,15]</sup>.

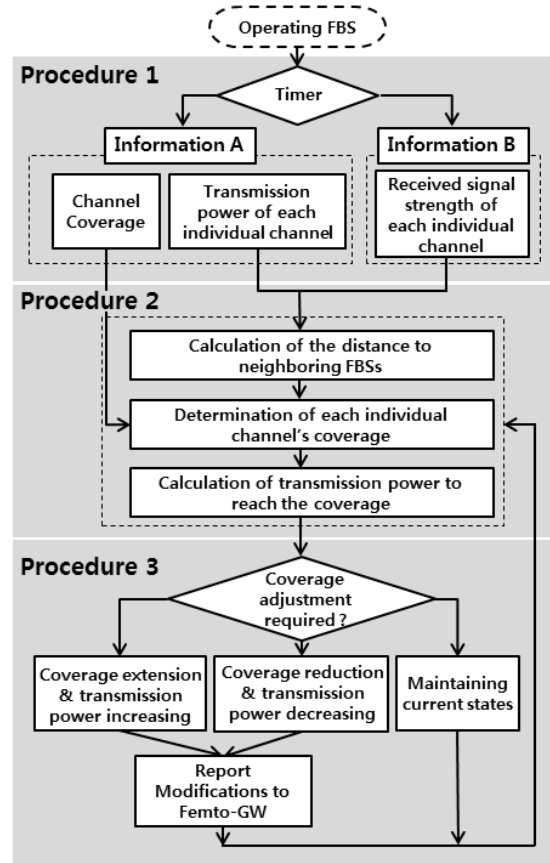


그림 2. 전송전력 제어 흐름도  
Fig. 2. Flow chart for transmission power control

펌토셀에 대한 접근을 허용하는 방식에는 허가된 사용자의 접근만을 허용하는 폐쇄형 접근 방식과 일반 사용자에게 접속을 허용하는 개방형 접근 방식, 그리고 이 두 방식을 혼합하여 사용하는 하이브리드형 접근 방식이 있다<sup>[16]</sup>. 폐쇄형 접근 방식은 주거지역에서 주로 사용되고 개방형 접근 방식은 공항이나 쇼핑몰 같은 공공장소에 주로 사용되며 하이브리드형 접근 방식은 쇼핑몰 등에서 직원들과 고객들에게 동시에 서비스를 제공하는 경우에 사용된다<sup>[17]</sup>. 본 논문은 공공장소에서 개방형 접근 방식을 사용하는 펌토셀로 구성된 네트워크 환경을 가정한다. 또한 본 논문에서는 펌토셀이 이웃 기지국의 전송전력을 채널별로 측정이 가능하며, 채널별로 각각 전송전력의 제어가 가능하다고 가정한다.

### 2.2. 제안 기법

그림 2는 펌토기지국이 채널별 전송전력을 제어하는 과정을 나타낸 흐름도로서, 크게 3개의 과정으로 이루어진다. 과정 1에서는 전송전력 결정에 필요한 정보 수집을 하고, 과정 2에서는 사용할 전송전

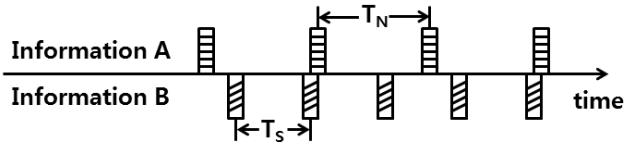


그림 3. 이웃목록 수신 및 스펙트럼 감지 주기  
Fig. 3. Periodic neighbor-list reception and spectrum sensing

력을 계산하며 과정 3에서는 사용 중인 전송전력을 상황에 맞도록 갱신한다.

과정 1에서 수집하는 정보에는 펠토 게이트웨이로부터 획득하는 정보(정보 A)와 펠토 기지국이 스스로 측정하는 정보(정보 B)가 있다. 정보 A는 이웃 펠토 기지국의 채널별 커버리지 정보 및 해당 커버리지를 확보하기 위한 채널별 전송 전력 정보로 구성되고 이를 펠토 게이트웨이로부터 수신한다. 반면에 정보 B는 펠토 기지국이 직접 스펙트럼 감지를 통해 획득하는 이웃 펠토 기지국들로부터의 채널별 수신 신호 세기이다. 과정 1에서 정보 A와 B의 수집은 각각  $T_N$ 과  $T_S$ 의 시간간격으로 주기적으로 수행된다(그림 3).

