

이종 네트워크에서의 비협력 게임 기반 전력 할당 기법

배인산*, 이진녕*, 장성진*, 김재명^o

Power Control Scheme Based on Non-Cooperative Game in a Heterogeneous Network

Insan Bae*, Jinnyoung Lee*, Sungjin Jang*, Jaemoung Kim^o

요약

본 논문에서는 이종네트워크에서 펌토셀의 전력제어 기법을 게임이론을 이용해 정의한다. 저전력으로 고품질의 통신환경을 제공하는 펌토셀은 여러 장점으로 인해 최근 이슈화 되고 있지만 다수의 펌토셀 사용은 매크로셀과의 같은 채널을 사용함으로써 인한 많은 양의 간섭으로 작용한다. 게임이론의 적용을 위해 셀룰러 네트워크의 기지국 및 사용자를 게임을 하는 플레이어로 설정하고 서로에게 미치는 간섭 영향을 전력 효용함수로 모델링 하였다. 또한 최적의 전력을 사용하여 시뮬레이션을 통한 저전력 사용, 간섭량 감소 그리고 시스템 전체 성능 향상을 확인하였다.

Key Words : Femto-cell, Game Theory, Non-cooperative game, Nash equilibrium, Power control

ABSTRACT

We propose Femto-cell power control scheme in HeNet with Game Theory. The Femto-cell which provide high quality with low power is issued by many benefits, however there is a bunch of interferences when many Femto-cells use overlapped bandwidth with Macro-cell. We defined base station of cellular networks and mobile users as players of Game Theory, and configured interference effect among each other as power utility function. Futhermore, we showed enhanced overall system performance, lower power usage and interference decrease by using optimal power.

1. 서론

스마트폰과 태블릿 기기의 증가와 더불어 현재는 빅데이터(Big Data)와 보다 빠른 통신 속도의 필요로 인해 셀룰러 네트워크는 커다란 짐을 가지게 되었다. 기존의 매크로셀(Macro Base-stations, MBSs)의 확장은 높은 비용이 들며 사용자 수가 증가와 함께 트래픽

의 증가를 안정시키기 위한 해법이 필요하다. 펌토셀(Femtocell)은 사용자의 기본적인 QoS(Quality of Service)를 보장하며 전체적인 시스템 용량을 증가시킬 수 있다. 또한 빠르고 유연하기 때문에 사용자가 원하면 언제든 어디서든 설치해서 기존의 셀룰러 서비스를 제공 받을 수 있다는 장점이 있다^{1,2)}. 그러나 이러한 펌토셀의 무분별한 사용은 매크로셀 및 펌토

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신 산업진흥원의 대학 ICT 연구센터육성 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다. (NIPA-2014-H0301-141042)

♦ First Author : Inha University Information & Communication Engineering, baainsan@inha.edu, 학생회원

° Corresponding Author : Inha University Information & Communication Engineering, jaekim@inha.ac.kr, 중신회원

* 인하대학교 정보통신공학과, jin312010@naver.com, wireless.jang@gmail.com

논문번호 : KICS2014-10-435, Received October 29, 2014; Revised November 18, 2014; Accepted November 18, 2014

셀 내의 다른 사용자에게 열잡음에 기인하는 것이 아니라 사용자 사이의 간섭으로 발생한다. 즉, 상대의 전력이 자신에게는 간섭으로 작용하기 때문에 자신의 성능을 높이기 위해서는 전력을 증가시켜야만 하며 상대 또한 시스템 성능을 위해 전력을 증가시켜야 한다. 하지만 이러한 무분별한 전력 증가는 결국 상호 간섭이 증가함과 동시에 전력낭비를 초래한다. 이는 자신의 이익을 최대화하기 위한 상호 경쟁적인 상황이며 일종의 경기 혹은 게임으로 간주할 수 있다.

매크로셀과 펠토셀이 혼재하는 무선통신 환경은 각기 다른 자신의 목적을 추구하기 때문에 환경에 따라 변수들을 조절해야한다. 이런 이유로 게임이론은 상호 간 경쟁하는 현상을 연구, 모델링 및 분석하는데 있어 중요한 툴로써 인식되고 있다. 게임이론은 각 사용자를 지능적이고, 자신의 성능을 최적화 할 수 있도록 관찰, 학습, 행동할 수 있는 능력을 가지게 할 수 있다^[3].

게임이론은 이미 다양한 분야에서 적용되어 사용되고 있으며 다수의 경쟁관계에 있는 무선 통신에서도 활발히 연구가 진행되고 있으며^[4]. OFDM이나 HSDPA, CDMA 등의 실제적인 무선 통신 시스템에서도 연구가 되었다^[3,6].

