

# 펄토셀시스템 자원 최적화를 위한 게임이론 기반 기지국 선택 기법

장 정 규\*, 손 인 수<sup>o</sup>

## A Novel Cell Selection Technique Based on Game Theory for Femtocell System Resource Optimization

Jeong-gyu Jang\*, Insoo Sohn<sup>o</sup>

요 약

본 논문에서는 LTE-Femtocell 환경에서 최적의 사용자 Capacity, Load, Distance를 위한 게임이론 기반의 액세스 포인트 선택기법을 분석하고 알고리즘을 제안한다. 통신 환경에서 사용자들은 더 좋은 데이터 서비스를 받기를 원한다. LTE-Femtocell 환경에서 사용자들은 적은 이동거리로 이전위치와는 다른 데이터 서비스를 경험할 수 있다. 제안하는 액세스 포인트 선택 기법은 사용자가 적은 이동을 통하여 높은 Capacity를 획득하며 다른 사용자들이 적게 선택한 액세스 포인트를 선택하여 더 좋은 데이터 서비스를 얻을 수 있도록 도와준다. 제안하는 액세스 포인트 선택기법의 효과를 입증하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 하였다. 모의실험 결과로 사용자가 밀집되어 있는 상황에서 사용자들은 더 좋은 데이터 서비스를 위하여 흩어지는 모습을 보이며 이 결과로 제안하는 액세스 포인트 선택 기법이 사용자들에게 더 좋은 데이터 서비스를 제공하는 것을 확인하였다.

**Key Words** : Femtocell, Game Theory, Long Term Evolution (LTE)

ABSTRACT

In this paper, we propose an access point selection method for mobile users in LTE-femtocell system. In wireless communication system, users want to receive good data service. In LTE-femtocell system, if users move a little, users can experience different data service. The proposed access point selection method help that if users move a little, users obtain the high capacity and that user selects access point that other user have not selected much and so obtains higher data service. We simulated in order to prove performance of the proposed access point selection method. Simulation results show that in a situation that users are concentrated in order to obtain better data service users are seen scattered look. As a result, we confirm that the proposed access point selection method provides good data service to users.

### I. 서 론

스마트폰의 보급 및 사용이 많이 증가함에 따라 사용자들은 어디서나 더 좋은 데이터 서비스를 누리고

자 하는 요구가 증가하게 된다. 그러면서 나온 여러 가지들 중 하나인 펄토셀은 매크로셀보다 더 좁은 지역, 예를 들어 빌딩건물의 작은 사무실 같은 실내 사용자들에게 특화된 기지국이다. 최근 펄토셀 관련 연

\* First Author : Dongguk University Department of Electricity and Electronic Engineering, sc729@dongguk.edu, 학생회원

<sup>o</sup> Corresponding Author : Dongguk University Department of Electricity and Electronic Engineering, isohn@dongguk.edu, 종신회원  
논문번호 : KICS2014-07-261, Received July 11, 2014; Revised October 27, 2014; Accepted November 5, 2014

구도 많이 이루어지고 있다.<sup>[13]</sup> 좁은 커버리지를 가지고 많이 곳곳에 설치되어 있기 때문에 많이 보급된 건물의 경우 비교적 적은 이동반경 내에서도 많은 웹토셀 기지국을 접할 수 있다. 이때 비교적 적은 이동거리만으로도 다른 액세스 포인트를 선택할 수 있는 환경에 있을 때 적절한 사용자의 이동으로 충분히 적절한 통신환경을 얻을 수 있고 사용자가 이동의 의사가 있다면, 이를 계산하고 사용자에게 최적의 통신환경을 얻을 수 있는 액세스 포인트를 선택하게 도와주는 서비스가 유용 할 수 있다.

액세스 포인트를 선택함에 있어서 사용자 개개인인 현재 상황만을 보고 다른 사용자를 고려하지 않은 이기적인 선택을 하게 된다면 자신의 선택이 항상 최선의 선택이 아닐 수도 있다. 예를 들어 한방에 열 명의 사용자가 데이터 통신을 하고 있다. 그러나 옆의 동일한 크기의 다른 방이 비워져 있다. 그러면 선택의 상황이 온다. 이대로 데이터 통신을 할 것인지, 옆방으로 이동하여 데이터 통신을 할 것인지를 선택이 생긴다. 이때 k명의 사용자가 옆의 방으로 이동하여 다른 액세스 포인트 선택 여부에 따라 전체 시스템 용량이 개선 또는 악화 될 수 있다. 이러한 상황에 적용될 수 있는 것이 게임이론이며 본 논문에서 액세스 포인트를 선택함에 있어서 게임이론을 적용할 것이다.