과정 2에서는 과정 1에서 수집된 정보 A와 B를 바탕으로 채널별 전송전력을 산출한다. 산출 과정은 이웃 기지국까지의 거리, 커버리지, 전송전력 산출의 총 3단계로 구성된다. 첫 단계로 이웃 펠토 기지국과 홈 펠토 기지국 간의 거리를 산출한다. 식 (1)은 송신지점으로부터 거리  $d$ 만큼 떨어진 곳에서의 경로손실을 나타낸 수식으로 경로 손실  $PL$ 은 송신전력( $P_{Tx}$ )과 수신전력( $P_{Rx}$ )의 차이로 나타낼 수 있다[18]. 이를 다시 나타내면 전송전력은 기준 거리( $d_0$ )에서의 경로손실과 경로손실계수( $n$ )을 이용한 거리에 대한 로그함수의 합으로 나타낼 수 있다. 식 (2)는 식 (1)을 거리  $d$ 에 대해서 정리한 것으로서 기준 거리( $d_0$ )와 전파경로 손실 계수( $n$ )는 상수이므로 송신전력과 수신전력을 알면 송신측과 수신측의 거리를 알 수 있다. 따라서 과정 1을 통해 펠토 게이트웨이로부터 전송받은 채널별 전송전력 정보와 펠토 기지국이 측정한 채널별 수신 신호 세기 정보를 이용하여 홈 펠토 기지국에서 이웃 펠토 기지국까지의 거리  $d$ 를 산출한다.

$$PL(d) = P_{Tx} - P_{Rx} = PL(d_0) + 10n \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right) \quad (1)$$

$$d = 10^{\left( \frac{P_{Tx} - P_{Rx} - PL(d_0)}{10n} \right)} \times d_0 \quad (2)$$

$d_0$  : 기준거리( $d_0 < d$ )

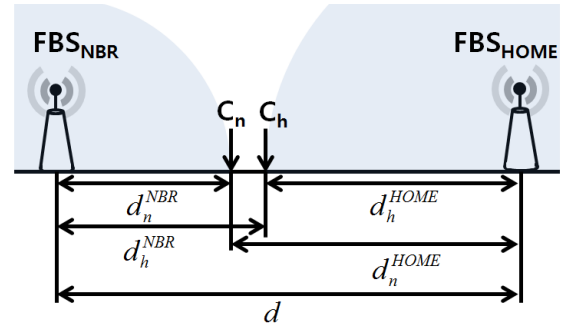


그림 4. 이웃 펠토기지국과 펠토기지국의 거리 및 커버리지  
Fig. 4. Relationship between the distance to neighboring FBS and the coverage of FBS

$n$  : 전파경로 손실 계수

두 번째 단계로 펠토 기지국은 산출된 이웃 펠토 기지국까지의 거리  $d$ 를 바탕으로 커버리지를 결정한다. 그림 4는 이웃 펠토 기지국과 홈 펠토 기지국의 거리 및 커버리지 관계를 나타낸 그림으로서 이웃 펠토 기지국( $FBS_{NBR}$ )과 홈 펠토 기지국( $FBS_{HOME}$ )의 커버리지를 각각  $d_n^{NBR}$ 와  $d_h^{HOME}$ 로 나타내고, 이웃 펠토 기지국과 홈 펠토 기지국 각각에서 상대편 커버리지 경계까지의 거리를  $d_n^{NBR}$ ,  $d_h^{HOME}$ 으로 나타내고 셀 경계 지점을  $C_n$ 과  $C_h$ 로 나타낼 때  $C_h$ 는 식 (3)을 만족하는 범위 내에서 결정된다.

$$d_h^{HOME} < d - d_n^{NBR} \quad (3)$$

커버리지의 범위가 정해지면 마지막으로 채널별 전송전력을 결정한다. 이를 위하여 우선  $C_h$ 지점에서 이웃 기지국의 수신 신호 세기를 계산한다. 식 (4)는  $C_h$ 지점에서 이웃 기지국으로부터 수신 신호 세기( $P_{Rx}^{NBR}$ )를 나타내며 이웃 기지국이 사용하는 전송전력( $P_{Tx}^{NBR}$ )과  $C_h$ 지점까지의 경로손실( $PL(d_n^{NBR})$ )을 이용하여 구할 수 있다. 셀 경계에서 요구되는 최소 신호 대 간섭 비를  $\left( \frac{S}{I} \right)_{req}$ 라 할 때, 펠토 기지국이  $C_h$ 지점까지 커버리지 확보를 위해 사용해야 하는 전송전력( $P_{Tx}^{HOME}$ )은 식 (5)와 같다. 여기서  $PL(d_h^{HOME})$ 는 홈 펠토 기지국 신호의  $C_h$ 지점까지의 경로손실이다.

$$P_{Rx}^{NBR}(d_n^{NBR}) = P_{Tx}^{NBR} - PL(d_n^{NBR}) \quad (4)$$

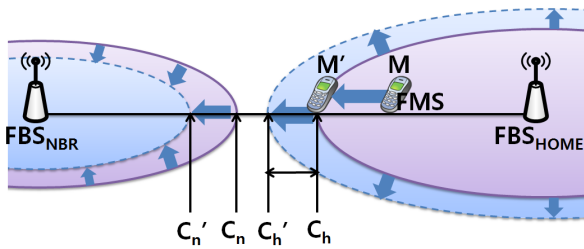


그림 5. 사용자 이동에 따른 전송전력 수정의 예  
 Fig. 5. An example of transmission-power adjustment according to FMS movement

$$P_{Tx}^{HOME} = P_{Rx}^{NBR}(d_h^{NBR}) + PL(d_h^{HOME}) + \left(\frac{S}{I}\right)_{req} \quad (5)$$