실제적으로 최적화된 전력제어 알고리즘 판단 기준의 첫 번째는 시스템 성능 개선을 보여주는 것이다. 두 번째는 수신단에서의 잡음이나 Outage감소와 같은 환경변화에 대한 강인함이 있어야 한다^[3]. 게임이론을 적용한 전력제어 기법을 살펴보면, 분산적 게임이론 전력제어 기법을 Co-Channel 간섭에서 제안하고 부채널(Sub channel)을 가지는 비협력 알고리즘을 이용해 시스템 성능을 최대로 하는 전송전력을 할당하는 기법이 있다^[7]. 또한 매크로셀을 Leader로 펠토셀을 Follower로 설정을 하고 Stackelberg 게임이론을 사용하여 전력제어를 하였다^[8]. Target-SINR을 이용하여 전력할당 알고리즘을 제안한 기법도 있는데, 기본적인 QoS를 보장하는 범위 내에서 각 사용자의 SINR은 Target-SINR보다 항상 높아야 하며 이를 이용하여 알고리즘을 정의하였다^[9].

본 논문에서는 매크로셀과 펠토셀이 혼재하는 시스템에서 SINR(Signal to Interference Noise Rate)을 기반으로 하는 전력제어 알고리즘의 성능을 분석한다. 펠토 기지국들의 경우 각각의 전송 전력을 결정하는 중앙 처리 장치가 없기 때문에 각 펠토셀은 스스로 그들의 전력 레벨을 결정하여야한다. 그러므로 분산적 알고리즘 적용이 적절하며 셀 내의 사용자 QoS를 만족시키기 위해 더 큰 전력을 사용해야 하므로 비협력

게임이론을 적용한다. 각 2장에서는 전파모델 및 시스템 구현을 위한 시스템 모델을 정의하고 펠토셀이 존재하는 매크로셀의 SINR 및 간섭(Interference)를 정의한다. 3장에서는 비협력 게임 및 효용함수(Utility Function)를 정의하고 내쉬균형(Nash Equilibrium)의 존재를 증명하겠다. 4장에서는 시뮬레이션 결과와 간단한 분석을 실시하고 5장에서 향상된 시스템 성능에 대한 결론을 끝으로 한다.

II. 시스템 모델

2.1 경로 손실(Path-Loss) 모델

다운링크 상황에서 매크로셀과 펠토셀이 공존하는 셀룰러 시스템에서는 매크로 기지국과 매크로 사용자 간 모델, 매크로 기지국과 펠토 사용자 간 모델, 펠토 기지국과 매크로 사용자 간 모델 이렇게 네 가지의 경로손실 모델이 존재하며 다음과 같다^[10,11].

매크로 기지국과 매크로 사용자의 거리를 $D(km)$ 라고 했을 때 경로손실은 다음과 같이 계산된다.

$$PL = 128.1 + 37.6\log_{10}D \quad (1)$$

펠토 기지국과 매크로 사용자 사이의 경로손실은 거리의 단위가 km 에서 m 으로 바뀌며 다음과 같다.

$$PL = \max(15.3 + 37.6\log_{10}D, 37 + 20\log_{10}D) \quad (2)$$

펠토 기지국과 펠토 사용자 사이의 경로손실 또한 거리가 m 이며 다음과 같다.

$$PL = 37 + 20\log_{10}D \quad (3)$$

앞서 정의한 전파 경로 손실 모델을 정리하면 표 1. 과 같다.

표 1. Path-Loss Model

Case of Model	Path-Loss(dB)
MBS to MUE	Equation(1)
MBS to FUE	Equation(1)
FBS to MUE	Equation(2)
FBS to FUE	Equation(3)

2.2 시스템 간섭 모델

다운링크 상황의 매크로셀 내에 펠토셀이 다수 존재하는 것을 고려한다. 매크로셀과 펠토셀 기지국은 셀 중심에 위치하며 4개의 채널을 이용해 사용자(User)와 통신을 하게 된다. 인접해 있는 셀과 다른 채널을 사용함으로써 간섭의 크기를 줄인다. 임의의 매크로셀 내에 존재하는 펠토셀은 매크로셀과의 간섭을 줄이기 위해 자신이 속한 매크로셀의 채널을 사용하지 않고 다른 채널을 사용한다. 하지만 여전히 같은 채널을 사용하는 다른 셀로부터의 간섭은 존재한다. 이때 번째 펠토 사용자의 SINR은 다음과 같다.