게임이론은 John von Newmann과 Oskar Morgenstern이 1944년에 공저한 “Theory of Games and Economic Behavior”가 발간되면서 본격적으로 발전되기 시작했다. 처음 게임이론은 경제 분야에서 출발하여 현재에 이르러서는 다양한 분야에 적용되고 있다. 통신 시스템에서 통신 주체들을 적절히 제어해야 하는 대상으로 생각하고 효율적인 제어방식에 관한 연구가 진행되어 왔다. 이때 다른 통신 주체들에 의한 영향을 적절히 추정하고 해결하기 위한 방법으로 게임이론이 관심 받기 시작했다. 게임이론이란 전체 상황을 게임에 비유하여 한 참여자의 행동결과는 자신의 행동에 의해서만 결정되는 것이 아니라 동시에 다른 참여자의 행동의 영향에 의해서도 결정되며 이러한 상황에서 자기 자신에게 최대의 이익이 되도록 행동하는 것을 분석하는 것이다. 유명한 한 예로는 ‘죄수의 딜레마’가 있다.<sup>[17]</sup>

서론에 이어 II장에서는 게임이론을 적용하여 액세스 포인트를 선택하게 되는 방법을 제시할 것이며, III장에서는 컴퓨터 모의실험 결과와 IV장에서는 결론에 대해서 제시하고 있다.

## II. 게임이론 기반 액세스 포인트 선택

게임이론에서 게임 상황을 분석하기 위한 도구인 게임이론의 구성요소로는 경기자(Player), 전략집합(Strategy set), 효용함수(Utility Function) 또는 보수(Payoff) 세 가지가 있다. 본 논문에서 경기자는 사용자며, 전략집합은 경기자가 의사결정을 내릴 수 있는 선택의 범위로 본 논문에서는 어느 액세스 포인트를 선택할지에 대한 액세스 포인트 수만큼의 선택가능 전략이 있다. 그리고 효용함수는 액세스 포인트의 선택 결정을 내리게 하는 함수로 본 논문에서는 User Capacity, User Load, User-Access Point Distance를 사용한다.

게임 상황에서 경기자가 선택하는 가장 바람직한 전략은 직관적으로 보면 자신에게 가장 이익이 되는 전략을 선택하는 것으로 앞서 서론의 방 선택을 예로 들면 사람이 없는 옆방으로의 이동이 이에 해당된다. 그러나 그것은 경쟁자가 없을 시의 최고의 전략일수는 있어도 경쟁자가 존재하여 10명 모두 옆방으로 이동을 선택해 버리는 상황이 되면 최고의 전략이 되지 못한다.

### 2.1 액세스 포인트 선택 과정

시스템에 들어가게 되면 중앙서버에서 다음과 같은 정보수집 및 처리를 하여 사용자들에게 제공하고 사용자들은 다음과 같은 알고리즘에 따라 액세스 포인트를 선택 하게 된다:

- 1) 중앙서버는 액세스 포인트의 위치, 액세스 포인트의 Load정보와 액세스 포인트를 선택 후 해당 액세스 포인트에 접근완료시 얻을 수 있는 Capacity 정보를 얻는다.
- 2) 중앙서버는 효용함수 식(1)에 따라 각각의 액세스 포인트의 Utility를 계산한다.
- 3) 중앙서버는 Utility 최댓값을 보인 액세스 포인트 정보를 사용자에게 제공한다.
- 4) 사용자는 선택한 액세스 포인트로 이동하여 위치하게 된다.
- 5) 다른 사용자의 퇴장으로 인하여 인접 액세스 포인트의 load에 변화가 오면 주변 액세스 포인트에 Load되어있던 사용자들은 다시 식(1)에 따라 Utility를 다시 계산하여 선택한 액세스 포인트를 바꿀 것인지 제자리에 그대로 있을 것인지를 계산한다. 이때의 거리 D는 사용자가 최초 입장에서 현재까지 총 누적 이동거리를 나타낸다.
- 6) 사용자는 퇴장할 때까지 과정 5)를 반복한다.

$$U_{ij} = \alpha \frac{C_j}{L+1} - D_j \quad (1)$$

식(1)에서 거리 D의 단위는 (m), C의 단위는 (Mbps), L의 단위는 (명)을 사용한다. 가중치는 모의 실험 중에는 70으로 설정한다.

사용자 입장에서는 높은 Capacity를 얻을 수 있으며 적게 Load되었으면서 거리가 가까운 액세스 포인트를 선택한다는 생각을 기반으로 식(1)에 해당하는 효용함수를 만들었다.<sup>[4-6]</sup>

### 2.2 Capacity

본 논문에서는 실내 펌토셀 환경에서 채널모델은 경로 손실 모델만을 적용한다. 경로 손실을 적용한 Channel gain은 식(2)와 같이 주어진다.<sup>[9]</sup>

$$G = 10^{-PL/10} \quad (2)$$

사용자가 선택한 액세스 포인트에서 주변의 다른 액세스 포인트로부터의 간섭을 받게 된다. 서브캐리어 k를 할당받은 사용자 i의 SINR은 식(3)과 같이 표현한다.<sup>[10]</sup>

$$SINR_{i,k} = \frac{G_{i,k}P_{i,k}}{N_0\Delta f + \sum_{j=1}^q G_{i,j,k}P_{j,k}} \quad (3)$$