과정 3에서는 과정 2에서 산출된 전송전력을 바탕으로 펌토 기지국이 현재 사용 중인 채널별 전송전력을 재조정한다. 그림 5는 사용자 이동에 따른 전송전력 수정의 예를 나타낸 것으로서, 홈 펌토 기지국( $FBS_{HOME}$ )의 서비스를 받는 펌토 사용자 단말(FMS)이 위치 M에서 위치 M'로 이동할 경우 홈 펌토 기지국과 이웃 펌토 기지국( $FBS_{NBR}$ )의 송신전력 수정 과정을 묘사한다. 셀 경계보다 안쪽에 위치한 M에서의 신호 대 간섭 비는 식 (6)과 같이 표현된다. 여기서  $\left(\frac{\Delta S}{I}\right)$ 는 최소 여유 신호 대 간섭 비를 나타낸다. 모든 단말은 위치에 상관없이 최소  $\left(\frac{\Delta S}{I}\right)$  이상의 여유 신호 대 간섭 비를 갖도록 기지국 전송전력이 결정된다고 가정한다. 사용자 단말이 셀 경계인 위치 M'으로 이동하면 최소 신호 대 간섭  $\left(\left(\frac{S}{I}\right)_{req}\right)$ 을 가지게 되고 이를 사용자 단말이 채널 품질 지지 정보 메시지를 통해 홈 펌토 기지국에 보고한다. 홈 펌토 기지국은 전송전력을 수정하여 위치 M'에서도 최소 여유 신호 대 간섭 비를 가질 수 있도록  $\Delta P (= \Delta S + PL(d_h^{HOME}))$  만큼의 전송전력을 높이며 이때 커버리지는  $C_h$ 에서  $C_h'$ 로 확대된다.

$$SINR(M) = \left(\frac{S}{I}\right)_{req} + \left(\frac{\Delta S}{I}\right) \quad (6)$$

$$SINR(C_n) = \frac{S}{I + (\Delta S - PL(d_{C_n - C_n}))} \quad (7)$$

홈 펌토 기지국의 전송전력 확대는 이웃 펌토 기지국에 간섭 증가를 유발하고 초기 커버리지( $C_n$ )에

서의 이웃 펌토 기지국 신호 대 간섭 비 ( $SINR(C_n)$ )는 식 (7)과 같이 간섭 증가분이 고려되어 감소하게 된다. 식 (7)에서  $d_{C_n - C_n}$ 는  $C_n$ 과  $C_h$  사이의 거리를 나타낸다. 이웃 펌토 기지국은 홈 펌토 기지국에 의해 증가된 간섭을 감지하여 전송전력을 낮추고 축소된 커버리지( $C_n'$ )로 수정한다. 이때 이웃 펌토 기지국에 사용자가 존재하는 경우, 애초 여유 신호 대 간섭 비를 가지고 있었으므로  $\left(\frac{S}{I}\right)_{req}$  이상의 신호 대 간섭 비를 유지하는 범위에서 전송전력의 감소가 이루어 질 수 있도록 한다. 만약  $\left(\frac{S}{I}\right)_{req}$  이 보장되지 않아 커버리지 수정이 불가능 할 경우에는 전송전력을 수정하지 않고 그대로 유지한다. 홈 펌토 기지국은 이웃 펌토 기지국으로 부티의 수신 신호 세기에 변화가 없다는 것을 감지하게 되면 커버리지 확대가 불가능함을 인지하고 사용자를 다른 채널로 핸드오버 시킨 후 홈 펌토 커버리지를 초기 커버리지( $C_h$ )로 원상 복구되도록 전송전력을 감소시킨다. 기지국의 전송전력 증가 없이 펌토 사용자 단말이 측정 한 채널 품질이 좋아져  $\left(\frac{\Delta S}{I}\right)$  이상의 여유 신호 대 간섭 비가 생길 경우 펌토 사용자 단말이 펌토 기지국 쪽으로 이동하는 것으로 간주하고 펌토 기지국은 채널의 커버리지를 축소하고 그에 따라 이웃 펌토 기지국은 커버리지를 확대 한다. 이것은 바람직하지 않은 커버리지 홀의 발생을 막아준다. 표 1은 펌토 기지국의 커버리지의 조정 조건을 정리한 것으로서 조건에 따라 커버리지를 확대 및 축소하고 변경된 커버리지 정보 및 전송전력 정보는 펌토 게이트웨이로 보고한다.