$$SINR_i = \frac{G_{i,f}P_f}{\sum_i G_{i,f'}P_{f'} + \sum_i G_{i,m}P_m + N_0} \quad (4)$$

$G_{i,f}$ 는 i 번째 사용자가 속한 펠토 기지국 f 사이의 채널 이득(Channel Gain)을 나타내며 P_f 는 펠토 기지국 f 의 전송전력이다. 마찬가지로 $G_{i,f'}$ 는 다른 펠토 기지국 f' 로부터 i 번째 사용자까지의 채널이득이며 $P_{f'}$ 는 다른 펠토 기지국들의 전송전력이다. $G_{i,m}$ 는 매크로 기지국 m 으로부터 i 번째 사용자까지의 채널이득이며 P_m 은 매크로 기지국 m 의 전송전력이며 N_0 는 잡음전력이다.

(4)와 유사하게 매크로 사용자 k 의 은 다음과 같다.

$$SINR_k = \frac{G_{k,m}P_m}{\sum_k G_{k,f}P_f + \sum_k G_{k,m'}P_{m'} + N_0} \quad (5)$$

채널 이득 G 는 경로손실(Pathloss)에 많은 영향을 받는다. 경로손실은 1. 경로 손실 모델에서 나타난 식으로 계산할 수 있으며 경로손실을 PL 이라 할 때, 채널 이득 G 는 다음과 같이 계산된다.

$$G = 10^{-PL/10} \quad (6)$$

III. 비협력 게임 기반 전력 제어

이번 장에서는 게임이론을 기반으로 하는 펠토셀 전력제어 효용함수를 제안한다. 게임이론 기반의 효용함수는 전체 성능을 향상시키고 모든 사용자 혹은 시스템을 안정화 시킬 수 있다. 이러한 게임이론은 각 개인 사용자의 상태를 기반으로 한다. 매크로셀 및 펠

토셀 내에서의 각 사용자는 합리적이고 이기적으로 행동한다. 자신이 수신하고자 하는 신호 이외의 모든 신호는 간섭으로 작용하며 이는 자신의 성능을 저하시키며 자신의 성능을 높이기 위해서 전력을 증가시킬 수밖에 없다. 한편, IS-95에서는 각 개인 사용자의 FER(Frame Error Rate)을 만족하기 위한 Threshold를 계산하였다. 그러나 각 모바일의 관점에서 보면 다른 사용자들의 QoS는 전혀 관련이 없다. 그러므로 게임이론 기반 전력제어 알고리즘은 비협력 게임으로 설계하는 것이 적절하다고 할 수 있다^{12,13}.

3.1 게임의 정의

게임이론에서의 기본 게임 형태는 다음과 같다.

$$G = \{I, \{P\}, U(\cdot)\} \quad (7)$$

- $i \in I (i = 1, \dots, I)$ 는 사용자의 집합이다.
- P 는 각 사용자가 취하는 전략집합으로써 한 사용자 $i \in I$ 가 펠토 기지국 $f \in F (f = 1, \dots, F)$ 로부터 수신하게 되는 전력의 집합을 나타낸다. 이때 P_f 는 $0 < P_f \leq P_{m \max}$ 의 범위 내에서 연속이다.
- $U(P_{i,f})$ 는 i 번째 사용자가 $P_{i,f}$ 의 전력을 수신하였을 때 취하게 되는 효용함수이다.

3.2 효용 함수(Utility Function)

펠토 기지국 f 는 i 번째 펠토 사용자에게 최초 P_f 의 전력으로 송신을 실시한다. 매크로 기지국으로부터 송신되는 전력이 고정적이라고 한다면 i 번째 펠토 사용자는 P_f 의 송신 전력과 $P_{f'}$ 의 송신전력을 모두 수신하게 되며, P_f 와 $P_{f'}$ 의 관계는 i 번째 펠토 사용자 의 에 있어 서로 경쟁관계라고 할 수 있다. 또한 각각의 송신전력을 통하여 얻을 수 있는 이득이 존재한다. 앞서 나타난 근거를 바탕으로 펠토 사용자 i 가 취할 수 있는 이득을 다음과 같이 나타낸다.

$$\frac{P_{i,f}}{P_{i,f} + \sum_i P_{i,f'}} \times 1 \quad (8)$$

위 (8)에서 분모는 모든 펠토 기지국들의 전송전력이며 경쟁으로부터 얻을 수 있는 이득은 전체 이득을 1로 했을 때 투자한 만큼의 전송전력이 되겠다. 즉 다른 펠토 기지국과의 전송전력 경쟁에서 이득을 공평하게 분배하기 위해 위와 같은 효용함수를 정의하였