는 서브캐리어 k를 할당받은 사용자 i와 선택한 액세스 포인트 사이의 Channel gain을 나타낸다. 는 서브캐리어 k를 할당받은 사용자 i가 선택한 액세스 포인트의 송신 전력이다. j는 다른 액세스 포인트를 나타내며 q는 그 수를 나타낸다. 는 다른 액세스 포인트 j의 송신전력이다. 는 서브캐리어 k를 할당받은 사용자 i와 다른 액세스 포인트 사이의 Channel gain을 나타낸다. 는 White noise power density이며 는 Subcarrier spacing을 나타낸다.

선택한 액세스 포인트로부터 서브캐리어 k를 할당 받은 사용자 i가 얻는 Capacity는 식(4)와 같이 표현한다.<sup>[9]</sup>

$$C_{i,k} = \Delta f \cdot \log_2(1 + \beta SINR_{i,k}) \quad (4)$$

본 논문에서는 사용자가 할당받은 서브캐리어의 수를 고정하여 액세스 포인트별로 SINR의 차이로 인해 얻는 Capacity는 차이가 있지만 선택한 액세스 포인

트에서는 액세스 포인트에 Load된 수에 관계없이 사용자가 선택한 액세스 포인트로부터 얻을 수 있는 Capacity는 일정하다.

## III. 실험

### 3.1 실험 상세 설정

본 논문에서는 LTE-Femtocell 환경에서 최적의 사용자 Capacity, Load, Distance을 위한 게임이론 기반의 액세스 포인트 선택 기법을 다음과 같은 모의실험 조건을 사용하여 분석한다. 사용된 펌토셀 모델은 층은 하나이고 벽이 없는 공간에서 사용자들이 입장한다. 사용자의 입장모델은 사용자들이 동시 입장, 동시 퇴장하는 모델과 사용자들이 시간흐름에 따라 입장과 퇴장을 하는 모델 두 종류를 사용한다. 동시입장, 동시퇴장 모델에서는 50명이 동시에 입장하게 되고, 시간 흐름에 따라 입장과 퇴장을 하게 되는 모델에서는 100명이 입장과 퇴장을 한다. 시간의 흐름에 따라 입장과 퇴장을 하는 모델에서 사용자들이 입장하는 간격(MIAT, mean inter arrival time)은 Poisson 분포를 사용하며 평균값은 3초로 한다. 사용자들이 입장 후에 퇴장하기까지 시스템에 존재하는 시간(MIST, mean in system itme)은 Exponential 분포를 사용하며 평균값은 300초로 한다. 그리고 사용자가 밀집되어있는 상황을 만들기 위하여 80%사용자를 16%면적에 분포시켰다. 사용자들의 최초 위치가 골고루 분포 되면 효용함수의 성능을 확인하기 어렵기 때문에 밀집된 상황을 연출하였다. 실험환경에서 매크로셀의 영향은 무시하였다. 펌토셀 액세스 포인트는 10미터 간격으로 가로 4개 세로 4개를 배치하여 총 16개를 배치하였으며 펌토셀의 송신전력은 20mW으로 고정하고 채널 대역

표 1. 모의실험 변수 및 값  
Table 1. Simulation Parameter

Parameters	Values
BS transmit power	20 mW
Bandwith	10 MHz
Number of subcarriers	600
Subcarrier spacing	15 kHz
White noise power density	-174 dBm/Hz
Carrier frequency	2 GHz
Channel model (Path loss, PL)	PL = 38.46+20log(d)
Minimum separation User to Femtocell	1 m

폭은 10MHz, 잡음파워는 -174dBm, 반송과 주파수는 2GHz를 사용하였다. 펠토셀의 경로 손실 모델은  $PL=38.46+20\log(d)$ 를 사용하였다. 사용자와 액세스 포인트와의 최소거리는 1m로 가정하였다.<sup>[4,6,8,9]</sup>

### 3.2 동시 입장, 동시 퇴장 실험의 샘플

동시 입장, 동시 퇴장 실험은 가중치를 10을 주어서 제안하는 액세스 포인트 선택 기법을 적용한 실험(그림 1, 그림 2의 왼쪽 그림)을 하고 제안하는 액세스 포인트 선택 기법을 적용시의 차이점을 보이기 위해 가중치를 0을 주어서 제안하는 액세스 포인트 선택 기법이 적용되지 않고 가까운 액세스 포인트를 선택하게 되는 실험(그림 1, 그림 2의 오른쪽 그림)을 하였다.