그림 6과 7은 제안 기법의 적용 예를 보여주는 것으로  $FBS_1$ 과  $FBS_2$  두 개의 펌토 기지국이 좌표축 상의 10m지점과 40m 지점에 위치하고, 각각 3개의 가용채널( $CH_1, CH_2, CH_3$ )을 가지고 있는 환경에서의 위치에 따른 채널별 수신 신호 세기(그림 6)와 채널별 신호 대 간섭 비(그림 7)를 나타낸다.  $\left(\frac{S}{I}\right)_{req}$ 는 10dB로 가정한다. 그림 7 하단부의  $CH_{ij}(i=1, 2, j=1, 2, 3)$  수평 막대는  $FBS_i$ 에서  $CH_j$ 의 커버리지를 나타낸다. 그림 7에서 펌토 사용자 단말(FMS)이 좌표축 40m 지점에서  $FBS_2$ 의  $CH_1$ 을 사용하던 중에 좌표축 10m 지점까지 이동하는 경

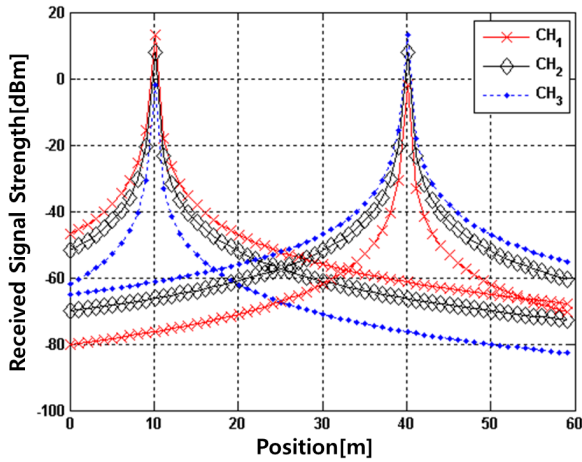


그림 6. 위치별 수신 신호 세기  
Fig. 6. The received signal strength at various positions.

우, 펠토 사용자 단말에서 측정된 신호 대 간섭 비는 이동에 따라 변하고 약 37m지점에서  $\left(\frac{S}{I}\right)_{req}$  에 도달한다. 이때 FBS<sub>1</sub>에서 CH<sub>1</sub>이 사용되고 있지 않다면, FBS<sub>2</sub>는 CH<sub>1</sub>의 커버리지 확대를 시도한다. 이때 만약 FBS<sub>1</sub>의 CH<sub>1</sub>이 다른 사용자 단말에 의해 사용 중이라면 펠토 사용자 단말은 FBS<sub>1</sub>의 CH<sub>2</sub>로 핸드오버를 시도하게 된다. 같은 방식으로 FBS<sub>2</sub>의 CH<sub>2</sub>와 CH<sub>3</sub>에 대해서도 FBS<sub>1</sub>로의 이동 중에 좌표 축 30m지점과, 22m지점에서 핸드오버 또는 전송전력 확대가 발생하게 된다.

2.3. 모의실험 환경 및 분석

컴퓨터 모의실험을 위하여 ITPP<sup>[19]</sup>라이브러리를 사용한 시스템 레벨 시뮬레이터를 제작하였고 Discrete-Event Simulation(DES) 방식을 사용하였다. DES방식을 사용한 본 모의 실험은 미리 설정된 값을 바탕으로 발생한 랜덤한 시점에 사용자 이동, 호 발생, 호 종료, 커버리지의 확장 및 축소 등의 이벤트가 발생된다. 본 모의실험에서 도출된 결과는 각

표 1. 커버리지 확대 및 축소 조건  
Table 1. The conditions for coverage extension & reduction

Condition for coverage extension	When the channel coverage of neighboring FBS is reducing.
	When FMS moves away from FBS
Condition for coverage reduction	When the channel coverage of neighboring FBS is expanding.
	When FMS moves close to FBS.

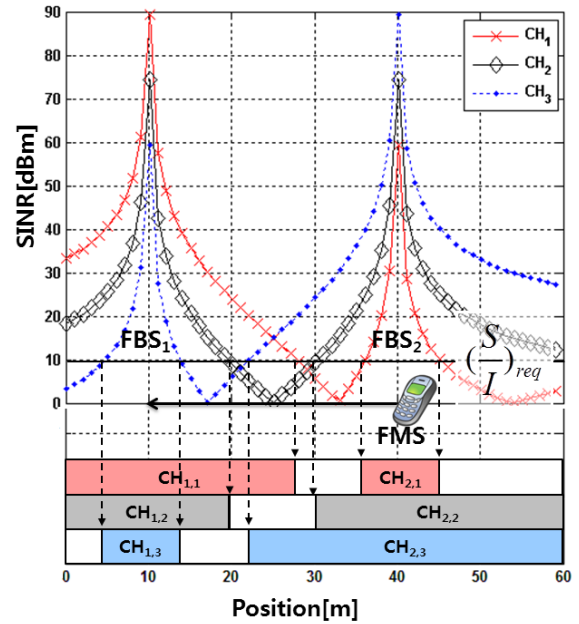


그림 7. 위치별 신호 대 간섭 잡음비 및 채널 구조  
Fig. 7. The SINR and channel usage for varying positions

