

페토셀 시스템 용량 개선을 위한 전력 제어 알고리즘

정 재 환*, 손 인 수°

A Power Control Algorithm for Performance Enhancement in Femtocell Systems

Jae-Hwan Jung*, Insoo Sohn°

요 약

최근 통신 시장의 규모는 해마다 늘어가고 있다. 무선 사용자들의 요구 데이터 전송 속도의 증가와 무선 자원의 포화로 인해 우리는 새로운 무선 기술을 개발하여 통신 자원을 효율적으로 이용할 필요가 있다. Femtocell은 작은 단위를 뜻하는 Femto와 기지국의 커버리지 범위를 나타내는 Cell의 합성어로 무선 자원을 효율적으로 이용할 수 있는 새로운 통신 기술을 원하는 통신 시장의 요구에 부응하는 기술 중의 하나이다. Femtocell은 Macrocell 안에 설치되는 형태를 취하기 때문에 Power Control과 Handover는 중요한 사항 중에 하나이며 그에 따라 많은 연구가 진행되고 있다. 기존의 논문에서는 Handover 확률을 낮추기 위해 Tx Power를 낮춘 결과 통신 용량의 저하가 일어나는 문제가 발생하였다. 본 논문에서는 Femtocell의 문제 중 하나인 Macrocell과의 Handover 문제를 최소화하며 통신 용량을 늘리는 새로운 알고리즘을 제안하였고 이를 시뮬레이션으로 시연하였다. 그 결과 기존의 논문과 거의 비슷한 Handover 성능을 가지며 더 높은 Throughput 성능을 얻었다.

Key Words : Femtocell, LTE-Femtocell, Home enodeB, Power Control

ABSTRACT

In the recent, the communication market increased every year. Because of the user's demands and exhaustion of wireless resource, we needs a new technology of the communication system. The femtocell is one of the new technology of the communication system. 'Femto' means very small. By using the femtocell that made up the very small cell, the frequency efficiency increase. The femtocell has different cell environments. The Power Control is important for femtocell to avoid interference and unnecessary handover. In this paper, we propose a new femtocell power control that is improvement of handover probability and throughput. And we simulate and check the result.

I. 서 론

현재 통신 시장의 규모는 해마다 늘어나고 있다. 초기에는 음성 통신을 목적으로 발전을 거듭하던 통신 시장은 사용자의 요구 및 음성 통신 시장의 포화로 무선 데이터 통신으로 시장을 확대하고 있는 추세이다.

그러나 이런 통신 시장의 확대에 의해 사용자의 증가와 사용자의 요구 수준은 점점 높아져만 가고 있으며, 반면 통신 자원은 한정되어 있으며 현재의 통신 기술은 통신 용량의 한계인 Shannon 한계에 거의 근접하게 되었다. 따라서 사용자의 요구를 만족시키고 더 나은 서비스를 제공하기 위해서는 현재의 통신 자원을

* First Author : Samsung Electronics, jungjh22@naver.com, 정회원

° Corresponding Author : Dongguk University Department of Electrical and Electronics Engineering, isohn@dongguk.edu, 종신회원
 논문번호 : KICS2016-05-099, Received May 24, 2016; Revised August 9, 2016; Accepted August 10, 2016

좀 더 효율적으로 사용할 필요가 있다.

통신 기술의 목적은 양질의 통신 환경을 제공하여 사용자 간의 통신을 원활히 하는데 있다. 따라서 이러한 양질의 통신 환경을 이루기 위해서는 사용자와 기지국 간의 거리를 줄여 감쇄를 줄이는 방법이 제일 효과적이다. 또한 셀 내의 사용자 숫자를 줄임으로써 기지국의 부하를 줄임으로 셀 내의 자원 분배의 효율을 높이는 방법이 있다. 따라서 현재는 위의 두 가지 조건을 충족시키는 소규모의 셀이 각광받고 있다. Femtocell은 10^{-15} 를 나타내는 단위의 Femto와 기지국의 커버리지인 Cell의 합성어로 집이나 작은 사무실 내에 설치되어 이를 커버하는 소규모 셀의 하나이다. Femtocell은 위에서 언급한 소규모 셀의 장점들로 인해 많은 연구가 이뤄지고 있으며 차세대 통신 기술로 주목받고 있다¹⁻⁵⁾. 그러나 Femtocell은 사용자의 입의에 따라 Macrocell 안에 많은 수가 설치된다는 점에서 많은 문제점을 갖게 된다. 우선 Macrocell 사용자에게 많은 간섭과 원치않는 Handover를 일으키게 되며 이는 시스템 부하를 일으키게 된다. 따라서 Femtocell은 자신의 Tx Power를 조절하여 Macrocell 사용자에게 대한 간섭과 무분별한 Handover를 줄일 필요가 있다.