그림 1은 사용자가 액세스 포인트를 선택하여 이동하는 경로를 나타내고 있으며 사용자가 밀집된 상황에서 알고리즘을 적용하지 않으면(가중치 0) 근처의 가까운 액세스 포인트를 향해 심하게 밀집하지만 사

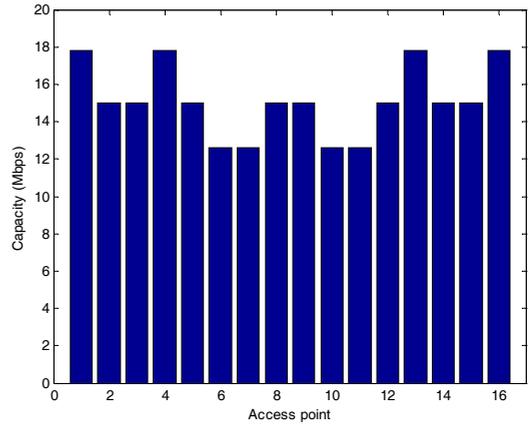


Fig. 3. Access Point Capacity  
그림 3. 액세스 포인트에서 제공 가능한 Capacity

용자가 밀집된 상황에서 제안하는 액세스 포인트 선택 기법을 사용하면(가중치 10) 더 좋은 통신환경을

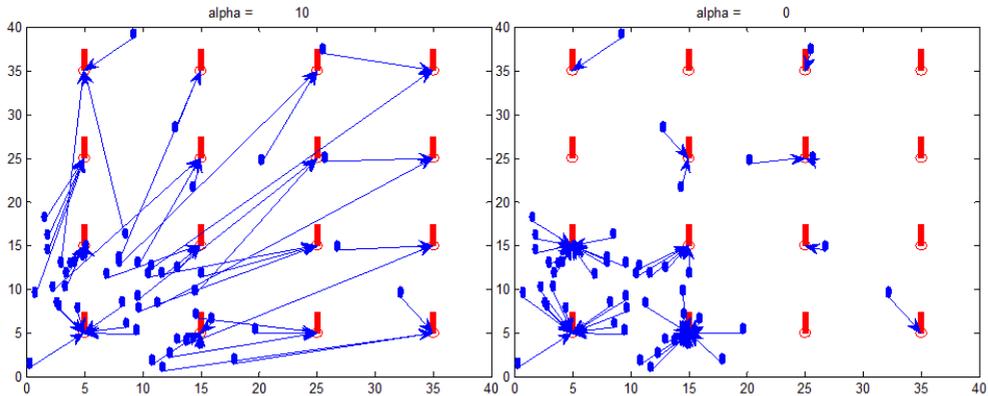


그림 1. 사용자 분포  
Fig. 1. User Distribution

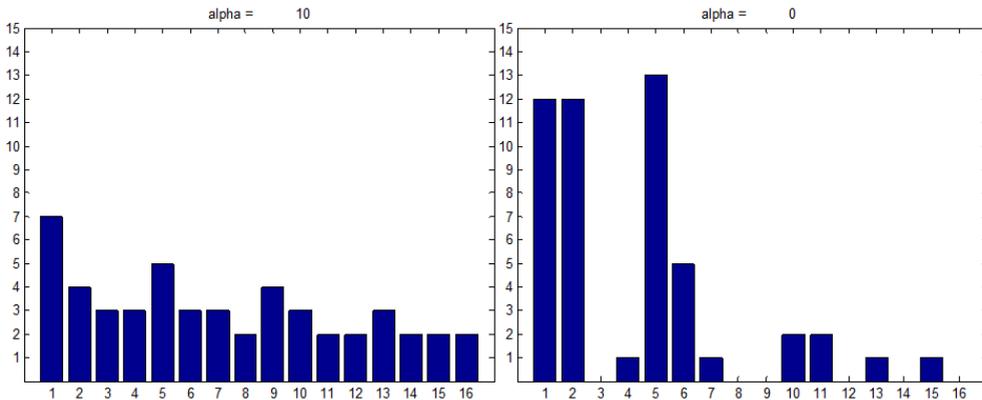


그림 2. 액세스 포인트 Load  
Fig. 2. Access Point Load

찾아 끌고루 흩어지는 모습을 볼 수 있다.

그림 2에서는 액세스 포인트에 로드된 사용자의 수를 보여준다. 제안하는 액세스 포인트 선택 기법을 사용하지 않을 경우(가중치 0) 일부 액세스 포인트에 높은 Load를 보이지만 제안하는 액세스 포인트 선택 기법을 사용하면(가중치 10) 사용자가 한곳에 심하게 밀집되지 않고 끌고루 액세스 포인트에 Load된 것을 확인 할 수 있다.