각의 이벤트에서 발생하는 호 손실 등의 사건 횟수를 누적하거나 특정 시점에서의 기지국들이 사용하는 전송전력 값 등의 상태 값을 바탕으로 계산되었다. 모의실험에서 넓이는 60m<sup>2</sup>, 높이는 300m의 3차원 초고층 빌딩 내에 5 ~ 200개의 펠토 기지국이

표 2. 시스템 파라미터  
Table 2. System parameters

Parameter	Value
Operating Freq.	2GHz
Number of Channels	10
Number of FBS	5~200
FBS distribution	Uniform distribution
FBS Tx Power	Dynamic(1dBm~80dbm)
FBS Access mode	Open Access Mode
Number of FMS	10,000
FMS distribution	Uniform distribution
FMS Mobility	Gauss-Markov Mobility Model

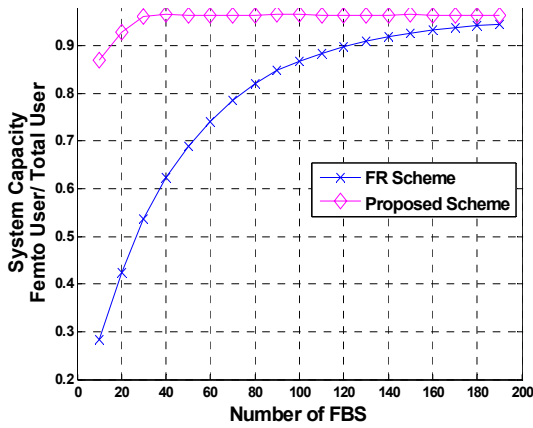


그림 8. 펠토 기지국 설치 밀도의 변화에 따른 시스템 커버리지 변화  
Fig. 8. The system coverage versus the density of FBS

균일하게 분포한다고 가정하였다. 펠토 사용자 단말의 개수는 10,000으로 고정된 값을 가지고, 펠토 사용자 단말의 이동 패턴을 모델링하기 위하여 Gauss-Markov Mobility Model<sup>[20]</sup>을 사용하였다. 펠토 사용자 단말의 이동 속도는 실내 환경을 고려하여 평균 0~4km/h 사이에서 균일분포로 설정하였고 3차원 환경을 고려하여 수평 이동성뿐만 아니라 수직 이동성을 고려하였다. 경로손실 모델은 건물 내에서의 전파특성이 고려된 modified COST231-Hata 모델을 사용하였다<sup>[21]</sup>.

호 손실에 대한 판별은 펠토 사용자 단말에 의해 호 요청 시 펠토 기지국에 가용 채널이 없을 경우와 홈 펠토 기지국에서 이웃 펠토 기지국으로 핸드오버 하였을 때 이웃 펠토 기지국에 가용 채널이 없을 경우로 한정하였고 펠토셀의 서비스 범위 밖에서 호가 발생될 경우는 호 손실 판별에 포함시키지 않았다.  $\left(\frac{S}{I}\right)_{req}$ 는 10dB로 가정하였다. 매회 모의실험 수행마다 펠토 기지국의 위치, 펠토 사용자의 이동, 통화 시간, 호간 도착 시간에 관여하는 랜덤 값의 씨앗 값을 바꾸고, 1000회 반복 수행하여 얻어진 값의 평균을 취해 결과를 산출하였다. 제안 방식과의 성능 비교 대상으로 상호 인접한 이웃 펠토 기지국간 동일 채널을 사용하지 않도록 하여 간섭을 회피하는 주파수 재사용 방식을 사용하였으며 모의실험 결과 그래프에서 'FR Scheme'으로 표기한다.

그림 8은 펠토 기지국 설치 밀도에 따른 시스템 커버리지의 변화를 나타낸 것으로 모의실험에서 설정한 초고층 빌딩 내에 정해진 수의 펠토 기지국이

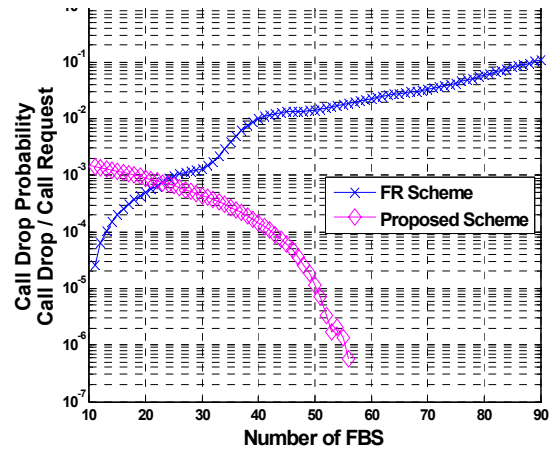


그림 9. 펠토 기지국 설치 밀도에 따른 호손율 변화  
Fig. 9. The blocking probability versus the density of FBS