다. (8)을 효용함수로 사용하기 위해서는 페널티 함수가 필요하다. 페널티 함수를 $\alpha P_{i,f}$ 로 정의하였고 (8)에 \log 함수를 취한 다음 페널티를 준다.

$$U(P_{i,f}) = \log\left(\frac{P_{i,f}}{P_{i,f} + \sum_i P_{i,f'}}\right) - \alpha P_{i,f} \quad (9)$$

하지만 위의 (9)는 모든 경쟁관계에 있는 모든 펠토 사용자에게 동일하게 적용되기 때문에, 각 i 번째 사용자의 효용함수를 정의하기 위해 각 펠토 사용자가 받는 펠토 기지국으로부터의 간섭을 페널티(Penalty) 함수에 곱하여 준다. α 는 가중상수이다.

$$U(P_{i,f}) = \log\left(\frac{P_{i,f}}{P_{i,f} + \sum_i P_{i,f'}}\right) - \alpha P_{i,f} \log\left(\sum_i G_{i,f'} P_{i,f'}\right) \quad (10)$$

3.3 전력 제어 알고리즘

각 펠토 기지국은 상호 경쟁적인 펠토 사용자들의 효용을 최대화 하는 파레토 최적(Pareto optimum)으로 전력을 송신하여야 한다^[4]. 이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$U^*(P_{i,f}^*, P_{i,f'}) \geq U(P_{i,f}, P_{i,f'}) \quad (\forall i = 1, \dots, I), (\forall f = 1, \dots, F) \quad (11)$$

위 (11)은 효용함수를 최대화 하는 $P_{i,f}^*$ 가 존재한다는 의미이고 이 때, $P_{i,f}^*$ 를 파레토 최적을 이루는 내쉬 균형(Nash Equilibrium) 전력이라 한다. 파레토 최적값을 구하기 위해서는 $U(P_{i,f})$ 를 미분하여 0이 되게 하는 $P_{i,f}$ 를 찾으려 한다^[4].

$$\begin{aligned} & \frac{\partial U(P_{i,f})}{\partial P_{i,f}} \\ &= \frac{1}{\ln 10} \left(\frac{\sum_i P_{i,f'}}{P_{i,f}(P_{i,f} + \sum_i P_{i,f'})} \right) - \alpha \log\left(\sum_i G_{i,f'} P_{i,f'}\right) \end{aligned} \quad (12)$$

미분된 (12)에서 $\frac{\partial U(P_{i,f})}{\partial P_{i,f}} = 0$ 이 되는 $P_{i,f}$ 를 찾으

면 다음과 같다.

$$P_{i,f}^* = \frac{1}{2} \left(- \left(\sum_i P_{i,f'} \right) \pm \sqrt{\left(\sum_i P_{i,f'} \right)^2 + 4 \frac{\alpha}{\ln 10} \frac{\left(\sum_i P_{i,f'} \right)}{\log\left(\sum_i G_{i,f'} P_{i,f'}\right)}} \right) \quad (13)$$

새로운 펠토 기지국의 전송전력 $P_{i,f}^*$ 는 최대 전송 전력 P_{\max} 를 넘을 수 없다($P_f \leq P_{\max}$).

새로운 전송 전력 $P_{i,f}^*$ 은 펠토셀 사용자의 효용함수를 이용하여 구한 것이다. 하나의 펠토셀 안에는 다수의 사용자가 존재한다. 하지만 펠토 기지국은 각각의 사용자에게 각각 다른 전송전력으로 전송할 수 없다. 따라서 같은 채널을 사용하는 한 펠토셀 안에서는 효용함수를 통해 새롭게 구해진 전송전력들의 평균값을 이용하여 각 사용자에게 할당한다.

- step 1. 초기값 지정 : 펠토 기지국의 전송 전력 설정
- step 2. 다른 펠토 기지국으로부터 오는 간섭 및 잡음 전력 측정
- step 3. (13)을 이용해 각 펠토 사용자의 새로운 전송 전력 결정
- step 4. 각 펠토 기지국의 새로운 전송 전력은 같은 펠토셀 내의 사용자로부터 구해진 새로운 전송 전력의 평균으로 결정
- step 5. step 1 ~ step 4 과정을 펠토셀 전송전력이 안정화 될 때까지 지정된 수만큼 반복

3.4 내쉬 균형(Nash Equilibrium)의 증명

내쉬균형의 일반적인 정의는 다른 상대방이 취하는 결정의 선택을 고려하여 모든 사용자들이 최선의 선택을 하는 균형을 이루었을 때를 뜻한다. 게임이론에서 내쉬균형 존재의 일반적인 증명은 효용함수 수렴을 필요로 한다. 이를 증명하는 방법은 (10)이 다음의 정의를 만족해야 한다^[3].