그림 3은 액세스 포인트에서 1m 떨어진 사용자 한

명이 얻을 수 있는 Capacity를 보여 주고 있다. 액세스 포인트에서 사용자들에게 제공할 수 있는 Capacity는 주변의 다른 액세스 포인트의 간섭의 영향으로 그래프와 같이 액세스 포인트별로 차이가 있다. 각각의 액세스 포인트에서 사용자에게 제공할 수 있는 Capacity가 다르다는 점을 참고하여 더 좋은 통신 환경을 위해 같은 거리에 두 액세스 포인트가 있을시 제공하는 Capacity가 높은 액세스 포인트를 선택하게 된다.

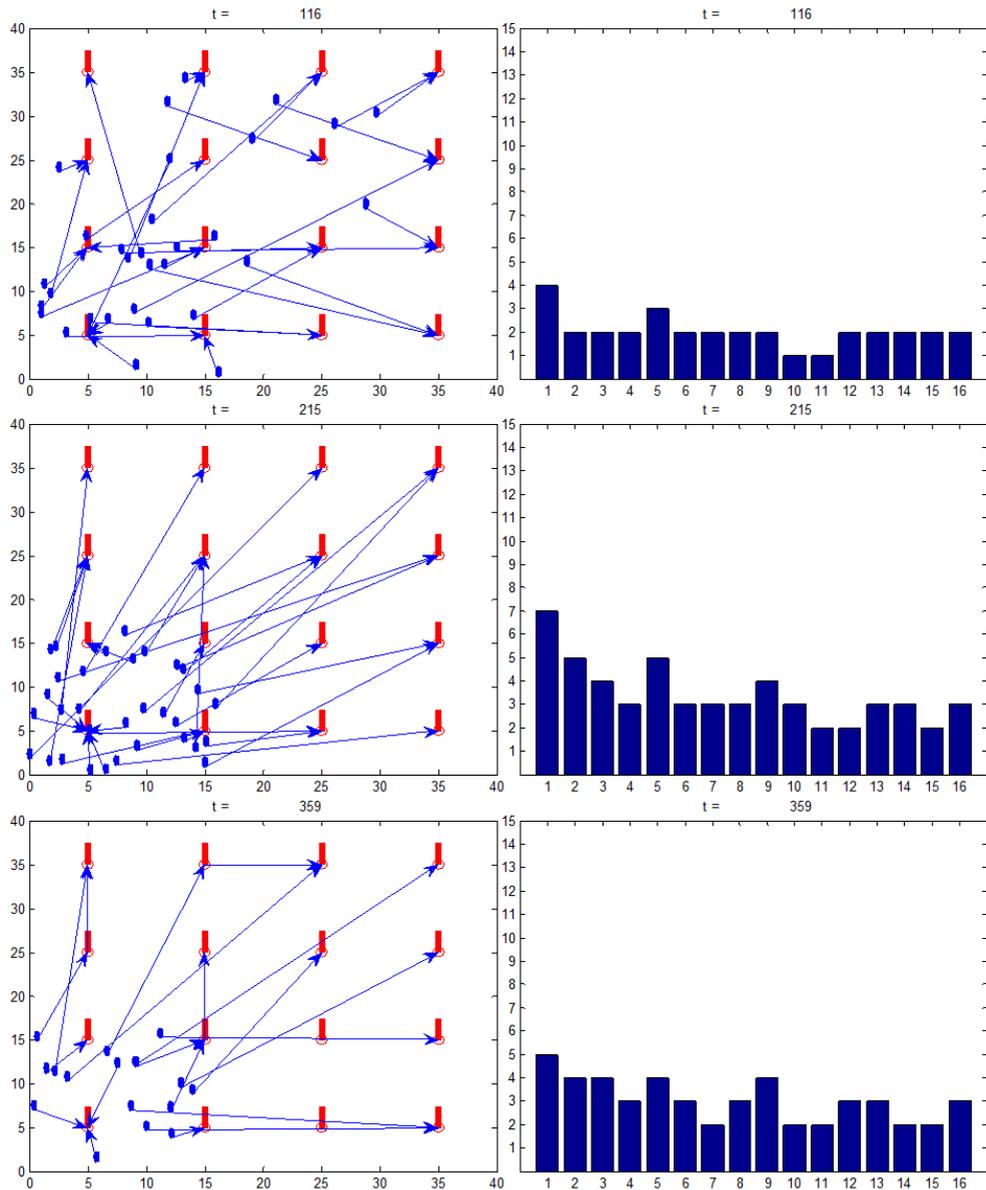


그림 4. 시간변화에 따른 사용자 분포 와 액세스 포인트 Load ( $\alpha = 10$ )  
 Fig. 4. User Distribution and Access point Load Time Evolution ( $\alpha = 10$ )

액세스 포인트의 서로 다른 Capacity와 Load 그리고 사용자들은 현재위치와 액세스 포인트와의 거리를 고려하여 적절한 이동으로 액세스 포인트를 선택하여 더 좋은 통신 환경을 찾는 모습을 샘플은 보여준다.