설치되었을 때 얼마나 넓은 지역을 서비스할 수 있는지를 나타내는 결과이다. 시스템 커버리지는 모의 실험에서 사용자의 분포가 균일하다고 가정하였기 때문에 모의실험에서 가정한 총사용자 중 펠토셀의 서비스 범위 내에 위치한 사용자의 비율로 계산할 수 있다. 제안 기법의 경우 채널별로 독립적인 전송 전력 제어를 통해 펠토셀이 다양한 커버리지를 가지는 채널이 중첩되는 효과를 얻을 수 있다. 이를 통해 커버리지 홀이 기존방식에 비해 줄어들게 된다. 또한 펠토 기지국 주변에 이웃 펠토 기지국의 수가 적을 경우 그에 따라 전송전력 제어를 통해 커버리지를 확대할 수 있기 때문에 적은 수의 펠토 기지국 설치만으로도 기존 방식에 비해 넓은 범위를 커버할 수 있는 것을 그래프를 통해 확인할 수 있다.

그림 9는 펠토 기지국 설치 밀도의 변화에 따른 호손율 변화를 나타낸 것이다. 상호 인접한 이웃 펠토 기지국간 사용자 이동에 따른 핸드오버가 발생할 경우 사용자의 호가 새로 연결될 이웃 기지국에 여분의 채널이 없을 경우 호손 발생으로 간주하였고 일정 시간의 모의실험에서 발생한 핸드오버 시도 횟수 중 호손실 횟수의 비율로 호손율을 계산하였다. 상호 인접한 이웃 펠토 기지국간 동일 채널을 사용하지 않도록 하여 간섭을 회피하는 기존 방식의 경우 펠토 기지국 설치 밀도가 증가할수록 펠토셀당 사용 가능한 채널이 줄어들어 사용자가 핸드오버 시도할 경우 채널 선택의 폭이 줄어들고 그 결과로 호손율이 증가하게 된다. 제안 방식의 경우에는 이웃 펠토셀의 밀도와 상관없이 펠토 기지국마다 모든 가용 채널을 사용할 수 있기 때문에 펠

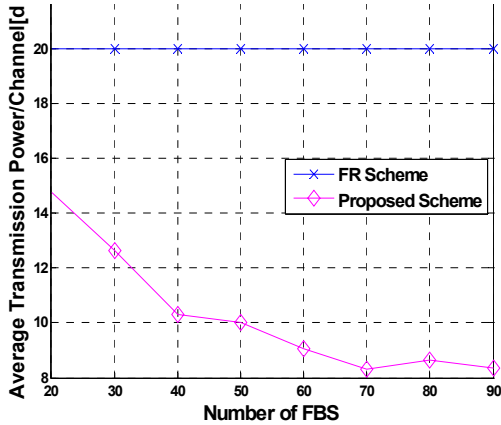


그림 10. 펠토 기지국 설치 밀도에 따른 채널별 평균 전송전력  
 Fig. 10. The average transmission power per channel versus the density of FBS

토셀 설치 밀도 증가에 따라 가용자원이 감소하지 않고 오히려 증가하게 된다. 그 결과로 사용자가 핸드오버를 할 경우 채널 선택의 폭이 넓어지기 때문에 호손율이 급격히 줄어들게 된다. 또한 이를 통해 펠토 기지국이 많이 설치될수록 시스템 수용량도 증가하여 펠토셀이 밀집될수록 더 좋은 성능을 가지게 되어 IEEE 802.16m SRD(System Requirements Document)<sup>[10]</sup>에서 요구사항으로 제시한 ‘펠토셀 밀집 배치 시 성능 보장’을 만족하는 것을 확인할 수 있다.

그림 10은 펠토셀 설치 밀도에 따른 채널별 소비 전력 변화를 나타낸 그림으로 모의실험 내의 전체 채널이 사용하는 총 전송전력을 전체 채널의 개수로 나눠 채널당 소비 전력을 계산하였다. 기존 방식은 펠토셀 설치 밀도의 증가와 무관하게 채널별로 일정한 전력을 사용하기 때문에 그래프 상에 일정한 값을 가지지만 제안 방식의 경우 펠토 기지국이 많이 설치 될 경우 이웃 기지국의 해당 채널과의 간섭을 고려하여 전송전력을 줄이고 커버리지를 좁히기 때문에 해당 채널의 전송전력은 낮아지게 된다.