II. 기존의 Femtocell Power Control

서론에서 설명한 바와 같이 Femtocell은 Macrocell 안에서 설치되어 Macrocell 사용자에게 간섭과 원치않는 Handover를 일으키게 된다. 이를 방지하기 위해 Femtocell은 자신의 Tx Power를 조절할 필요가 있다. 따라서 Femtocell의 Power Control은 많은 연구가 이뤄지고 있다.

그러한 논문 중에 하나인 Claussen^{16,7)}의 논문을 살펴보면 주로 Handover 확률을 낮추는데 목적을 두고 있다. Handover 확률을 낮춤으로써 Macrocell 사용자의 Femtocell로의 무분별한 Handover를 줄이게 되고 또한 Femtocell이 Macrocell에 주는 간섭을 최소화하게 된다.

그림 1은 Claussen Power Control 기법에 대한 Flow Chart이다. Claussen 논문에서는 가장 먼저 Femtocell의 전원이 켜짐과 동시에 Femtocell은 자신의 Tx Power를 초기화하게 된다. 초기화는 Macrocell의 Tx Power에 따라 해주게 되며 그 방법은 아래 식 (1)과 같다.

$$P_{femto} = \min(P_{macro} + G(\theta) - L_{macro}(d) + L_{femto}(r), P_{max}) \quad (1)$$

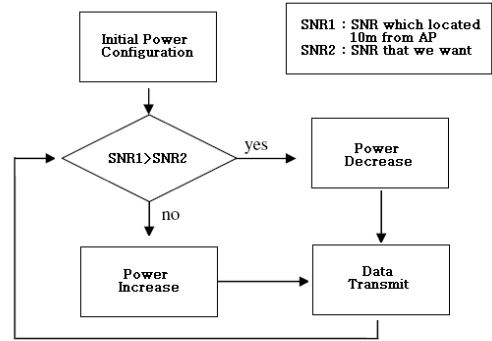


그림 1. Claussen 전력제어 알고리즘
Fig. 1. Calussen Power Control Flow Chart

P_{femto} 와 P_{macro} 는 각각 Femtocell과 Macrocell의 Tx Power를 나타낸다. $G(\theta)$ 는 안테나 이득을 나타내며 L_{macro} 와 L_{femto} 는 각각 Femtocell과 Macrocell의 Pathloss를 나타낸다. P_{max} 는 Femtocell이 가질 수 있는 최대 Tx Power를 나타내면 본 논문에서는 125mW의 값을 사용하였다.

위의 초기 값을 결정하는 이유는 Femtocell의 경계에서 Macrocell과 Femtocell의 Tx Power의 비를 일정 수준으로 맞춰줌으로써 Femtocell의 커버리지를 적당한 수준으로 조절하기 위해서이다.

이 후 Femtocell의 정해진 반경만큼 떨어진 외곽에서의 SNR값과 미리 정해진 기준인 SNR값을 비교하여 Power Control을 실행하게 된다. Femtocell 외곽의 실제 SNR값이 기준 SNR값보다 더 높을 경우에는 Femtocell의 Tx Power가 기준보다 높다는 것을 의미하므로 Macrocell 사용자에게 주는 간섭을 줄이기 위해 Tx Power를 감소시켜주게 된다. 반대로 Femtocell 외곽의 실제 SNR값이 기준 SNR값보다 더 낮을 경우에는 Femtocell의 Tx Power가 기준보다 낮다는 것을 의미하게 된다. 따라서 Femtocell의 반경 내에서의 원활한 통신 환경 확보를 위해서 Tx Power를 증가시켜주게 된다.