### 3.3 시간의 흐름에 따른 실험 샘플

그림 4는 시간의 흐름에 따른 모의실험에서 전체 실험 시간에 대하여 샘플을 뽑고 각각의 샘플은 이전 샘플 이후로 있었던 이동이 일어난 사용자의 이동경

로와 액세스 포인트에서의 Load를 보여주고 있다. 이동을 하지 않은 사용자의 경우는 그림에 표시하지 않았다. 액세스 포인트에서 다른 액세스 포인트로의 이동표시는 이전 액세스 포인트에서 더 좋은 통신환경을 위해 다른 액세스 포인트를 선택하여 이동한 모습이다. 시간의 경과에 따라 새로 입장한 사용자를 적절히 잘 흩어지게 하고 있으며 상황에 따라 기존에 액세스 포인트에 있던 사용자도 더 좋은 통신환경을 위해 기존과 다른 액세스 포인트를 찾아 이동하는 모습을

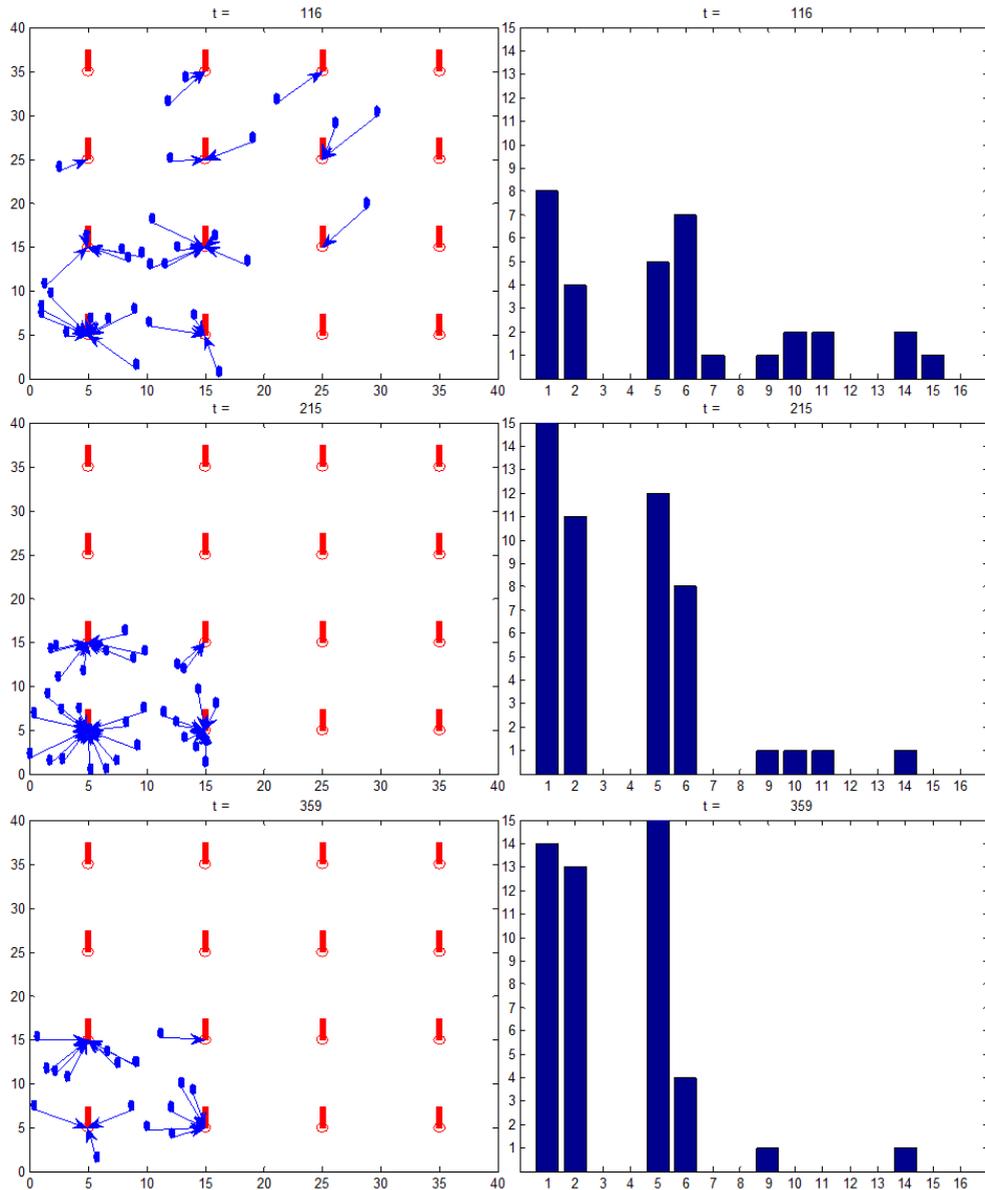


그림 5. 시간변화에 따른 사용자 분포 와 액세스 포인트 Load ( $\alpha = 0$ )  
 Fig. 5. User Distribution and Access point Load Time Evolution ( $\alpha = 0$ )

보인다.