정의 1. 모든 사용자 i 에 대해서 전력집합 $\{P_{i,f}\}$ 는 비어있지 않으며, 유클리디언(Euclidean) R^N 공간의 부분집합이고 닫혀 있어야 한다.

정의 2. 효용함수 $U(\cdot)$ 는 연속이고 준-오목함수(Quasi-Concave) 형태이어야 한다.

효용함수 (10)은 전력집합 $[0, P_{\max}]$ 이므로 유클리디언 공간 R^N 의 부분집합이다. 한편 전력은

$0 < P_f \leq P_{max}$ 에서 비어있지 않고 연속이이기 때문에 정의 1.을 만족한다. 준오목함수를 만족하기 위해서는 효용함수의 2차 미분한 값이 음의 값을 가지면 된다.

$$\frac{\partial^2 U(P_{i,f})}{\partial P_{i,f}^2} < 0 \quad (14)$$

$$\frac{\partial^2 U(P_{i,f})}{\partial P_{i,f}^2} = \frac{1}{\ln 10} \frac{-\left(2P_{i,f} + \sum_i P_{i,f'}\right) \sum_i P_{i,f'}}{\left\{P_{i,f}(P_{i,f} + \sum_i P_{i,f'})\right\}^2} \quad (15)$$

모든 전송전력($P_{i,f} > 0$)에 대해서 위 식(15)은 0보다 작기 때문에 정의 2.도 만족하며, 내쉬균형이 존재함을 알 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

이번 장에서는 앞서 제안한 비협력 게임을 통한 펠토셀 전력제어 알고리즘의 성능을 분석한다.

4.1 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 환경은 그림 1과 같이 19개의 매크로셀 기지국 안에 균일 분포도록 펠토셀 기지국 300~360개와 사용자 2000명을 배치하였다. 사용자는 자신이 위치한 지점이 펠토셀 커버리지 내에 있으면 펠토셀 사용자, 매크로셀 커버리지 내에 있으면 매크로셀 사용자로 설정하였다. 매크로셀 기지국의 반경은 이며 펠토셀은 이다. 다운로드 환경의 시스템 모델은 셀간 간섭을 줄이기 위해 4개의 채널을 사용하였고 매크로셀

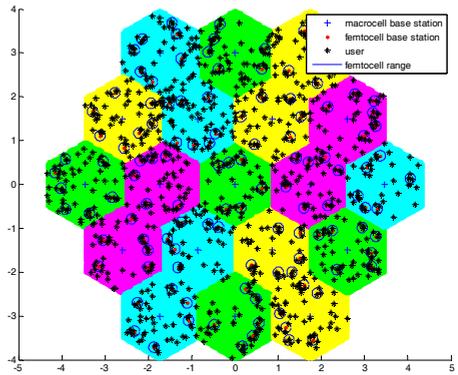


그림 1. Multi-cell in Heterogeneous Network

표 2. Simulation Parameters

Macro Tx Power	1W
Femto Tx Power(Fixed)	20mW
Femto Tx Power(Range)	$1mW \leq P_f \leq 25mW$
Radius of Macro	320m
Radius of Femto	5m
BW	15MHz
Noise Level	-204dBm
Number of Channel	4

기지국 내에 있는 펠토셀은 자신이 속한 매크로셀의 채널을 사용하지 않도록 하였다.

상기 설명한 내용과 시스템 모델의 여러 파라미터를 표 2에 나타내었으며 시뮬레이션은 매트랩(Matlab)을 이용해 실시하였다.

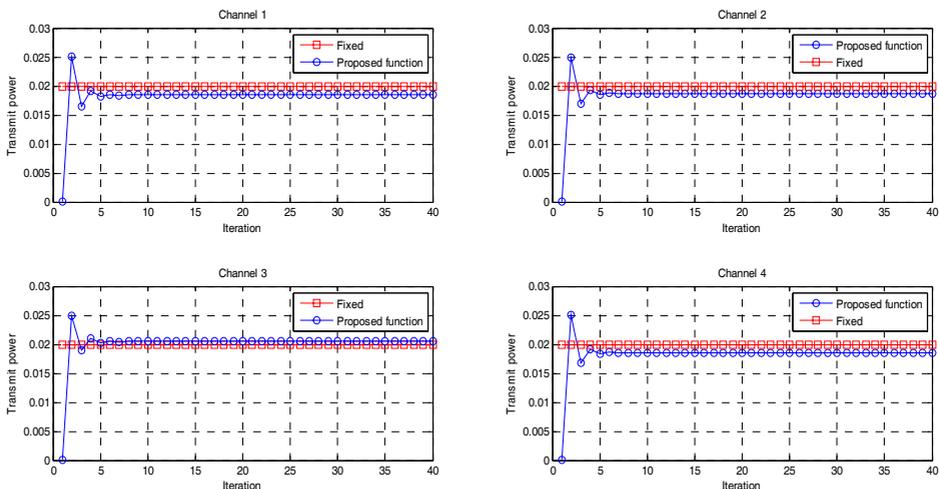


그림 2. The Change of Transmit Power as the number of Iteration in the Femto-cells of 300.