그림 11은 트래픽 부하 변화에 따른 호손율(호손실 횟수/ 핸드오버 시도 횟수) 을 측정된 결과로서, 사용자의 호 발생 빈도 및 호 지속 시간의 변화를 통해 트래픽 부하를 변화시키고 해당 트래픽 부하에서의 호손율을 각각 산출하였다. 모의실험 결과 전 구간에서 제안 방식이 기존 방식에 비해 낮은 호손율을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 제안 방식이 기존 방식에 비해 가용 채널을 많

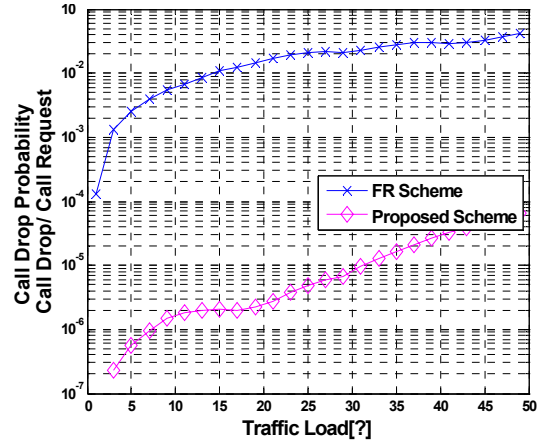


그림 11. 트래픽 부하에 따른 호손율 변화  
 Fig. 11. The blocking probability versus the traffic load

이 확보 할 수 있기 때문에 높은 트래픽에서도 낮은 호손율을 유지할 수 있음을 의미한다.

그림 12는 사용자의 이동성 변화에 따른 호손율(호 손실 횟수/ 핸드오버 시도 횟수) 변화를 나타낸 그림으로, 사용자의 이동 발생 빈도를 나타내는  $\lambda$ 를 변화시켜 모의실험에서 사용자 이동성에 변화를 주고 각각의 상황에서의 호손율을 계산하였다. 사용자 이동성이 높아질수록 기존방식과 제안방식 모두 호손율이 증가하지만 제안 기법의 경우 모든 범위에서 기존방식에 비해 상대적으로 낮은 호손율을 가지는 것을 확인할 수 있다. 이것은 제안 기법이 기존 방식에 비해 많은 가용 채널을 확보할 수 있어, 펠토 사용자 단말이 다른 펠토 기지국으로 또는 펠토 기지국 내의 다른 채널로 핸드오버 시 선택할 수 있는 채널의 폭이 넓어 호가 손실 될 가능성을 낮추기 때문이다. 또한 제안 방식에서는 이웃 펠토 기지국의 해당 채널이 사용 중이 아닐 경우 사용자의 이동에 따라 커버리지가 조정되기 때문에 불필요한 핸드오버를 줄이기 때문에 낮은 호손율을 유지할 수 있었다.

### III. 결 론

현재 펠토셀 기술과 관련하여 많은 표준화 단체가 다양한 기술적 이슈를 가지고 표준화 작업을 진행하고 있다. 본 논문과 관련한 셀 간의 주파수 간섭 문제 또한 표준화 작업이 진행 중이며 매크로셀과 펠토셀 간의 간섭 문제가 주를 이루고 있다. 펠토셀 밀집 환경에서의 펠토셀 간의 간섭 문제에 대한 문제는 아직 많은 연구가 이루어지지 않은 상태



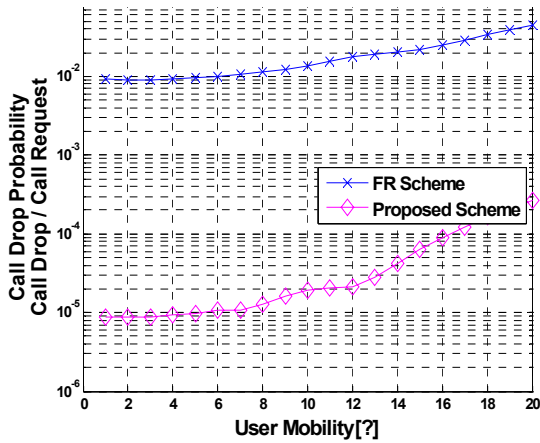


그림 12. 사용자 이동성 변화에 따른 호손율 변화  
 Fig. 12. The blocking probability according to the FMS movement

이다.

본 논문에서는 이웃 펌토 기지국이 사용하는 채널별 전송전력 정보를 바탕으로 홈 펌토 기지국이 채널별로 전송전력 제어를 수행하여 채널별로 다양한 커버리지를 가지도록 하는 채널별 전송전력의 적응적 제어 기법을 제안하고 컴퓨터 모의실험을 통해 성능을 평가하였다. 모의실험 결과 제안 방식이 기존 방식에 비해 펌토셀 설치 밀도가 낮을 때에도 넓은 커버리지 커버할 수 있고, 셀 경계면의 커버리지 홀을 줄여 시스템 용량이 향상되었다. 커버리지 홀이 줄어들면서 사용자 이동에 따른 호손율 또한 감소하는 결과를 얻었다. 뿐만 아니라 펌토셀이 밀집 배치될 경우 전력 제어를 통해 채널당 낮은 전송전력을 사용할 수 있어서 펌토 기지국의 전력 소모율면에서도 이득을 확인하였고, 펌토셀 밀집 배치 시의 가용자원 고갈 문제 또한 해결하였다. 제안한 기법들을 통해 펌토셀 시스템에서의 효율적인 간섭관리가 가능할 것으로 기대된다.