III. 제안하는 Power Control

앞 절에서는 Claussen 논문에서 제안한 Power Control 기법을 살펴보았다. Claussen의 Power Control 기법의 경우 Femtocell의 외곽 경계 지점에서의 SNR값을 이용하여 Tx Power를 조절하는 방식을 사용하였다. 논문에서는 이런 방식을 사용하여 높은 Handover 확률의 저하 결과를 보여주었다. 그러나 이

러한 방법을 사용하게 될 경우에는 이러한 Handover 확률 저하 결과를 얻기 위해 Tx Power를 낮추게 된다. 낮은 Tx Power는 곧 통신 용량의 저하로 이어지게 되는 단점을 발생시키게 된다.

따라서 본 논문에서는 기존의 Handover 확률 저하 성능을 유지하면서 Claussen 논문보다 높은 통신 용량을 얻기 위해 주변에 설치된 Femtocell에서 받는 간섭을 고려하는 알고리즘을 제안하였다.

하나의 Macrocell 안에는 다수의 Femtocell이 존재하게 되며 이러한 Femtocell들은 Macrocell 사용자에게 대한 간섭 뿐 아니라 Femtocell 사용자에게 간섭을 일으키게 된다. 이러한 간섭은 결국 Femtocell의 통신 용량 저하를 가져오게 되므로 이를 고려해야한다. Femtocell의 Tx Power는 다른 Femtocell 사용자에게는 간섭이 되므로 이를 고려하며 자신의 Tx Power를 높이는 방법의 Power Control을 함으로써 SNR 저하에 대한 보상을 받을 수 있다. 그러나 이러한 Power의 증가는 위에서 살펴본 바와 같이 Handover 확률의 증가를 가져오게 됨으로 적절한 조절이 필요하게 된다.

본 논문에서는 주변 Femtocell의 Tx Power 정보를 공유하여 이를 평균화시켜줌으로써 특정 Femtocell이 지나치게 높은 Tx Power를 사용하여 주변 Femtocell에게 간섭을 일으키는 것을 막고 이를 이용하여 좀 더 높은 SNR을 얻게 되며 이로 인해 통신 용량의 증가를 꾀한다.

제안하는 Power Control 기법은 그림 2와 같은 방식으로 이뤄진다. Claussen 알고리즘의 높은 Handover 확률 저하 성능을 얻기 위해 Claussen 기법을 먼저 실행하게 된다. 이후 주변 Femtocell들의 Tx Power의 정보를 받은 후 주변 Femtocell들과 Tx Power를 평균화하게 된다. 각 Femtocell은 자신의 Tx Power에 대한 정보를 각자 가지고 있으며, 사용자의 Femtocell은 이에 대한 정보를 일정 주기에 따라 가져온다. 본 논문은 해당 정보의 갱신 주기, 즉 Power Control의 주기를 하나의 패킷 단위를 전송할 때 마다 반복하는 것으로 하였다. 평균화는 아래 다음과 같은 식을 이용한다.

$$P_{avg Tx} = \frac{\sum_{i=0}^N (P_{Femi})}{N} \quad i = 1, 2, 3... \quad (2)$$

여기서 $P_{avg Tx}$ 는 주변 Femtocell 들의 Tx Power의 평균값이며, P_{Femi} 는 i 번째의 Femtocell Tx Power를 나타낸다. N 은 주변 Femtocell 들의 수를 나타낸다.

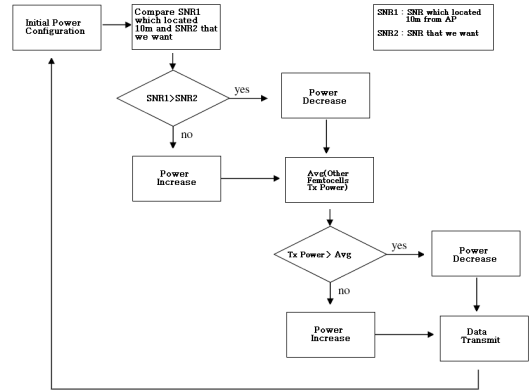


그림 2. 제안된 전력제어 알고리즘
Fig. 2. Proposed Power Control Flow Chart

이 후 아래 식 (3)과 같은 방법으로 Power Control을 하게 된다.