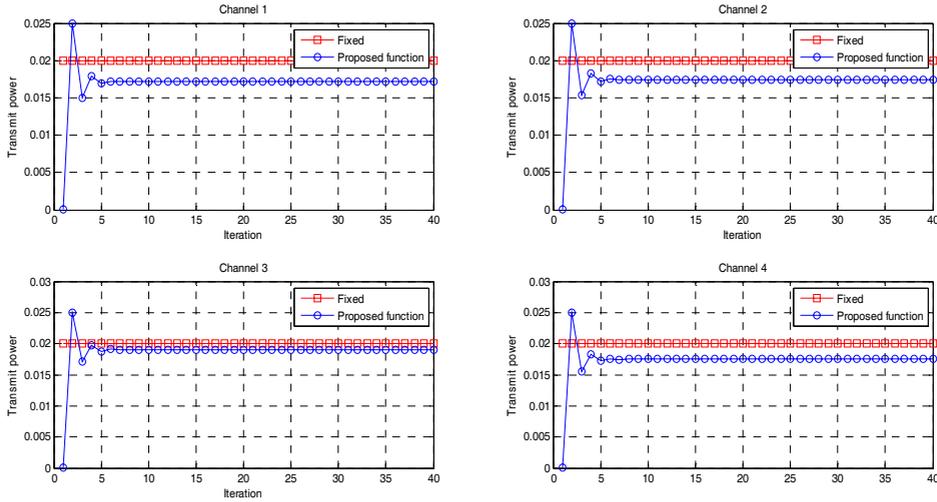


그림 3. The Change of Transmit Power as the number of Iteration in the Femto-cells of 360.

4.2 시뮬레이션 결과

먼저, 3.3 전력제어 알고리즘에서 나타난 효용 함수 기반의 전력제어 알고리즘을 통해 구한 반복수에 따른 각 채널별 전력 그래프를 펠토셀 수가 300개일 경우와 360개일 경우를 각각 그림 2와 그림 3에 나타내었다.

결과 그래프에서 나타난 전력 값이 올라가는 현상은 각 펠토셀 기지국이 최초 경쟁을 시작할 때 자신의 용량을 증대시키기 위해 전력을 높이는 현상으로 예상된다. 하지만 반복에 의한 효용함수의 적용으로 인하여 전력이 수렴하게 된다.

그림 4는 각 채널별 전력 변화에 따른 효용함수의 수렴을 보여준다. 3.4 내쉬균형의 증명에서 효용함수는 연속적이며 준-오목함수를 만족해야 내쉬균형이 존재함을 증명할 수 있었다. 그림 4는 연속된 전력변화에 따라 연속된 효용함수 값의 존재와 준-오목 형

태를 보이고 있다.

그림 5는 펠토셀 기지국 수가 증가에 따라 받게 되는 사용자의 평균 간섭을 나타낸다. 그림 6은 고정전력을 사용하였을 경우의 간섭과 제안한 알고리즘을 이용한 전체 간섭의 비교 그래프이다.

그림 7는 각 채널을 사용하는 사용자의 평균 SINR이며 그림 8은 고정된 전력을 이용한 SINR과 제안한 알고리즘을 이용한 전체 SINR의 비교 그래프이다.

펠토셀 수 증가에 따른 간섭 증가와 SINR감소를 쉽게 알 수 있다. 고정전력과 의 간섭 및 SINR결과를 비교해보면 제안한 알고리즘의 성능이 더 좋음을 알 수 있다. 최대 전력을 고정전력보다 높게 잡았음에도 그림 2, 그림 3에서는 전력 수렴은 대부분 고정전력보다 낮게 수렴함을 보였다. 이는 제안한 알고리즘을 사용하였을 경우 펠토셀 기지국이 송신하는 전력이 간섭은 적게 하면서 SINR은 향상 시키는 전력을 사용할