그림5는 제안하는 액세스 포인트를 사용한 실험과 비교하기 위하여 가중치를 0으로 주어 제안하는 액세스 포인트 기법을 사용하지 않고 사용자가 가까운 액세스 포인트를 선택하도록 한 것이다. 시간이 지남에 따라 일부 액세스 포인트에 심하게 몰리는 것을 볼 수 있다.

### 3.4 가중치 변화에 따른 결과

식(1)에서 나온 가중치(alpha)값을 0부터 20까지 변화시키며 그에 따른 각종 값을 본다. 각 값을 100번의 모의실험값의 평균을 나타낸 값이다. 시스템에 존재하는 시간(MIST)는 300으로 고정하고 입장간격(MIAT)를 각각 3,10,30,으로 설정하여 3가지 상황을 그래프로 나타내었다. MIST/MIAT가 높다는 것은 사람들의 입장간격이 빠르다는 것을 의미한다.

그림 6은 액세스 포인트의 Load값에서 가장 큰 값과 가장 작은 값의 차이에 대한 모의실험 시간에 대한 평균을 가중치의 변화에 따라 나타낸다. 이 값이 크다는 것은 사용자가 액세스 포인트에 골고루 분배되지 못했다는 것을 의미 한다. 가중치 값이 커질수록 사용자가 액세스 포인트에 잘 분배된 것을 의미한다.

그림 7은 사용자들의 이동거리의 평균을 나타낸다. 이 값이 크다는 것은 사용자들이 좋은 통신환경을 찾아 많이 이동한다는 것을 의미한다. 사용자들은 먼 거리를 이동하는 것을 기피하므로 값이 작을수록 좋다. 가중치 값이 작을수록 사용자들은 적은 이동거리를 이동한다는 것을 의미한다.

그림 8은 최초 선택한 액세스 포인트에서 주변상황의 변화로 더 좋은 통신환경을 찾아 다른 액세스 포인트로 이동한 사용자의 비율을 나타낸다. 사용자가 도

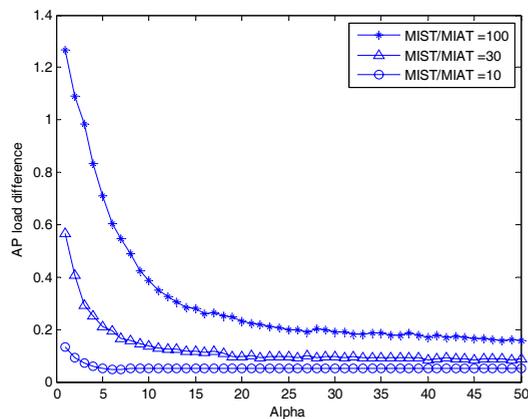


그림 6. 액세스 포인트 load의 최대 값과 최소 값의 차이  
Fig. 6. Access Point Load Difference

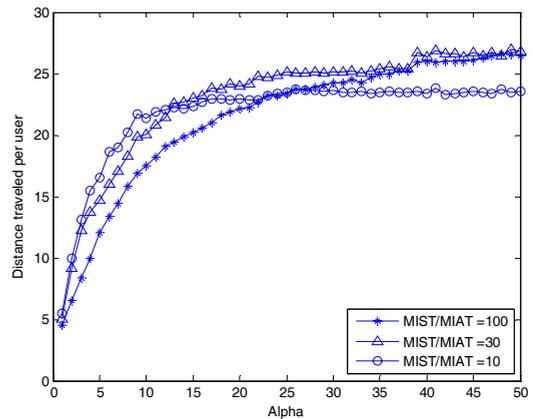


그림 7. 사용자의 총 이동거리 평균  
Fig. 7. Distance Traveled per User

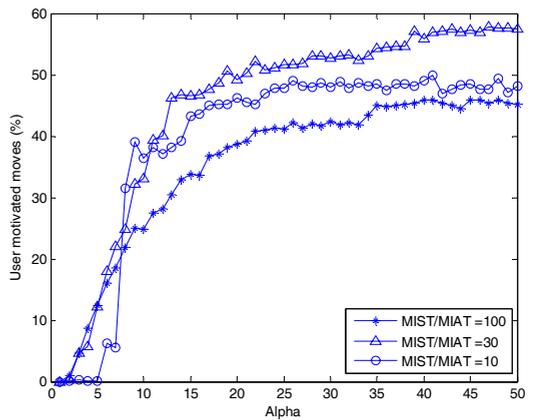


그림 8. 선택한 액세스 포인트를 도중에 바꾼 사용자의 비율  
Fig. 8. User motivated moves

중에 선택을 덜 바꾸는 것이 더 안정된 시스템이다. 가중치의 값이 작을수록 안정된 시스템을 나타낸다.