$$P_{Fem_t} = P_{Fem_{t-1}} + P_{Control} \quad (3)$$

$$P_{Control} = \begin{cases} \alpha P_{Fem_{t-1}} & \text{if } P_{avg Tx} > P_{Fem_{t-1}} \\ -\alpha P_{Fem_{t-1}} & \text{if } P_{avg Tx} < P_{Fem_{t-1}} \end{cases}$$

여기서 P_{Fem_t} 는 현재의 Femtocell Tx Power이며 $P_{Fem_{t-1}}$ 는 Power Control 이전의 Femtocell Tx Power를 나타낸다. α 는 Power Control 계수로 본 논문에서는 0.1의 값을 사용하였다.

위의 식을 살펴보면 우선 주변 Femtocell의 평균값과 자신의 Tx Power를 비교한다. 자신의 Tx Power가 주변 Femtocell의 평균값보다 높다면 자신의 Tx Power를 감소시키게 된다. 반대로 자신의 Tx Power가 주변 Femtocell의 평균값보다 낮다면 자신의 Tx Power를 증가시키게 된다. Initial Power Configuration 단계는 Data 전송 이후 Femtocell의 Tx Power를 다시 설정하는 단계로 Claussen 기법에서는 기준 SNR과 Femtocell에서 일정 거리가 떨어진 외곽의 SNR 값을 비교하는 단계만을 거치기 때문에 굳이 진행할 필요가 없다. 허나 본 논문의 기법에서는 Macrocell에 대한 Tx Power 조절 외에 주변 Femtocell들의 Tx Power 평균값과의 비교를 통해 다시 한 번 Tx Power를 조절하게 된다. 이 경우 두 단계를 거친 Tx Power 조절 이후 Initial Power Configuration 단계를 거쳐 기준 Tx Power를 재설정하여 각 단계별로 상충하는 Tx Power 조절이 있는 경우에서 Tx Power의 조절 반복을 해소할 수 있다.

IV. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 측정하기 위해 시스템 레벨 시뮬레이션을 구현하였다. 시뮬레이션에 사용된 여러 파라미터는 아래 표 1과 같다. 통신 방식은 LTE의 방식을 사용하였다. Carrier Frequency는 2.3GHz을 사용하였으며 Bandwidth는 10Mhz를 사용하였다. 안테나는 1x1으로 MIMO를 사용하지 않았다. 또한 Worst Case를 가정하기 위해 그림 3과 같이 Femtocell은 모두 Tier 구조로 붙어있는 모양을 가

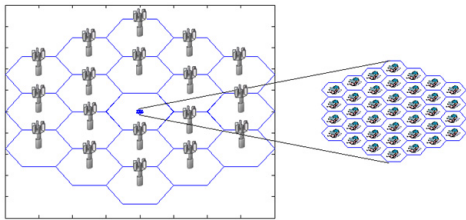


그림 3. 시뮬레이션 Cell 구조
Fig 3. Cell Structure

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameters

| 파라미터 | 파라미터 값 |
|--------------------------|--|
| Femtocell radius | 10m |
| Femtocell user | 1 user |
| Femtocell tier | 3 tiers (37 cells) |
| Femtocell pathloss | $P_{femto} = 38.5 + 20\log_{10}(d) + WL$ d (|
| Inter Femtocell distance | 20m |
| Macrocell 반경 | 500m |
| Macrocell 사용자 수 | 16 users |
| Macrocell tier | 2 tiers (19 cells) |
| Macrocell pathloss | $P_{macro} = 128 + 38\log_{10}(r) + WL$ r (|
| Macrocell antenna gain | $G(\theta)dB = G_{max} - \min[12(\frac{\theta}{\beta})^2, G_s]$ $-\pi \leq \theta \leq \pi$ $G_{max} = 16dB, \beta = 70\pi/180, G_s =$ |
| Transfer mode | LTE |
| Carrier frequency | 2.3 GHz |
| Bandwidth | 10 MHz |
| Antenna array | 1x1 (Not MIMO) |
| Scheduling method | Proportional fair |
| Channel model | Jake's fading |

정하였다. Femtocell은 3 Tier 구조를 가지며 10m의 반경을 가지고 있고 Macrocell은 2 Tier 구조로 이루어져 있으며 500m의 반경을 가진다.