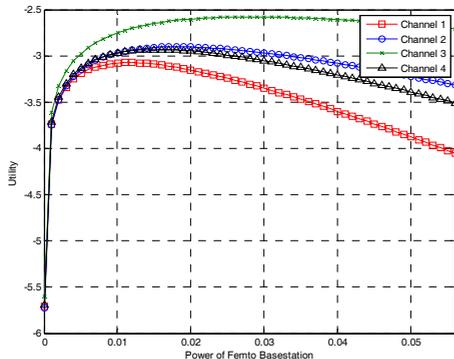


그림 4. Utility function at each Channel

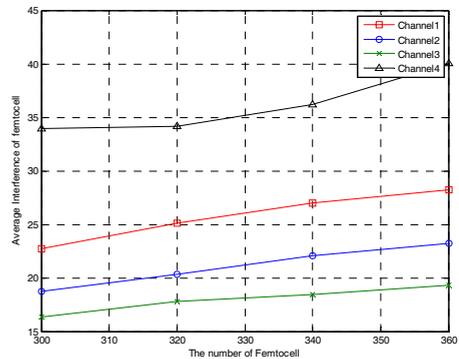


그림 5. Average Interference of each Channel

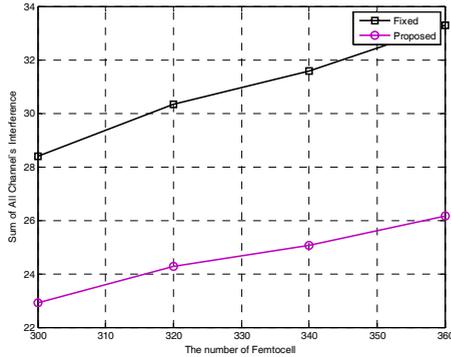


그림 6. Sum of Average Interference vs Interference of Fixed Power

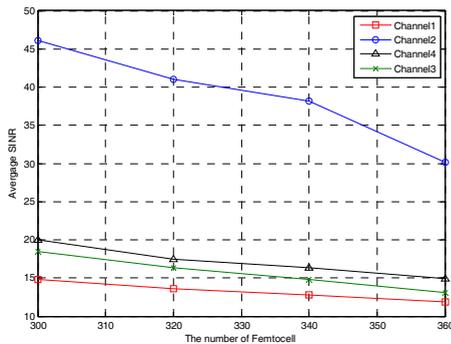


그림 7. Average SINR of each Channel

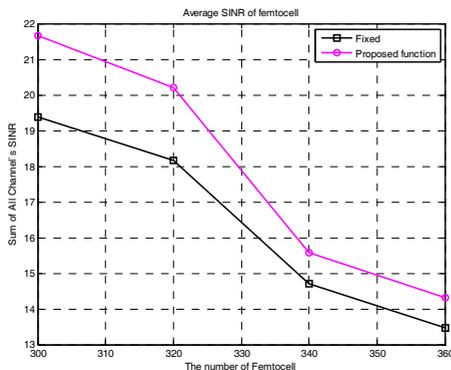


그림 8. Sum of average SINR vs SINR of Fixed Power

수 있기 때문이다. 즉 비협력적 관계에 있는 펠토셀을 효용함수를 이용한 전력제어를 통해 자신의 전력을 높이게 되면 다른 사용자에게 간섭이 크게 되면서 페널티 함수를 통해 전력을 줄이게 되고, 이러한 과정이 반복적으로 이루어지면 전력 소모는 줄임과 동시에 다른 기지국이나 사용자에게 간섭을 줄일 수 있고 전체 시스템 성능은 향상 시킬 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 비협력 게임을 이용한 이중 네트워크에서의 펠토셀 전력제어를 통한 시스템 성능 향상을 제안하였다. 각 펠토셀들의 복합적인 의사결정에 대한 전략적 상호작용을 효용함수로 나타내어 최적의 펠토셀 송신 전력을 구하고 이를 적용하여 시뮬레이션을 통한 결과를 비교, 분석 하였다.

그 결과, 제안한 방식이 사용자의 수신 간섭을 줄임과 동시에 수신 SINR이 향상된 성능을 보여주었다. 이와 같은 성능 향상으로 인해 제안한 방식이 펠토셀 및 매크로셀이 혼재된 차세대 무선통신에서 사용자 간의 성능 차이를 개선하고 전체적인 셀 성능을 향상시키는 더 효율적인 셀룰러 환경을 구성할 것으로 기대한다.