제안하는 액세스 포인트 선택기법을 사용하지 않고 사용자들이 가까운 액세스 포인트를 선택하도록 하는 방법은 위 그림들에서 가중치 값이 0에 해당되는 상황으로 적은 이동거리와 안정된 시스템 상황을 보이겠지만 그림 6에서 가중치 0에 대응하는 높은 변수 값이 의미 하는 것은 액세스 포인트에 Load된 사용자의 수가 일부 액세스 포인트에 과하게 집중된다는 것을 의미하며 좋은 통신환경을 얻을 수는 없다.

가중치의 값은 15를 넘어가면 Load의 값은 안정되지만 많이 이동하게 되고 시스템이 안정적이지 못하게 된다. 5이하가 되면 시스템은 안정적이 되고 적게 이동하게 되지만 사람이 너무 한곳에 몰리게 된다. 5~15의 사이에서 적절한 값을 연구해 보아야한다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 LTE-Femtocell 환경에서 최적의 사용자 Capacity, Load, Distance를 위한 게임이론 기반의 액세스 포인트 선택 기법을 분석하였다. 제한된 알고리즘은 사용자가 밀집되어 있는 상황에서 비교적 적은 이동거리와 높은 Capacity를 제공해주며 동시에 적은 사용자가 로드 될 최적의 액세스 포인트를 선택하게 하였다. 또한 시간 인덱스에 따른 랜덤한 사용자 입장 및 퇴장 복잡 환경에서도 시뮬레이션을 통해 최적의 사용자 분배 및 용량 확보를 분석 및 확인하였다.

이 연구는 작게는 휴게실에서 고속도로 휴게소 크게는 고속버스 터미널이나 공항에까지 펠토셀이 대중화 되어있을 경우 사용자들이 좋은 통신환경을 약간의 수고를 통해 얻을 수 있게 하기 위하여 작성되었다. 좀 더 많은 정보를 적용시키고 추가하여 효율함수를 더 정밀하게 하면 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

#### References

[1] S. Kim, M. Jung, S. Lee, and S. Min, "LTE femtocell network configuration and an off-load scheme according to traffic type within smart shipyard Area," *J. KICS*, vol. 39C, no. 08, pp. 667-673, Aug. 2014.

[2] J. Kwon, Y. Sang, and K. Kim, "Uplink interference avoidance scheme to improve femtocell performance in heterogeneous cellular networks," *J. KICS*, vol. 38A, no. 05, pp. 451-458, May 2013.

[3] D. Jeong and Y. Kim, "Power control of femto base station for protecting macrocell users," *J. KICS*, vol. 38A, no. 10, pp. 865-873, Oct. 2013.

[4] K. Mittal, E. Belding, and S. Suri, "A game-theoretic analysis of wireless access point selection by mobile users," *Computer Commun.*, vol. 31, no. 10, pp. 2049 - 2062, Jun. 2008.

[5] M. Satyanarayanan, "Pervasive computing: Vision and challenges," *IEEE Pers. Commun.*, vol. 8, no. 4, pp. 10-17, Aug. 2001.

[6] J. Jang and I. Sohn, "A novel game theory based femtocell selection method with mobile

users," in *Proc. KICS 2014 Winter Conf.*, pp. 762-763, yongpyong, Korea, Jan. 2014.

[7] 홍인기, "통신시스템을 분석하기 위한 도구로서의 게임이론," *Inf. & Commun. Mag.*, vol. 26, no. 7, pp. 3-9, Jun. 2009.

[8] C. Bouras, G. Kavourgias, V. Kokkinos, and A. Papazois, "Interference management in LTE femtocell systems using an adaptive frequency reuse scheme," *IEEE Wirel. Telecommun. Symp. (WTS)*, pp. 1-7, London, Apr. 2012.

[9] P. Lee, T. Lee, J. Jeong, and J. Shin, "Interference management in Lte femtocell systems using fractional frequency reuse," in *Advanced Commun. Technol. (ICACT)*, vol. 2, pp. 1047-1051, Phoenix Park, 2010.

[10] H. Lei, L. Zhang, X. Zhang, and D. Yang, "A novel multi-cell OFDMA system structure using fractional frequency reuse," *IEEE Int. Symp. Personal, Indoor and Mob. Radio Commun. (PIMRC)*, pp. 1-5, Athens, Sept. 2007.

#### 장 정 규 (Jeong-gyu Jang)



2011년 2월 : 동국대학교 전자공학과 학사  
 2014년 8월 : 동국대학교 전자전기공학과 석사  
 <관심분야> 통신신호처리, LTE, Femtocell

#### 손 인 수 (Insoo Sohn)

1994년 5월 : RPI 컴퓨터공학과 학사  
 1996년 1월 : NJIT 전기공학석사  
 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 부교수  
 <관심분야> 통신신호처리, 게임이론, 그린통신