먼저 Handover에 대한 결과를 살펴보면 그림 4와 같다. 여기서 사용자는 3km/h의 속도로 움직인다고 가정하였으며 3 Tier의 주변 Femtocell을 갖는다. Power Control을 사용하지 않는 경우 10m 지점에서 35%, 8m 지점에서는 50%의 Handover 확률을 갖는 반면, Claussen 기법을 사용하였을 경우는 10m 지점에서 10%, 8m 지점에서 28%의 확률을 갖는다. 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용하는 경우는 10m 지점에서 6%, 8m 지점에서 21%의 성능을 보여주며 Claussen 기법과 거의 비슷하거나 약간 더 나은 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다.

다음으로 Throughput의 성능을 살펴보면 사용자가

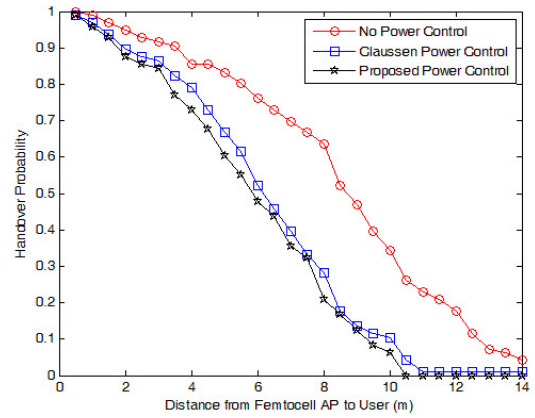


그림 4. 핸드오버 확률
Fig 4. Handover Probability

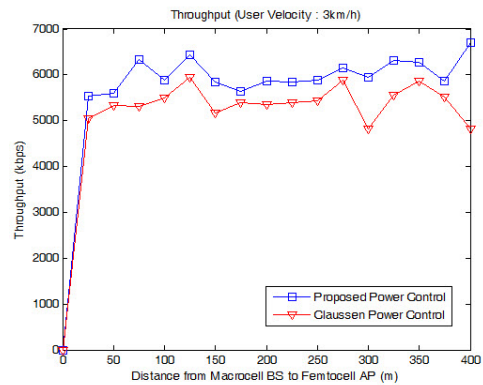


그림 5. Femtocell과 Macrocell의 거리에 따른 Throughput 성능 (사용자 속도 : 3km/h)
Fig. 5. Throughput for Femtocell and Macrocell with varying distance (user velocity: 3km/h)

3km/h의 속도로 이동할 때 그림 5와 같은 성능을 나타낸다. Femtocell은 3 Tier 구조를 갖고 있으며 X축은 측정하는 Femtocell 기지국과 Macrocell의 기지국과의 거리를 나타낸다. Femtocell과 Macrocell의 거리가 150m 떨어져 있을 경우 Claussen 기법을 사용하면 약 5Mbps의 성능을 얻는 반면, 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용할 경우 5.8Mbps의 성능을 보여준다. 250m 떨어져 있을 경우 Claussen 기법 사용시 5.1Mbps, 제안한 기법을 사용할 경우는 5.7Mbps의 성능을 보여주고 있다. 평균적으로 본 논문에서 제안한 기법을 사용할 경우 Claussen 기법을 사용했을 때보다 약 0.7Mbps의 성능 우위를 보여주는 것을 확인할 수 있다.

사용자의 속도가 10km/h일 경우는 그림 6과 같다. Femtocell과 Macrocell의 거리가 150m일 때 Claussen 기법은 3.9Mbps의 Throughput을 보여주며 본 논문에서 제안한 기법은 4.6Mbps의 성능을 보여준다. 250m의 경우에는 각각 3.8Mbps, 5.5Mbps의 성능을 보여준다. 평균적으로 본 논문에서 제안한 Power Control 기법을 사용하였을 경우 Claussen보다 약 0.9Mbps의 성능 우위를 보여준다.