References

- [1] S. Kaimaletu, R. Krishnan, S. Kalyani, and N. Akhtar, "Cognitive Interference Management in Heterogeneous Femto-Macro Cell Networks," *IEEE Int. Conf. Comms.(ICC)*, pp. 1-6, Kyoto, Japan, Jun. 2011.
- [2] A. Damnjanovic, J. Montojo, Y. Wei, T. Ji, T. Luo, M. Vajapeyam, T. Yoo, O. Song, and D. Malladi, "A survey on 3GPP heterogeneous networks," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 10-21, Jun. 2011.
- [3] S. Koskie, Z. Gajic, "A Nash game algorithm for SIR-based power control in 3G wireless CDMA networks," *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 13, no. 5, pp. 1017-1026, Oct. 2005.
- [4] D. Lee(이덕주), I. Hong(홍인기), "Game Theory for Analysis of Communication System(통신시스템을 분석하기 위한 도구로서의 게임이론)" *KICS(Information and Communication)*, vol. 26, no. 7, pp. 3-9, Jun. 2009.
- [5] R. Lee, H. Cho, E. Ko, Y. Lim, I. Hwang, M. Song, "Game Theory based Power Control for OFDM System," *J. KICS*, vol. 32, no. 4, pp. 373-378, Apr. 2007.
- [6] S. HAMOUDA, Z. BENNOUR, S. TABBANE, and A. MORELL, "A Game

theoretic power control scheme for femtocells under macro-user QoS constraint," *2012 IEEE 23rd Int. Symp. Pers., Indoor Mob. Radio Commun.(PIMRC)*, pp. 243-247, Sydney, NSW, Sept. 2012.

- [7] T. Su, W. Li, W. Zheng, X. Wen, and Z. Liu, "Energy-efficient power optimization for two-tier femtocell networks using fictitious game," *IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM)*, pp. 3478-3483, Anaheim, CA, Dec. 2012.
- [8] S. Guruacharya, D. Niyato, E. Hossain, and D. I. Kim, "Hierarchical competition in femtocell-based cellular networks," *2010 IEEE Global Telecommun. Conf. (GLOBECOM)*, pp. 1-5, Miami, FL, Dec. 2010.
- [9] S. MU and Q. ZHU, "Power distribution algorithm based on game theory in the femtocell system," *ELSEVIER, Science Direct*, vol. 20, no. 2, pp. 42-47, Apr. 2013.
- [10] 3GPP, *Hnb and hnb-macro propagation models*, Qualcomm Europe, TSG-RAN WG4 44-bis R4-071617, Oct. 2007.
- [11] 3GPP, *Feasibility study for enhanced uplink for UTRA FDD*, Sophia Antipolis France, TSG-RAN WG1 V6-025896, Mar. 2004.
- [12] T. Başar and G. J. Olsder, *Dynamic noncooperative game theory*, 2nd Ed., SIAM Classics, 1999.
- [13] Y. Kim(김윤희), I. Hong(홍인기), "Wireless Communication Design Technology based on Non Cooperative Game Theory(비협력 게임이론을 적용한 무선 설계 기술)," *KICS (Information and Communication)*, vol. 26, no. 7, pp. 10-16, Jun. 2009
- [14] M. Rasti, A. R. Sharafat, and B. Seyfe, "Pareto-efficient and goal-driven power control in wireless networks: A game-theoretic approach with a novel pricing scheme," *IEEF/ACM Trans. Netw.*, vol. 17, no. 2, pp. 556-569, Apr. 2009.

배 인 산 (Insan Bae)



2012년 8월 : 인하대학교 정보통신공학과 학사졸업
 2012년 9월~현재 : 인하대학교 정보통신공학과 석사과정
 <관심분야> 간섭정렬, MIMO, 게임이론

이 진 념 (Jinyoung Lee)



2009년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신공학과 학사과정
 <관심분야> LTE, 게임이론

장 성 진 (Sungjin Jang)



2007년 2월 : 인하대학교 전자공학과 졸업
 2009년 2월 : 인하대학교 정보통신공학과 석사졸업
 2009년 6월~현재 : 인하대학교 정보통신공학과 박사과정
 <관심분야> 이동통신, 간섭정렬, MIMO, LTE

김 재 명 (Jaemoung Kim)



1974년 3월~1979년 6월 : 한국과학기술 연구소, 한국통신 기술연구소 근무
 1982년 10월~2003년 3월 한국 전자통신연구원 근무
 2003년 4월~현재 : 인하대학교 정보통신공학과 교수, 통신

위성우주산업연구회 회장역임 및 기술자문으로 다수 활동중

2014년 6월~현재 : 인하대학교 지능형 스펙트럼 엔지니어링 연구센터(ITRC) 센터장
 <관심분야> 차세대 무선통신, 인지무선기술, 위성통신기술