References

[1] ABI Research. *Picochip, airvana, IP access, gartner, telefonica Espana*. [Online]. Available : <http://www.avrevents.com/dallas-femto2007/purchase presentations.htm>

[2] F. Lehser, "Self organising LTE/SAE network-operator requirements & examples," presented in ITG Fachtagung 25th, Sept. 2006.

[3] S. Lim, T. Kwon, S. Park, and D. Hong, "The scheme for interference reduction and avoidance in femtocell," *J. KICS*, vol. 25, no. 12, pp. 41-48, Nov. 2008.

[4] C. S. Kim, B. G. Choi, J. Y. Lee, T. J. Lee, H. Choo, and M. Y. Chung, "Femtocell deployment to minimize performance degradation in mobile WiMAX System," in *Proc. ICCSA, Part III, LNCS 6018*, pp. 85 - 95, 2010.

[5] M. Z. Chowdhury, Y. M. Jang, and Z. J. Haas, "Interference mitigation using dynamic frequency re-use for dense femtocell network architectures," in *Proc. IEEE ICUFN*, June 2010.

[6] G. Gur, S. Bayhan, and F. Alagoz, "Cognitive femtocell networks: An overlay architecture for localized dynamic spectrum access," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 17, pp. 62 - 70, Aug. 2010.

[7] J. Xiang, Y. Zhang, T. Skeie, and L. Xie, "Downlink spectrum sharing for cognitive radio femtocell networks," *IEEE Syst. J.*, vol. 4, pp. 524-534, Dec. 2010.

[8] M. Nazir, M. Bennis, K. Ghaboosi, A. Mackenzie, and M. Latva-aho, "Learning based mechanisms for interference mitigation in self-organized femtocell networks," in *Proc. IEEE ASILOMAR*, Pacific Grove, USA, Nov. 2010.

[9] I. Guvenc, M. Jeong, F. Watanabe, and H. Inamura, "A hybrid frequency assignment for femtocells and coverage area analysis for co-channel operation," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 12, no. 12, Dec. 2008.

[10] IEEE 802.16 WG, "*IEEE 802.16m system requirements*," Jan. 2009.

[11] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, and A. Gatherer, "Femtocell networks: A survey," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 46, no. 9, pp. 59 - 67, Sept. 2008.

[12] H. Claussen, L. T. W. Ho, and L. G. Samuel, "Self-optimization of coverage for femtocell deployments," in *Proc. WTS*, Apr. 2008, pp. 278-285.

[13] J. Boccuzzi and M. Ruggiero, *Femtocell: Design & Application*, McGraw-Hill Professional, p. 127, Oct. 2010.

[14] C. H. Koh, K. Park, K. J. Yoon, and Y. Y. Kim, "The concepts and technical overview of SON (Self-Organizing Network)," *J. Inf. Netw. Soc.*, vol. 22, no. 2, Nov. 2008.

[15] C. H. Koh, K. Park, K. J. Yoon, and Y. Y. Kim, "The concepts and technical overview of SON (Self-Organizing Network)," *J. Inf. Netw. Soc.*, vol. 22, no. 2, Nov. 2008.

[16] 3rd Generation Partnership Project: HNB/HeNB Access Control. 3GPP TD S2-090733(2009).

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

[18] Wikipedia, *Log-distance path loss model* [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Log-distance\\_path\\_loss\\_model](http://en.wikipedia.org/wiki/Log-distance_path_loss_model)

[19] ITPP. *C++ signal processing library* [Online]. Availabel: <http://sourceforge.net/projects/itpp>

[20] B. Liang and Z. J. Haas, "Predictive distance-based mobility management for multidimensional PCS networks," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 11, no. 5, pp. 718-732, 2003.

[21] WiMax Forum, "WiMax system evaluation methodology," v1.0, 2007.

**이 호 석 (Hoseog Lee)**



2010년 2월 경북대학교 전자  
전기컴퓨터학부 공학사  
2012년 2월 경북대학교 전자  
전기컴퓨터학부 공학석사  
2012년 3월~현재 삼성전자 소  
프트웨어 센터 Convergence  
Solution 팀

<관심분야> 이동통신시스템, 무선자원관리, Cloud  
Computing

**조 호 신 (Ho-Shin Cho)**



1992년 2월 한국과학기술원  
전기 및 전자공학과 공학사  
1994년 2월 한국과학기술원 전  
기 및 전자공학과 공학석사  
1999년 2월 한국과학기술원 전  
기 및 전자공학과 공학박사  
1999년 3월~2001년 2월 한국

전자통신연구원 선임연구원  
2001년 3월~2003년 2월 한국항공대학교 전자정  
보통신컴퓨터공학부 전임강사  
2010년 1월~2011년 1월 미국 커네티컷 대학 방문  
교수  
2003년 3월~현재 경북대학교 IT대학 전자공학  
부 교수  
<관심분야> 이동통신시스템, 무선자원관리, 트래픽  
제어, 수중음향센서네트워크