그림 7은 Femtocell의 Tier 수를 변경하였을 때의 3km/h의 속도로 움직이는 Femtocell 사용자의 Throughput를 보여준다. 1 Tier (6 Cells)로 둘러쌓였을 경우 Claussen의 기법을 사용하면 약 7Mbps의 성능을 보여주며, 본 논문에서 제안한 기법을 사용하면 8.6Mbps의 성능을 보여준다. 2 Tier (18 Cells)일 경우 각각 5.7Mbps와 7Mbps의 성능을 보여주며 3 Tier에서는 5.5Mbps, 6.5Mbps를 보여주고 4 Tier에서는

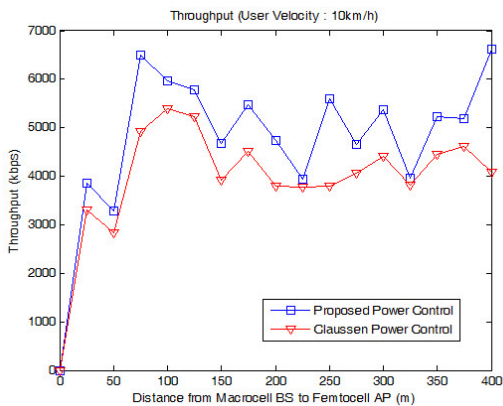


그림 6. Femtocell과 Macrocell의 거리에 따른 Throughput 성능 (사용자 속도: 10km/h)
Fig. 6. Throughput for Femtocell and Macrocell with varying distance (user velocity : 10km/h)

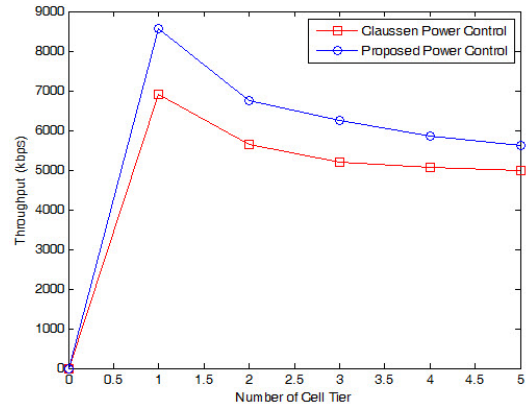


그림 7. Femtocell Tier 수에 따른 Throughput 성능 (사용자 속도: 3km/h)
Fig. 7. Throughput for Femtocell with varying cell tier (user velocity : 3km/h)

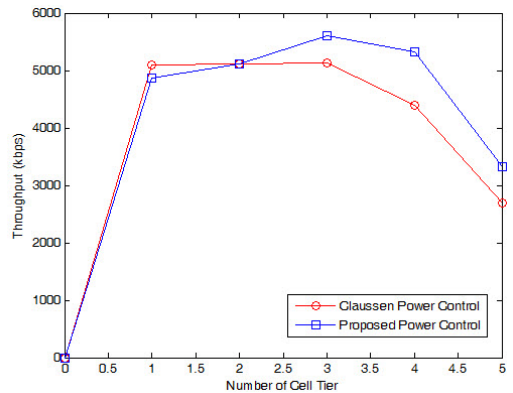


그림 8. Femtocell Tier 수에 따른 Throughput 성능 (사용자 속도: 10km/h)
Fig. 8. Throughput for Femtocell with varying cell tier (user velocity : 10km/h)

5.2Mbps, 6.1Mbps, 5 Tier에서는 5Mbps, 5.7Mbps의 성능을 보여준다. 평균적으로 약 1Mbps의 성능 우위를 보여주는 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 Femtocell의 Tier 수를 변경하였을 때의 10km/h의 속도로 움직이는 Femtocell 사용자의 Throughput를 보여준다. 1 Tier로 둘러쌓였을 경우 Claussen의 기법을 사용하면 약 5.1Mbps의 성능을 보여주며, 본 논문에서 제안한 기법을 사용하면 4.9Mbps의 성능을 보여준다. 2 Tier 역시 5.0Mbps의 비슷한 성능을 보여주지만 3 Tier에서는 5.0Mbps, 5.6Mbps를 보여주고 4 Tier에서는 4.4Mbps, 5.3Mbps, 5 Tier에서는 2.6Mbps, 3.4Mbps의 성능을 보여주며 성능의 우위를 보여준다. 3 Tier 이상에서

효과적임을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서는 기존의 Claussen Power Control 기법을 살펴보고 Claussen Power Control 기법의 단점을 보완하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 본 논문이 제시하는 새로운 알고리즘은 기존의 단일 Femtocell과 Macrocell로 구성된 상태에서 Power Control하는 Claussen 방식에서 한 단계 나아가 Macrocell 뿐만 아니라 주변의 Femtocell의 Tx Power 정보를 받은 뒤 이를 평균화하여 이를 기준으로 삼아 자신의 Tx Power를 다시 한 번 조절하게 되고 이로 인해 주변 Femtocell과 Tx Power의 평균화를 피하여 SNR 향상과 통신 용량 향상을 피하는 알고리즘이다.

본문에서는 이러한 제안된 알고리즘이 Handover 성능에서는 기존의 Claussen 기법과 거의 비슷하거나 좀 더 나은 성능을 보여주었고 Femtocell과 Macrocell의 거리에 따른 Throughput은 약 1.0Mbps의 성능 우위를 보여주는 것을 확인할 수 있었다. 또한 Femtocell의 Tier에 따른 Throughput 역시 약 0.7Mbps의 성능 우위를 보이는 것을 확인할 수 있었다.

본 논문에서 사용된 시뮬레이션 환경은 Femtocell이 밀집한 환경을 가정하여 얻은 결과이다. 실제 환경에서는 Femtocell 분포는 좀 더 넓게 분포할 것으로 예상되며 따라서 밀집한 환경을 가정한 시뮬레이션에 비해 좀 더 높은 통신 용량을 기대할 수 있을 것이다.

References

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

[2] H. Claussen, L. T. W. Ho, and L. G. Samuel "An overview of the femtocell concept," *Bell Labs Technical J.*, vol. 13, no. 1, pp. 221-245, 2008.

[3] H. Kim, Y. Jo, J. Lim, and D. Hong, "Interference mitigation by joint employment of power control and almost blank subframes in heterogeneous networks," *J. KICS*, vol. 39A, no. 1, pp. 62-64, Jan. 2014.

[4] J-G. Jang and I. Sohn, "A novel cell selection technique based on game theory for femtocell

system resource optimization," *J. KICS*, vol. 39A, no. 11, pp. 652-659, Nov. 2014.

[5] K. Han, Y. Cho, S. Lee, and S. Min, "Packet off-loading scheme using a femto-cell local gateway and D2D communication at remote shipyards," *J. KICS*, vol. 39C, no. 11, pp. 1139-1145, Nov. 2014.

[6] L. T. W. Ho and H. Claussen, "Effect of user-deployed, co-channel femtocells on the call drop probability in a residential scenario," *PIMRC07*, Sept. 2007.

[7] H. Claussen, "Performance of macro-and co-channel femtocells in a hierarchical cell structure," *PIMRC07*, Sept. 2007.

정 재 환 (Jae-Hwan Jung)



2008년 2월 : 동국대학교 전자공학과 학사
 2010년 2월 : 동국대학교 전자공학과 석사
 2010년 3월~현재 : 삼성전자 무선사업부 <관심분야> LTE, Femtocell

손 인 수 (Insoo Sohn)

1994년 5월 : RPI 컴퓨터공학과 학사
 1996년 1월 : NJIT 전기공학과석사
 1998년 8월 : SMU 전기공학과 박사
 1998년 8월~1998년 12월 : ERICSSON USA 선임연구원
 1999년 1월~2004년 2월 : 한국전자통신연구원 선임연구원
 2004년 3월~2006년 2월 : 명지대학교 통신공학과 조교수
 2006년 3월~현재 : 동국대학교 전자전기공학부 교수 <관심분야> 통신신호처리, 게임이론, 인공지능